وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

**N° d'ordre : M...../GE/2026**

# MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

## MASTER EN Electrotechnique

**Spécialité**: Electrotechnique Industrielle

**Thème :**

# Evaluation du fonctionnement et de la protection des installations industrielles

## Cas : complexe GP1Z

**Présenté par :**

BELMOUMENE AYOUB

FEGHOUL MOHAMED

Soutenu le 29 /06/2026 devant le jury composé de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Président : | M. S.HENNI | MCA | Université de Mostaganem. |
| Examinateur: | M. S.SOUAG | MCB | Université de Mostaganem |
| Encadrant : | M. B.BEKKOUCHE | Pr | Université de Mostaganem |

**Année Universitaire 2025/2026**

# REMERCIEMENTS

*Avant toute chose, nous remercions Dieu le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la santé, la patience et la volonté nécessaires à l'accomplissement de ce travail.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à Monsieur BEKKOUCHE Benaïssa, notre encadrant, pour son accompagnement constant, ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury, Professeure S.HENNI  président de jury et Le S.SOUAG examinateur, pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de notre mémoire et pour leurs observations pertinentes, qui seront sans nul doute utiles pour la suite de notre parcours.*

*Nous tenons également à remercier l'ensemble des enseignants du département de génie électrique de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour la qualité de leur enseignement et leur engagement durant toutes les années de notre formation.*

# DÉDICACE

*Nos chers parents, notre premier pilier, qui nous ont soutenus sans relâche tout au long de notre parcours académique par leur amour, leurs prières et leurs sacrifices. Ils ont toujours été notre source de force.*

*À nos frères et sœurs, pour leur encouragement constant, leur bienveillance et leur présence à nos côtés dans les moments difficiles comme dans les moments de joie.*

*À tous les amis qui nous ont apporté leur soutien inestimable, leur gentillesse et leur parole réconfortante au moment ou nous en avions le plus besoin.*

*À nos familles respectives: la famille Belmoumene et la famille Feghoul, pour l'amour, le respect et la fierté qu'elles nous ont toujours transmis.*

***Résumé :***

Les réseaux électriques industriels sont essentiels pour la continuité de la production dans les complexes industriels. Ils reposent sur un ensemble de transformateurs, des conducteurs et des charges électriques. Ce travail vise à étudier et à analyser une portion de l'installation industrielle du complexe GP1Z. cette évaluation à été basée sur le bilan de puissance , le calcule et la vérification des dimensionne des câbles , des transformateurs. Ainsi que la simulation de l'installation à l'aide d'un logiciel numérique. Les résultats obtenus ont permis d'évaluer les validité du réseau, confirmant la pertinence des choix de conception et sa capacité à fonctionner en conditions normales d'exploitation.

***ملخص***:

تُعدّ الشبكات الكهربائية الصناعية أساسية لضمان استمرارية الإنتاج في المجمعات الصناعية، إذ تعتمد على مجموعة من المحولات والموصلات والأحمال الكهربائية. يهدف هذا العمل إلى دراسة وتحليل جزء من المنشأة الصناعية في مجمع .GP1Z استند هذا التقييم إلى حسابات توازن الطاقة، والتحقق من أحجام الكابلات والمحولات، ومحاكاة المنشأة باستخدام برامج حاسوبية. وقد سمحت النتائج المُتحصَّل عليها بتقييم مدى صلاحية الشبكة، مؤكدةً ملاءمة خيارات التصميم وقدرتها على العمل في ظل ظروف التشغيل العادية.

***Abstract:***

Industrial electrical networks are essential for maintaining continuous production in industrial complexes, as they rely on a network of transformers, conductors, and electrical loads. This work aims to study and analyze a portion of the industrial installation at the GP1Z complex. This evaluation was based on power balance calculations, verification of cable and transformer sizing, and a computer simulation of the installation. The results obtained allowed for an assessment of the network's suitability, thus confirming the validity of the design choices and its ability to operate under normal operating condition

## *Table des matières*

***Introduction Générale***
***Chapitre 01 : Généralités sur l'installation industrielle***
I. Introduction …….. 2
I.2 Définition du réseau électrique …….. 2
I.3 Les niveaux des tensions des réseaux électriques …….. 2
I.4 La structure hiérarchique du réseau électrique …….. 3
I.4.1 La production …….. 3
I.4.2 Le réseau de transport …….. 3
I.4.3 Le réseau de répartition …….. 3
I.4.4 L réseau de distribution …….. 4
I.5 Les postes de livraison …….. 4
I.6 Installation industrielle …….. 7
I.6.1 Constitution des installations industrielles …….. 7
I.6.1.1 Circuit de puissance …….. 7
I.6.1.2 Circuit de commande …….. 7
I.7 Méthodologie et conception des installations industrielles …….. 7
I.7.1Définition …….. 8
I.8 Bilan de puissance …….. 8
I.8.1 Courant d'emploi …….. 8
I.8.1.1 Facteur de conversion des puissances en intensité …….. 9
I.8.2 Principe de choix des sections des câbles …….. 11
I.9 Courant admissible …….. 12
I.9.1 Températures maximales de fonctionnement pour les isolations …….. 13
I.9.2 Détermination du courant admissible Iz …….. 13
I.10 Présentation de l'installation des complexes (GP1Z) …….. 13
I.10.1 Présentation générale du complexe …….. 13
I.10.2 Département maintenance …….. 13
I.10.3 Situation géographique du complexe GP1Z …….. 13
I.10.4 Source d'énergie …….. 14
I.10.4.1 Générateur de secours …….. 14
I.10.5 sous station 63 KV …….. 14
I.10.6 Salle de commutation …….. 15
I.10.6.1 Architecture de distribution …….. 15
I.10.7 Qualité de l'installation électrique …….. 16
I.10.8 Conception pour la fiabilité et la contrôle et de surveillance …….. 16
I.11 Objectif de travail …….. 17
I.12 Méthodologie de travail …….. 18
I.13 Conclusion …….. 18
***Chapitre 02 : protection de réseau***
II.1 Introduction …….. 20
II.2 Etude des protections d'un réseau …….. 20
II.2.1 Définition du système de protection …….. 20
II.3 Type de protection …….. 21
II.3.1 Protections directionnelles …….. 21
II.3.2 Protections différentielles …….. 22
II.4 Les origines des défauts …….. 22
II.4.1 Les types des défauts des réseaux …….. 22
II.4.2 Les caractéristique des défauts …….. 23
II.4.3 Les conséquences des défauts …….. 23
II.4.3.1 Le court-circuit …….. 23
II.4.3.2 Surcharge …….. 23

II.4.3.3 Les surintensités ..... 23
II.4.3.4 Le déséquilibre ..... 23
II.5 Analyse comparative généralisé des régimes de neutre ..... 23
II.5.1 Neutre isolé ..... 23
II.5.2 Mise à la terre par résistance ..... 24
II.5.3 Mise à la terre par réactance faible ..... 24
II.5.4 Mise à la terre par réactance de compensation ..... 25
II.5.5 Directement à la terre ..... 26
II.6 Les dispositifs de protections ..... 27
II.6.1 Appareillage de protection contre les surintensités ..... 27
II.6.1.1 Les disjoncteurs ..... 27
II.6.1.2 Les fusibles ..... 28
II.6.1.2.1 Caractéristique du fusible ..... 29
II.6.1.3 Relais de protection ..... 29
II.6.1.3.1 Définition ..... 29
II.6.1.3.2 Type de relais ..... 29
II.6.1.3.2.1 Relais électromagnétique ..... 29
II.6.1.3.2.2 Relais thermique ..... 30
II.6.1.3.2.3 Relais statique ..... 30
II.6.2 Appareillage de protection contre les surtensions ..... 30
II.6.2.1 Les paratonnerres ..... 30
II.6.2.2 Les éclateurs ..... 31
II.6.2.3 Les parafoudres ..... 32
II.7 Sélectivité de protection ..... 32
II.7.1 Définition ..... 32
II.7.2 Principe fondamentaux de la protection ..... 33
II.7.3 Les différents régimes de sélectivité ..... 33
II.7.4 Type de sélectivité ..... 33
II.8 Protection du complexe (GP1Z) ..... 37
II.8.1 Protection pour le complexe ..... 37
II.8.2 La coordination de protection ..... 37
II.8.3 Philosophie globale du système de protection ..... 38
II.9 Conclusion ..... 38
***Chapitre 03 : Analyse de l'installation électrique du complexe GP1Z.***
III.1 Introduction ..... 40
III.2 Schéma unifilaire de l'installation du complexe ..... 40
III.3 Estimation de la puissance installée de la station principale ..... 41
III.3.1 Puissance des jeux de barres ..... 42
III.3.2 Puissance total de tous les jeux de barres ..... 43
III.4 Justification du choix 3 transformateurs de 17.5 MVA , couplage Dyn11 ..... 44
III.4 Choix de transformateur ..... 44
III.5.1 Calcule le rapporte de transformation ..... 44
III.5.2 Calcule du courant secondaire ..... 45
III.5.3 Calcule du courant primaire ..... 45
III.5.4 Détermination de la tension de court-circuit Ucc ..... 45
III.6 Les câbles électrique ..... 46
III.6.1 Structure d'un câble électrique ..... 46
III.6.2 La section d'un câble électrique ..... 46
III.6.2.1 Dimensionnement du câble de tableau de distribution 63 KV vers le transformateur ..... 47
III.6.2.2 Dimensionnement du câble de transformateur de 17.5 MVA vers le tableau 5.5 KV ..... 49
III.6.2.3 Dimensionnement des câbles du tableau de distribution 5.5 KV ..... 50
III.7 Analyse et interprétation ..... 53

III.8 Conclusion ……..... 54
***Chapitre 04 : Simulation avec logiciel ETAP***
IV.1 Introduction …… 56
IV.2 Présentation du logiciel Etap …….. 56
IV.2.1 La barre d'outils du logiciel …….. 56
IV.2.2 Les différent mode du logiciel …….…… 57
IV.2.2.1 Mode édition …….…….. 57
IV.2.2.2 Mode étude ……..... 57
IV.2.3 Adaptation de la barre d'outils ……..…… 57
IV.3 Simulation et analyse du réseau électrique sous Etap ……..…….. 58
IV.4 Analyse de l'écoulement de puissance sur Etap ……...…….. 60
IV.4.1 Les donnée de production, charge et tension des bus …….…….. 61
IV.4.2 Donnée des transformateurs ……..... 62
IV.4.3 Donnée des câbles …… 62
IV.4.4 Rapport de l'écoulement de puissance …….. 63
IV.5 Analyse des résultats de l'écoulement de puissance …….. 63
IV.6 Analyse de court-circuit au triphasé bus 6 …… 64
IV.6.1 Analyse de court-circuit triphasé au niveau du bus 6 ……... 65
IV.7 Analyse de court-circuit triphasé au niveau 63 kv ……...…. 67
IV.8 Texte de contenance ……...……... 68
IV.8 conclusion ……..…….……... 69
***Conclusion générale*** …… 70

## *Liste des figures*

***Chapitre 01 : Généralité sur l'installation industrielle***
Figure I.1 : Schéma d'un réseau électrique ……. 3
Figure I.2 : Représente un réseau électrique …….. 4
Figure I.3 :Représente le poste de livraison antenne …….. 5
Figure I.4 : Représente le poste de livraison double antenne …….. 6
Figure I.5 : Représente double antenne avec double jeu de barres ……. 6
Figure I.6 : Explication de calcule de courant d'emploi …….. 9
Figure I.7 : Organigramme générale de démarche de calcul du courant d'emploi …….. 10
Figure I.8 : Vue générale du complexe GP1Z ……... 13
Figure I.9 : Générateur de secours ……. 14
Figure I.10 : Salle de commutation ……... 15
Figure I.11 : Schéma unifilaire du complexe GP1Z …… 16
***Chapitre 02 : protection de réseau***
Figure II.1 : Simplifée de la chaine de protection électrique ……..... 20
Figure II.2 : Illustration du rôle des protections directionnelle …….. 20
Figure II.3 : Synoptique d'une fonction différentielle …….. 21
Figure II.4 : Différents types de court-circuit …… 21
Figure II.5 : Courant de défaut capacitive sur le réseau isolé …… 23
Figure II.6 : Réalisation de mise à la terre pour neutre accessible résistance entre neutre et la terre …… 23
Figure II.7 : Réalisation de mise à la terre pour neutre accessible …… 24
Figure II.8 : Défauts à la terre dans un réseau avec réactance de computation à la terre …… 25
Figure II.9 : Défauts à la terre dans un réseau neutre direct à la terre …….. 26
Figure II.10 : Schéma électrique du disjoncteur …… 26
Figure II.11 : Constitution d'un fusible …… 27
Figure II.12 : Relais électromagnétique …… 28
Figure II.13 : Exemple d'un relais statique …… 28
Figure II.14 : Une paratonnerre …… 29
Figure II.15 : Un éclateur MT avec tige anti-oiseaux ……..... 29
Figure II.16 : Représente un parafoudre oxyde de zine …… 30
Figure II.17 : Représente un parafoudre à résistance variable avec éclateur ……... 30
Figure II.18 : Réseau en antenne avec sélectivité chronométrique…… 31
Figure II.19 : Sélectivité chronométrique avec relais à temps indépendant …… 31
Figure II.20 : Fonctionnement d'un sélectivité ampérométrique …… 32
Figure II.21 : Caractéristique de la sélectivité ampérométrique …… 32
Figure II.22 : Principe de la sélectivité logique …… 33
Figure II.23 : Principe de protection directionnelle …… 33
Figure II.24 : Principe de protection différentielle ……... 34
***Chapitre 03 : Analyse de l'installation électrique du complexe GP1Z***
Figure III.1 : Schéma unifilaire complet de la phase 1 …… 37
Figure III.2 : Schéma unifilaire de la partie d'étude ……... 38
Figure III.3 : Constitution d'un câble BT …… 43
Figure III.4 : Constitution d'un câble MT …… 44
***Chapitre 04 : Simulation avec logiciel ETAP***
Figure IV.1 : Les déférents domaines d'utilisation du logiciel Etap …… 52
Figure IV.2 : La barre d'outils du logiciel Etap …… 52
Figure IV.3 : Barre d'outils du mode Etap pour diverses analyses de systèmes électrique …… 53
Figure IV.4 : Schéma unifilaire de la partie d'étude du complexe de l'installation …… 55
Figure IV.5 : Schéma unifilaire de la partie simuler sur logiciel Etap ……..... 56
Figure IV.6 : Résultats l'écoulement de puissance sur Etap …… 57
Figure IV.7 : Simulation du court-circuit sous Etap …… 60

Figure IV.8 : Simulation du court circuit au niveau de 63 kv ……..…….. 62
Figure IV.9 : Simulation sous Etap avec deux transformateurs …… 63
Figure IV.10 : Simulation sous Etap avec deux transformateurs …….. 64

## *Les listes des tableaux*

***Chapitre 01 : Généralité sur l'installation industrielle.***
Tableau I.1 : Les tensions suivant la norme NFC 15-100 ……..…….……..... 2
Tableau I.2 : Les tensions suivant la norme CEI ……..…… 2
Tableau I.3 : Comparaison entre le circuit de commande et de puissance ……..…….. 7
Tableau I.4 : Valeurs du facteur d'utilisation …….…….…… 8
Tableau I.5 : Valeurs du facteur de simultanéité en fonction de l'installation …….…… 8
Tableau I.6 : Valeurs du facteur de simultanéité en fonction du nombre des récepteurs …….…… 9
Tableau I.7 : Températures maximales de fonctionnement pou isolation ……..…….……... 11
***Chapitre 03 : Analyse de l'installation électrique du complexe GP1Z***
Tableau III.1 : Identification des puissances absorbées utilisé pour un jeu de barre E-422……..…. 42
Tableau III.2 : Identification des puissances absorbées utilisé pour un jeu de barre B-423 ……..… 43
Tableau III.3 : Bilan de puissance utilisée de tous les jeux de barres ……..……..... 43
Tableau III.4 : Bilan de puissance simultané de tous les jeux de barres ……..…… 43
Tableau III.5 : Bilan de puissance a installé de tout les jeux de barres ……..……... 44
Tableau III.6 : Caractéristique de transformateur adéquat pour l'installation …….…… 46
Tableau III.7 : Résultats de calcule de la sections selon l'échauffement …….…… 50
Tableau III.8 : Vérification des section par rapport aux chute de tensions …..…… 51
Tableau III.9 : Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit …..……..… 52
Tableau III.10 : Comparaison entre les calcule théorique et réelle sur industrie ……... 52
***Chapitre 04 : simulation avec logiciel Etap***
Tableau IV.1 : Les données des jeux de barres ……..... 62
Tableau IV.2 : Les données de transformateurs …… 62
Tableau IV.3 : Les données des câbles …….….. 63
Tableau IV.4: Rapport de l'écoulement de puissance …….…… 64
Tableau IV.5 : Rapport de court-circuit triphasé au bus 6 …….. 66

# Introduction générale

Le monde connaît actuellement des progrès économiques et industriels remarquables, et l'électricité est un moteur essentiel de cette évolution. Elle est sans conteste l'une des formes d'énergie les plus utilisées aujourd'hui. Des investissements considérables sont consacrés à son développement, ces extensions et à la modernisation de ces installations industrielles, car ces dernières sont indispensables à l'alimentation électrique des équipements de production. La réduction des coûts d'installation et d'exploitation des systèmes électriques, ainsi que la garantie d'un fonctionnement dans lequel la continuité, la fiabilité et la sécurité de l'alimentation électrique sont des exigences absolues. Une défaillance ou une interruption, même brève, peut entraîner des pertes de production considérables, des dommages matériels coûteux et des risques importants pour les personnes et l'environnement. Par conséquent, la vérification périodique du dimensionnement des installations électriques et l'amélioration de la protection représentent une étape essentielle pour assurer la sécurité et l'efficacité des infrastructures.

Avant toute chose, le dimensionnement précis des installations électriques est crucial pour garantir un fonctionnement continu et à pleine capacité, sans aucun dommage. Il est également essentiel de garantir l'efficacité des dispositifs de protection en cas de défaut, de s'assurer que les charges sont alimentées avec la tension adéquate et d'éviter les chutes de tension excessives. L'inspection régulière et la surveillance étroite des équipements de production contribuent à prévenir la plupart des arrêts de production et des pertes économiques. L'objectif principal de ce projet de fin d'études est d'analyser, d'évaluer et de vérifier la fiabilité du dimensionnement de l'installation électrique du complexe GP1Z. Cependant à cause de l'importance de ce complexe pour l'économie nationale, il a été doté par deux lignes de hautes tension (63 kV) et une architecture complexe incluant des niveaux de tension multiples (HT, MT, BT) avec des sources de secours. C'est dans ce cadre industriel exigeant que s'inscrit notre travail de fin d'étude.

Pour ce faire, nous nous sommes fixés les objectifs spécifiques suivants : comprendre la structure hiérarchique du réseau électrique (de la production à la distribution), réaliser un bilan de puissance détaillé pour déterminer les besoins énergétiques, calculer les courants d'emploi et vérifier le dimensionnement des sections de câbles et des transformateurs, en nous conformant aux normes en vigueur (notamment la NF C 15-100 et la CEI). Cependant, bien que la vérification et l'analyse de tout l'installation du complexe à besoin de beaucoup de temps, elle permit d'assurer une distribution électrique fiable, minimisant les risques de perturbations et optimisant le rendement des équipements. C'est dans cette optique que nous nous intéressons à l'évaluation des différentes méthodes de dimensionnement et à leur application sur un cas concret.

Dans le cadre de la réalisation de ce projet de fin d'études, nous avons effectué un stage pratique au sein du complexe gazier GP1/Z. Cette expérience nous a permis de découvrir l'environnement industriel, d'approfondir nos connaissances techniques et d'acquérir une meilleure compréhension des systèmes électriques exploités dans les installations énergétiques

Afin d'atteindre les objectifs, nous allons structuré ce mémoire en quatre chapitres.

- Le premier chapitre posera les généralités sur les réseaux électriques industriels, des concepts fondamentaux du dimensionnement des installations électriques, ainsi que les méthodes et critères influençant la conception. Et il sera achevé par une présentation du complexe GP1Z.
- Le second chapitre sera dédié aux systèmes de protection, aux différents régimes de neutre et à la notion de sélectivité.
- Le troisième chapitre constituera une analyse et vérification de l'installation électrique avec les calculs de dimensionnement pour la moitié du réseau industriel, en incluant un bilan de puissance et les calculs nécessaires pour évaluer l'installation électrique. ¬
- Enfin, le quatrième chapitre est consacré à la simulation numérique sous ETAP (Electrical Transient Analysis Program), permettant de confronter nos calculs théoriques à une modélisation plus globale du comportement du réseau

Le travail sera achevé par une conclusion générale et des perspectives

# Chapitre 01

# Généralité sur l`installation industrielle

## *I.1. Introduction*

La production d'électricité coïncide toujours avec sa consommation, imposant ainsi une régulation permanente de l'offre pour répondre à la demande. L'ensemble des processus de production, de transport et de consommation constitue donc un système interdépendant, appelé « réseau électrique », dont l'équilibre doit être préservé en continu.

Un réseau électrique est structuré autour de lignes fonctionnant à différentes tensions, reliées entre elles par des postes électriques. Ces postes sont cruciaux pour acheminer le courant et en modifier la tension via des transformateurs. Le réseau doit aussi assurer une gestion en temps réel du système complet — de la production à la distribution — en réalisant les réglages nécessaires au maintien de sa stabilité.

## *I.2. Définition du réseau électrique*

En bref, un réseau électrique est un système d'infrastructures destiné à acheminer l'énergie électrique des producteurs aux utilisateurs. Il est formé de lignes à différentes tensions, reliées entre elles dans des postes électriques. Ces postes sont essentiels pour répartir le courant et en modifier la tension via des transformateurs. Par ailleurs, le réseau assure une gestion en temps réel de la production, du transport, de la distribution et de la consommation, en opérant les réglages nécessaires à son équilibre et à sa stabilité.

## *I.3. Les niveaux des tensions des réseaux électriques*

***Tableau I.1 :*** Les tensions suivant la norme NFC 15-100

| | Domaine | Tension alternative [V] | Valeurs usuelles |
|---|---|---|---|
| Très basse tension | TBT | U<50V | 12-24-48V |
| Basse tension | BTA<br>BTB | 50 ; U≤500V<br>500 ; U ≤1000 V | 230-400 V690 V |
| Haute tension A | HTA1<br>HTA 2 | 1 ; U≤40 KV<br>40 ; U≤50 KV | 5,5-6,6-10-15-20-33KV<br>40,5 KV |
| Haute tension B | HTB1<br>HTB2<br>HTB3 | 50 ; U≤130 KV<br>130;U≤350 KV<br>350 ; U≤500 KV | 63-90 KV<br>150-225 KV<br>400 KV |

La tension nominale de réseau existant à 220/380 V doit évolué vers la valeur recommandée 240/400V**.**

***Tableau I.2 :*** Les tensions suivant la norme CEI (Commission électrotechnique international).

| | Domaine de tension | Tensions [V] | Valeurs usuelles |
|---|---|---|---|
| Base tension | BT | 100 ; U≤1000 V | 400-690-1000 V |
| Moyenne tension | MT | 1 *;* U≤*35 KV* | 3,3-6,6-11-22-33 KV |
| Haute tension | HT | 35 ; U≤230 KV | 45-66-110-132-150-220 KV |

## *I.4. La structure hiérarchique du réseau électrique*

Afin d'assurer la liaison entre la production et la consommation de l'énergie électrique, il est nécessaire de mettre en œuvre des lignes de transport aériennes ainsi que des réseaux de câbles souterrains. Ces lignes sont raccordées à des points spécifiques appelés postes électriques. Ces derniers jouent un rôle fondamental puis qu'ils intègrent des transformateurs, ainsi que des équipements de commande, de régulation et de protection. Les entreprises d'électricité organisent généralement leurs réseaux en quatre niveaux principaux : la production, le transport, la répartition et la distribution, comme le montre de la figure ***(I.1).***

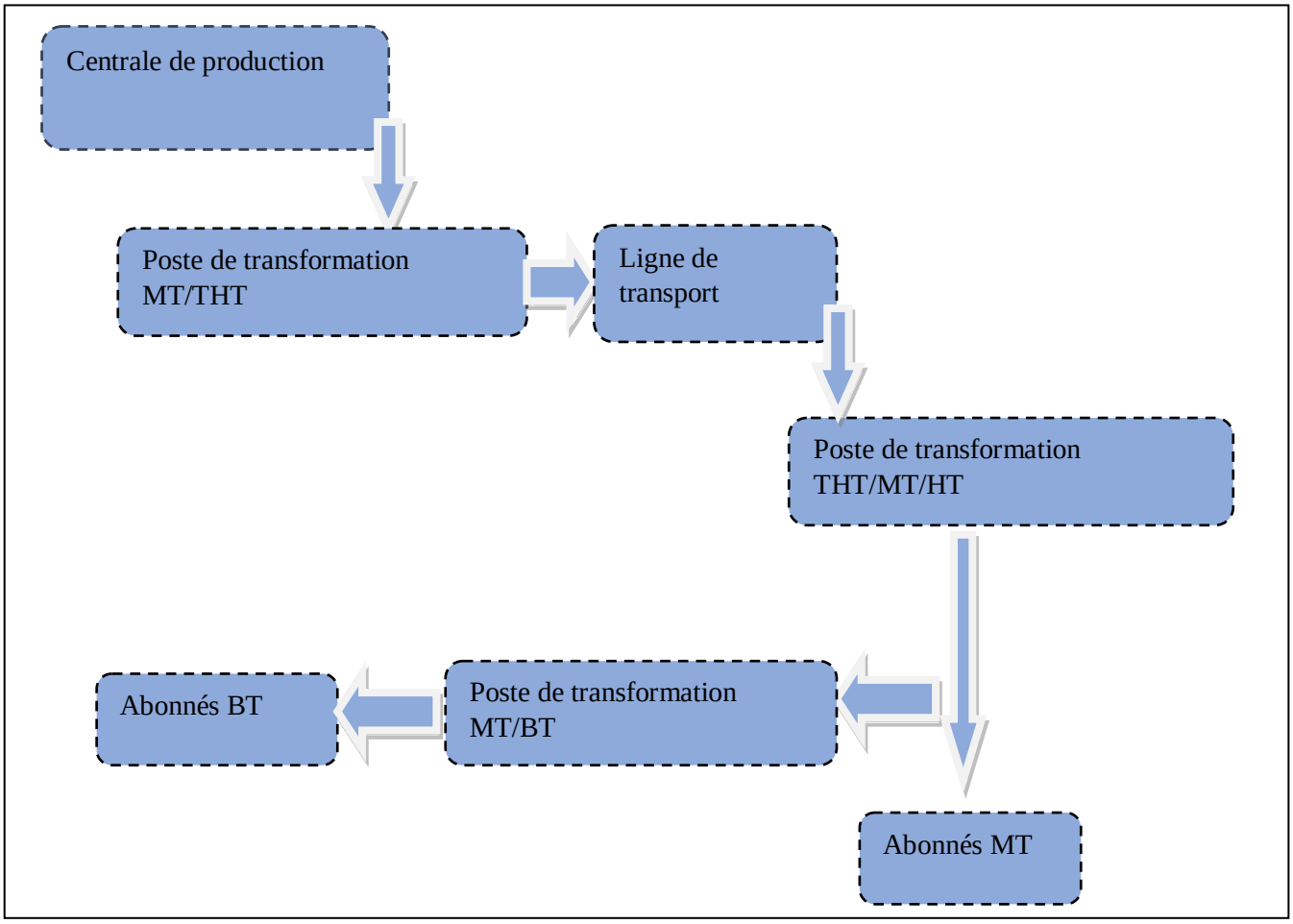


***Figure I.1 :*** schéma d'un réseau électrique.

### I.4.1. *Production*

La production d'énergie électrique consiste à convertir les sources d'énergie primaires, qu'elles soient fossiles (charbon, gaz, pétrole) ou renouvelables (solaire, éolienne, hydraulique, biomasse, géothermie), en énergie électrique. Cette transformation est réalisée au moyen d'équipements tels que les alternateurs et les panneaux photovoltaïques. Les centrales thermiques comportent généralement plusieurs groupes turbo-alternateurs (turbine associée à une machine synchrone) afin de garantir la continuité du service durant les opérations de maintenance. Chaque groupe fournit une puissance de l'ordre de plusieurs mégawatts, avec une tension nominale de 13 kV et 15 KV. Dans le but de réduire les pertes électrique et pour des considérations économiques, cette tension est ensuite élevée à l'aide de transformateurs 13 kV/225 kV ou 15 kV/400 kV. **[1]**

### *I.4.2. Le réseau de transport*

Les réseaux de transport reposent sur une configuration en réseau maillé et interconnecté. Ils fonctionnent à des niveaux de haute tension HTB, compris entre 50 kV et 400 kV, et ont pour mission principale d'acheminer l'énergie électrique produite dans les grandes centrales vers les zones de forte consommation.

Les puissances élevées transportées nécessitent l'utilisation de lignes électriques capables de supporter de grands flux d'énergie, ainsi qu'une organisation en maillage afin d'assurer la continuité du service. Cette structure interconnectée permet d'améliorer la sûreté d'alimentation, car en cas de défaillance d'un élément du réseau (ligne, transformateur ou unité de production), l'alimentation reste assurée. Cela est garanti par l'application de la règle du N-1, qui stipule que la perte d'un seul élément ne doit pas provoquer de perturbations inacceptables pour les usagers.

### *I.4.3. Le réseau de répartition*

Les réseaux de répartition fonctionnent à des niveaux de haute tension, généralement compris entre 30 kV et 50 kV, et ont pour rôle principal d'assurer l'alimentation en électricité à l'échelle régionale. L'énergie électrique y est principalement fournie par le réseau de transport à travers des postes de transformation, mais elle peut également provenir de centrales de production de puissance moyenne, dont

la capacité est inférieure à environ 100 MW. Ces réseaux sont implantés de façon relativement uniforme sur l'ensemble du territoire régional afin de garantir une distribution équilibrée de l'énergie électrique.

### *I.4.4. Le réseau de distribution*

Ils comportent les lignes et les postes de transformations servant à alimenter les clients. CES Réseaux sont composés de deux parties :

- ✓ Les lignes moyennes tension alimentées par des postes HT/MT, fournissent de l'énergie électrique, soit directement aux consommateurs, soit aux différents postes MT/BT.
- ✓ Des lignes à basse tension qui alimentent les usages, soit en monophasé (220V) entre phase et neutre, soit en triphasé à quatre fils (220V/380V).

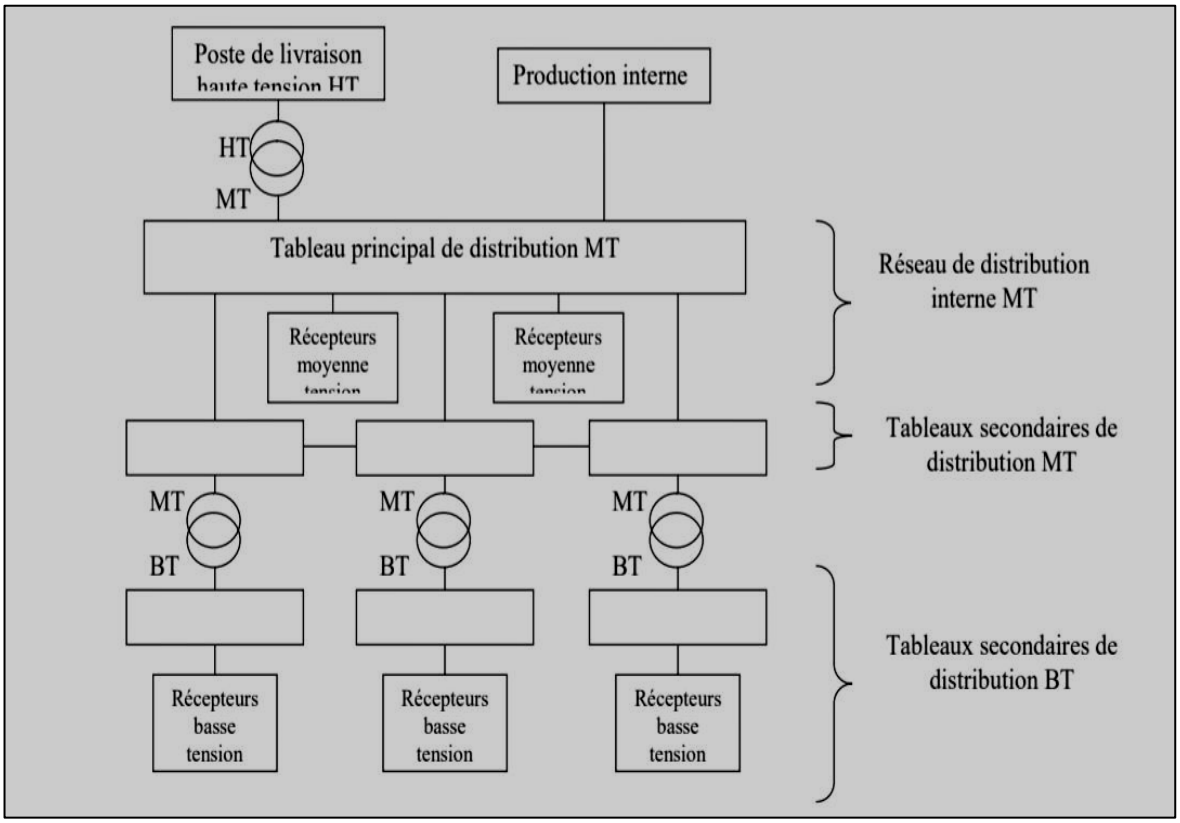


**Figure I.2 :** représente un réseau électrique.

## *I.5. Les postes de livraisons*

Ils concernent généralement les puissances supérieures à 10 MVA. L'installation du poste de Livraison est comprise entre:

- ✓ D'une part, le point de raccordement au réseau de distribution HTB.
- ✓ D'autre part, la borne aval du ou des transformateurs HTB/HT.
- ✓ Indice O pour << position ouvert>> et F pour « position fermé ».

Les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus couramment rencontrés sont les suivants:

- ➢ ***Le poste de livraison simple antenne***
- ✓ Les transformateurs HTB/HTA sont alimentés par un seul jeu de barre HTB.
- ✓ En cas de perte d'une source d'alimentation, les transformateurs HTB/HTA sont mis hors service.

L'avantage de ce schéma c'est qu'il présente un coût minimal, mais avec un inconvénient majeur, la disponibilité est faible.

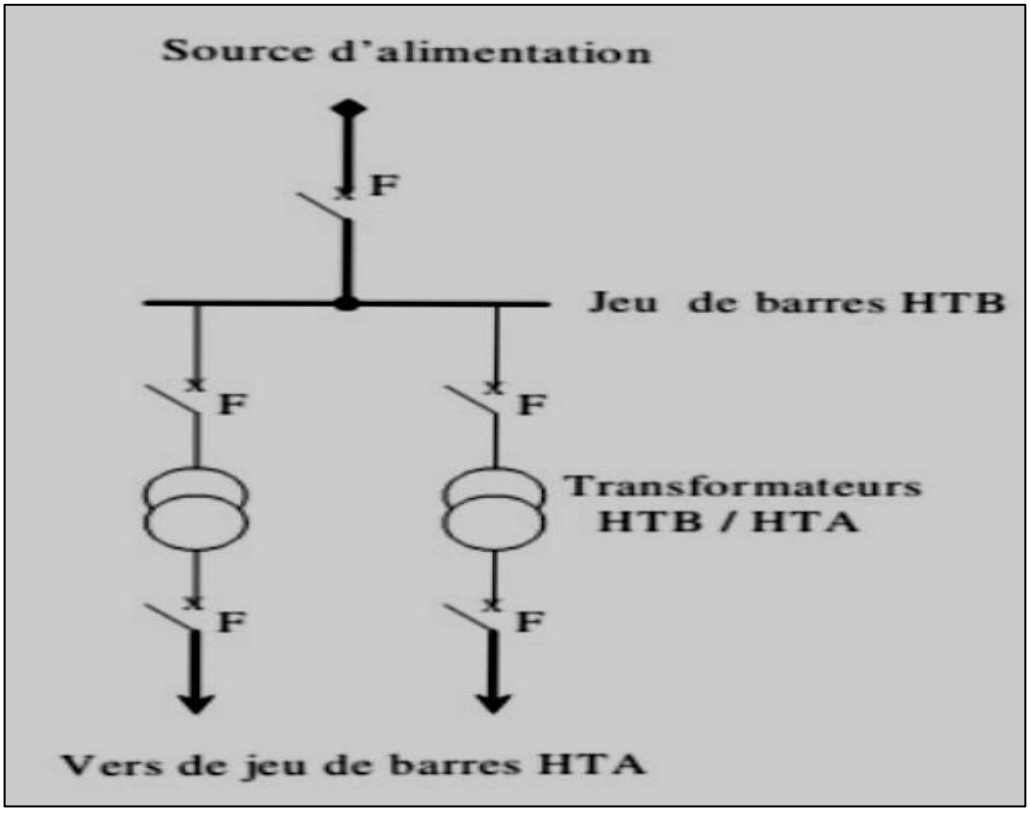


***Figure I.3 :*** représente poste de livraison simple antenne.

- ***Le poste de livraison double antenne***

En fonctionnement normal, les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le sectionneur de couplage. Les transformateurs sont alimentés par les 2 sources simultanément. Alors que lors d'une éventuelle perturbation, en cas de perte d'une source par exemple, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.

- Ce schéma présente d'abord deux avantages:
- ✓ Bonne disponibilité, dans la mesure où chaque source peut alimenter la totalité du réseau.
- ✓ Maintenance possible du jeu de barres, avec un fonctionnement partiel de celui-ci.
- Comme il présente aussi deux inconvénients:
- ✓ Solution plus coûteuse que l'alimentation simple antenne.
- ✓ Ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres encas de maintenance de celui-ci.

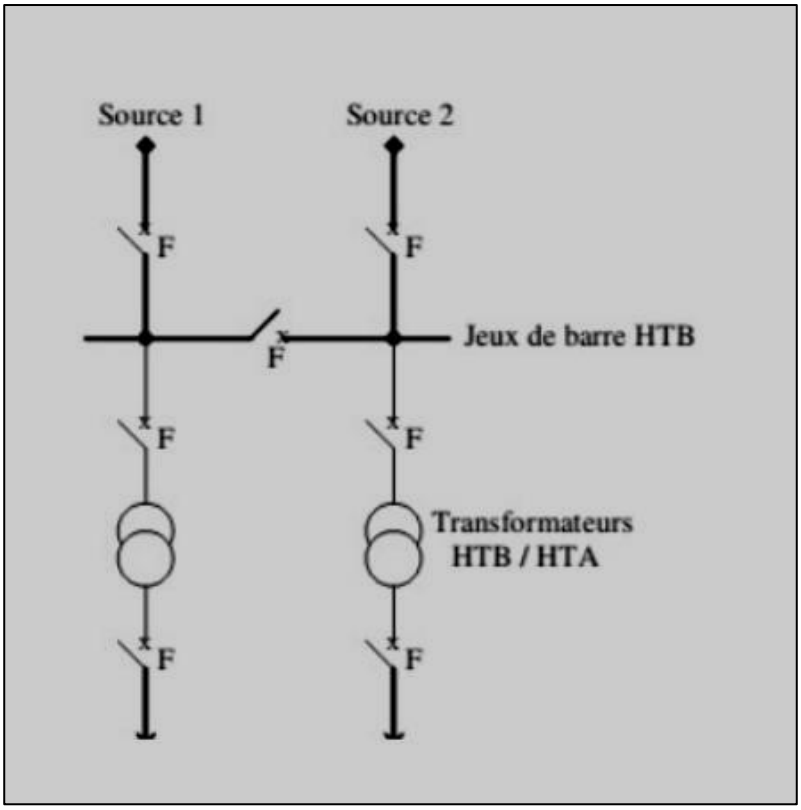


***Figure I.4 :*** représente. Le poste de livraison double antenne.

- ***Double antenne avec double jeu de barres:***

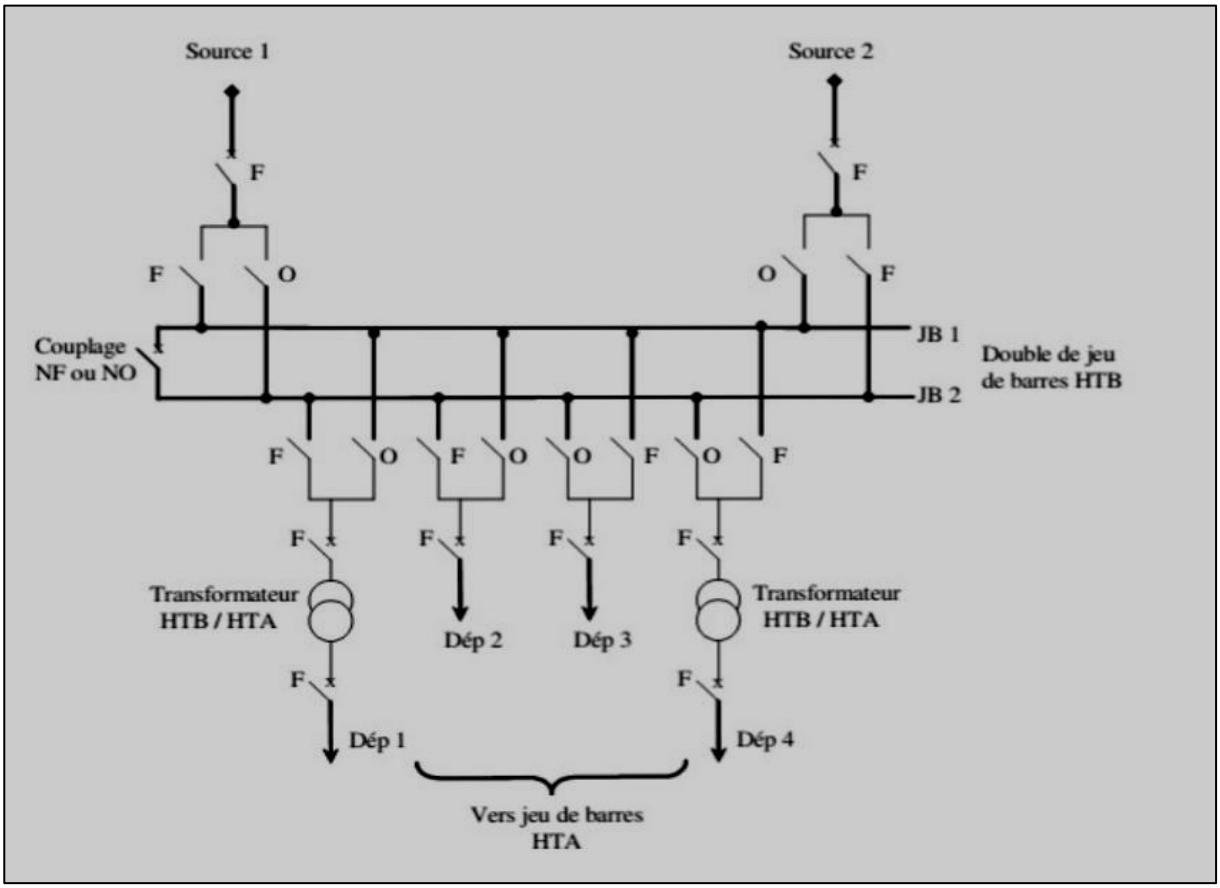


***Figure I.5:*** représente Double antenne avec double jeu de barres.

En fonctionnement normal, la source alimente, par exemple, le jeu de barres JDB1 et les départs dép3 et Dép 4. Alors que la source 2 alimente le jeu de barres JDB2 et les départs Dép. 1 et Dép. 2. Alors que le disjoncteur de couplage peut être en position de fermeture ou ouverture. En fonctionnement perturbé, en

cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation. En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), le disjoncteur de couplage est ouvert et l'autre jeu de barres alimente la totalité des départs

Les avantages de ce schéma sont:

- ✓ Bonne disponibilité d'alimentation.
- ✓ Très grande souplesse d'utilisation pour l'affectation des Sources et des charges, et pour la maintenance des jeux de barres.
- ✓ Possibilité de transfert de jeu de barres sans coupure (lorsque les jeux de barres sont couplés, il est possible de manœuvrer un sectionneur si son sectionneur adjacent est fermé).

Alors que sont seul inconvénient est le surcoût important par rapport à la solution simple jeu de barres.

## *I.6. Installations industrielles*

L'installation industrielle représente l'épine dorsale de toute activité de production. Elle désigne l'ensemble cohérent et structuré des infrastructures, des équipements techniques, des réseaux de fluides et des systèmes de sécurité mis en place au sein d'un site pour permettre la transformation de matières premières en produits finis.

Bien plus qu'un simple agencement de machines, une installation industrielle est le fruit d'une ingénierie complexe qui doit concilier performance économique, respect des normes de sécurité, efficacité énergétique et ergonomie pour les opérateurs de la centrale électrique à l'usine agroalimentaire, en passant par les ateliers de mécanique, chaque installation est unique et doit être pensée pour répondre aux défis spécifiques de son secteur d'activité.

Ainsi, l'étude des installations industrielles ne se limite pas à l'aspect technique ; elle englobe également des enjeux stratégiques majeurs tels que la maintenance, la fiabilité des processus et l'adaptation aux évolutions technologiques et environnementales.

### *I.6.1. Constitution des installations industrielles*

Les installations industrielles des automatismes sont sépares en deux parties bien distinctes appelés : circuit de commande et circuit de puissance.

#### *I.6.1.1. Circuit de puissance*

Il comprend tous les appareils nécessaires à la commande et au contrôle des automatismes.

Il est composé de :

- ✓ Une source d'alimentation.
- ✓ Un appareil d'isolement, (contacts auxiliaires du sectionneur).
- ✓ Une protection du circuit (fusible, disjoncteur).
- ✓ Appareils de commande ou de contrôle (bouton poussoir, détecteur de grandeur physique).
- ✓ Organes de commande (bobine de contacteur).

#### *I.6.1.2. Circuit de commande*

Il comprend les appareils nécessaires au fonctionnement des récepteurs de puissances et sert à exécuter les ordres reçus du circuit de commande

Il est composé de :

- ✓ Une source d'alimentation généralement triphasée.
- ✓ Un appareil d'isolement. (sectionneur).
- ✓ Une protection du circuit (fusible, relais de protection)
- ✓ Appareils de commande (les contacts de puissance du contacteur)
- ✓ Des récepteurs de puissance (des moteurs).

***Remarque***

Deux éléments différents d'un même appareil peuvent être repartis dans les deux circuits

Exemple : le contacteur, le sectionneur :

Les circuits de commande et de puissance possèdent chacun leurs propres alimentations.

***Tableau I.3 :*** Comparaison entre le circuit de commande et le circuit de puissance.

| Circuit de commande | Circuit de puissance |
|---|---|
| Le choix se fait et dépend des caractéristiques des organes de commande (relais, contacteur) | Le choix dépend des caractéristiques des récepteurs de puissances (moteur). |

## *I.7. Méthodologie et conception des installations industrielles*

### *I.7.1. Définition*

La méthodologie et conception des installations industrielles est une discipline d'ingénierie normative qui structure l'étude, le calcule, le choix des équipements et le plan d'implantation des réseaux électriques basse et moyenne tension dans un environnement industriel. Son but est de réaliser une installation sûre, fiable, efficiente, conforme aux règlements et évolutive, depuis la source d'alimentation jusqu'à aux récepteurs finals.

## *I.8. Bilan de puissance*

Le bilan de puissance constitue une phase fondamentale dans l'analyse d'une installation électrique. Il permet de déterminer avec précision les équipements nécessaires (tels que le transformateur ), de choisir les sections adéquates des câbles et de dimensionner les dispositifs de protection associés. Cette analyse exige une connaissance approfondie des caractéristiques des charges ainsi que des différents facteurs influençant leur fonctionnement **[6]**.

### *I.8.1. Courant d'emploi*

Le courant d'emploi est le courant réellement transporté par les conducteurs actifs correspond à la plus grande puissance en service normale. Le calcul du courant d'emploi nécessite la connaissance du courant et le corrigé selon plusieurs facteurs. **[16]**

$$Ib = \frac{Pn*e*Ku*Ks*Ke}{\eta*cos\varphi}$$

$Pn$: Puissance utile nominale du récepteur

$\eta$: Rendement du récepteur

$cos\varphi$ : Facteur de puissance du récepteur

- ***Facteur de conversion des puissances en intensité***

Ce facteur permet de transformer la puissance active en intensité.

. $$e = \frac{1}{220}\ v(en\ monophasé)$$

$$e = \frac{1}{\sqrt{3}*380} \text{ (en triphasé) } \textbf{[16]}$$

- ***Facteur d'utilisation Ku***

Les récepteurs électriques ne fonctionnent généralement pas en permanence à leur puissance nominale. Le facteur d'utilisation permet de pondérer la puissance absorbée en fonction du cycle réel d'exploitation de chaque type d'appareil. Sa valeur est spécifique à chaque famille de récepteurs (éclairage, moteurs, prises, etc.).

***Tableau I.4:*** Valeurs du facteur d'utilisation selon l'utilisation

| Utilisation | *Facture* d'utilisation |
|---|---|
| Éclairage | 1 |
| Chauffage et conditionnement d'air | 1 |
| Prise de courant | 0.6. Si n<6<br>1+ (0.9/n). Si n>6 |
| Moteur | 0.75 |

- ***Facteur de simultanéité Ks***

Les récepteurs d'une installation ne sont généralement pas tous en service au même moment. La détermination du facteur de simultanéité repose sur une connaissance précise de la configuration de l'installation ainsi que sur l'analyse des conditions réelles d'exploitation.

***Tableau I.5:***Valeurs du facteur de simultanéité en fonction de l'utilisation

| Utilisation | *Facture* d'utilisation |
|---|---|
| Éclairage | 1 |
| Chauffage et conditionnement d'air | 1 |
| Prise de courant | De 0.1 à 0.2 (pour un nombre> 20) |

- ***Facteur d'extension Ke***

Le facteur d'extension permet d'anticiper une évolution future de la puissance absorbée par l'installation. Sa valeur est comprise généralement entre 1 et 1,5, et une valeur moyenne de 1,2 est fréquemment adoptée dans les études.

***Tableau I.6:*** Valeurs du facteur de simultanéité en fonction du nombre des récepteurs

| *Nombres des récepteurs* | *Facteur de simultanéité* |
|---|---|
| 2 à 3 | 0.9 |
| 4 à 5 | 0.8 |
| 6 à 9 | 0.7 |
| 10 et plus | 0.6 |

***Remarque***

Pour calculer le courant de fonctionnement (Ib) d'une entité donnée, en fonction des équipements et des clients indiqués sur le schéma, par exemple Ib1, il faut prendre en compte tous les clients alimentés par le poste HT/BT. En revanche, pour Ib2, seuls les clients alimentés par le poste MT/BT sont comptabilisés. Par conséquent, le courant de fonctionnement varie d'une entité à l'autre selon le nombre de clients.

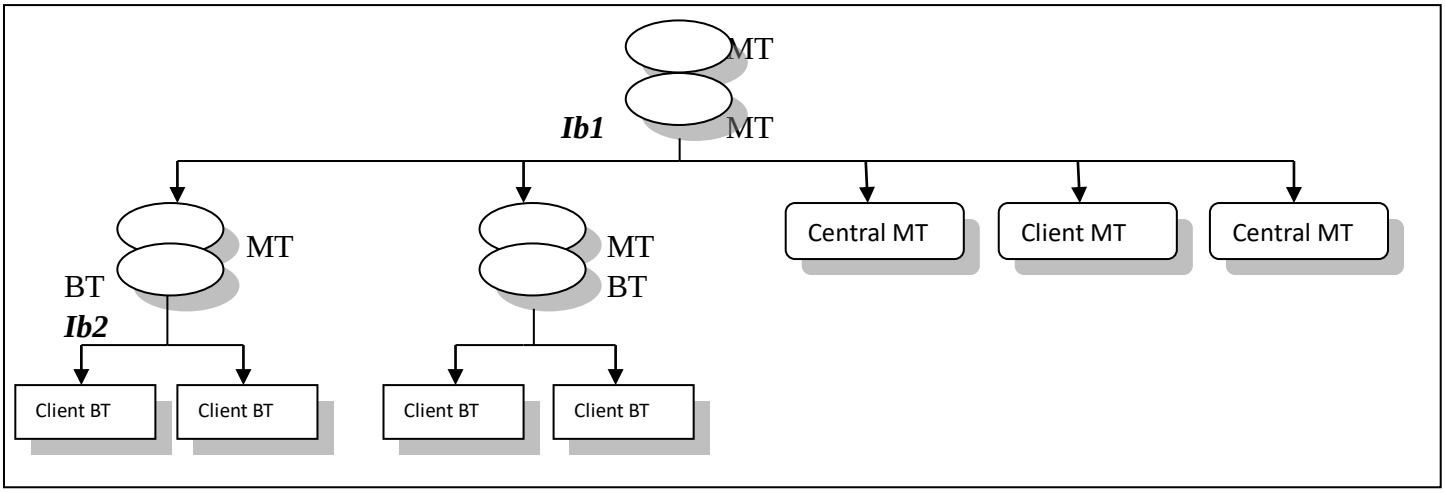


***Figure I.6 :*** explication de calculer le courant d'emploi.

- ***Exemple de Calcul***

Calcul du courant d'emploi pour un moteur industriel triphasé:

Données :

- ✓ ***Type d'appareil***: Moteur électrique (pompe)
- ✓ ***Puissance utile nominale(Pn)***: 18.5 kW
- ✓ ***Tension (U)***: 400 V (triphasé)
- ✓ ***Facteur de puissance*** (cos φ) : 0.85
- ✓ ***Rendement***(η) : 0.92 (92%)
- ✓ ***Facteur de correction*** :
- ✓ ***Facteur d'utilisation (Ku)***: 0.8 (le moteur ne fonctionne pas toujours à pleine charge)
- ✓ ***Facteur de simultanéité (Ks)***: 1.0 (contrôlé séparément).
- ✓ ***Facteur d'extension (Ke)*** : 1.1 (10% de marge pour extension future)
- ***Calcul du courant nominal (In) d'abord (sans facteurs)***

***Formule triphasée de puissance***

$$P = \sqrt{3} \times U \times In \times \cos\varphi \times \eta$$

- ✓ $In = \frac{Pn}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi \times \eta}$
- ✓ $In = \frac{18500}{1.732 \times 400 \times 0.85 \times 0.92}$
- ✓ $In = \frac{18500}{542.2} \approx 34.1\text{A}$

➢ ***Calcul du courant d'emploi ($I_b$)***

Où e est le facteur de conversion puissance/intensité, et pour le triphasé :

$$e = \frac{1}{\sqrt{3} \times U} = \frac{1}{1.732 \times 400} = \frac{1}{692.8} \approx 0.00144$$

***Application***

$$Ib = \frac{18500 \times 0.001443 \times 0.8 \times 1 \times 1.1}{0.92 \times 0.85} \approx 30.05\ A$$

***-Pourquoi $I_b$ est inférieure à $I_n$***

Parce que nous avons appliqué le facteur d'utilisation Ku = 0.8, ce qui signifie que le moteur n'utilise que 80% de sa puissance en conditions normales d'exploitation.

***-Impact des facteurs de correction***

- ✓ Ku = 0.8: réduit le courant de 20%
- ✓ Ks= 1.0: aucun impact (fonctionnement individuel)
- ✓ Ke=1.1: augmente le courant de 10% pour l'extension future
- ✓ Net: réduction de 34.1A à 30.05A (environ 12% de réduction)

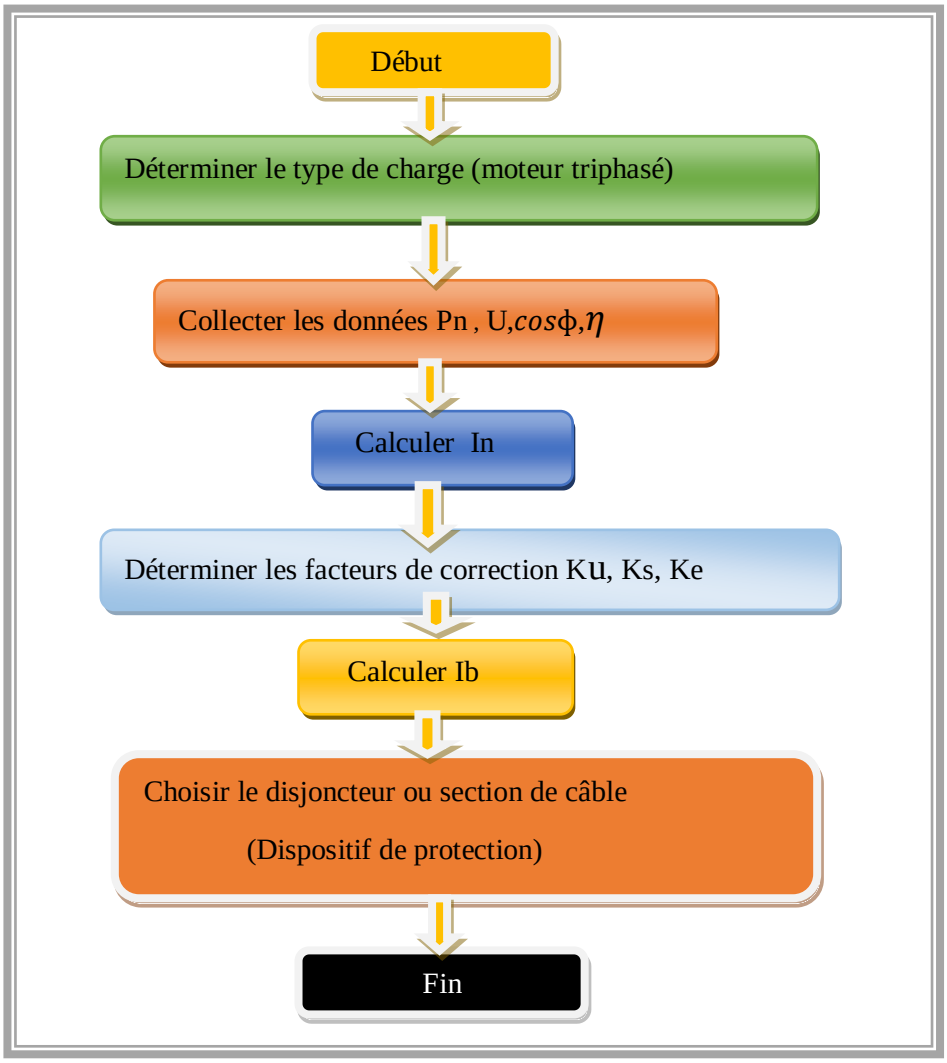


***Figure I.7 :*** Organigramme général de la démarche de calcul du courant d'emploi.

***I.8.2. Principe de choix des sections des câbles***

Dans une installation électrique, les sections des câbles et leurs protections doivent satisfaire plusieurs conditions exigées par la norme **NF C 15-100** afin d'assurer la sécurité de l'installation. Les câbles doivent :

- ✓ Supporter le courant maximal d'emploi en permanence et ses pointes transitoires.
- ✓ Les chutes de tension générées ne dépassent pas les valeurs admissibles.

Les dispositifs de protections doivent :

- ✓ Protéger le câble contre toutes les surintensités jusqu'au courant de court-circuit.
- ✓ Assurer la protection des personnes contre les contacts indirects **[3]**

La section du conducteur est déterminée en respectant les critères suivants :

- ➢ ***Condition thermique (courant admissible) :*** Le câble doit être capable de supporter le courant d'emploi Ib sans provoquer un échauffement excessif :

$\mathbf{I_b \leq Iz}$

Où Iz représente le courant admissible du conducteur en régime permanent.

- ➢ ***Condition de protection contre les surintensités :*** Le dispositif de protection (disjoncteur ou fusible) doit être correctement coordonné avec la section du câble :

$I_b \leq$ In disjoncteur $\leq$ Iz

- ➢ ***Condition de chute de tension :*** La chute de tension entre la source et le récepteur doit rester dans les limites admissibles imposées par la norme :
  - ✓ ***3%*** pour les circuits d'éclairage.
  - ✓ ***5%*** pour les autres circuits
- ➢ ***Condition de tenue au court-circuit :*** Le conducteur doit résister thermiquement au courant de court-circuit pendant le temps de coupure du dispositif de protection :

$$S \geq \sqrt{(I^2cc \times t)/k^2}$$

Où :

- ✓ Icc est le courant de court-circuit,
- ✓ T est le temps de coupure,
- ✓ K est un coefficient dépendant du matériau et de l'isolant.
- ➢ ***Conditions d'installation :*** Le choix final de la section dépend également de plusieurs paramètres pratiques :
- ✓ le mode de pose (en air libre, en goulotte, enterré, etc.),
- ✓ la température ambiante,
- ✓ le nombre de câbles groupés,
- ✓ la nature de l'isolant (PVC, XLPE...).

## *I.9 Courant admissible*

Le courant admissible est le courant maximal qu'un conducteur isolé peut transporter en toute sécurité sans dépasser les limites de température de son isolant et sa gaine. L'augmentation du courant d'emploi Ib (courant traversant un conducteur) provoque un dégagement de chaleur produite dans le conducteur par effet joule. La chaleur générée dans le conducteur doit être dissipée dans l'environnement. Si la chaleur ne peut pas s'évacuer, la température du conducteur va continuer d'augmenter jusqu'à ce que le câble dépasse sa température nominale. Le câble alors se détériorer entrainant des risques d'incendie et de contact avec l'âme conductrice.

Chaleur produite dans le conducteur par effet joule (pertes) est aggravée ou maintenue par:

- ✓ La température ambiante qui porte un conducteur à une température de base minimale.
- ✓ Les différents modes de poses qui permettent ou pas de dissiper la chaleur.
- ✓ La proximité d'autres conducteurs surtout dans un câble qui produit un chauffage mutuel (groupement de conducteurs ou câbles).
- ✓ Les facteurs divers.

### *I.9.1. Températures maximales de fonctionnement pour les isolations*

***Tableau I.7 :*** Températures maximales de fonctionnement

| Type d'isolation | Température maximale de fonctionnement (°C) |
|---|---|
| Polychlorure de vinyle (PVC) | Conducteur: 70 |
| Polyéthylène réticulé (PR) et éthylène-propylène (EPR) | Conducteur: 90 |

*NOTE Les températures maximales de fonctionnement indiquées dans ce tableau, ont été prises dans les normes NF C 32-300 et NF C 32-301*

### *I.9.2. Détermination du courant admissible Iz*

Le courant admissible théorique Izth dans le conducteur est calculé à partir du courant d'emploi Ib et de différents facteurs de correction pour tenir compte des éléments vus au-dessus (modes de pose, Température, groupement, etc.) selon la formule suivante:

$\boldsymbol{Izth = Ib/f}$ ***Avec*** $\boldsymbol{f = f1 * f2 * f3}$

$f1$: Facteur de correction pour la température ambiante

$f2$: Facteur de correction pour groupement

$f3$: Facteur de correction divers **[17]**

**Le facteur f3 est le produit de facteur comprenant par exemple**

- ✓ Le facteur à appliquer éventuellement à la méthode de référence (dans le NFC15-100-tableau 520)
- ✓ Le facteur 0,84 lorsque le conducteur neutre est chargé,
- ✓ Le facteur fs pour la symétrie dans le cas de câbles en parallèles.
- ✓ Le facteur 0,85 dans les emplacements à risque d'explosion (conditions d'influence externe BE3)
- ✓ Le facteur prenant compte la résistivité thermique du sol (dans le tableau BL)
- ✓ le facteur de symétrie 0,8 dans le cas de non-respect des conditions de symétrie indiquées dans les cas de mise en parallèle de 2 et 4 câbles par phase ou l'utilisation de 3 câbles par phase,
- ➢ ***Exemple d'application***

Alimentation d'une charge triphasé avec neutre de 150A avec un câble de R2V(PR) unipolaire posé sur chemin de câbles perforé et cheminant en groupement de 12 câbles jointifs sur 1 couche. La température est de 40°C.

Mode de pose (520) →13

Méthode de référence (52G) →f =1

Température 40°C (52K) →f=0.91

Groupement (52N) →f=0,72

Nombre de couches (520) →f=1

Facteur de correction $f = 1 \times 0{,}91 \times 0{,}72 \times 1 = 0{,}66.$

$\mathbf{I_b}$= 150 A.

$\mathbf{Iz} \geq \frac{150}{0.66}$ =227.3 A → S (52H)= $70mm^2$

## *I.10. Présentation de l'installation des complexes (GP1Z)*

### *I.10.1. Présentation générale du complexe*

Le complexe GP1/Z dénommé<< JUMBO GPL », dépend directement de la division GNI. Et GPL. De l'Activité LRP de l'entreprise nationale SONATRACH. Il est conçu pour le traitement de GPL provenant des champs gaziers et pétroliers du sud de l'Algérie.

Le site GP1/Z est certifié ISO 14001 version 2015, ISO 9001 version 2015. Afin de permettre une exploitation optimale des ressources disponibles, l'organisation du complexe GP1/Z. est étudiée de façon à avoir une coordination complète entre les différentes structures de l'usine. Le complexe GP1/Z est composé d'une direction et deux sous directions et des départements **[4].**

### *I.10.2. Département maintenance*

Le complexe GP1/Z dispose d'un département maintenance chargé d'assurer le bon fonctionnement et la disponibilité des équipements industriels, en particulier ceux liés à la production. Ce département joue un rôle essentiel dans la maintenance préventive et corrective afin de garantir la continuité du service et la fiabilité des installations.

Le département maintenance est organisé en plusieurs services spécialisés:

- ✓ service mécanique.
- ✓ Service chaudronnerie.
- ✓ service instrumentation.
- ✓ service électrique.
- ✓ service logistique.

### *I.10.3. Situation géographique du complexe GP1/Z*

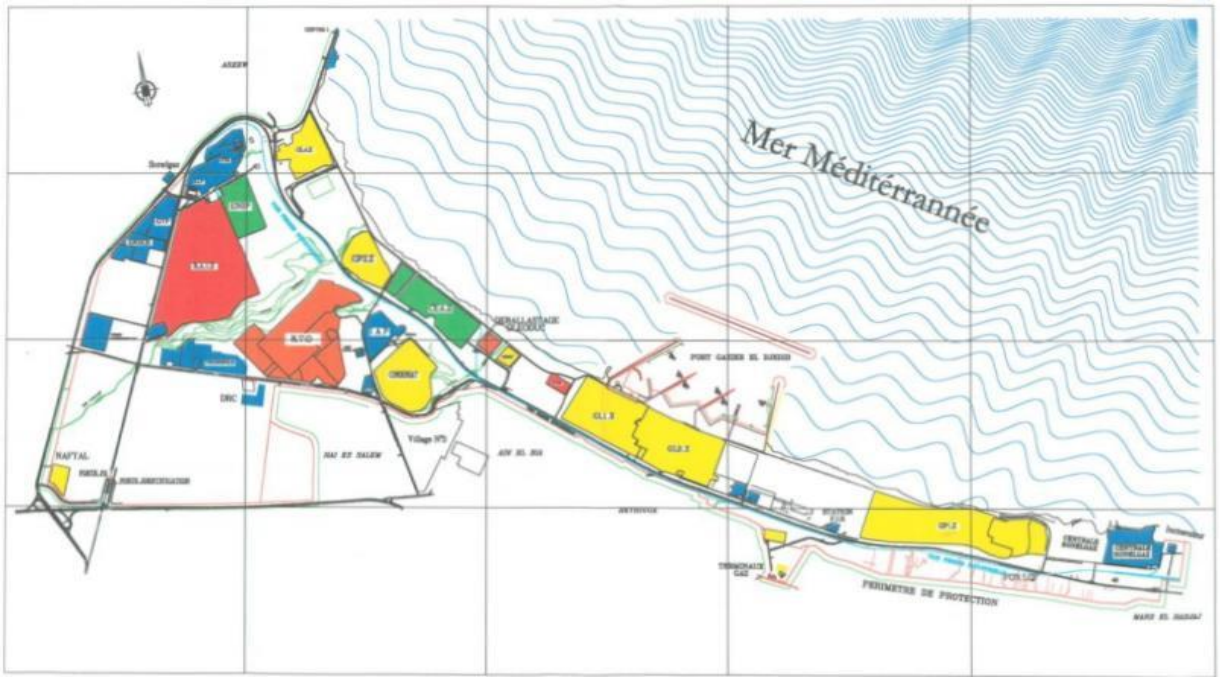


***Figure I.8:*** vue générale du complexe GP1Z.

### *I.10.4. Source d'énergie*

Le complexe GP1/Z est alimenté par deux lignes hautes tension (HTB) de 63 kV, provenant du poste d'interconnexion MARSAT, chacune offrant une puissance de 90 MVA. La phase III du complexe est quant à elle alimentée provisoirement par un piquage sur l'une de ces deux lignes. Le choix du niveau de tension de 63 kV permet de limiter les perturbations sur le réseau, de réduire les courants de transit et d'utiliser des conducteurs de section plus faible, sachant que le courant total absorbé par l'ensemble des équipements avoisine les 60 A. Cette configuration contribue également à prévenir les surcharges des équipements, adaptée aux charges de forte puissance du complexe. En cas de coupure sur une des deux lignes, un disjoncteur de couplage se ferme automatiquement pour assurer la continuité de l'alimentation électrique.

#### *I.10.4.1. Générateur de secours*

Le complexe GP1/Z dispose d'un système de secours redondant, chaque salle de commutation étant assurée par deux groupes électrogènes. Les phases I et II utilisent une combinaison turbine à gaz et moteur diesel, tandis que la phase III repose sur deux moteurs diesel. Ces groupes, d'une tension de 5,5 kV, présentent des puissances et courants adaptés aux besoins spécifiques de chaque phase (allant de 920 kW à 3,7 MW). Un seul groupe par salle est maintenu en service via un sectionneur, alimentant les équipements critiques des tableaux et barres correspondants (EB22, B20, 3B11, etc.), assurant ainsi la continuité électrique en cas de défaillance du réseau principal.

Leurs caractéristiques de générateur de secours de phase 02 sont comme suites:

- ✓ 5.5 kV, 920 kW, 120 A.
- ✓ Un seul groupe est sectionneur.
- ✓ Ils alimentent les équipements jugés importants 5.5 kV de la barre B20 ainsi que le MCCE 20B

***Figure I.9:*** générateur de secours phase 2.

### *I.10.5. Sous station*

L'énergie électrique acheminée à travers les deux lignes de transport est répartie via huit départs transformateurs alimentés à partir de deux demi-jeux de barres dotées d'un disjoncteur de couplage (système redondance), la différence entre la sous station I et III est la technologie utilisée (I ancienne et III moderne).

Les arrivées SONELGAZ ainsi que les départs transformateurs sont équipées par des dispositifs :

- ✓ ***De sectionnement***: les sectionneurs de ligne, les sectionneurs de mise à la terre, les sectionneurs d'isolement.
- ✓ ***De coupure***: les disjoncteurs GCB (Gaz Circuit Breaker) qui utilise le SF6 comme gaz d'extinction d'arc et l'air comprimé comme énergie motrice des vérins polaires. L'air comprimé est produit par trois compresseurs installés dans le poste et les parafoudres à l'entrée du poste.
- ✓ ***De protection***: les relais de protection à maximum de courant instantané et temporisé, directionnelle, de distance, différentielle à minimum de tension et de délestage.
- ✓ ***De comptage et de mesure***: transformateurs de mesure, ampèremètre, voltmètre, fréquencemètre, énergie active et réactive et signalisation.
- ✓ ***De supervision***: transmetteurs de mesure, relais de signalisation.

### *I.10.6. Salle de commutation Phase 2:*

Contient Complexe Sur trois Salle de commutation Nous parlerons de La salle de commutation de la phase II a pour fonction de fournir l'énergie électrique à l'ensemble des équipements des trains de procédé de la phase II (train 500,600), elle est constituée de :

- ✓ 02 demi jeux de barres 5.5 KV B10 et B20, doté d'un disjoncteur de couplage.
- ✓ 02 transformateurs 63/5.5 KV de 30 MVA.
- ✓ Chaque transformateur 63/5.5 KV alimente un demi jeu de barre destinée à alimenter les équipements 5.5 KV des trains 500 et 600 ainsi que la zone de stockage et d'utilité.
- ✓ Chaque demi jeu de barre alimente un transformateur 5.5/0.38 KV de 2000 KVA, destinée à alimenter les équipements 380 V des trains 500 et 600 via le MCC 10A et MCC 20A.
- ✓ Le deuxième jeu de barre B20 alimente un transformateur 5.5/0.38 KV de 1000 KVA destinée à alimenter les équipements 380 V jugé importants et commun aux deux trains.
- ✓ La barre B20 est secourue par deux groupes de secoures T/G et D/G.
- ✓ Transformateurs émergés 5.5/0.38 KV, couplés en A/Y à la terre.
- ✓ Disjoncteurs ACB type Masterpact 380 KV dotés de déclencheurs STR38S.
- ✓ Système de protection 50, 51, 51G, 27, 59.

- ✓ Relais numérique de protection S2E21 pour les équipements 5.5 KV et MMR pour les équipements 380 V.
- ✓ Panneaux relais d'interface de commandes.
- ✓ Batteries de condensateur branché sur les jeux de barre 5.5 KV sont équipées de régulateurs automatiques de puissance réactive (AQR) installé sur le panneau de relais.
- ✓ Alimentation ininterrompue UPS 110 V CA destinée au contrôle commande, les systèmes de sécurité et aux salles de contrôles.
- ✓ Chargeur de batteries 110 V CC destinée au contrôle commande,
- ✓ Les systèmes de sécurité et aux salles de contrôles.
- ✓ PLC de contrôle commande numérique.

***Figure I.10:*** salle de commutation.

***I.10.6.1. Architecture de distribution***

Le réseau est conçu de manière hiérarchique :

***a-Niveau Haute Tension (HT / 63 kV):*** Entrée depuis Sonelgaz vers le poste principal.

***b- Niveau Moyenne Tension (MT):*** Après abaissement via les transformateurs. Le schéma montre une tension de 5,5 kV (5.5KV) distribuée vers différents circuits (B20, B30, etc.). Cette tension est adaptée aux gros moteurs (compresseurs, pompes).

***c- Niveau Basse Tension (BT / 380 V):*** Obtenue après une seconde transformation (de 5,5 kV à 380 V) via des transformateurs de distribution secondaires. Utilisée pour l'éclairage, les prises de courant, les systèmes de contrôle (auxiliaires) et les petits moteurs.

***1.10.7. Qualité de l'installation électrique***

Dans tout complexe industriel (tel que GP1Z), les équipements électriques constituent l'épine dorsale de son fonctionnement et de sa continuité, Ils englobent les compresseurs pour la production d'air comprimé, les pompes pour la circulation des fluides, les systèmes de contrôle pour l'automatisation et le suivi des opérations, les systèmes d'éclairage intérieur et extérieur, ainsi que divers auxiliaires tels que les ventilateurs et autres équipements de support. Leur rôle principal est:

***a- Assurer l'alimentation électrique (Alimentation en énergie)***

Les équipements électriques fournissent l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement sans interruption de tous les équipements industriels.

***b- Continuité et fiabilité***

Le réseau électrique doit être conçu de manière à éviter les pannes. Le processus de production a été perturbé en raison de pannes électriques, à travers: -Disposer d'une source d'alimentation de secours, de générateurs d'énergie alternatifs.

- ✓ Systèmes de protection avancés contre les abus mineurs Et des perturbations.
- ✓ Redondance (Répartition de l'énergie sur des circuits parallèles).

***c- Sûreté et sécurité:***

- ✓ Protection des personnes grâce aux systèmes de mise à la terre des disjoncteurs, Isolation différentielle et adaptée.
- ✓ Protection des équipements par disjoncteurs, de surveillance de charge. Protection contre les hautes et basses tensions.

***d- Efficacité énergétique***

- ✓ Utilisation de transformateurs et de moteurs à haut rendement.
- ✓ Systèmes de contrôle intelligents pour optimiser la consommation d'énergie (tels que les Systèmes de gestion de l'énergie EMS).

***e-Intégration avec les systèmes de contrôle et de surveillance***

Les équipements électriques constituent l'infrastructure des systèmes de contrôle. Les systèmes automatisation, et SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) Permettent une gestion sécurisée et à distance des opérations.

### *I.10.8. Conception pour la fiabilité et la continuité de service*

- ➢ ***Redondance et parallélisme***

Présence de transformateurs doubles (A & B) et de chemins de distribution multiples (Phase-I, Phase-II sur la figure I.8) permettant la maintenance ou la mise hors service d'une partie du réseau sans arrêt total de l'usine.

- ➢ ***Protections électriques***

Disjoncteurs à chaque niveau (ex. VCB_BT10 pour les disjoncteurs basse tension à vide, GCB_CT13 pour les disjoncteurs moyens tension) pour isoler rapidement les sections défectueuses et protéger le reste du réseau.

- ➢ ***Système de contrôle-commande (SCADA):***

Mentionné dans la partie "Schéma de communication", un système centralisé supervise l'état de tous les disjoncteurs (CB), transformateurs (TR) et équipe mer distance, permettant une exploitation sûre et efficace.

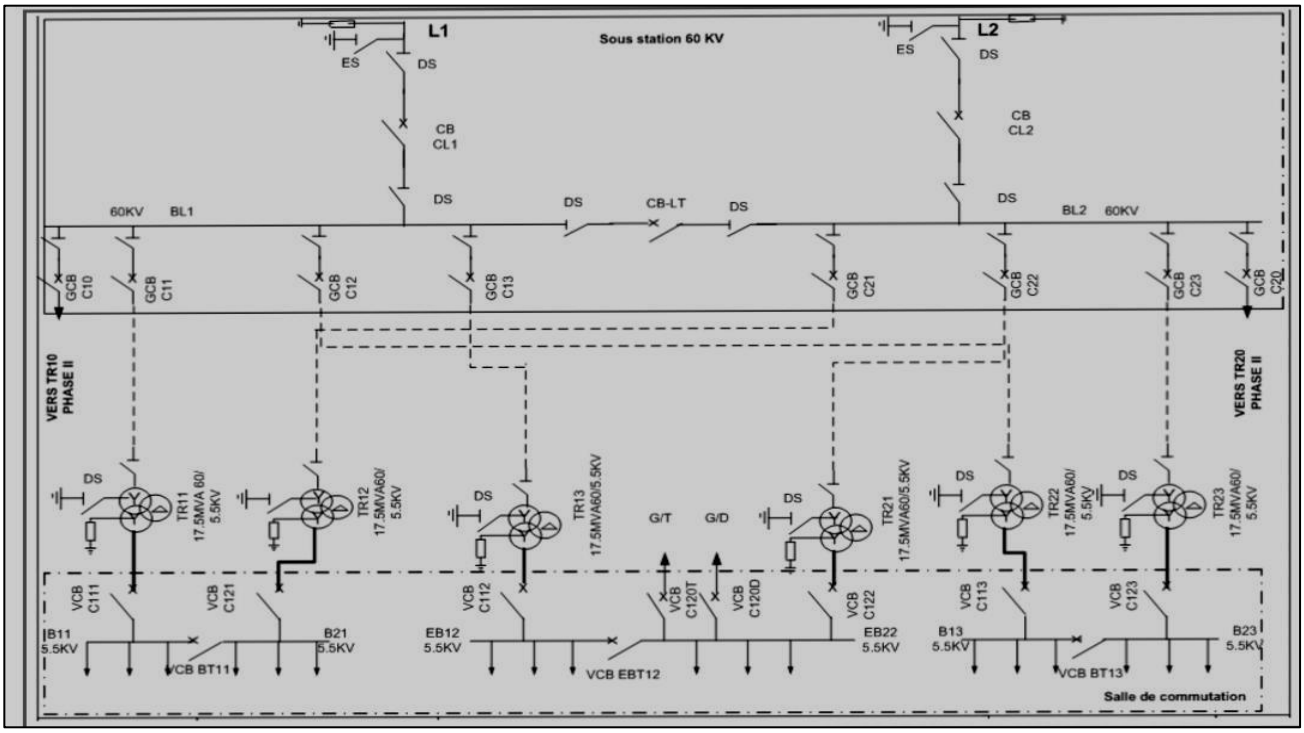


***Figure I.11 :*** schéma unifilaire du complexe GP1/Z.

## *I.11. Objectif de travail*

L'objectif principal de ce travail est d'étudier et d'analyser le réseau électrique d'une installation industrielle, en particulier celui du complexe GP1Z, afin d'assurer une alimentation électrique fiable, sécurisée et conforme aux normes en vigueur.

Plus précisément, ce travail vise à :

- ✓ Comprendre la structure hiérarchique du réseau électrique, depuis la production jusqu'à la distribution.
- ✓ Identifier les différents niveaux de tension (HT, MT, BT) et leurs rôles dans l'alimentation des charges industrielles.
- ✓ Étudier les postes de livraison et leur importance dans l'interface entre le réseau public et l'installation industrielle.
- ✓ Analyser les installations industrielles du complexe GP1Z et leurs besoins énergétiques.
- ✓ Réaliser un bilan de puissance pour déterminer la puissance installée et la puissance appelée.
- ✓ Calculer le courant d'emploi de chaque départ.
- ✓ Choisir correctement la section des câbles en fonction du courant admissible, des chutes de tension et des contraintes thermiques.
- ✓ Contribuer à l'amélioration de la fiabilité, de la sécurité et de la performance énergétique de l'installation.

## *I.12. Méthodologie de travail*

Pour atteindre ces objectifs, la méthodologie de travail adoptée repose sur les étapes suivantes :

- ✓ ***A***-Étude bibliographique et normative :

Recherche documentaire sur les réseaux électriques industriels et consultation des normes (notamment NF C 15-100) relatives aux installations électriques.

- ✓ ***B***-Analyse du réseau électrique :

Étude de la structure du réseau électrique : production, transport, répartition et distribution, avec identification des niveaux de tension et des équipements principaux (transformateurs, disjoncteurs, jeux de barres, etc.).

- ✓ ***C***-Présentation du complexe GP1Z :

Description générale du complexe, de ses unités de production et de ses principales charges électriques.

- ✓ ***D***-Collecte des données techniques :

Récupération des caractéristiques des équipements : puissances, tensions, facteurs de puissance, rendements, modes de fonctionnement.

- ✓ ***E***-Réalisation du bilan de puissance :

Calcul de la puissance totale installée et de la puissance demandée en tenant compte des coefficients de simultanéité et de foisonnement.

- ✓ ***F***-Calcul des courants d'emploi :

Détermination des courants dans chaque départ à partir des puissances et tensions nominales.

## *I.13. Conclusion*

Ce chapitre a permis de présenter les notions générales relatives aux réseaux électriques industriels ainsi que la méthodologie adoptée pour la conception et l'étude d'une installation électrique. Les principaux éléments constitutifs d'un réseau électrique, depuis la production jusqu'à la distribution, ont été abordés, de même que les objectifs et la démarche suivie dans ce travail. Par ailleurs, une présentation générale de l'entreprise et du complexe industriel GP1Z a été effectuée, permettant de situer le contexte réel de l'étude et de mieux comprendre les caractéristiques de l'installation électrique concernée. Ce cadre théorique et méthodologique constitue une base nécessaire pour aborder, le chapitre suivant, qui sera réserver l'étude du système de protection électrique.

# Chapitre 02
# Protection de réseau

## *II.1. Introduction*

De manière générale, les dispositifs de protection assurent une surveillance continue de l'état de fonctionnement des différents éléments du réseau électrique. Ils permettent de mettre hors service les composants des l'apparition d'un défaut ou lors qu'ils sont exposés à des perturbations susceptibles de compromettre leur bon fonctionnement. Ces dispositifs contribuent également à la protection des personnes et des biens, tout en garantissant la continuité de l'alimentation en énergie électrique. Ainsi, le système de protection limité les contraintes thermiques, réduit le vieillissement des équipements et participe au maintien de la stabilité du réseau.

Le choix d'un dispositif de protection ne constitue pas une décision isolée, mais représente une étape essentielle dans la conception d'un réseau électrique. En effet, la sélection des protections appropriées nécessite une étude préalable du comportement des équipements électriques en situation de défaut et des phénomènes associés. Pour atteindre ses objectifs, un système de protection doit présenter des caractéristiques de rapidité, de sélectivité et de fiabilité. Par ailleurs, le choix des protections repose souvent sur un compromis technico-économique entre le niveau de sécurité recherché et la disponibilité de l'alimentation électrique.

La fonction de protection est basée sur la détection et l'élimination rapide des défauts tels que les courts-circuits, les défauts d'isolement à la terre, les surcharges et les surtensions, à l'aide des dispositifs comme les fusibles, les disjoncteurs, les relais de protection et les parafoudres. Les principes fondamentaux de la protection sont la sélectivité, la rapidité, la sensibilité et la fiabilité, permettant d'isoler uniquement la partie défectueuse du réseau tout en réduisant les perturbations sur le reste de l'installation. Enfin, les normes et réglementations en vigueur définissent les exigences techniques et les conditions de mise en œuvre a fin d'assurer un fonctionnement sûr et efficace des installations électriques.

## *II.2. Etude des protections d'un réseau:*

L'étude des protections d'un réseau consiste essentiellement à définir un plan de protection, puis à assurer la coordination ou la sélectivité entre les différents dispositifs de protection.

### *II.2.1. Définition du système de protection:*

Le système de protection correspond à la sélection appropriée des dispositifs de protection ainsi qu'à l'organisation globale de l'ensemble, de manière cohérente et conforme aux caractéristiques du réseau électrique.

Il est constitué d'une chaîne fonctionnelle regroupant plusieurs éléments essentiels (Figure II.1), à savoir:

- ✓ Les capteurs de mesure *(*courant *et* tension*),* qui assurent l'acquisition des grandeurs électriques nécessaires à l'identification des défauts.
- ✓ Les relais de protection, chargés de surveiller *en* continu l'état du réseau électrique et de générer les ordres de déclenchement pour isoler les parties défaillantes.
- ✓ Les dispositifs de coupure, ayant pour rôle l'élimination effective des défauts, tells que les disjoncteurs, les interrupteurs-fusibles et les contacteurs-fusibles.

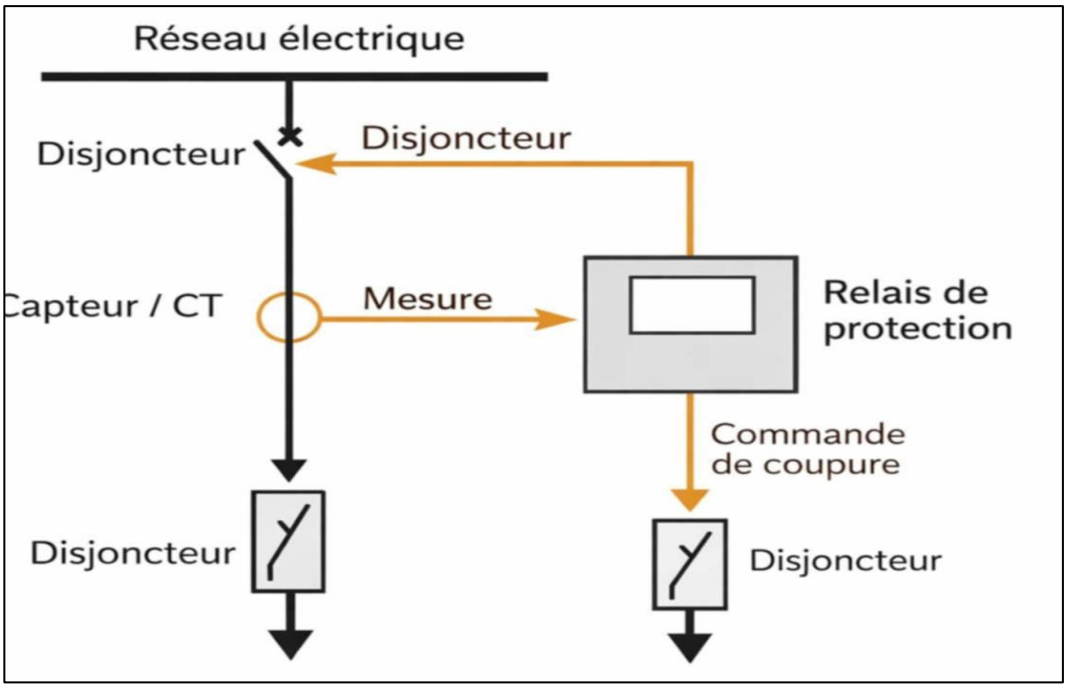


***Figure II.1 :*** simplifiée de la chaîne de protection électrique.

## *II.3. Type de protection*

### *II.3.1. Protections directionnelles:*

Le rôle fondamental des protections d'un réseau électrique est de détecter un défaut électrique et de mettre hors tension la portion du réseau qui est le siège de ce défaut portion la

Plus limitée possible. La protection directionnelle permet de discriminer la partie du réseau en défaut mieux que ne le fait une protection à maximum de courant.

Elle est nécessaire en cas de défaut :

- ✓ En présence de plusieurs sources;
- ✓ Si boucles fermées ou câbles en parallèles.
- ✓ En neutre isolé pour les retours de courants capacitifs.
- ✓ Et pour détecter le sensé a normal d'écoulement d'énergie active ou réactive (machines tournantes). Ainsi, dans la situation d'un réseau à deux sources illustrée par la Figure (II.2), les protections à maximum de courant déclencheraient **[11].**

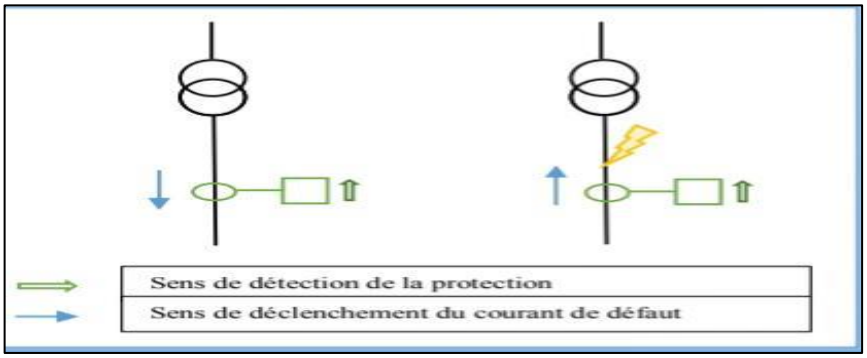


***Figure II.2:*** *illustration du* rôle des protections directionnelle.

### *II.3.2. Protections différentielles*

Dans un circuit électrique, entre le générateur et le récepteur, des courants dont la somme vectorielle est nulle, circulent dans chaque conducteur actif. Dans le cas d'une distribution monophasée, le courant qui circule dans la phase ou le conducteur aller est identique à celui qui circule dans le neutre ou le conducteur retour, mais leur direction est opposée.

Ainsi, toute différence de courant entre les conducteurs actifs ne peut être due qu'à un défaut, l'autre partie du courant passe par un autre circuit comme la terre. Le dispositive différentiel mesure en

permanence les courants et, en cas de défaut, provoque l'ouverture du circuit. Le même raisonnement peut être pour suivi pour des Systems polyphasés ***[12].***
Pour réaliser ces trois étapes la protection différentielle se décompose en quatre Parties

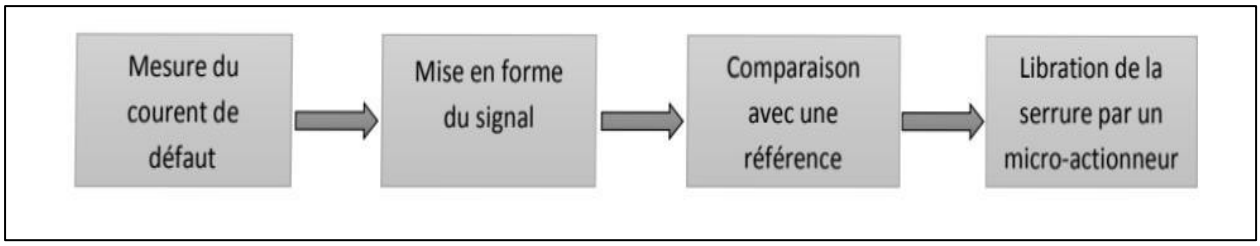


***Figure II.3:*** Synoptique d'une fonction différentielle.

## *II.4. Les Origines des défauts*

Les anomalies dans un système électrique peuvent résulter de plusieurs types de causes *:*

- ✓ ***Causes mécaniques:*** rupture de câble ou création d'un chemin électrique involontaire entre deux phases, par exemple par l'intermédiaire d'un objet externe.
- ✓ ***Causes d'origine électrique:*** altération de la qualité de l'isolation (entre phases ou entre une phase et la terre), souvent amplifiée par des surtensions provoquées lors de manœuvres sur le réseau ou par des impacts de foudre.
- ✓ ***Causes humains:*** erreurs d'exploitation comme la mise intention elle mais mal contrôlée d'une phase à la terre, l'inter connexion accidentelle de sources ou de phases de tensions différentes, ou encore la fermeture intempestive d'un disjoncteur. *[15]*

### *II.4.1. Les type des défauts des réseaux :*

- ✓ ***Les defaults triphasés:*** Ce sont les courts-circuits entre les trois phases avec ou sans mise à la terre.
- ✓ ***Les defaults biphasés:*** Ce sont les courts-circuits entre deux phases ou une phase et le neutre avec ou sans mise à la terre.
- ✓ ***Les defaults monophasés:*** Ce sont des défauts entre une phase et la terre ou une phase et le neutre. Ils génèrent la circulation d'un courant homopolaire. Leur intensité est limitée par la Résistance de terre et par la mise à la terre du neutre.

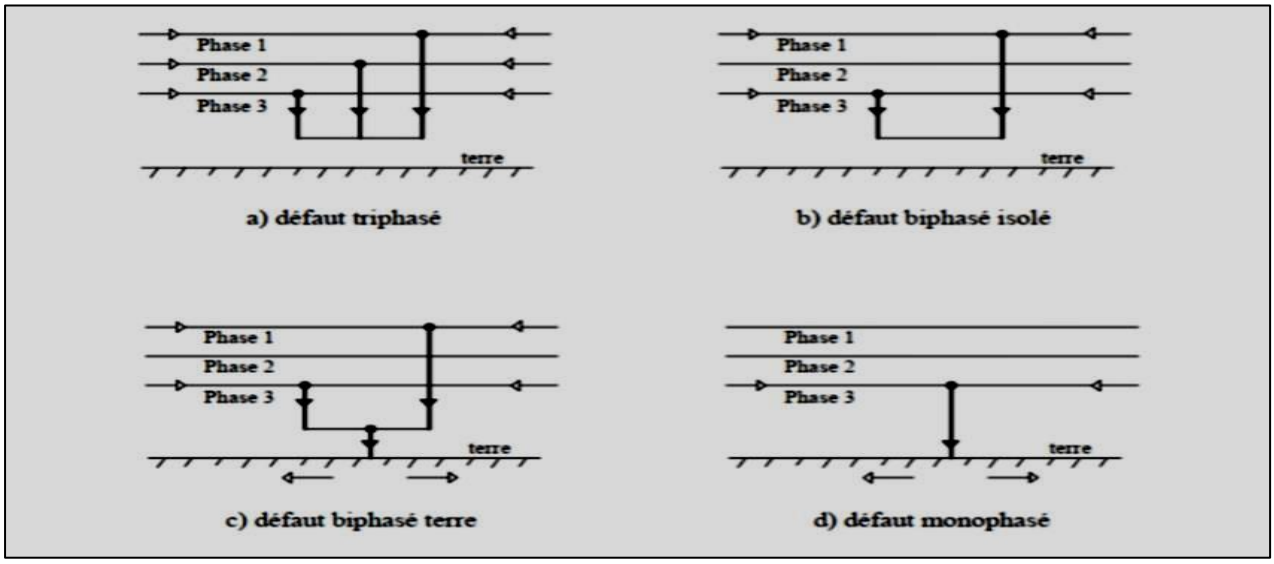


***Figure II.4 :*** Différents types de court-circuit.

### *II.4.2. Les Caractéristiques des défauts*

Ils sont principalement caractérisés par:

- ✓ ***Leurs durées:*** Auto-extincteur, fugitive ou permanent.
- ✓ ***Leurs origines:*** Electrique, atmosphérique, mécanique et humain.
- ✓ ***Leurs localisations:*** Interne ou externe à une machine ou à un tableau électrique. Outre ces caractéristiques, les courts- circuits peuvent être.

- ✓ ***Monophasés:*** 80% des cas.
- ✓ ***Biphasés:*** 15% des cas. Ces défaults dégénèrent souvent en défaults triphasés.
- ✓ ***Triphasés:*** 5% seulement des l'origine.

### *II.4.3. Les* conséquences des défauts

#### *II.4.3.1. Le court-circuit*

Le court circuit est souvent dû à une défaillance électrique importante comme la rupture d'un isolant, la chute d'un objet métallique sur des barres ou la défaillance d'un semi conducteur. Il en résulte un courant de défaut dont la valeur efficace est très élevée (typiquement supérieure à 10 fois la valeur du courant nominal de l'installation). L'effet thermique est tellement rapide que les dégâts dans l'installation se produisent en quelles millisecondes, provoquant un arc électrique.

#### *II.4.3.2. Surcharge*

Lorsqu' une installation est franchie d'un courant électrique plus grand que d'être construite, il est dit qu'il y a une surcharge (courant supérieur au courant 1> (1 a 10).

#### *II.4.3.3. Les surintensités*

L'augmentation soudaine et importante de la tension nominale du, par exemple, a un coup.

#### *II.4.3.4. Le déséquilibre*

Un système électrique triphasé est déséquilibré lorsque les chaînes et les tensions triphasées sont des valeurs différentes.

## *II.5. Analyse Comparative Généralisée des Régimes de Neutre*

Le choix d'un régime de neutre est une décision stratégique dans la conception d'un réseau électrique. Il résulte d'un arbitrage entre des objectifs parfois contradictoires : sécurité des personnes et des biens, continuité de la fourniture d'énergie, coût d'investissement et d'exploitation, et contraint est technologiques liées à la tension et à la nature du réseau (aérien/souterrain).

### *II.5.1. Neutre isolé*

- ➢ ***Définition***

Dans ce régime, le point neutre de la source n'a aucune connexion électrique intentionnelle avec la terre. Il n'est relié à la terre qu'à travers les impédances naturelles du réseau, principalement les capacités des câbles et des lignes par rapport à la terre.

- ➢ ***Avantages***
- ✓ ***Continuité de service :*** Un premier défaut d'isolement (phase-terre) ne provoque qu'un faible courant capacitive .L'installation peut continuer à fonctionner sans coupure, ce qui est critique pour certains processus industriels.
- ✓ ***Faible courant de défaut :*** Le courant de premier défaut est limité à quelques ampères, minimisant les risqué d'arc électrique et les dégâts au point de défaut.
- ➢ ***Inconvénients***
- ✓ ***Sur tensions :*** Risque élevé de sur tensions transitoires et permanentes. En cas de défaut, les phases saines sont portées à la tension composée (√3 fois la tension simple) par rapport à la terre, ce qui sollicite fortement l'isolement.
- ✓ ***Second défaut dangereux :*** Si un premier défaut n'est pas éliminé et qu'un second défaut survient sur une autre phase, il se crée un court-circuit biphasé à travers la terre, générant des courants de défaut très élevés.
- ✓ ***Détection complexe :*** La localisation du premier défaut est difficile et nécessite un équipement de surveillance permanent de l'isolement (CPI) et un personnel qualifié pour la recherche.

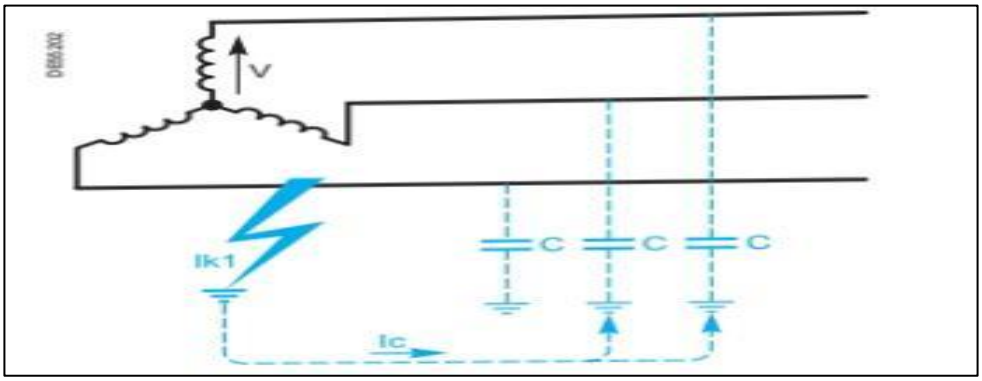


***Figure II.5:*** courant de défauts capacitifs sur le réseau isolé.

### *II.5.2. Mise à la Terre par Résistance*

- ***Définition***

Une ou plusieurs résistances sont insérées intentionnellement entre le point neutre et la terre. Le but est de limiter le courant de défaut phase-terre à une valeur choisie (généralement de quelques dizaines à quelques centaines d'ampères).

- ***Avantages***
- ✓ ***Compromis optimal :*** Offre un bon équilibre entre la limitation du courant de défaut et le contrôle des sur tensions transitoires, qui sont mieux “écoulées” à la terre que dans le régime isolé.
- ✓ ***Protections simples :*** Le courant de défaut, bien que limité, est suffisamment élevé pour être détecté facilement par des protections de courant (type 51N), permettant une sélectivité simple.
- ✓ ***Niveau d’isolement :*** Permet de dimensionner l’isolement des matériels (câbles, transformateurs) pour la tension simple (phase-neutre) et non pour la tension composée, ce qui peut réduire les coûts.
- ***Inconvénients***
- ✓ ***Perte de continuité :*** Contrairement au neutre isolé, un premier défaut doit être éliminé automatiquement et immédiatement par les protections (coupure au premier défaut).
- ✓ ***Coût de la résistance :*** Le coût de la résistance elle-même augmente avec la tension du réseau et la valeur de l’énergie qu’elle doit dissiper en cas de défaut.
- ✓ ***Courant de défaut non nul :*** Bien que limité, le courant peut encore être suffisamment élevé pour causer des dommages au point de défaut (ex: dans les machines tournantes), d’où l’utilisation de faibles valeurs (15-50 A) pour celles-ci.

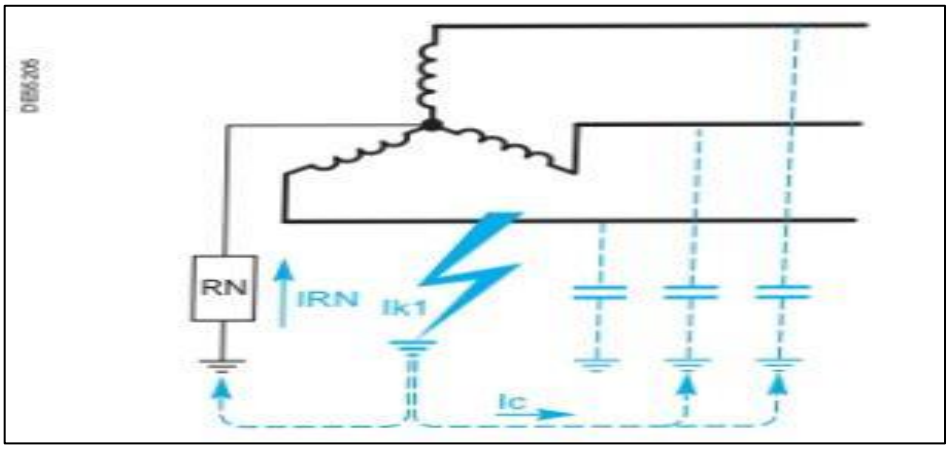


***Figure II.6:*** Réalisation mise a la terre pour neutre accessible résistance entre neutre et la terre.

### *II.5.3. Mise à la Terre par Réactance Faible*

- ***Définition***

Une réactance (inductance) de faible valeur est placée entre le neutre et la terre. Elle est principalement utilisée dans les réseaux à haute tension (> 40 kV) car il est techniquement plus difficile de concevoir des résistances pour ces niveaux de tension.

- ***Avantages***
- ✓ ***Adapté à la haute tension :*** Plus facile et moins coûteux à réaliser qu'une résistance pour les réseaux à très haute tension.
- ✓ ***Écoulement des surtensions :*** Permet un écoulement partiel des surtensions, meilleur qu'avec un neutre isolé mais généralement moins bon qu'avec une résistance.
- ***Inconvénients***
- ✓ ***Limitation du courant :*** Moins efficace qu'une résistance pour limiter le courant de défaut, qui peut atteindre plusieurs centaines d'ampères, ce qui cause plus de stress thermique et mécanique sur le réseau.
- ✓ ***Construction délicate :*** La construction et la protection de la réactance elle-même (contre les courts-circuits internes, etc.) peuvent être complexes.

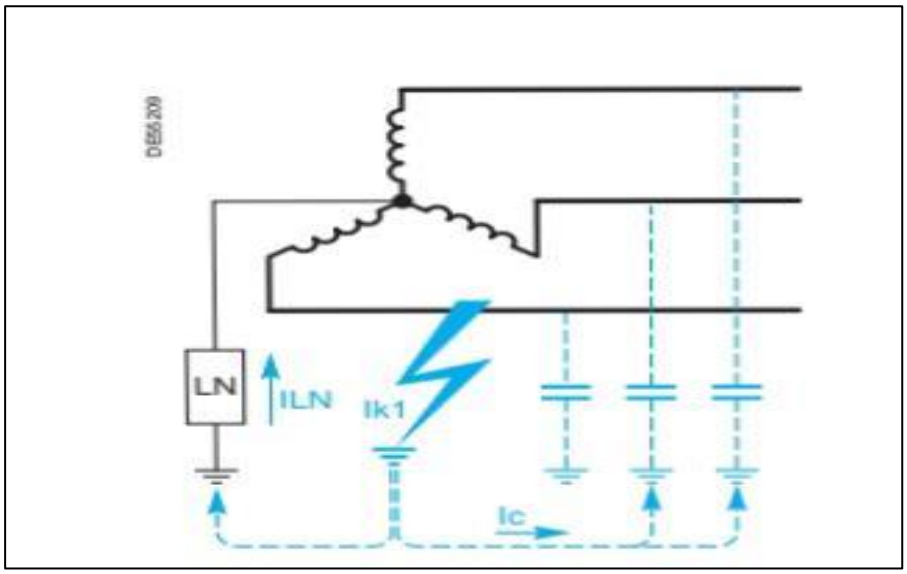


***Figure II.7:*** réalisation de mise à la terre pour neutre accessible.

### *II.5.4. Mise à la Terre par Réactance de Compensation :*

- ***Définition***

Une inductance variable (bobine de Petersen) est connectée entre le neutre et la terre. Elle est "accordée" pour que sa réactance inductive soit égale à la réactance capacitive totale des phases saines par rapport à la terre. Ainsi, en cas de défaut, le courant inductif de la bobine compense le courant capacitif du réseau, rendant le courant de défaut Presque nul.

- ***Avantages***
- ✓ ***Extinction automatique des défauts :*** Pour les défaults fugitives ou non permanents (les plus fréquents sur les réseaux aériens), le courant total au point de défaut étant quasi-nul (compensé), l'arc électrique s'éteint de lui-même.
- ✓ ***Faible courant de défaut résiduel :*** Le courant de défaut permanent est réduit à une faible composante active (quelques ampères), limitant les dégâts et les tensions de contact.
- ✓ ***Continuité de service maintenue :*** L'installation peut rester en service même avec un défaut permanent, car le courant est compensé.
- ***Inconvénients***
- ✓ ***Coût élevé :*** La bobine de Petersen est un équipement coûteux, d'autant plus si elle doit être à priserai gelables pour s'adapter aux changements de configuration du réseau.

- ✓ ***Protection sélective complexe :*** La détection et la localisation du départ en défaut sont plus délicates, car le courant de défaut est très faible. Elle repose souvent sur la détection de la composante active du courant.
- ✓ ***Risques de surtensions :*** Des surtensions transitoires importantes peuvent apparaître, surtout si la compensation n'est pas parfaitement accordée.
- ✓ ***Nécessite une surveillance :*** Un personnel qualifié doit surveiller et régler la bobine pour maintenir la compensation.

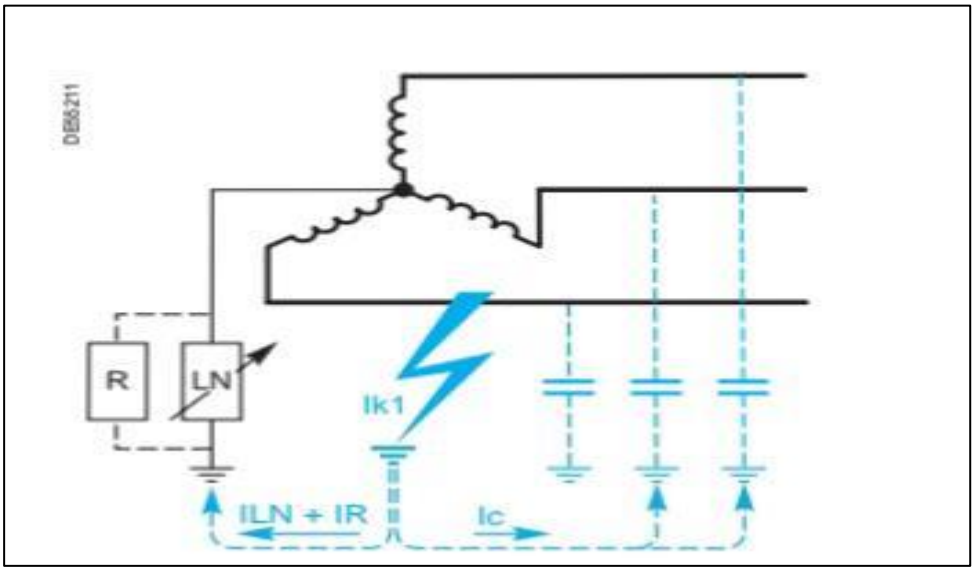


***Figure II.8:*** défauts à la terre dans un réseau avec réactance de computation à la terre.

### *II.5.5. Directement à la Terre:*

- ➢ ***Définition***

Le point neutre est relié directement à la terre, sans aucune impédance volontairement insérée (liaison d'impédance nulle).

- ➢ ***Avantages***
- ✓ ***Écoulement parfait des surtensions :*** Ce schéma est idéal pour évacuer les surtensions (atmosphériques ou de manœuvre) vers la terre, protégeant ainsi l'isolation des équipements.
- ✓ ***Protections simples et rapides :*** Un défaut phase-terre étant un court-circuit franc, il est détecté très rapidement par les protections de surintensité de phase (défaut de type "phase-neutre").
- ✓ ***Niveau d'isolement minimal :*** Les matériels peuvent être dimensionnés avec un niveau d'isolement prévu pour la tension simple, car les surtensions sont bien contrôlées.
- ➢ ***Inconvénients***
- ✓ ***Courant de défaut extrêmement élevé :*** Le courant de défaut peut atteindre des valeurs proches du courant de court-circuit triphasé, causant des efforts thermiques et mécaniques considérables, ainsi que des perturbations importantes sur le réseau.
- ✓ ***Danger pour les personnes :*** Les tensions de contact et de pas qui apparaissent pendant la durée du défaut (même courte) peuvent être très élevées et mortelles.
- ✓ ***Pas de continuité de service :*** Le départ en défaut est systématiquement et immédiatement coupé.

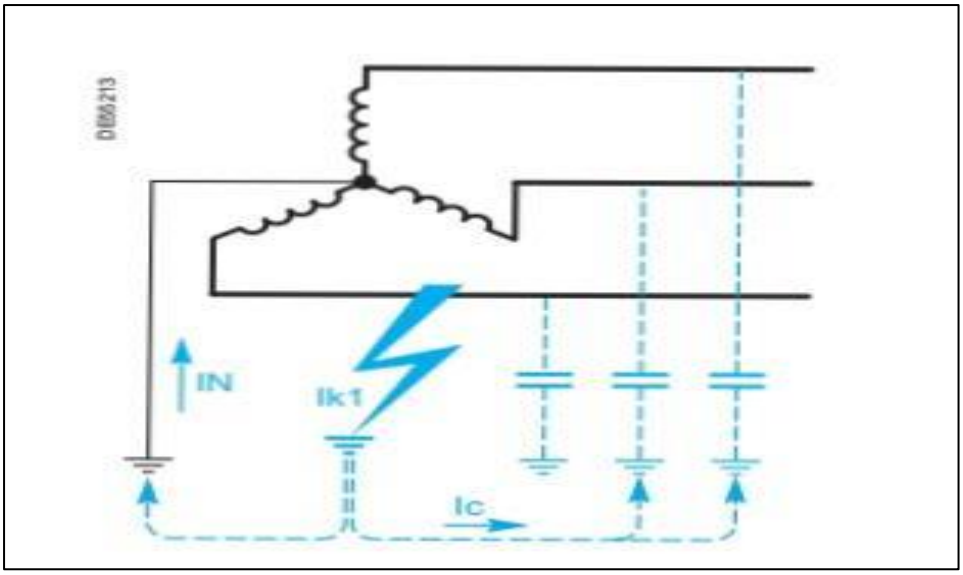


***Figure II.9:*** défauts à la terre dans un réseau à neutre direct à la terre.

## *II.6. Les dispositifs de protections*

### *II.6.1. Appareillage de protection contre les surintensités*

#### *II.6.1.1. Le disjoncteurs*

Le disjoncteur est un élément important du panneau électrique puis qu'il est relié directement à tous les équipements électriques d'une habitation ou bâtiment. C'est un interrupteur manuel qui connecte ou déconnecte les appareils électriques de l'alimentation électrique matérialisée par le panneau électrique. Sa particularité réside dans le fait qu'il se déclenche de façon automatique quand il s'agit de protéger et de sécuriser une installation électrique de tout court-circuit. Il assure donc un rôle de protecteur pour l'habitation ou le bâtiment. Un court-circuit, c'est une sur intensité provoquée par un contact accidentel entre deux conducteurs du même circuit électrique. Lorsque cette sur intensité électrique se produit, le disjoncteur est active automatiquement pour couper le courant. Le disjoncteur possède un interrupteur qui joue le rôle de levier sur le panneau électrique. Dans le cas d'une sur intensité, l'interrupteur se place en position OFF ou 0 selon le modèle. Le reste du temps, le courant circule sans interruption 24h/24

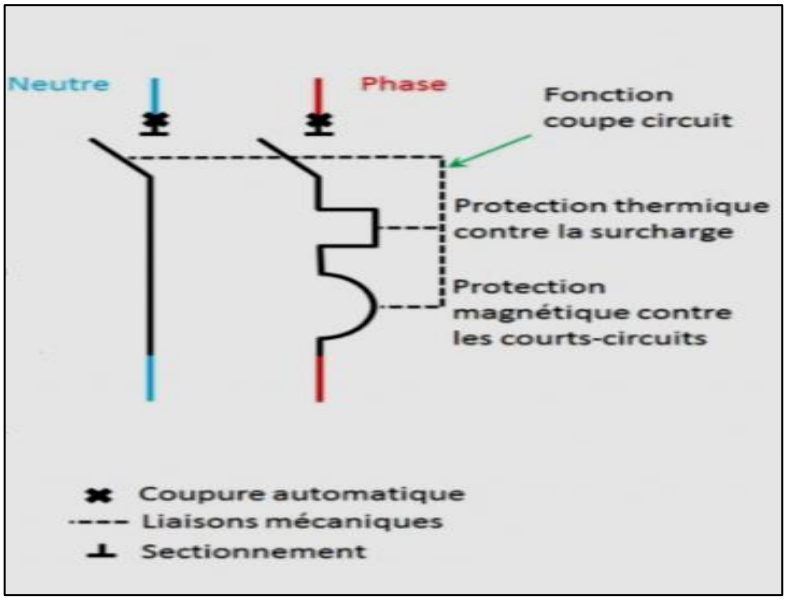


***Figure II.10:*** Schéma électrique du disjoncteur.

#### *II.6.1.2. Les fusibles*

Les fusibles permettent d'interrompre automatiquement un circuit parcouru par une surintensité pendant un intervalle de temps donné. L'interruption du courant est obtenue par la fusion d'un conducteur métallique calibré. Ils sont surtout efficaces pour la protection contre les courts circuits, vis-à-vis des quelles ils agissent, le plus souvent, en Limiteurs de la valeur crête du courant de défaut. Le fusible est ainsi un excellent dispositif pour l'élimination des defaults mais il présente un certain nombre

d'inconvénients qui limitent son utilisation Ils exigent malheureusement d'être remplacés après chaque fonctionnement en régime triphasé, ils n'éliminent que les phases parcourues par un courant de défaut, ce qui peut présenter un danger pour le matériel et le personnel; Leur calibre doit être bien adapté pour éviter un fonctionnement intempestif en cas de surcharge momentanée. Les fusible peu vent être associés à des interrupteurs ou à des contacteurs avec les quelles ils constituent des combines capable d'assurer automatiquement la coupure des phases saines lors du fonctionnement de l'un d'eux de façon à éviter la marche monophasée dangereuse.

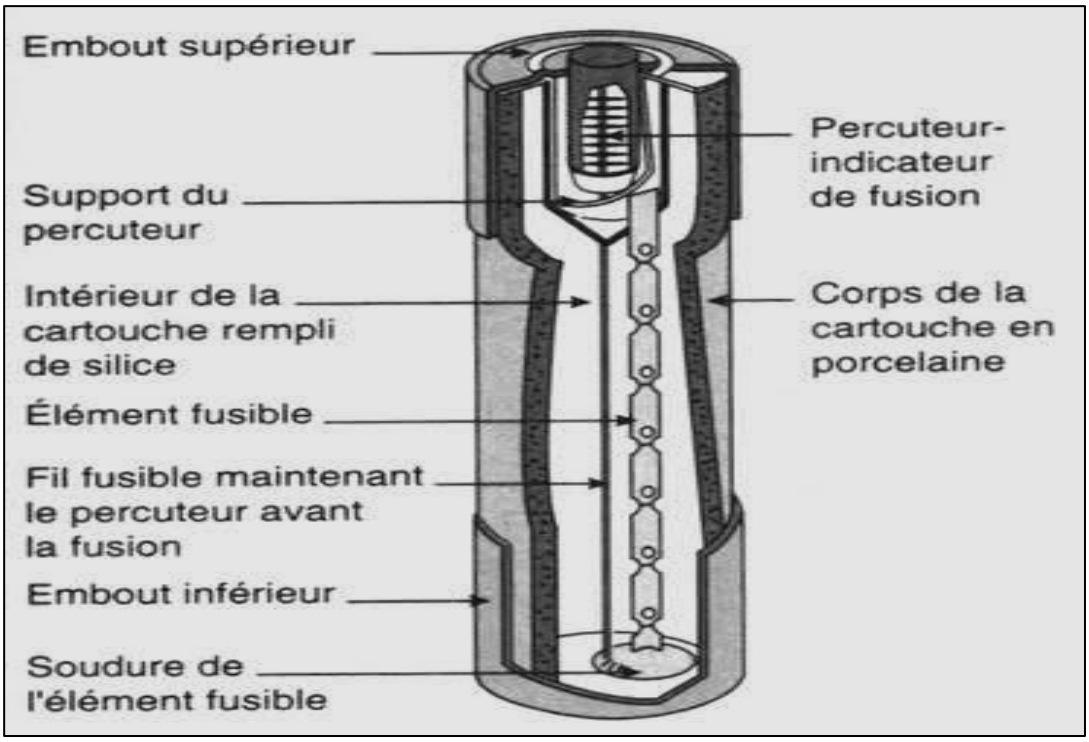


***Figure II.11:*** Constitution d'un fusible.

***II.6.1.2.1. Caractéristiques du fusible***

Les fusibles se distinguent par les paramètres suivants:

- ✓ ***Tension nominale :*** valeur maximale que le fusible peut supporter en fonctionnement normal.
- ✓ ***Courant nominal*** : intensité maximale que le fusible peut supporter en régime normal.

***II.6.1.3. Relais de protection***

***II.6.1.3.1. Définition***

Un relais de protection est un appareil destiné à contrôler continuellement les paramètres électriques d'un réseau. Il analyse des grandeurs telles que le courant, la tension ou encore la température, et compare leurs valeurs à des seuils réglés à l'avance. Lors qu'une un défaut est détecté, il en voie un ordre de déclenchement a fin d'isoler la partie concernée du réseau et ainsi assurer la sécurité des équipements et la continuité de service.

***II.6.1.3.2. Type de relais***

Il en existe de nombreux types :

***II.6.1.3.3. Relais électromagnétique***

Le relais électromagnétique est constitué d'un élément mobile, appelé armature, qui se déplace sous l'action d'un champ magnétique créé par une bobine, un aimant ou un conducteur parcouru par un courant. Son fonctionnement et ses caractéristiques sont étroitement liés à la configuration et à la conception du circuit magnétique qui le compose.

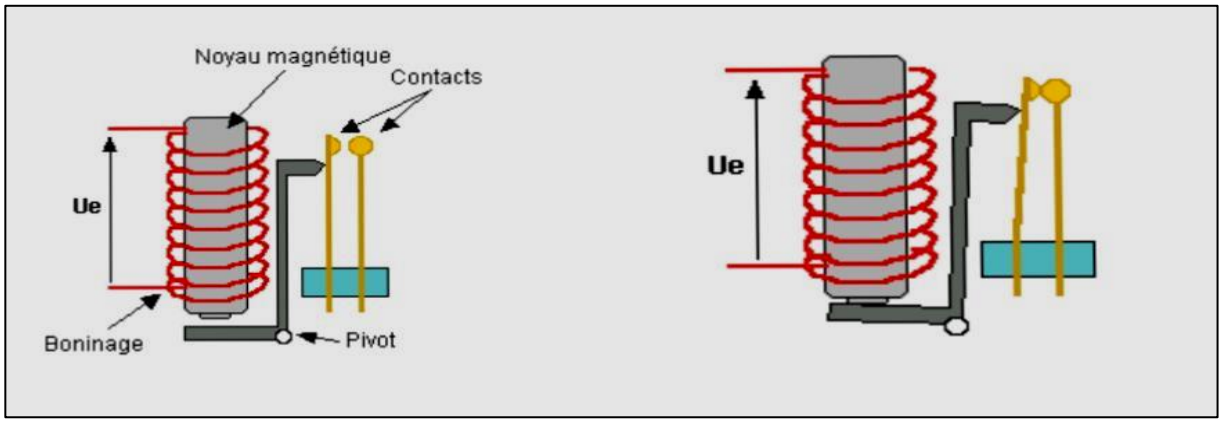


***Figure II.12***: Relais électromagnétique.

***II.6.1.3.4. Relais thermique***

Le relais thermique protège le système contre les courants de surcharge. Il est constitué par un bilame à action directe ou indirecte.

***II.6.1.3.5. Relais statiques***

Ce dis positive utilise des circuits intègres en silicium, incluant des composants logiques, et intègre désormais des mémoires ainsi que des microprocesseurs. Cette évolution a permis d'améliorer considérablement les performances et d'ajouter des fonctions plus avancées.

Les relais statiques remplacent progressivement les relais électromagnétiques grâce à leur grande précision, leur sensibilité élevée, leur rapidité, leur faible consumation d'énergie et leur longue durée de vie. Toute fois, ils présentent encore certaines limites, notamment concernant la diversité des fonctions proposées.

***Figure II.13:*** Exemple d'un relais Statiques.

***II.6.2. Appareillage de protection contre les surtensions:***

Paratonnerre, Eclateurs et parafoudres sont les dispositifs utilisés pour écrêter, limiter les surtensions transitoires de forte amplitude. Ils sont généralement dimensionnés pour intervenir sur les surtensions de foudre.

***II.6.2.1. Les paratonnerres***

Un paratonnerre est un dispositif de protection installé sur les bâtiments pour les protéger contre les effets destructeurs de la foudre. Il est constitué généralement d'une tige métallique placée au point le plus élevé de la structure, reliée à la terre par un conducteur. Son rôle est de capter la décharge électrique de la foudre et de la diriger vers le sol, en évitant qu'elle ne traverse le bâtiment et n'endommage les installations ou ne provoque un incendie. [8].

***Figure II.14:*** un paratonnerre.

***II.6.2.2. Les éclateurs***

L'éclateur est un dispositif simple constitué de deux électrodes, la première reliée au conducteur à protéger, la deuxième reliée à la terre. A l'endroit ou il est installé dans le réseau, l'éclateur représente un point faible pour l'écoulement des surtensions à la terre et protégé ainsi le matériel.

La tension d'amorçage de l'éclateur est réglée en agissant sur la distance dans l'air entre les électrodes, de façon à obtenir une marge entre la tenue au choc du matériel à protéger et la tension d'amorçage au choc de l'éclateur. (***Figure II.5)***

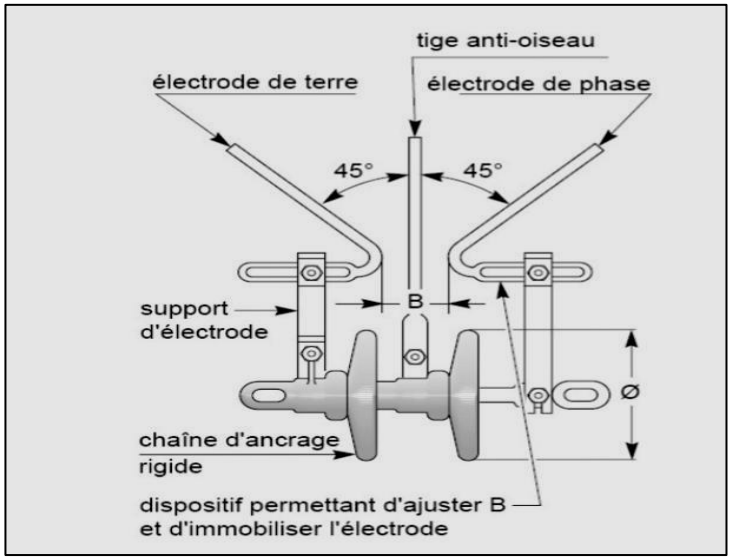


***Figure II.5:*** Un éclateur MT avec tige anti-oiseaux.

***II.6.2.3. Les parafoudres***

Pour pallier aux inconvénients des éclateurs, différent modèles de parafoudre ont été conçus dans le but d'assurer une meilleure protection des installations et une bonne continuité de service.

Les parafoudres à résistance variable avec éclateur sont les plus répondus dans les installations HT et MT en exploitation depuis quelques années. La tendance actuelle est vers les parafoudres à oxyde de zinc qui possèdent des performances meilleures.

***a- Parafoudre à résistance variable avec éclateur:***

Ce type de parafoudre associe en série des éclateurs et des résistances non linéaires (varistances) capables de limiter le courant après le passage de l'onde de choc. Après l'écoulement de l'onde de courant de décharge, le parafoudre n'est plus soumis qu'a la tension du réseau. Celle-ci maintient un arc sur l'éclateur, mais le courant correspondant, dit courant de suite », traverse la résistance dont la valeur

est maintenant élevée. Il est donc assez faible, pour ne pas endommager l'éclateur, et être interrompu lors du premier passage à zéro du courant (extinction naturelle de l'arc).

***b- Parafoudre à oxyde de zine (Zno):***

Ils sont constitues uniquement de varistances et remplacent de plus en plus les parafoudres à résistances variables et éclateurs. L'absence d'éclateur fait que le parafoudre à Zno est continuellement conducteur mais, sous la tension nominale du réseau protégé, avec un courant de fuite à la terre très faible 0(inférieur à 10 mA).

***Figure II .16:*** Représente un parafoudre oxyde de Zine.

***Figure II.17:*** Représente un parafoudre à Résistance variable avec éclateur

## *II.7. La Sélectivité de protection*

### *II.7.1. Définition*

La sélectivité est un principe fondamental dans la conception des systèmes de protection des réseaux électriques. Son objectif est d'isoler la partie du réseau affectée par un défaut le plus rapidement possible, et uniquement cette partie, en laissant le reste de l'installation sous tension. Les protections du réseau fonctionnent comme un système cohérent, organisé de manière à ce que seul les disjoncteurs les plus proche du défaut ouvrent, assurant ainsi la continuité de service pour les parties saines. **[5]**

### *II.7.2. Principes fondamentaux de la protection*

Pour garantir la continuité de service et la sécurité d'une installation électrique, un système de protection doit reposer sur trois piliers :

- ***La Détection :*** C'est la capacité des appareils de protection (disjoncteurs, relais) à analyser en permanence le réseau. Leur rôle est d'identifier de manière précise et ultra-rapide la présence, la nature et l'emplacement exact d'un défaut (court-circuit, surcharge, etc.).
- ***L'Isolation :*** Une fois le défaut localisé, l'objectif n'est pas de couper tout le réseau, mais de sectionner uniquement la partie en défaillance. En actionnant sélectivement les disjoncteurs ou sectionneurs concernés, on isole le problème tout en maintenant l'alimentation électrique du reste de l'installation, minimisant ainsi l'impact sur les utilisateurs.
- ***La Coordination :*** Pour que la détection et l'isolation fonctionnent de manière harmonieuse, il est crucial de coordonner les réglages des différents appareils de protection. Cette « orchestration » permet de garantir que, en cas de problème, seul l'appareil situé immédiatement en amont du défaut se déclenche, laissant tous les autres en position fermée pour continuer à alimenter le reste du réseau.

### *II.7.3. Les différents régimes de sélectivité :*

La mise en œuvre de ces principes aboutit à deux niveaux de performance, illustrés par l'interaction entre deux disjoncteurs (A en amont, B en aval) :

- ***La sélectivité totale :*** C'est le niveau de protection idéal. Dans ce cas de figure, seul le disjoncteur B (le plus proche du défaut) intervient pour couper le courant. Cette règle s'applique quelle que soit l'intensité du courant de défaut, même pour les valeurs les plus élevées possibles au niveau du point C. Le disjoncteur A ne perçoit jamais le défaut et reste donc inactif, assurant ainsi la continuité parfaite de l'alimentation pour les circuits sains situés en amont.
- ***La sélectivité partielle :*** Ici, la coordination n'est pas absolue sur toute la plage d'intensité. Le fonctionnement se divise en deux zones :
  - ✓ En dessous d'un seuil de courant prédéfini, la sélectivité est assurée : seul le disjoncteur B se déclenche.
  - ✓ Au-dessus de ce seuil (par exemple, pour un défaut de très forte intensité), la discrimination n'est plus possible. On entre alors dans une zone où les deux disjoncteurs A et B se déclenchent simultanément, ce qui entraîne la mise hors tension d'une portion plus large du réseau.

### .*II.7.4. Types de Sélectivité*

#### *a- Sélectivité Chronométrique*

Sélectivité basée sur des temporisations différentes. Plus une protection est proche de la source, plus sa temporisation est longue. [5]

- ***Mode de fonctionnement***

Un défaut est vu par toutes les protections en amont. La protection la plus en aval (la plus proche du défaut) a la temporisation la plus courte. Elle s'ouvre en premier. Pendant son temps d'ouverture, les protections amont sont en cours de comptage, mais le défaut disparaissant, elles retournent à leur état de veille. Un intervalle de sélectivité (ΔT), généralement de 0,3 s, est maintenu entre deux étages pour garantir que seul l'étage aval déclenche.

- ***Avantages***

Système simple qui assure son propre secours (si l'étage aval est défaillant, l'étage amont déclenchera après sa temporisation).

- ***Inconvénients***

Plus le nombre d'étages en cascade est grand, plus le temps d'élimination du défaut par la protection amont est long, ce qui peut devenir prohibitif pour la tenue des matériaux.

- ***Utilisation***

Réseaux en antenne.

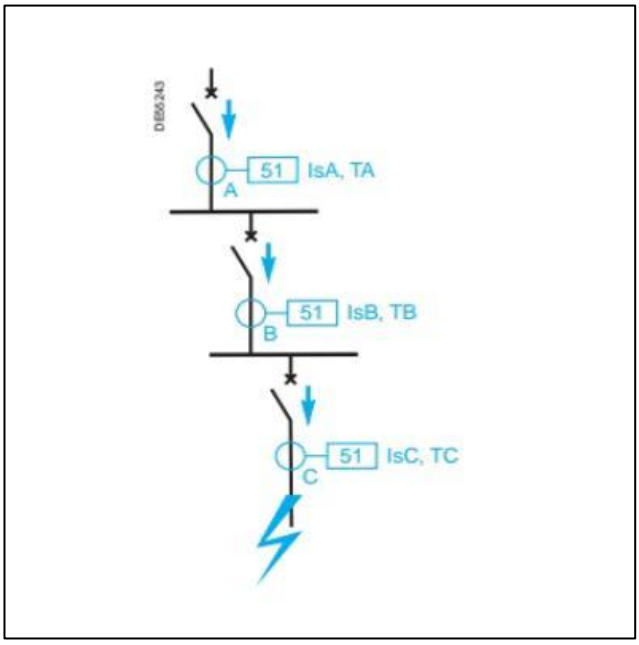


***Figure II.18 :*** Réseau en antenne avec sélectivité Chronométrique **[5].**

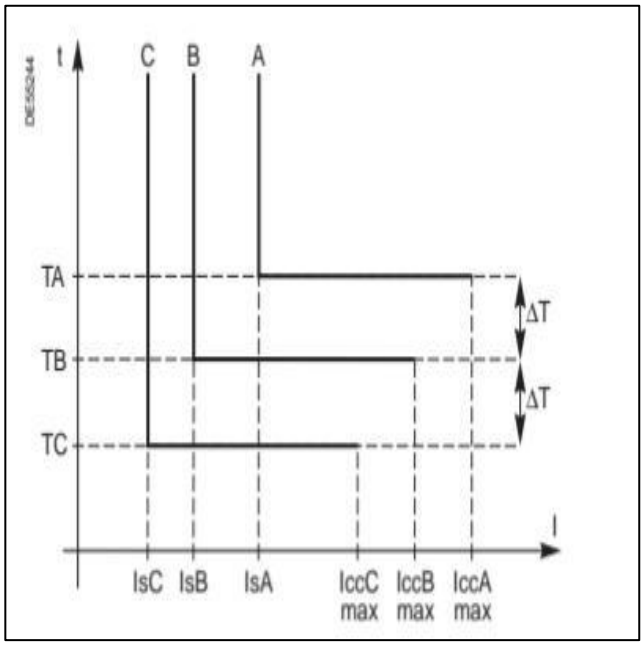


***Figure II.19:*** sélectivité chronométrique avec Relais à temps indépendant **[5].**

#### *b- Sélectivité Ampèremétrique*

Sélectivité basée sur l'intensité du courant de défaut, qui diminue à mesure que l'on s'éloigne de la source **[5].**

➢ ***Mode de fonctionnement***

Chaque protection est réglée sur un seuil de courant. Ce seuil est défini pour être inférieur au courant de défaut minimal sur son propre tronçon, mais supérieur au courant de défaut maximal du tronçon situé immédiatement en aval. Ainsi, la protection ne « voit » que les défauts situés sur sa propre zone.

➢ ***Avantages***

Système simple, économique et rapide (déclenchement sans retard).

➢ ***Inconvénients***

Difficile à mettre en œuvre si le courant de défaut ne décroît pas assez entre deux zones. La protection amont n'assure pas le secours de la protection aval.

➢ ***Utilisation***

Principalement pour séparer des tronçons avec un transformateur (forte décroissance du courant).

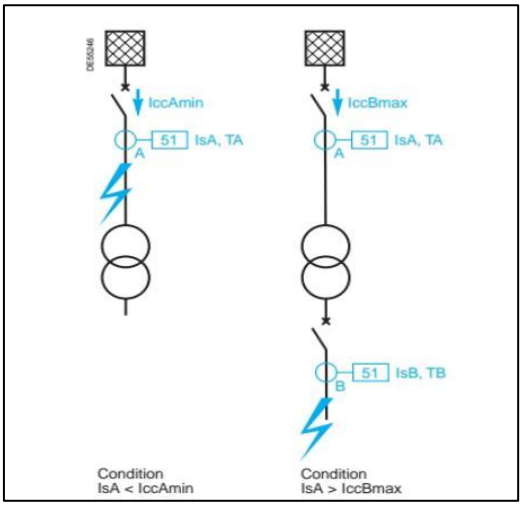


***Figure II.20 :*** fonctionnement d'une sélectivité Ampèremétrique **[5].**

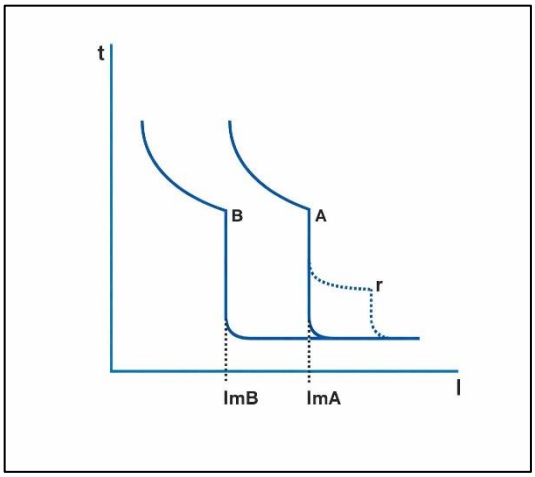


***Figure II.21 :*** caractéristiques de la sélectivité Ampèremétrique.

***c- Sélectivité Logique***

Sélectivité basée sur un échange d'informations (ordres logiques) entre les protections successives pour réduire les temps de déclenchement **[5].**

➢ ***Mode de fonctionnement*** :

Des qu'une protection voit un défaut, elle envoie un « ordre d'attente logique » à la protection située immédiatement en amont et un ordre de déclenchement à son propre disjoncteur. Une protection qui reçoit un ordre d'attente ne déclenche pas (ou temporise plus longtemps), tandis que celle qui n'en reçoit pas (la plus en aval) déclenche immédiatement.

➢ ***Avantages***

Temps de déclenchement très court, indépendant de la position du défaut et du nombre d'étages. Intègre par conception une fonction de secours (temporisé).

➢ ***Inconvénients***

Nécessite la transmission de signaux logiques entre protections, donc l'installation de câbles supplémentaires, ce qui peut être contraignant sur de longues distances.

➢ ***Utilisation***

Réseaux MT comportant de nombreux étages de sélectivité en antenne.

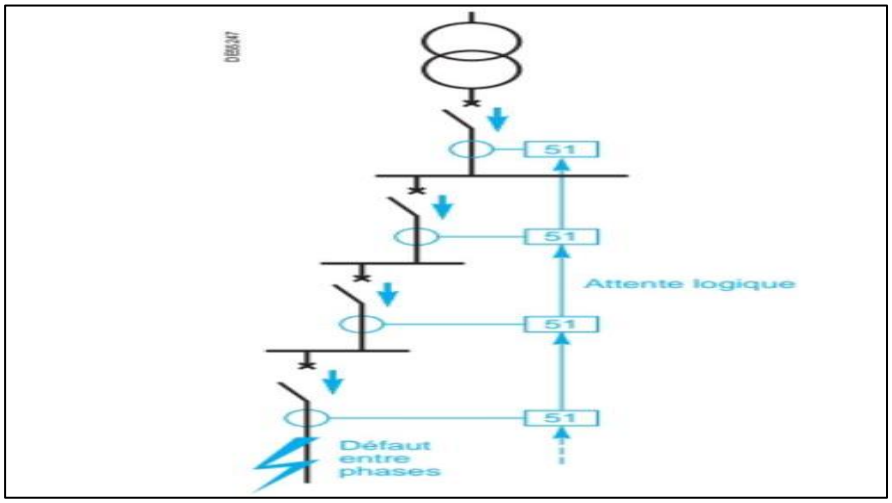


***Figure II.22:*** principe de la sélectivité logique **[5].**

***d- Sélectivité Directionnelle***

Sélectivité qui discrimine les défauts en fonction du sens d'écoulement du courant.

- ***Mode de fonctionnement*** :

La protection utilise une information de tension pour déterminer la phase du courant. Elle compare le sens du courant (vers la charge ou vers la source) à une référence. Si le courant de défaut circule dans le sens pour lequel la protection est activée (ex : du jeu de barres vers le câble), elle peut déclencher. Sinon, elle reste inactive **[5].**

- ***Avantage*** :

Solution simple pour protéger des réseaux où le défaut peut être alimenté par les deux extrémités (réseaux bouclés, arrivées parallèles).

- ***Inconvénients*** :

Nécessite des transformateurs de tension pour fournir la référence de phase, ce qui augmente le coût.

- ***Utilisation*** :

Arrivées en parallèle, réseaux en boucle fermée, protection contre les défauts à la terre.

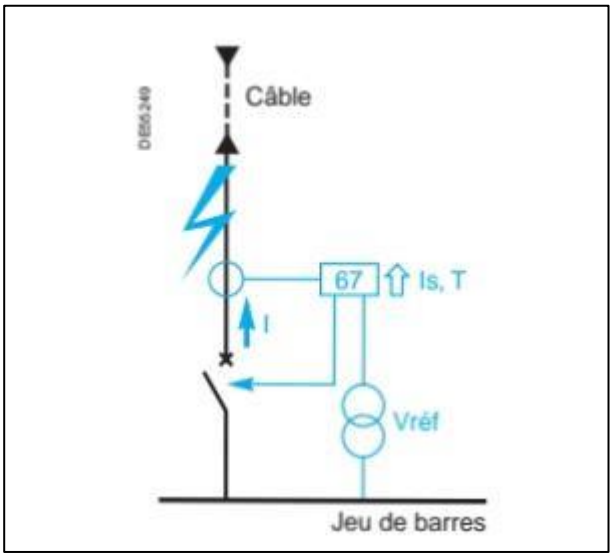


***Figure II.23 :*** Principe de la protection directionnelle.

***e- Sélectivité Différentielle :***

Sélectivité basée sur la comparaison des courants à l'entrée et à la sortie de la zone protégée **[5].**

- ***Mode de fonctionnement*** :

La protection mesure le courant aux deux extrémités de la zone (ex : IA et IB). En fonctionnement normal ou pour un défaut externe, les courants sont égaux (IA = IB). En cas de défaut interne à la zone, une différence apparaît (IA – IB ≠ 0), ce qui provoque le déclenchement instantané. Elle utilise des

principes de stabilisation (haute impédance ou retenue de pourcentage) pour rester insensible aux défauts externes.

- ***Avantages***

Protection extrêmement sensible, rapide (instantanée) et sélective par nature, car elle ne réagit qu'aux défauts internes.

- ***Inconvénients*** :

Coût important et mise en œuvre délicate. Nécessite souvent une protection de secours.

- ***Utilisation***

Protection des éléments prioritaires de forte puissance : moteurs, générateurs, transformateurs, jeux de barres, câbles.

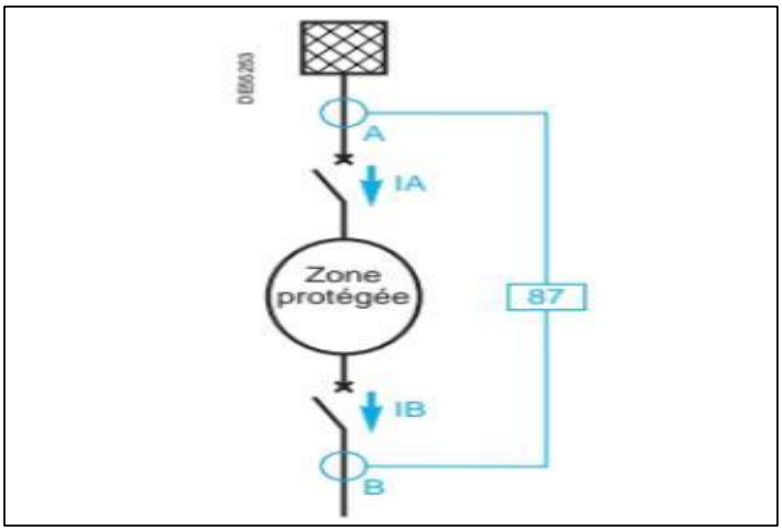


***Figure II.24:*** Principe de la protection différentielle.

***f- Sélectivités Combinées (ou Mixtes) :***

Association de plusieurs principes de sélectivité pour cumuler leurs avantages et pallier leurs inconvénients respectifs **[5].**

- ***Mode de fonctionnement :***

Le mode de fonctionnement varie selon la combinaison choisie. Les documents mentionnent plusieurs

***Exemples***

· Ampérométrique + Chronométrique : On utilise les courants pour la sélectivité entre A1 et B, et le temps pour la sélectivité entre A2 et B. Cela assure une sélectivité totale et un secours.

· Logique + Chronométrique : On utilise la logique à l'intérieur d'un tableau (rapidité) et une temporisation entre deux tableaux éloignés (économie de câblage). Cela permet d'éviter de longues liaisons de signaux logiques tout en gardant des temps de déclenchement réduits.

· Chronométrique + Directionnelle : On utilise des protections directionnelles faiblement temporisées pour identifier le tronçon en défaut dans un réseau maillé.

- ***Avantages***

Offre une sélectivité totale et/ou une redondance/secours (back-up) optimisée, avec le meilleur compromis technique et économique.

- ***Inconvénients*** **:**

Mise en œuvre plus complexe nécessitant une étude approfondie.

- ***Utilisation***

Optimisation des performances globales de la protection dans des configurations de réseau complexes.

## *II.8. Protection du complexe(GP1Z)*

### *II.8.1. Protection pour le complexe*

### *A. Arrivée Ligne 63 kV (Arrivée principale Sonelgaz)*

Protection de distance (ANSI 21) + max courant (50/51) + défaut terre (51N) + manque/surtension (27/29).

***B. Jeu de barres principal 63 kV (Premier jeu de barres)***

Différentielle de barre (87B)- protection principale.

C. **Départs 63 kV**

Max courant phase/ terre (50/51,50N/51N) + télé-déclenchement(86)

**D. Transformateur principal (63 kV / 5.5 kV) :**

Différentielle (87T) + buchholz (63) + pression soudaine (63) + thermostat (49) + surfluxage (24) + défaut terre restreint (64EF)

**E. Tableau de commutation 5.5 kV (Salle de commutation) :**

- Arrive : max de courant + terre (back-up global)
- Départs dés câbles : max de courant + la terre.
- Départs dés moteurs : thermique + déséquilibre + démarrage + sous-tension +puissance a rebous + terre

### *II.8.2. La coordination de protection*

La coordination des protections consiste à organiser l'ensemble des relais de manière cohérente afin de garantir :

- ✓ Une détection fiable des défauts
- ✓ Un déclenchement ordonné et hiérarchisé
- ✓ Une redondance efficace
- ✓ Une compatibilité avec la protection du réseau amont

Elle repose sur le principe fondamental suivant :

La protection la plus proche du défaut agit en priorité, tandis que les protections situées en amont assurent un rôle de secours.

### *II.8.3. Philosophie globale du système de protection*

L'architecture de protection du complexe repose sur trois niveaux complémentaires :

- ✓ Des protections principales rapides (différentielles) pour les zones critiques
- ✓ Des protections temporisées de secours (maximales de courant)
- ✓ Des protections spécifiques adaptées aux équipements (moteurs, transformateur)

Cette organisation permet :

- ✓ Une isolation rapide des défauts internes
- ✓ Une limitation des dommages matériels
- ✓ Une continuité maximale de l'alimentation
- ✓ Une exploitation le et sécurisée du réseau industrielle.

## *II.9. Conclusion*

Ce deuxième chapitre nous a permis d'analyser les méthodes de protection des réseaux moyenne tension contre les défauts électriques. Nous avons mis en évidence les critères essentiels que tout système de protection doit respecter : rapidité, sélectivité et fiabilité.

L'étude a également montré l'importance des dispositifs de protection spécifiques à chaque composant du réseau, ainsi que l'influence déterminante du régime de neutre sur le comportement du système en cas de défaut.

Ce travail a enrichi notre compréhension des concepts théoriques fondamentaux de la protection électrique.

# Chapitre 03 Analyse de l'installation électrique du complexe GP1Z

## *III.1. Introduction*

Après avoir présenté, les généralités sur les réseaux électriques industriels, puis analysé les principes fondamentaux de la protection des réseaux et notre stage effectué au niveau du complexe GP1Z. Cependant, suite à l'importance de l'installation industrielle de ce complexe, nous avons décidé de prendre comme zone d'étude et d'évaluation, d'une partie de cette installation. Cette étude portera d'une part sur l'application de nos connaissances théorique et d'autre part sur la vérification du dimensionnement et l'analyse du système électrique afin d'assurer son bon fonctionnement, sa sécurité et son efficacité énergétique.

L'objectif de cette prospection est d'acquérir des connaissances pratiques sur le dimensionnement et le fonctionnement, des installations à grandes échelle. La familiarisation avec le monde de l'industrie et acquisition du savoir-faire dans l'exploitation de l'énergie électriques sont deux compléments essentiels pour le profil d'ingénieur industriel.

Notre travail consistera à l'analyse de schéma unifilaire de l'installation, en estimant les puissances des équipements installées afin de bien évaluer le dimensionnement du transformateur et le choix des câbles.

## *III.2. Schéma unifilaire de l'installation du complexe GP1Z (Phase I – sources d'alimentation L2)*

Les figures (III.1) et(III.2) présentent les schémas unifilaires du complexe GP1/Z. L'installation est alimentée à partir du poste d'interconnexion MARSA hadjaj via deux lignes HTB 63 kV (90 MVA chacune). Le niveau de tension 63 kV a été retenu pour limiter les perturbations sur le réseau électrique, réduire les courants de transit (courant total absorbé de l'ordre de 60 A) et permettre l'utilisation de conducteurs de section plus faible. En cas de coupure sur l'une des deux lignes 63 kV, le disjoncteur de couplage entre les deux jeux de barres se ferme automatiquement afin d'assurer l'alimentation continue des équipements. Le schéma est organisé autour de plusieurs jeux de barres numérotés (08, 09, 10, etc.) qui distribuent l'énergie aux différents transformateurs (TR1, TR2, TR3, TR4, etc.).

Dans le cadre de notre étude, nous intéressons plus particulièrement à la source d'alimentation L2 au niveau de la Phase I, et plus précisément aux trois transformateurs HTB/HTA 63/5,5 kV de 17,5 MVA notés TR21, TR22 et TR23, qui sont alimentés directement à partir de la ligne L2 via des jeux de barres spécifiques. Ces transformateurs assurent l'abaissement de la tension de 63 kV à 5,5 kV, puis l'énergie est distribuée vers les jeux de barres secondaires avant d'être abaissée à 380 V par les transformateurs HTA/BTA pour l'alimentation des équipements finaux.

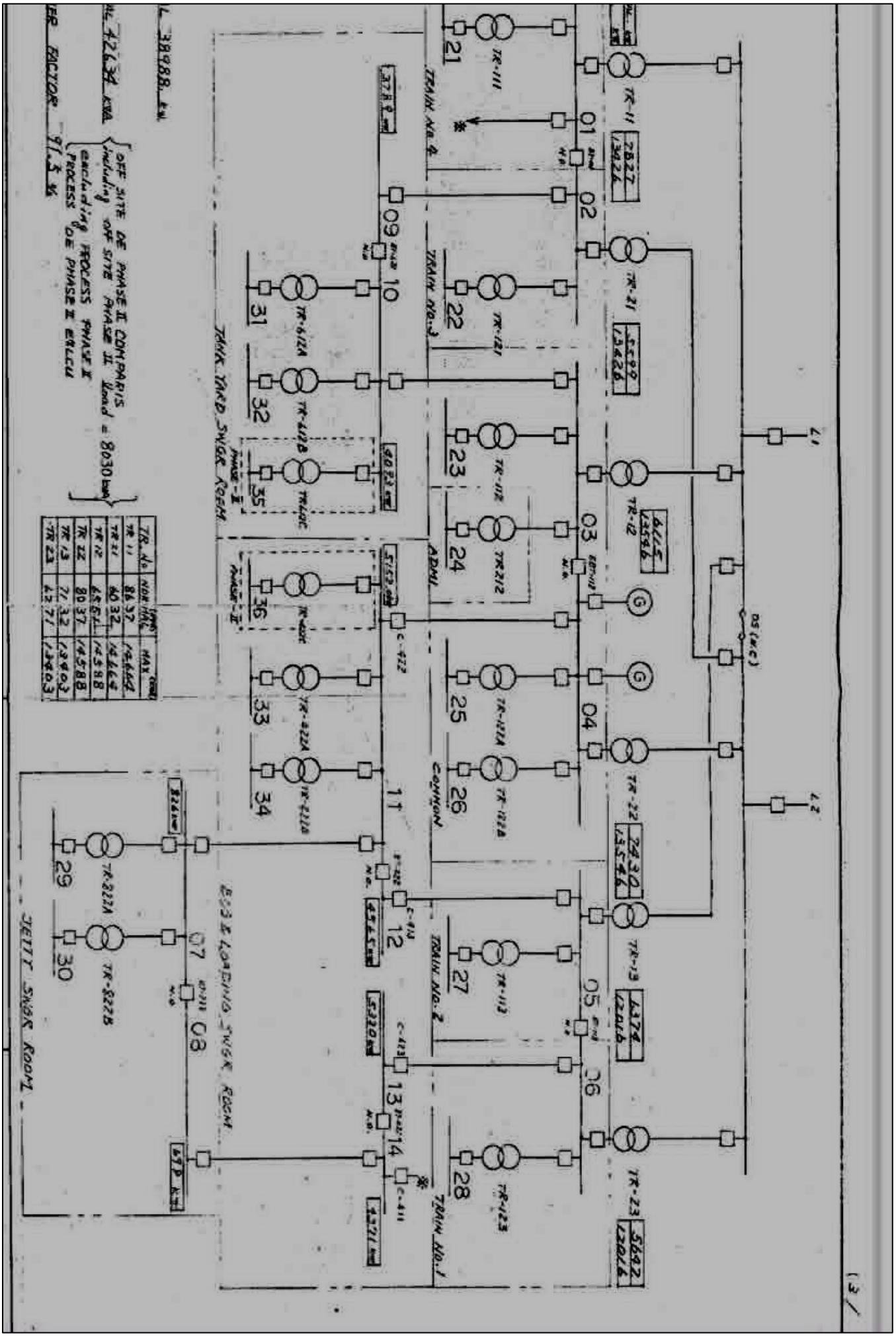


***Figure III.1:*** schéma unifilaire complet de la phase 1 complexe GP1Z.

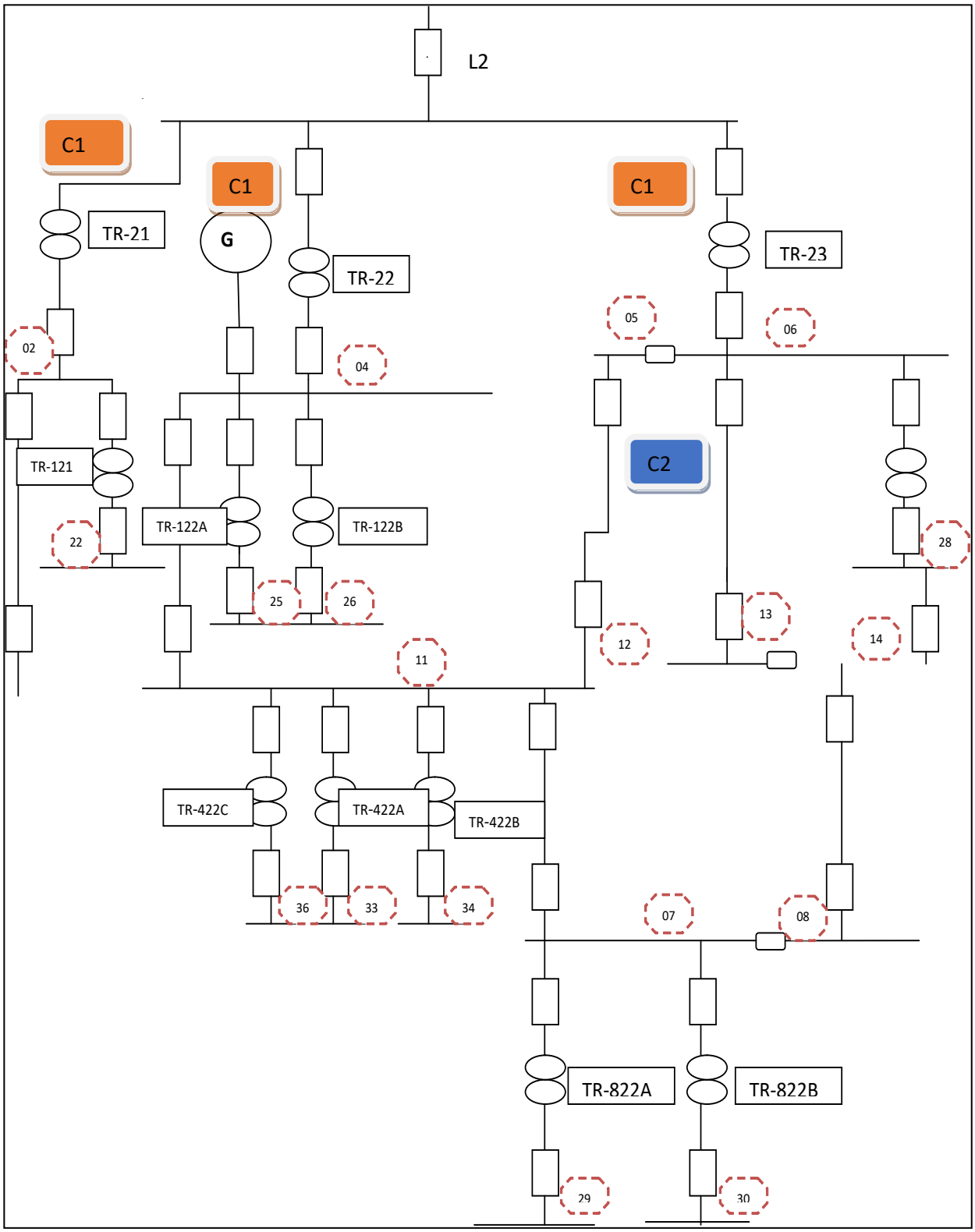


***Figure III.2 :*** Schéma unifilaire de la partie étudié.

## *III.3. Estimation de la puissance installée de la station principale*

La puissance installée dépasse largement la puissance réellement consommée, car elle repose sur l'hypothèse que tous les récepteurs fonctionnent en même temps et à leur régime nominal. Pour déterminer cette puissance au niveau du poste, il convient de calculer la puissance installée pour chaque jeu de barres.

- Pour compléter l'ensemble de ces tableaux **(SUB NO, EB-422 BUS NO, 13, SUB NO, B-423 BUS NO, 11)**, nous avons appliqué les formules électriques suivantes pour calculer $\boldsymbol{Sa}$ **;** $\boldsymbol{Qa}$ **;** $\boldsymbol{Pa}$ **:**

$*Pa = \frac{Pn}{\eta}$ $\qquad$ $* Sa = \frac{Pa}{\cos\varphi}$

$*Qa = Pa \times \tan\phi$ $\qquad$ $* I = \frac{S}{U\times\sqrt{3}}$

Et Pour déterminer la puissance d'utilisation du tableau de distribution MT et BT, il faut une bonne connaissance des facteurs de correction tel que le facteur d'utilisation $Ku$ et le facteur de simultanéité $Ks$ comme indiqué dans le premier chapitre. Sachant que pour chaque type de récepteur est associé un facteur d'utilisation bien déterminé. Dans une installation électrique, ce facteur peut être estimé en moyenne à 0.77 pour les moteurs, et 1 pour l'éclairage. La détermination du facteur $Ks$ relève de la responsabilité du concepteur, car elle nécessite une connaissance détaillée de l'installation et des conditions dans lesquelles les circuits individuels doivent être exploités.

La puissance d'utilisation et la puissance simultanée sont données par les relations qui été Indiquée dans le premier chapitre :

- ✓ $Pu = Ku \times Pa$
- ✓ $Psim = Ks \times \sum Pu$

Enfin pour déterminer la puissance à installer on applique un facteur d'extension, également appelé facteur de réserve $Ke$. Dans le cas de cette installation le $Ke$ est pris égal à 1,3.

$$Ptot = Ke \times \sum Psim$$

Cette puissance finale nous servira ensuite, au calcul de la puissance à prévoir au poste de transformation et ce, en prenant en compte l'évolution de la charge. Le courant d'emploi est calculé comme par l'équation avec un $Ku$ = 0,77, $Ks$=1 et $Ke$ = 1,33 :

$$Ib = \frac{Pa \times Ku \times Ks \times Ke}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi}$$

### *III.3.1. Puissances des jeux de barres AC (5.5 kV, 50Hz)*

Ces deux tableaux présentent un exemple de deux barres omnibus de 5,5 kV pour des charges de forte puissance en moyenne tension (5,5 kV).

Les mêmes données électriques de base ($kW$, $kVAR$, $kVA$) sont indiquées, en tenant compte des conditions de fonctionnement normales et de pointe. Ceci permet une analyse précise du comportement des charges importantes et de leur impact sur le réseau.

Ces données sont également essentielles pour déterminer la puissance totale requise, sélectionner les transformateurs et les sources d'alimentation, et étudier les courants de court-circuit et les systèmes de protection. De plus, elles jouent un rôle fondamental dans l'évaluation de la stabilité du réseau, notamment lors de modifications de l'alimentation électrique, comme la déconnexion d'une source.

### *A-SUB NO, EB-422 BUS- NO, 11- AC (5.5 KV, 50Hz)*

***Tableau III.1:*** Identification des puissances absorbées et le bilan de puissance utiliser des charges de jeux de barre SUB NO, EB-422 BUS- NO, 11-

| TAG NO | Pn[KW] | cos φ | η | tan φ | Pa [KW] | Q [krav] | I(A) | P utilisé [KW] | Qu [Krav] | Su [KVA] | I(A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 04-CM-002A | 1850.0 | 0.75 | 0.86 | 0.88 | 2152.16 | 1893.9 | 231.83 | 1656.39 | 1458.3 | 2206.52 | 231.83 |
| 04-PM-0041A | 950.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 04-PM-0041B | 950.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| BOGPROCOMP1 | 1850.0 | 0.75 | 0.86 | 0.88 | 2152.16 | 1893.9 | 231.83 | 1656.39 | 1458.3 | 2206.52 | 231.83 |
| BOGBUTCOMP1 | 1850.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| CONDENSER | - | - | - | - | - | - | 68.2 | 1.95 | -650 | -650 | 68.2 |
| CONDENSER | - | - | - | - | - | - | 68.2 | 1.95 | -650 | -650 | 68.2 |
| TOTAL | 6900.0 | | | | 4304.32 | 3796.04 | | 3316.68 | 1621.6 | 3691.87 | |

***B-SUB NO, B-423 BUS NO, 13- AC (5.5Kv, 50Hz)***

**Tableau III.2:** Identification des puissances absorbées et le bilan de puissance utilisé des charges de jeu de barre SUB NO, B-423 BUS NO, 13.

| *TAG NO* | *P installé [KW]* | *cos φ* | *η* | *tan φ* | *Pa [KW]* | *Q [krav]* | *I(A)* | *P utilise [KW]* | *Qu [krav]* | *Su [KVa]* | *I(A)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *04-CM-0002E* | *1850.0* | *0.76* | *0.86* | *0.85* | *2151.16* | *1828.48* | *228.77* | *1656.39* | *1407.9* | *2179.42* | *228.77* |
| *04-PM-0042C* | *950.00* | *0.85* | *0.83* | *0.62* | *1144.57* | *709.63* | *108.76* | *881.32* | *546.14* | *1036.82* | *108.76* |
| *04-PM-0042D* | *950.00* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| *BOGPROCOMP3* | *1850.0* | - | - | - | - | - | | - | - | - | - |
| *BOGBUTCOMP2* | *1850.0* | *0.76* | *0.86* | *0.85* | *2151.16* | *1828.48* | *228.71* | *1656.39* | *1407.9* | *2179.42* | *228.71* |
| *BOGBUTCOMP2* | *1300.0* | *0.72* | *0.88* | *0.96* | *1477.27* | *1418.17* | *165.84* | *1137.5* | *1096.38* | *1579.85* | *165.84* |
| *CONDENSER* | - | - | - | - | | | *52.5* | *1.5* | *-500.00* | *-500.00* | *-500* |
| *CONDENSER* | - | - | - | - | | | *52.5* | *1.5* | *-650.00* | *-650.00* | *-650* |
| *CONDENSER* | | - | - | - | | | *68.2* | *1.5* | *-650.00* | *-650.00* | *-650* |
| *TOTAL* | *8750.00* | | | | *6924.16* | *5784.16* | | *5336.1* | *2653.38* | *5959.22* | |

***III.3.2 puissance total de tous les jeux de barres***

Sur la base des données détaillées" présentées précédemment, un tableau récapitulatif global est établi pour l'ensemble des jeux de barres. Ce tableau regroupe les puissances installées, les puissances d'utilisation, les facteurs de puissance ainsi que les principaux résultats de dimensionnement, permettant ainsi une vision synthétique et globale du ".réseau électrique étudié.

**Tableau III.3:** bilan de puissance utilisée de tous des jeux de barres.

| *LES JEUXDE BARRES* | *P installé[KW]* | *P utilisé[KW]* | *Qu[krav]* | *Su[kVa]* | *Cosϕ* | *Ib(A)* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *SUB.NO-TR422CBUS 36* | *440.10* | *159.71* | *93.6* | *185.23* | *0.87* | *281.42* |
| *SUB.NO-TR422B BUS 34* | *417.57* | *369.57* | *204.83* | *422.5* | *0.87* | *641.92* |
| *SUB.NO-TR422ABUS 33* | *753.2* | *503.11* | *353.61* | *614.95* | *0.81* | *934.31* |
| *SUB.NO-TR822ABUS 30* | *331.13* | *290.63* | *169.60* | *326.87* | *0.93* | *496.6* |
| *SUB TR-123 BUS 28* | *1584.25* | *1257.36* | *925.94* | *1561.51* | *0.81* | *2372* |
| *SUB TR-122BBUS24* | *1278.4* | *578.07* | *332.39* | *666.82* | *0.87* | *1013.1* |
| *SUB TR-122A BUS25* | *1393.23* | *1125.23* | *627.69* | *1376.66* | *0.89* | *2091.6* |
| *SUB TR-121 BUS 11* | *1584.25* | *1257.36* | *925.94* | *1561.51* | *0.81* | *2372.2* |
| *SUB TR-B-423 BUS 13* | *8750.00* | *5336.1* | *2675.38* | *5969.22* | *0.89* | *624.3* |
| *SUB-EB422 BUS 11* | *6900.00* | *3316.68* | *1621.6* | *3691.87* | *0.9* | *380.3* |
| *SUB-B621 BUS 09* | *8470.00* | *3789.67* | *1999.18* | *4284.03* | *0.89* | *449.7* |
| *SUB-EB 822 BUS 7* | *1200.00* | *390.09* | *96.67* | *392.19* | *0.98* | *41.16* |
| SUB-B23 BUS06 | 1550.00 | 710.81 | -89.54 | 716.43 | 0.98 | 75.12 |
| SUB-EB22 BUS 04 | 2920.00 | 475.48 | -422.14 | 635.87 | 0.75 | 66.74 |
| SUB-B21 BUS 02 | 1170.00 | 552.75 | -680.82 | 876.95 | 0.75 | 92.05 |
| *TOTAL* | 38742.13 | 20112.23 | 8833.88 | 23282.57 | | |

- En calcul la puissance apparente simultané par la formule :

$$Ssim = \sqrt{(Psim^2 + Qsim^2)}.$$

$Ssim=\sqrt{(18101.00^2 + 7950.49^2)}$ **=19770.09KVA.**

***Tableau III.4:*** bilan de puissance simultané de tous les jeux de barres.

| *Ks* | *Psim. (KW)* | *Qsim. (Krav)* | *Ssim. (KVA)* |
|---|---|---|---|
| **0.9** | **18101.00** | **7950.49** | **19770.09** |

***Tableau III.5 :*** bilan de puissance a installé de tous les jeux de barres.

| *Ke* | *Ptot. (KW)* | *Qtot. (Krav)* | *Stot. (KVA)* |
|---|---|---|---|
| ***1.3*** | **23531 .3** | **10335.63** | **25701.11** |

## *III.4. Justification du choix : 3 transformateurs de 17.5 MVA, couplage Dyn11*

La puissance totale calculée pour l'installation est de 25.7 MVA. Après analyse des besoins de disponibilité.

***1. Continuité de service en cas de panne d'un transformateur***

En régime normal, les trois transformateurs fonctionnent en parallèle. Chacun supporte environ 8.6 MVA, soit 49% de sa puissance nominale. Cette sous-charge prolonge la durée de vie des équipements et réduit les pertes thermiques.

En cas de panne soudaine d'un transformateur, les deux transformateurs restants reprennent automatiquement la totalité de la charge, soit 12.85 MVA chacun. Ils fonctionnent alors à 73% de leur capacité nominale. Cette valeur reste très inférieure à 100%, ce qui permet d'assurer l'alimentation complète de l'installation sans aucune coupure et sans aucun délestage. Aucune action manuelle n'est nécessaire.

***2. Maintenance sans interruption***

Le même principe s'applique lors d'une maintenance programmée. Il est possible d'isoler un transformateur pour le nettoyage, la vérification des raccordements ou l'analyse de l'huile, pendant que les deux autres alimentent seuls toute l'installation. Aucune interruption de production n'est nécessaire.

***3. Extensions futures sans nouvel investissement lourd***

La puissance installée aujourd'hui est de 25.7 MVA. Avec trois transformateurs de 17.5 MVA, la puissance totale disponible atteint 52.5 MVA. La réserve de puissance est donc de 26.8 MVA, soit plus du double du besoin actuel. Cette marge permet d'absorber une augmentation des charges jusqu'à 100% dans les années à venir, sans avoir à racheter de nouveaux transformateurs.

***4. Choix de l'indice horaire Dyn11 (justification)***

L'indice horaire Dyn11 a été retenu pour les raisons suivantes :

***A-Gestion des défauts à la terre (le plus important):***

Le couplage Dyn11 signifie que le côté primaire (haute tension 63 kV) est couplé en triangle (D) et le côté secondaire (basse tension 5.5 kV) est couplé en étoile avec neutre sorti (yn11).

Cette configuration permet de sortir le neutre au secondaire. Ce neutre est directement relié à la terre. En cas de défaut monophasé (phase-terre) sur le réseau 5.5 kV, un courant de défaut important circule, ce qui permet aux protections (disjoncteurs, relais) de détecter et d'éliminer le défaut très rapidement. Sans neutre sorti (couplage étoile sans neutre ou triangle), un défaut à la terre serait très difficile à détecter et pourrait rester permanent, ce qui est dangereux pour les personnes et le matériel.

***B-Compatibilité avec le fonctionnement en parallèle:***

Les trois transformateurs étant identiques (même puissance, même rapport de transformation, même Dyn11), ils peuvent fonctionner parfaitement en parallèle sans circulation de courants de déséquilibre. C'est une condition essentielle pour assurer la redondance (panne d'un transformateur) et la maintenance sans coupure.

***C-Absorption des harmoniques :***

Le côté primaire en triangle offre un chemin fermé pour les courants harmoniques de rang 3 (et multiples de 3) générés par certains récepteurs non linéaires (variateurs de vitesse, onduleurs, chargeurs). Sans ce

triangle, ces harmoniques se propageraient vers le réseau amont 63 kV et pourraient créer des perturbations.

***D-Standardisation :***

L'indice Dyn11 est le plus largement utilisé dans l'industrie et par les distributeurs d'électricité pour les transformateurs de moyenne tension (5.5 kV). Il est donc facile de trouver des transformateurs Dyn11 sur le marché, ainsi que des protections et des jeux de barres compatibles.

***Résultat de l'analyse***

Le choix de trois transformateurs de 17.5 MVA avec couplage Dyn11 est volontairement surdimensionné en puissance instantanée, mais il est parfaitement adapté aux exigences de :

- ✓ Zéro coupure en cas de panne d'un transformateur.
- ✓ Maintenance sans interruption de service.
- ✓ Extensions futures sans investissement lourd.
- ✓ Sécurité électrique grâce à la gestion optimale des défauts à la terre (neutre sorti).

## *III.5. Choix et dimensionnement du transformateur*

Le choix et le dimensionnement du transformateur constituent une étape essentielle dans la conception d'une installation électrique industrielle. En effet, le transformateur assure l'adaptation des niveaux de tension entre les différentes parties du réseau, tout en garantissant une alimentation fiable et continue des charges.

Dans le cas du complexe étudié, alimenté en haute tension (63 kV), l'énergie électrique est progressivement transformée vers les niveaux de moyenne tension (5.5 kV) puis basse tension (380 V), afin de répondre aux exigences des différents équipements.

Le Dimensionnement des transformateurs repose principalement sur le bilan de puissance établi précédemment, notamment la puissance d'utilisation totale, à laquelle est appliqué un facteur de réserve permettant de prendre en compte les évolutions futures de la charge. D'autres paramètres essentiels sont également considérés, tels que les tensions nominales, les courants primaire et secondaire, ainsi que les conditions de court-circuit.

Dans ce qui suit, nous allons déterminer les caractéristiques principales des transformateurs utilisés, en commençant par le calcul du rapport de transformation, suivi de l'évaluation des courants nominaux et de l'analyse des contraintes liées au court-circuit.

### *III.5.1. Calcule le rapport de transformation*

On détermine le rapport de transformation sachant que notre transformateur est couple en Dyn11 Pour cela, on va appliquer la formule suivante pour le calculer:

$$m = \frac{\mathrm{I1}}{I2} = \frac{U2}{U1} = \frac{N2}{\mathrm{N1}}$$

Avec :

- ✓ I1, I2: Courant primaire et secondaire du transformateur.
- ✓ N1, N2: Nombre de spires au primaire et au secondaire du transformateur.
- ✓ U1, U2: Tension primaire et secondaire du transformateur.

A.N:

$$m = \frac{\mathrm{U2}}{\mathrm{U1}} = \frac{5.5}{63} = \mathbf{0.087}$$

Le rapport de transformation est égal à: $m$ = **0.087**

### *III.5.2.Calcule du courant secondaire*

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

$$I2n = \frac{Sn}{U20 * \sqrt{3}}$$

Avec:

- ✓ In: Courant assigné du transformateur, côté MT (valeur efficace) en (A)
- ✓ Sn: puissance assignée du transformateur ($KVA$).
- ✓ U20: Tension assignée secondaire (à vide) du transformateur en (V).

A.N:

$$\frac{17500000}{\sqrt{3}*5500} = \mathbf{1837.02\ A}.$$

Le courant secondaire du transformateur est I2n $=$**1837.02 A**

### *III.5.3. Calcule du courant primaire*

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

$m = \frac{I1}{I2}$ Donc $I1 = m \times I2$

A.N:

$I1 = 0.087 \times 1837.02 =$ **159.82 A**

Donc, le courant primaire du transformateur est égal à $I1n =$ **159.82 A**

### *III.5.4. Détermination de la tension de court-circuit Ucc*

Pour le transformateur de distribution (norme IEC60076), $Ucc$ a des valeurs normalisées. On trouve que la tension de court-circuit de notre transformateur $Ucc =$**6%**, ce qui nous donne $Ucc =$**4950V**.

Le tableau suivant nous présente les caractéristiques du transformateur adéquat pour notre installation après avoir effectué les calculs nécessaires du bilan de puissance.

**Tableau III.6:** caractéristiques de transformateur adéquat pour l'installation.

| Puissance Apparente (KVA) | Tension Primaire (KV) | Tension Secondaire (KV) | Courant Primaire(A) | Courant Secondaire (A) | $Ucc$% | $Ucc$[V] | $R_t(\Omega)$ | $X_t(\Omega)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17500 | 63 | 5.5 | 159.82 | 1837.02 | 6 | 4950 | 0.00518 | 0.1035 |

❖ ***Interprétation :***

Les résultats du calcul du bilan énergétique, basés sur des connaissances acquises précédemment, ainsi que la vérification des paramètres du transformateur, donnent une bonne indication du niveau de dimensionnement et de sélection du transformateur.

## *III.6. Les câbles électriques*

### *III.6.1. Structure d'un câble électrique*

**- *Câble BT :*** Les câbles bas tension (BT) sont destinés à fonctionner sous une tension ne dépassant pas 1000 volts. On les utilise couramment dans les secteurs domestique et industriel, notamment pour l'alimentation électrique, les circuits d'éclairage et les équipements électroniques. [10]

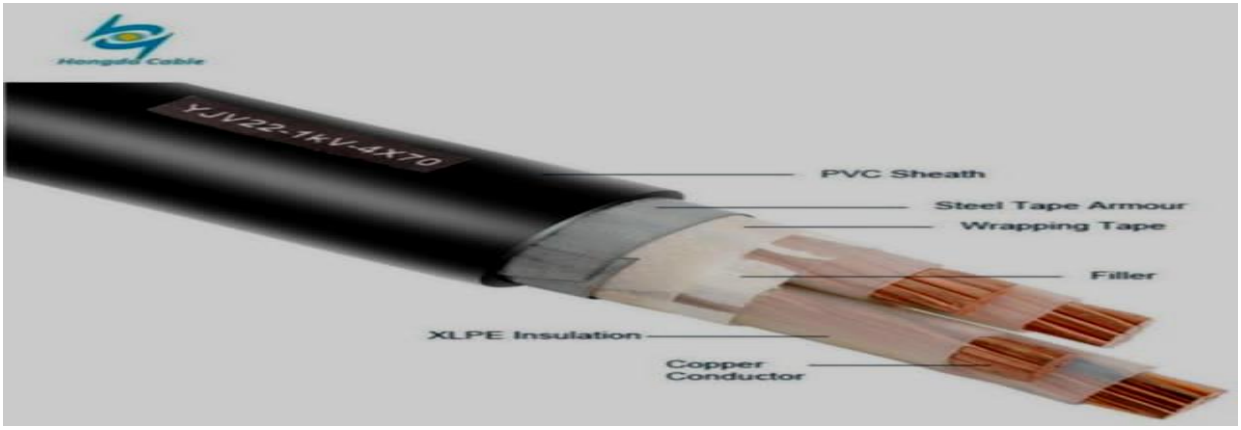


***Figure III.2 :*** constitution d'un câble BT. [14]

**- *Câble MT***

Les câbles de moyenne tension (MT) sont utilisés pour la distribution électrique avec des tensions comprises entre 1 et 36 kV. Ils assurent un transport efficace de l'énergie depuis les transformateurs jusqu'aux consommateurs finaux. [13]

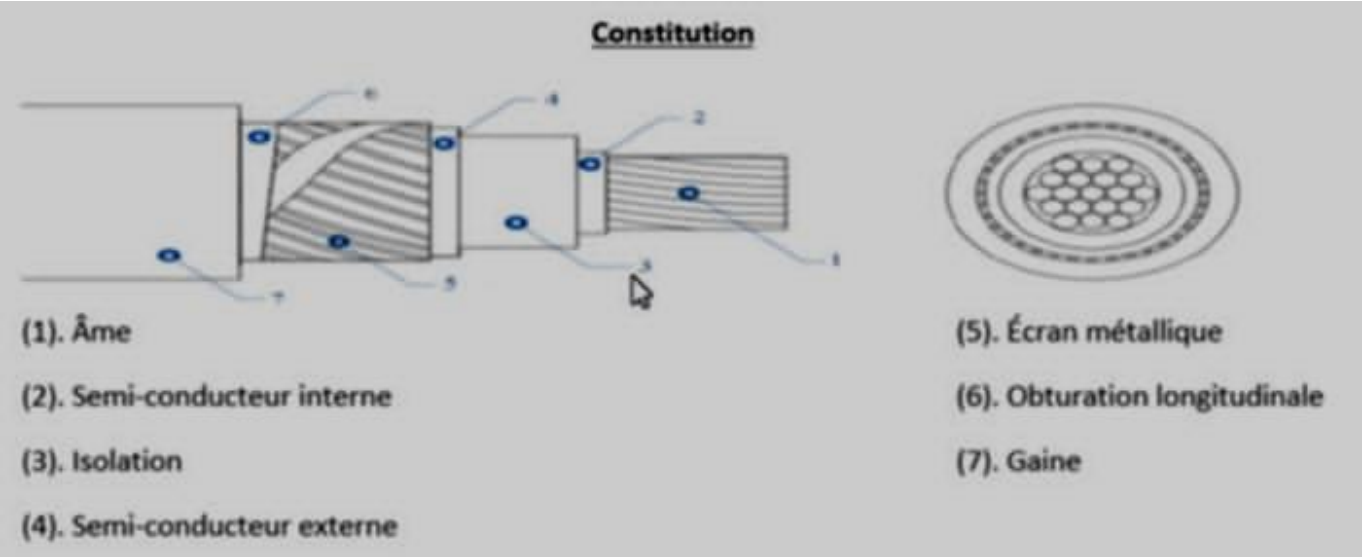


***Figure III.3 :*** constitution d'un câble MT. [14]

### *III.6.2. La section d'un câble électrique*

Comme nous avons indiqué au chapitre précédent la détermination de la section de l'âme d'un câble consiste à calculer la plus petite section normalisée qui satisfait simultanément les trois conditions:

- ✓ Echauffement normal
- ✓ Surintensité due à un court-circuit
- ✓ Chute de tension.

#### *III.6.2.1. Dimensionnement du câble de tableau de distribution 63 KV vers le transformateur de (câble C1)*

- ✓ Détermination de la section S1 du câble pouvant véhiculer le courant $Ib$

#### *A .Calcul de courant Ib*

Le courant maximal d'emploi ($Ib$) est déterminé en fonction de la nature de l'installation alimentée par le circuit. II correspond au courant lié à la plus grande puissance transportée par le circuit en régime de service normal, et se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$Ib = \frac{P}{\sqrt{3} * U * Cos\phi}$$

Avec :

$U$ : Tensions composées en triphasée.

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

$Cos\phi$ : Facteur de puissance du récepteur.

➤Dans notre cas le courant primaire de transformateur est :

$Ib = In = \frac{17.5*10^6}{\sqrt{3}*63000}$ =**159.82 A**

➤En applique les facteurs de correction suivant et on obtient :

Température ambiante 30-35 C : **0,95. [9]**

Espacement 1,5 × $d$ pour multiconducteur : **0,98. [9]**

Groupement des câbles sur les chemins de câble dans le sous-sol du poste : 1. [9]

Donc le facteur de correction global est :

$F$→f1 × $f2$×$f3$ =**0,93**

➤Capacité thermique corrigée

$Iz = \frac{Ib}{F} = \frac{169.02}{0.93}$ = **172 A**

D'après le tableau d'Annexe A, un câble Cu (120 mm²) XLPE, (3core, armés) d'intensité nominal maximale de 269 A. donc la capacité totale de courant sera :

$Imax$ =**269 A**

Donc le choix de une seule section pour transporter ce courant est acceptable parce, elle est économique et manipulable.

**Imax= 269 A>172 A section 120 mm² (Cu XLPE est suffisante)**

### *B. Vérification des contraintes thermiques S1*

Selon la norme CEI 60949, il est conseillé de vérifier la tenue thermique en régime de court-circuit, c'est-à-dire le courant maximal admissible par le câble. Cette vérification permet de valider la section du câble face à un défaut éventuel. En négligeant l'impédance amont du transformateur ainsi que celle de la liaison entre le transformateur et le jeu de barres, le courant de court-circuit maximal au point de départ du câble est considéré égal au courant de défaut du transformateur.

On calcule l'impédance du transformateur :

On suppose que le transformateur MT à une puissance $S =$ **17,5MVA.**

$$Zt = \frac{Un^2}{Sn} \times \frac{Ucc\%}{100} = \frac{63000^2}{17.5*10^6} * \frac{6}{100} = 13.6\ (\Omega)$$

Avec :

$Ucc =$ **6%** d'après la plaque signalétique du transformateur.

Le courant de court-circuit maximal est :

$$Icc = 1.1 \times \frac{Un}{\sqrt{3} \times Zt} = 1.1 \times \frac{63000}{\sqrt{3} \times 13.6} = \mathbf{2941.93\ A}$$

➤La section des conducteurs satisfaisant à la contrainte du court-circuit est :

$$S1 = \frac{Icc * \sqrt{t}}{K} = \mathbf{21\ mm^2}$$

Avec :

$\boldsymbol{T = 1\ s}$ : Le temps de fonctionnement total du dispositif de protection ou la tenue au court-circuit De l'appareillage.

***K* :** Coefficient dépendant du matériau et de l'isolation (Cu/XLPE→143)

### *C. Vérification des chutes de tensions*

La chute de tension sur un câble est calculée par la formule

$$\Delta V = \frac{L \times Ib \times \sqrt{3} \times (R\ Cos\phi + X\ Sin\phi)}{1000}$$

Avec :

$\Delta \boldsymbol{V}$ : La chute de tension en volt

$R$ : La résistance maximale du conducteur en courant alternatif a 90°C en ($\Omega$ /km)

$X$ : La longueur du câble en mètre

$Cos\phi$ : Facteur de puissance ; en l'absence d'indication précise on peut prendre $Cos\phi$=0,86 et ($Sin\phi$ = 0,51)

$\boldsymbol{Ib}$: Courant maximal d'emploi de 159.82A.

$X$: Réactance en Etoile par phase à 50 Hz en ($\Omega$ /km)

$L$ =1000m, $R =$ 0, 0761($\Omega$ /km), $X$ =0,081 ($\Omega$/km), $Ib$ =159.82A ($Cos\phi = 0,86$) ($Sin\varphi = 0,51$).

$$\Delta V = \frac{1000 \times 159.82 \times \sqrt{3} \times (0.0762 * 0.86 + 0.081 * 0.51)}{1000}$$

$\Delta V$ = **32 V**

Les chutes de tension en régime normal sont inférieures à *1%,* pour notre cas la chute de tension relative est de :

$$\Delta V\% = \frac{\Delta U}{U} \times 100$$

Avec :

$\Delta \boldsymbol{V}$ : Est la chute de tension calcule en volt

$U$ : est la tension nominale du réseau

$\boldsymbol{\Delta V\%}$ **:** L'expression de la chute de tension en pourcentage par rapport à la tension d'alimentation

$$\Delta V\% = \frac{32}{63000} * 100 = \mathbf{0.05\%}$$

La chute de tension obtenue est de 0.05% ce qui largement inferieur a la limite règlementaire de 5% cela confirme le bon dimensionnement du câble et garantit une alimentation électrique fiable et efficace.

***III.6.2.2. Dimensionnement du câble de transformateur de 17,5 MVA vers le tableau de 5,5 KV (câble C2)***

**A. détermination de la section $S2$ du câble pouvant véhiculer le courant Iz**

$$Ib = \frac{17.5*10^6}{\sqrt{3}*5500} = \mathbf{1837.02A}$$

En applique les facteurs de correction suivant et on obtient :

-Température ambiante 30-35 C : 0,95. [9]

Les câbles monophasés sont disposés en triplets (configuration en trèfle) avec un espacement de 3 × d ce qui permet de considérer un facteur de correction égal à 1. [9]

Groupement des câbles sur les chemins de câble dans le sous-sol du poste : 0.92. [9]

Donc le facteur de correction global est : F= $f1 \times f2 \times f3$ =**0,87**

➤Capacité thermique corrigée

$$Iz = \frac{Ib}{F} = \frac{1837.02}{0.87} = \mathbf{2111.51A}$$

D'après les tableaux de la norme CEI 60949, un câble Cu XLPE armé de section ( 2 x 500) mm² admet un courant maximal .de 930 A

En utilisant ***trois câbles*** en parallèle par phase, la capacité totale admissible devient :

$$I\ total = 3 \times 930 = \mathbf{2790\ A}$$

**Conclusion :** 2790 A>2111.51 A section 3×(2x500) $mm^2$(Cu XLPE, armé est suffisante)

**B.** ***Vérification de la tenue thermique S2***

Conformément à la norme CEI 60949, la section du câble doit être vérifié pour résister thermiquement à un courant de court-circuit pendant une durée donnée, le courant de court-circuit pris en compte est : **34.9 KA**

La section thermique minimale requise est calculée selon la formule normalisée

$$S2 = \frac{(Icc*\sqrt{t})}{K} = \frac{(34900*\sqrt{1})}{143} = \mathbf{240\ mm^2}$$

La section thermique $S2$ = 240 mm² est comparée à la section $S = 500\ mm^2$ obtenue pour le courant admissible corrigée l la plus grande des deux valeurs est retenue pour garantir la tenue du câble à la fois en fonctionnement normal et en cas de court-circuit donne Chaque câble a une section de 500 $mm^2$.

***C. Vérifications des chutes de tensions***

$L = 170\ m$, $R = 0{,}0958(\Omega/Km)$, $X = 0{,}0838(\Omega/Km)$, 169.02A [$Cos\phi$ = (0, 86) ($Sin\phi$ =0,51)].

$$\Delta V = \mathbf{6.31V}$$

➤Calcule de la chute de tension en pourcentage par rapport à la tension d'alimentation

$$\Delta V\% = \mathbf{0{,}11\%}$$

La chute de tension de 0,11% est très faible par rapport aux limites admissibles définies par la norme CEI 60364, qui autorise généralement jusqu'à 5% pour les circuits de distribution donc elle témoigne d'un bon choix de section de câble.

***III.6.2.3. Dimensionnement des câbles du tableau de distribution 5.5 KV***

Dans ce contexte, nous allons prendre ce BOGBUTCOMP2 et l'appliquer, et cela s'applique à tous les éléments présents dans l'assemblage en général et aux SUB NO, EB-422 BUS NO, 11 calculés.

***A. Calcule de section selon l'échauffement***

Le Départ BOGBUTCOMP2 alimenté sous 5.5 kV présente une puissance apparente de 2173.42 KVA . Le courant d'emploi est calculé comme suit :

$$Ib = \frac{2173.42\times10^3}{\sqrt{3}\times5500} = \mathbf{228.77A}$$

Après application des facteurs de correction liés à la température, au groupement et au mode de pose des câbles, le courant corrigé devient :

➤Application des facteurs de correction :

- Température ambiante 30-35 C : 0,94. [9]

- Espacement 1,5 x d pour multiconducteur : 0,98. [9]
- Groupement des câbles sur les chemins de câble dans le sous-sol du poste : 0.92. [9]

$$F = 0{,}94 \times 0{,}98 \times 0{,}92 = \mathbf{0.84}$$

$$Iz = \frac{Ib}{F} = \frac{228.77}{0.84} = \mathbf{272.34\ A}$$

D'après les tableaux normalisés CEI, un câble Cu XLPE armé de section 120 m$m^2$ possède un courant admissible supérieur à cette valeur.
Ainsi, la section retenue est :

$$Sj = \mathbf{120\ mm^2}$$

*Les résultats obtenus pour chacun des circuits du Jeux-barres SUB NO, B-423 BUS NO, 33 sont résumés dans le tableau ci-dessous :

***Tableau III.7:*** Résultats de calcul de la section selon l'échauffement.

| Récepteur | Courant d'emploi Ib[A] | *F* | Courant admissible corrige $I_Z$[A] | Nature des câbles | ($S_J$) [ $mm^2$] |
|---|---|---|---|---|---|
| 04-CM-0002E | 228.77 | 0.84 | 272.34 | Cuivre XLPE | 120 |
| 04-PM-0042C | 108.76 | 0.84 | 129.47 | Cuivre XLPE | 50 |
| 04-PM-0042D | - | - | - | Cuivre XLPE | - |
| BOGPROCOMP3 | - | - | - | Cuivre XLPE | - |
| BOGBUTCOMP2 | 228.77 | 0.84 | 272.34 | Cuivre XLPE | 120 |
| BOGBUTCOMP2 | 165.84 | 0.84 | 197.42 | Cuivre XLPE | 70 |

❖ ***Interprétation :***

Les résultats montrent une parfaite proportionnalité entre la charge et la section retenue : une section de 120 $mm^2$ est requise pour les courants élevés (228.77A), tandis qu'une section de 50 $mm^2$ suffit pour les charges plus faibles (108.76A). L'utilisation des câbles en Cuivre/XLPE assure une excellente résistance à l'échauffement en régime permanent (90°C). Ces sections forment la base thermique minimale avant validation par les critères de chute de tension et de court-circuit.

***B. Calcul de la section selon la chute de tension Sz***

Les câbles doivent également être dimensionnés de manière à ce que la chute de tension entre la source et la charge reste dans les limites admissibles définies par la norme CEI 60364.
Dans notre cas, pour le départ **BOGBUTCOMP2**, on a :

Ib=228.77 A, $Cos\phi$ =0,86, $Sin\phi$ =0.51, L=300 m, $R$ =0,195( $\Omega$ /km), $X$ =0,105 ($\Omega$ /km).

La chute de tension est calculée par la relation suivante :

$$\Delta U = \frac{L \times Ib \times \sqrt{3} \times (R\cos\phi + X\sin\phi)}{1000}$$

Application numérique :

$$\Delta U = \frac{300 \times 228.77 \times \sqrt{3} \times (0.86 \times 0.195 + 0.51 \times 0.105)}{1000} = \mathbf{26.03\ V}$$

➢ Calcul de la chute de tension en pourcentage par rapport à la tension d'alimentation :

$$\Delta U\% = \left(\frac{26.03}{5500}\right) \times 100 = \mathbf{0.47\%}$$

La chute de tension obtenue est de 0,47%, ce qui est largement inférieur à la limite admissible de 3,25 % pour les circuits moteurs moyenne tension. Cela confirme que la section du câble choisie est convenable et garantit une alimentation électrique fiable et efficace.

✓ Les résultats de calcul des autres paramètres du Jeux-barres SUB NO, EB-422 BUS NO, 33 sont représentés dans le tableau suivant:

**Tableau III.*8***: Vérification des sections par rapport aux chutes de tensions.

| Récepteur | Ib(A) | $\cos\varphi$ | L[m] | R[$\Omega/km$] | X[$\Omega/km$] | $\Delta U$ | $\Delta U$ % | $S_J$ | $S_Z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 04-CM-0002E | 228.77 | 0.8 | 200 | 0.145 | 0.105 | 17.35 | 0.32 | 120 | 12 |
| 04-PM-0042C | 108.76 | 0.8 | 150 | 0.668 | 0.12 | 17.13 | 0.31 | 50 | 50 |
| 04-PM-0042D | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| BOGPROCOMP3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| BOGBUTCOMP2 | 228.77 | 0.8 | 300 | 0.195 | 0.105 | 26.03 | 0.47 | 120 | 12 |
| BOGBUTCOMP4 | 165.84 | 0.8 | 100 | 0.494 | 0.11 | 13.24 | 0.24 | 70 | 70 |

❖ ***Interprétation :***

D'âpres les calculs effectués dans le tableau ci-dessus, on remarque que les chutes de tension calculées sont inférieures par rapport à la chute de tension admissible, pour cela les sections calculées au paravent sont convenables.

***C. Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit Scc***

En cas de court-circuit, l'intensité du courant peut atteindre des valeurs extrêmement élevées en moins de 5 secondes. Si la section du câble est insuffisante, l'effet Joule échauffera trop le conducteur, ce qui risque de faire fondre l'isolant, voire le métal lui-même.

Pour éviter cela, la norme IEC 60364 exige que le câble résiste à la contrainte thermique du court-circuit. Autrement dit, la section choisie doit être telle que l'énergie thermique reçue reste inférieure à ce que le conducteur peut supporter sans dommage.

➢ La formule de vérification est souvent présentée ainsi :

$$Scc = \frac{Icc \times \sqrt{(t)}}{K}$$

Avec :

$Icc$ : Courant de court-circuit (A).

$t$ : Durée du court-circuit jusqu'à l'ouverture du dispositif de protection (s).

$K$ : Coefficient dépendant du matériau et de l'isolation.

Pour un câble Cu/XLPE : $K$ =**143**

✓ Vérification pour le moteur **BOGBUT COMP-2** On prend :

$Icc$ =**20** KA $t$ =1 s $K$ =143

***Application numérique***

$$Scc = \frac{20000 \times \sqrt{1}}{143} = \mathbf{139.86\ mm^2}$$

Donc :

$$Scc \approx \mathbf{140\ mm^2}$$

Choisir un câble tripolaire de taille immédiatement supérieure (140 $mm^2$) pour l'alimentation de la machine, en tenant compte des exigences thermiques et électriques.

Nous remarquons que $Scc$ >Sj, cela signifie que la contrainte thermique du court-circuit impose une section plus grande que celle nécessaire pour le régime permanent.

Dans ce cas, la section finale du câble doit être max ($Scc$, Sj) = 140 mm², car la tenue thermique est un critère de sécurité majeur.

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

Jeux-barres **SUB NO, EB-422 BUS NO, 13**

**Tableau III.*9*:** Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit.

| Récepteur | K | Icc[KA] | $\frac{Scc \times \sqrt{t}}{K}$ | $S_J$ | Scc |
|---|---|---|---|---|---|
| 04-CM-0002E | 143 | 20 | 139.6 | 120 | 140 |
| 04-PM-0042C | 143 | 10 | 69.9 | 50 | 70 |
| 04-PM-0042D | - | - | - | - | - |
| BOGPROCOMP3 | - | - | - | - | - |
| BOGBUTCOMP2 | 143 | 20 | 139.6 | 120 | 140 |
| BOGBUTCOMP2 | 143 | 12 | 83.9 | 70 | 95 |

❖ ***Interprétation :***

Les résultats du tableau montrent que la section déterminée à partir de la surcharge de court-circuit est plus grande que celle calculée pour l'échauffement en régime permanent.

Ainsi, c'est la contrainte thermique due au court-circuit qui impose une section plus élevée, par rapport à celle requise pour le fonctionnement normal.

## *III.7. Analyse et interprétation*

Le tableau illustre une étude réelle et numérique de jeux de barre SUB NO, EB-422 BUS NO, 13 pour le choix des sections des câbles.

**Tableau III.*10* :** Comparaison entre les calculs théorique et réelle sur industrie.

| *Récepteur* | *Section réelle* | *Section(calcule théorique)* | *Longueur[m]* | *Z %* | *Omnibus* |
|---|---|---|---|---|---|
| *04-CM-0002$^{E}$* | *125*2NO* | *150* | *200* | *0.688* | *B-423* |
| *04-PM-0042C* | *100* | *70* | *150* | *1.25* | *B-423* |
| *04-PM-0042D* | *-* | *-* | *-* | *-* | *B-423* |
| *BOGPROCOMP3* | *-* | *-* | *-* | *-* | *B-423* |
| *BOGBUTCOMP2* | *125*2NO* | *150* | *300* | *0.688* | *B-423* |
| *BOGBUTCOMP2* | *100* | *95* | *100* | *1.26* | *B-423* |

❖ ***Interprétation :***

Après comparaison entre les sections obtenues par les calculs théoriques et les sections réellement installées au niveau du complexe GP1Z, on constate que les valeurs retenues sur site sont généralement supérieures aux sections minimales calculées.

En effet, les calculs théoriques réalisés dans cette étude permettent principalement de déterminer la section minimale admissible des câbles en fonction du courant d'emploi, des contraintes thermiques et des limites de chute de tension. Cependant, dans les installations industrielles réelles, le choix final des sections ne repose pas uniquement sur ces critères théoriques.

Les sections effectivement utilisées dans le complexe tiennent également compte de plusieurs exigences d'exploitation et de sécurité, notamment :

- ✓ « les courants de démarrage élevés des motrices moyennes tensions ; »
- ✓ « la réduction des échauffements des conducteurs en régime permanent ; »
- ✓ « la limitation des chutes de tension lors des régimes transitoires ; »
- ✓ « l'amélioration de la tenue thermique et dynamique en cas de court-circuit ; »
- ✓ « les conditions réelles d'installation telles que la température ambiante, le groupement des câbles et le mode de pose ; »
- ✓ « les marges de sécurité imposées dans les réseaux industriels critiques ; »
- ✓ « ainsi que les possibilités d'extension future des charges. ».

Dans certains départs, l'utilisation de deux câbles en parallèle a également été retenue afin d'améliorer la répartition du courant, d'augmenter la capacité de transport et de garantir une meilleure fiabilité du réseau électrique.

Par conséquent, les sections réellement installées dans le complexe GP1Z traduisent une approche industrielle plus conservative visant à assurer la continuité de service, la sécurité de fonctionnement et la fiabilité globale de l'installation électrique.

## *III.8. Conclusion*

En conclusion, ce chapitre nous a permis d'étudier et d'analyser une partie du réseau électrique du complexe gazier GP1Z à travers l'établissement du schéma unifilaire ainsi que l'évaluation des puissances installées et utilisées des différents équipements du site. Les différents calculs réalisés ont permis de vérifier le dimensionnement des transformateurs, des câbles et des jeux de barres tout en tenant compte des conditions réelles d'exploitation du complexe.

Cette étude nous a également permis d'appliquer les connaissances théoriques acquises durant notre formation dans un contexte industriel réel, notamment en ce qui concerne le bilan de puissance, le calcul des courants d'emploi, les chutes de tension ainsi que la vérification des contraintes thermiques liées au court-circuit.

Les résultats obtenus montrent que les équipements électriques étudiés répondent globalement aux exigences de fonctionnement, de sécurité et de fiabilités imposées dans les installations industrielles de grande puissance.

Afin de compléter cette étude, le chapitre suivant sera consacré à la simulation du réseau électrique à l'aide du logiciel ETAP. Cette simulation permettra de valider les résultats obtenus à travers les calculs réalisés.

# Chapitre04

# Simulation avec logiciel ETAP.

## IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la modélisation et à la simulation d'une partie du réseau électrique du complexe GP1Z sous le logiciel ETAP. À partir du schéma unifilaire réel de l'installation, les différents jeux de barres, transformateurs, câbles et charges principales ont été représentés afin d'obtenir un modèle proche du fonctionnement réel du réseau étudié.

L'objectif principal de cette simulation est de vérifier les résultats des calculs réalisés précédemment, notamment le bilan de puissance, les courants d'emploi, ainsi que le dimensionnement des câbles et des équipements électriques. Cette étude permettra également d'analyser le comportement du réseau en régime normal à travers l'étude du flux de puissance (Load Flow), puis d'évaluer les niveaux de court-circuit au niveau des différents jeux de barres.

Les résultats obtenus sous ETAP permettront ainsi de valider les choix techniques adoptés et d'assurer la fiabilité, la sécurité et le bon fonctionnement de l'installation électrique étudiée.

## IV.2. Présentation du logiciel ETAP

ETAP (Electrical Transient Analysis Program) est un logiciel de pointe utilisé pour la conception, la simulation, l'analyse et l'exploitation en temps réel des réseaux électriques, développé par la société américaine Opération Technologie Inc. (OTI). Il permet de réaliser de nombreuses études essentielles comme le calcul des flux de puissance, l'analyse des courts-circuits (selon les normes CEI ou ANSI), la stabilité transitoire, les harmoniques, la coordination des protections, la sécurité contre l'arc électrique, ainsi que le dimensionnement des câbles et des équipements. Sa force réside dans sa base de données unique et sa bibliothèque de composants très complète, ce qui en fait un outil incontournable pour les ingénieurs dans les domaines de l'énergie, de l'industrie, des data centres et des infrastructures critiques.

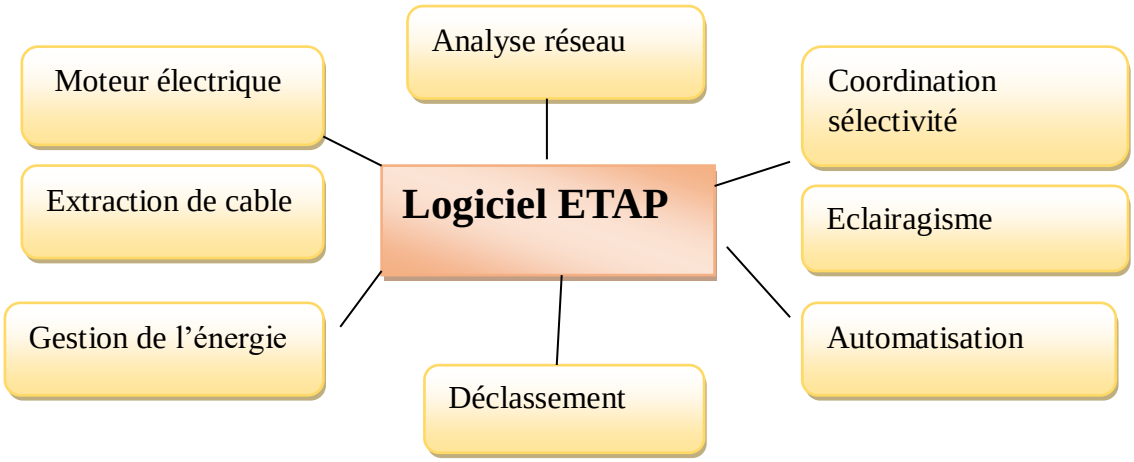


***Figure IV.1:*** Les déférents domaines d'utilisation du logiciel Etap

### IV.2.1. La barre d'outils du logiciel

La barre d'outils du simulateur regroupe diverses options permettant de lancer, contrôler et analyser les simulations électriques. Chaque option donne accès à des fonctions clés telles que l'exécution des études de flux de puissance, d'écoulement de charge, de court-circuit, de stabilité transitoire, d'analyse harmonique, ainsi que la coordination des protections et la sécurité contre l'arc électrique. On y trouve également des accès aux paramètres de simulation, à la gestion des scénarios, à l'affichage des résultats sur le schéma unifilaire, ainsi qu'aux outils de traçage de courbes et de génération de rapports.

***Figure IV.2:*** La barre d'outils du logiciel ETAP

La barre d'outils contient un ensemble d'icônes qui ont plusieurs fonctions, notamment : Lancer la simulation, Arrêter la simulation, Exécuter le flux de puissance, Exécuter le court-circuit, Exécuter la stabilité transitoire, Exécuter l'analyse harmonique, Exécuter la coordination des protections, Exécuter

l'arc électrique, Afficher les résultats sur le schéma, Afficher les courbes de simulation, Gérer les scénarios, Paramètres de simulation, Générer un rapport, Zoom avant/Zoom arrière, Panneau d'alertes, Réinitialiser les résultats, Aide contextuelle.

***IV.2.2. Le différent mode du logiciel.***

***IV.2.2.1. Mode édition:***

Activée par l'icône représentant un crayon, ce mode permet :

- ✓ Concevoir le schéma unifilaire du réseau électrique
- ✓ Ajouter ou ajuster les éléments (générateurs, transformateurs, disjoncteurs, câbles, etc.)
- ✓ Modifier les connexions entre équipements
- ✓ Accéder aux propriétés techniques de chaque composant
- ✓ Enregistrer le travail réalisé
- ✓ Générer des rapports techniques (Crystal Reports)

Ce mode est la base de tout projet dans ETAP, car il précède toute opération d'analyse ou de simulation.

***IV.2.2.2. Mode étude***

Ce mode permet de réaliser des analyses systématiques et de consulter les résultats (rapports et graphiques).

**a-Études en courant alternatif (AC)**

- •Débit de charge équilibré (Load Flow).
- •Court-circuit.
- •Démarrage du moteur.
- • Stabilité transitoire.
- • Débit de charge optimal.
- • Placement optimal des condensateurs.
- • Analyse de contingence
- • Débit de charge déséquilibré
- •Arc Flash
- • Harmoniques
- • Protection et coordination (ETAP Star)
- • Analyse de fiabilité
- • Gestion des séquences de commutation

**2- Études en courant continu (DC)**

- • Flux de charge DC.
- •Arc électrique DC.
- • Court-circuit DC.
- • Dimensionnement des batteries.

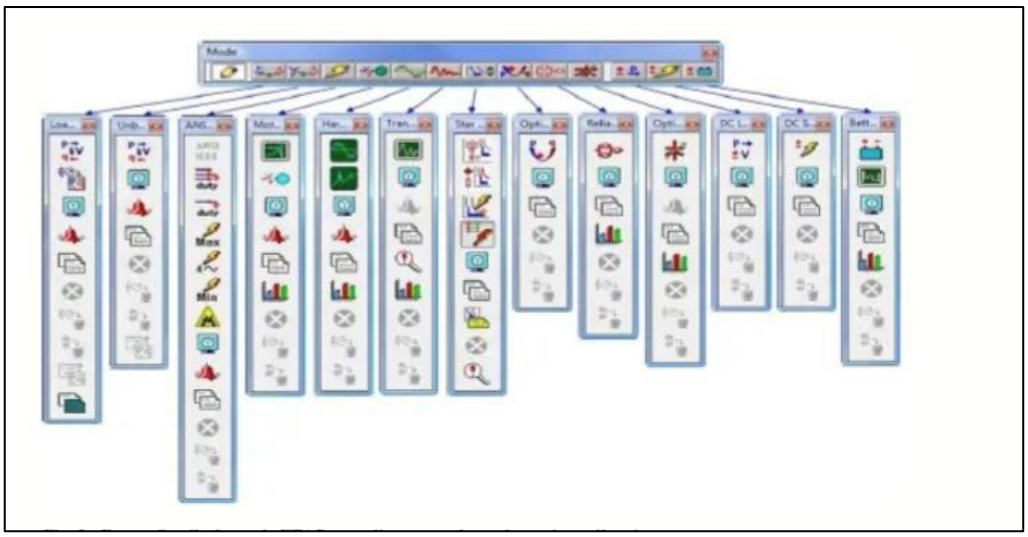

***Figure IV.3:*** Barres d'outils du mode ETAP pour diverses analyses de systèmes électriques.

***IV.2.3. Adaptation de la barre d'outils***

La barre d'outils peut être configurée selon les besoins de l'utilisateur, en ajoutant ou supprimant certaines icônes pour optimiser le flux de travail.

## *IV.3. Simulation et analyse du réseau électrique sous ETAP*

Dans cette partie, une modélisation du réseau électrique étudié a été réalisée à l'aide du logiciel ETAP afin de simuler le comportement réel de l'installation électrique du complexe GP1Z.

Le schéma unifilaire introduit dans le logiciel représente les principales sources d'alimentation, les transformateurs de puissance, les jeux de barres, les câbles ainsi que les différentes charges industrielles alimentant le procédé.

Le réseau étudié est alimenté à partir de deux transformateurs principaux assurant la transformation de la tension HT vers le niveau MT utilisé dans l'installation. Les différents départs alimentent plusieurs jeux de barres répartis au niveau des zones industrielles du complexe. Chaque jeu de barres est associé à des charges spécifiques telles que les moteurs, les pompes, les compresseurs et les auxiliaires de service.
La modélisation sous ETAP a permis d'introduire les caractéristiques électriques réelles des équipements, notamment les puissances installées, les tensions nominales, les paramètres des transformateurs, les sections des câbles ainsi que les protections électriques. Cette étape est essentielle afin d'obtenir une représentation fidèle du fonctionnement réel du réseau.

Après la construction du schéma unifilaire, plusieurs analyses ont été effectuées, principalement l'analyse de l'écoulement de puissance (Load Flow) permettant d'évaluer la répartition des puissances actives et réactives, les niveaux de tension au niveau des jeux de barres ainsi que les courants circulant dans les différentes branches du réseau.

Par la suite, une étude de court-circuit a été réalisée afin de déterminer les courants de défaut maximaux au niveau des différents jeux de barres et vérifier la tenue thermique des équipements électriques. Plusieurs cas de défauts ont également été simulés afin d'analyser le comportement du réseau et vérifier la coordination des dispositifs de protection

Cette simulation permet ainsi de valider le dimensionnement des équipements électriques, d'évaluer les performances du réseau étudié et d'assurer un fonctionnement fiable, sécurisé et conforme aux exigences industrielles du complexe GP1Z.

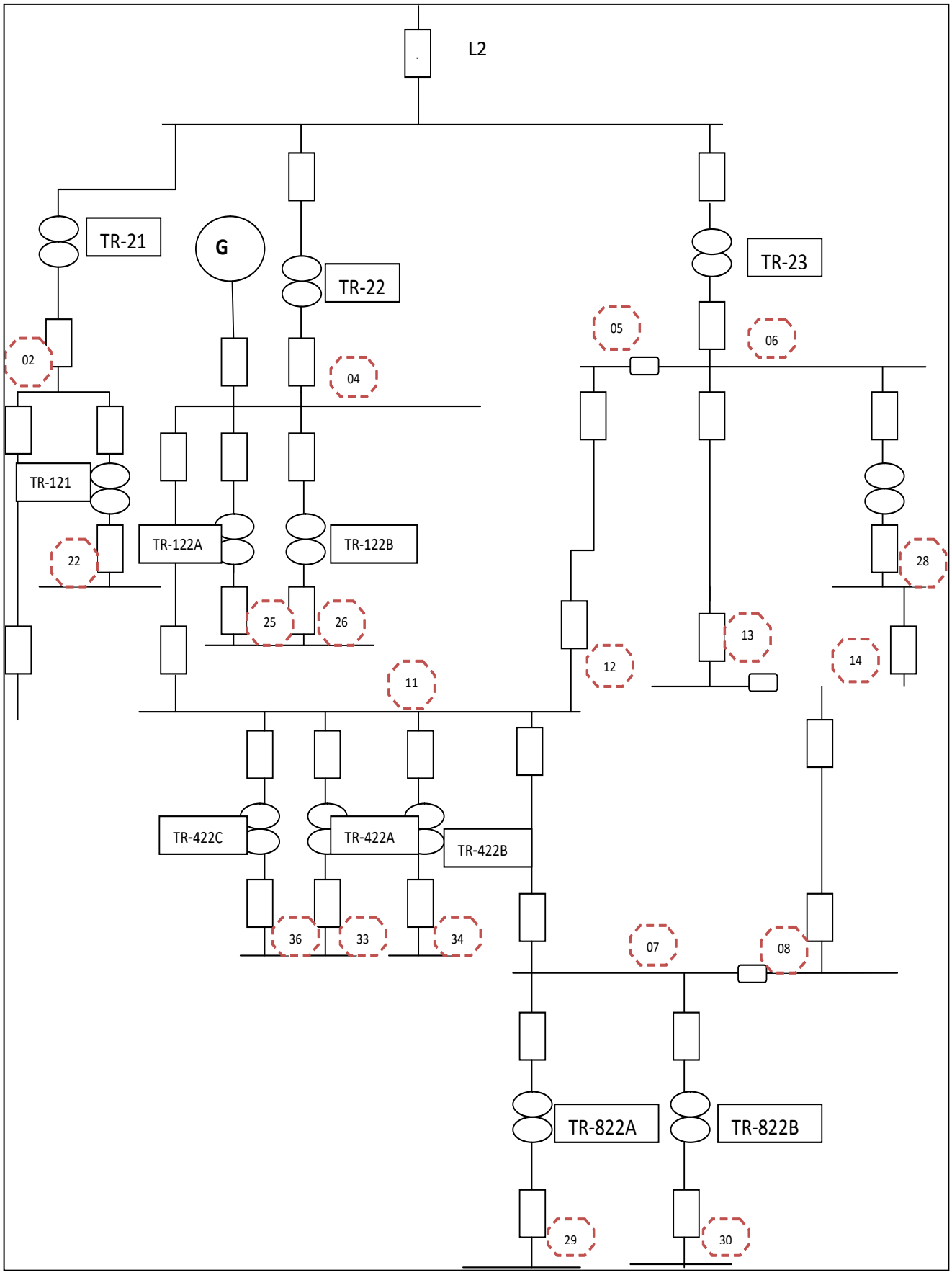


**Figure IV.4** : schéma unifilaire de la partie d'étude

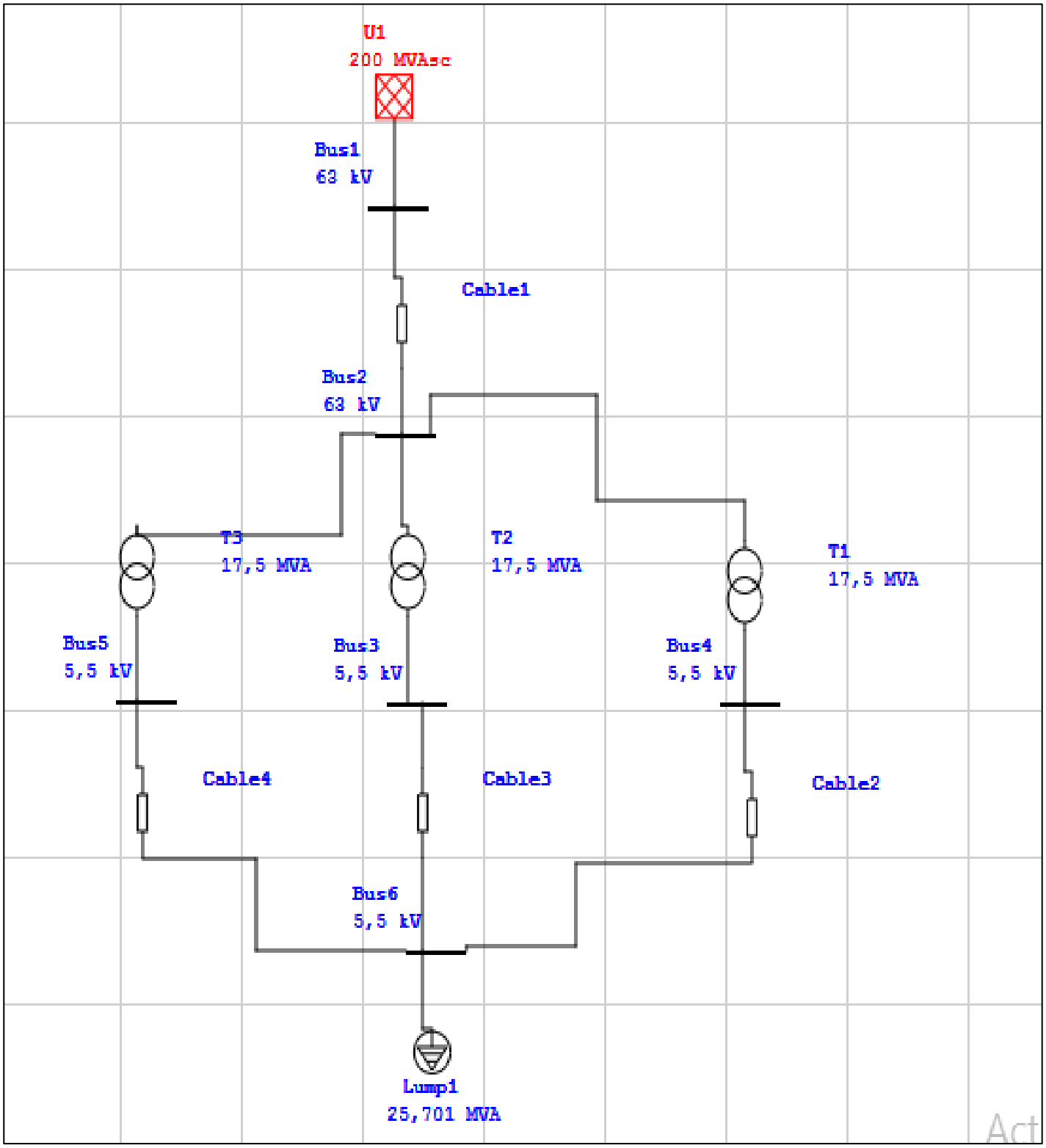


***Figure IV.5 :*** Schéma unifilaire de la partie simuler sur logiciel Etap.

## *IV.4. Analyse de l'écoulement de Puissance sur ETAP*

Lors de simulation par le logiciel, nous avons obtenus les résultats suivants comme ils sont affichés sur le schéma de la figure (IV.6).

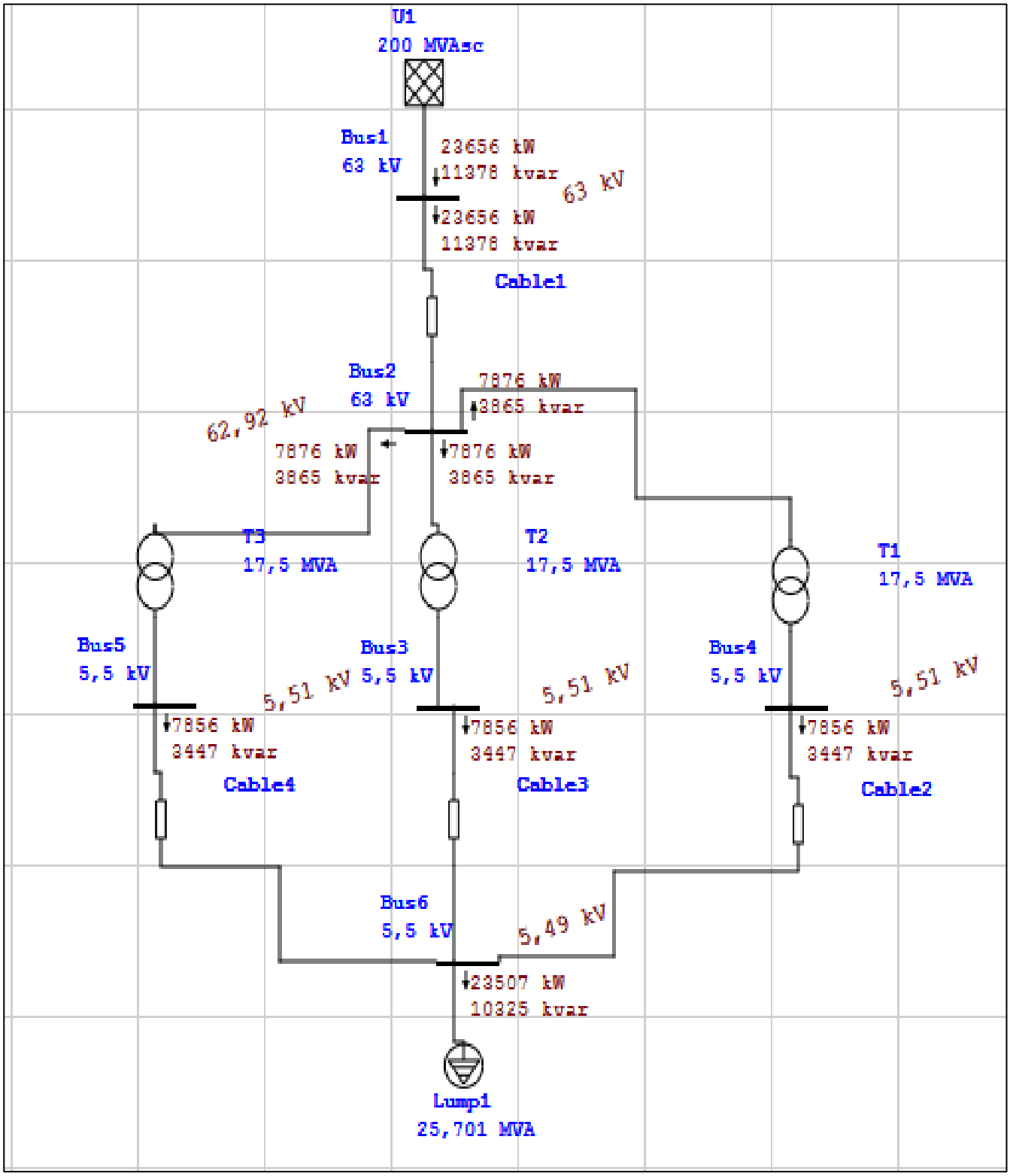


***Figure IV.6 :*** Résultats l'écoulement de puissance sur Etap

***IV.4.1. Les données de production, charge et tension des bus***

Le tableau ci-dessus montre Les données en question correspondent aux différents de la tension, de In puissance en kW et en krav au niveau du jeu de barre.

***Tableau IV.1:*** les données des jeux de barres.

**Bus Input Data**

| Bus | | | Initial Voltage | | Load | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Constant kVA | | Constant Z | | Constant I | | Generic | |
| ID | kV | Sub-sys | % Mag. | Ang. | MW | Mvar | MW | Mvar | MW | Mvar | MW | Mvar |
| Bus1 | 63.000 | 1 | 100.0 | 0.0 | | | | | | | | |
| Bus2 | 63.000 | 1 | 100.0 | 0.0 | | | | | | | | |
| Bus3 | 5.500 | 1 | 100.0 | 0.0 | | | | | | | | |
| Bus4 | 5.500 | 1 | 100.0 | 0.0 | | | | | | | | |
| Bus5 | 5.500 | 1 | 100.0 | 0.0 | | | | | | | | |
| Bus6 | 5.500 | 1 | 100.0 | 0.0 | 18.825 | 8.268 | 4.706 | 2.067 | | | | |
| Total Number of Buses: 6 | | | | | 18.825 | 8.268 | 4.706 | 2.067 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| Generation Bus | | | | Voltage | | Generation | | | Mvar Limits | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ID | kV | Type | Sub-sys | % Mag. | Angle | MW | Mvar | % PF | Max | Min |
| Bus1 | 63.000 | Swing | 1 | 100.0 | 0.0 | | | | | |

Activer Windows

- ***Remarque***

Le tableau intitulé “Bus Input Data” fournit des détails techniques relatifs aux différents jeux de barres du réseau électrique. Chaque entrée du tableau représente un bus spécifique. L’ensemble des données est à la fois cohérent, équilibré et renseigné de manière complète et rigoureuse

### *IV.4.2. Données des Transformateurs*

Les différentes données des transformateurs utilisés sont affichées sur le tableau ci-dessus.

***Tableau IV.2:*** Les données des Transformateurs

**2-Winding Transformer Input Data**

| Transformer | | Rating | | | | | Z Variation | | | % Tap Setting | | Adjusted | Phase Shift | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ID | Phase | MVA | Prim kV | Sec kV | % Z1 | X1/R1 | + 5% | - 5% | % Tol | Prim. | Sec. | % Z | Type | Angle |
| T1 | 3-Phase | 17.500 | 63.000 | 5.500 | 10.00 | 20.00 | 0 | 0 | 0 | -2.500 | 0 | 10.0000 | Dyn | -30 |
| T2 | 3-Phase | 17.500 | 63.000 | 5.500 | 10.00 | 20.00 | 0 | 0 | 0 | -2.500 | 0 | 10.0000 | Dyn | -30 |
| T3 | 3-Phase | 17.500 | 63.000 | 5.500 | 10.00 | 20.00 | 0 | 0 | 0 | -2.500 | 0 | 10.0000 | Dyn | -30 |

Ce tableau présente les caractéristiques techniques des transformateurs utilisés dans le réseau électrique étudié du complexe GP1Z. Les transformateurs T1 et T2, de puissance nominale 17,5 MVA, assurent la transformation de la tension du niveau haute tension 63 kV vers le niveau moyenne tension 5,5 kV afin d’alimenter les différents jeux de barres et charges industrielles du procédé.

Les deux transformateurs fonctionnent avec des caractéristiques similaires, permettant une bonne répartition de charge et une meilleure continuité de service du réseau électrique. Les valeurs de tension obtenues après simulation sous ETAP montrent une bonne stabilité du réseau avec une faible chute de tension au niveau des jeux de barres MT.

Les paramètres introduits dans la simulation, notamment les puissances nominales, les tensions et les impédances des transformateurs, ont permis d’obtenir un fonctionnement équilibré et conforme aux exigences d’exploitation du complexe industriel.

### *III.4.3. Données des câbles*

Les différentes données des câbles utilisés sont affichées sur le tableau ci-dessus.

***Tableau IV.3:*** Les données des câbles

**Line/Cable Input Data**

| Line/Cable | ohms or siemens/1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Length | | | | | | |
| ID | Library | Size | Adj. (m) | % Tol. | #/Phase | T (°C) | R | X | Y |
| Cable1 | 33MCUS1 | 150 | 1000.0 | 0.0 | 1 | 75 | 0.151650 | 0.135000 | 0.0000609 |
| Cable2 | 11NCUS1 | 500 | 1000.0 | 0.0 | 6 | 75 | 0.048643 | 0.099800 | 0.0001945 |
| Cable3 | 11NCUS1 | 500 | 1000.0 | 0.0 | 6 | 75 | 0.048643 | 0.099800 | 0.0001945 |
| Cable4 | 11NCUS1 | 500 | 1000.0 | 0.0 | 6 | 75 | 0.048643 | 0.099800 | 0.0001945 |

Line / Cable resistances are listed at the specified temperatures.

### *IV.4.4. Rapport de* l'écoulement de puissance

La valeur de la tension et de la puissance active et réactives obtenu des différents bus d'après l'écoulement de puissance sont affichées sur le rapport suivant :

***Tableau IV.4:*** Rapport de l'écoulement de puissance

**LOAD FLOW REPORT**

| Bus | | Voltage | | Generation | | Load | | Load Flow | | | | | XFMR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ID | kV | % Mag. | Ang. | MW | Mvar | MW | Mvar | ID | MW | Mvar | Amp | %PF | %Tap |
| * Bus1 | 63.000 | 100.000 | 0.0 | 23.656 | 11.378 | 0 | 0 | Bus2 | 23.656 | 11.378 | 240.6 | 90.1 | |
| Bus2 | 63.000 | 99.871 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Bus1 | -23.629 | -11.596 | 241.5 | 89.8 | |
| | | | | | | | | Bus4 | 7.876 | 3.865 | 80.5 | 89.8 | -2.500 |
| | | | | | | | | Bus3 | 7.876 | 3.865 | 80.5 | 89.8 | -2.500 |
| | | | | | | | | Bus5 | 7.876 | 3.865 | 80.5 | 89.8 | -2.500 |
| Bus3 | 5.500 | 100.150 | -2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | Bus6 | 7.856 | 3.447 | 899.2 | 91.6 | |
| | | | | | | | | Bus2 | -7.856 | -3.447 | 899.2 | 91.6 | |
| Bus4 | 5.500 | 100.150 | -2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | Bus6 | 7.856 | 3.447 | 899.2 | 91.6 | |
| | | | | | | | | Bus2 | -7.856 | -3.447 | 899.2 | 91.6 | |
| Bus5 | 5.500 | 100.150 | -2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | Bus6 | 7.856 | 3.447 | 899.2 | 91.6 | |
| | | | | | | | | Bus2 | -7.856 | -3.447 | 899.2 | 91.6 | |
| Bus6 | 5.500 | 99.750 | -2.7 | 0 | 0 | 23.507 | 10.325 | Bus4 | -7.836 | -3.442 | 900.6 | 91.6 | |
| | | | | | | | | Bus3 | -7.836 | -3.442 | 900.6 | 91.6 | |
| | | | | | | | | Bus5 | -7.836 | -3.442 | 900.6 | 91.6 | |

* Indicates a voltage regulated bus ( voltage controlled or swing type machine connected to it)

\# Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Activer Windows
Accédez aux paramètr

## *IV.5. Analyse des résultats de l'écoulement de puissance*

Les résultats obtenus montrent que les niveaux de tension au niveau des différents jeux de barres restent dans les limites admissibles imposées par les normes industrielles.

Les courants calculés dans les départs restent inférieurs aux courants admissibles des câbles utilisés, ce qui confirme la validité du dimensionnement adopté.

L'analyse du chargement des transformateurs montre également que les transformateurs fonctionnent dans des conditions normales sans surcharge .Par ailleurs, les pertes de puissance observées dans le réseau restent acceptables par rapport à la puissance totale distribuée.

Ainsi, l'étude de l'écoulement de puissance confirme la stabilité et le bon fonctionnement du réseau électrique étudié.

## *IV.6. Analyse du court-circuit au bus 6*

L'analyse du court-circuit permet d'évaluer les courants de défaut susceptibles d'apparaître dans le réseau électrique industriel.

Cette étude est essentielle pour :

•Vérifier la tenue thermique des câbles.

•Vérifier le pouvoir de coupure des disjoncteurs.

•Assurer la protection des équipements.

•Garantir la sécurité du réseau.
Le calcul des courants de court-circuit a été effectué selon la norme IEC 60909.

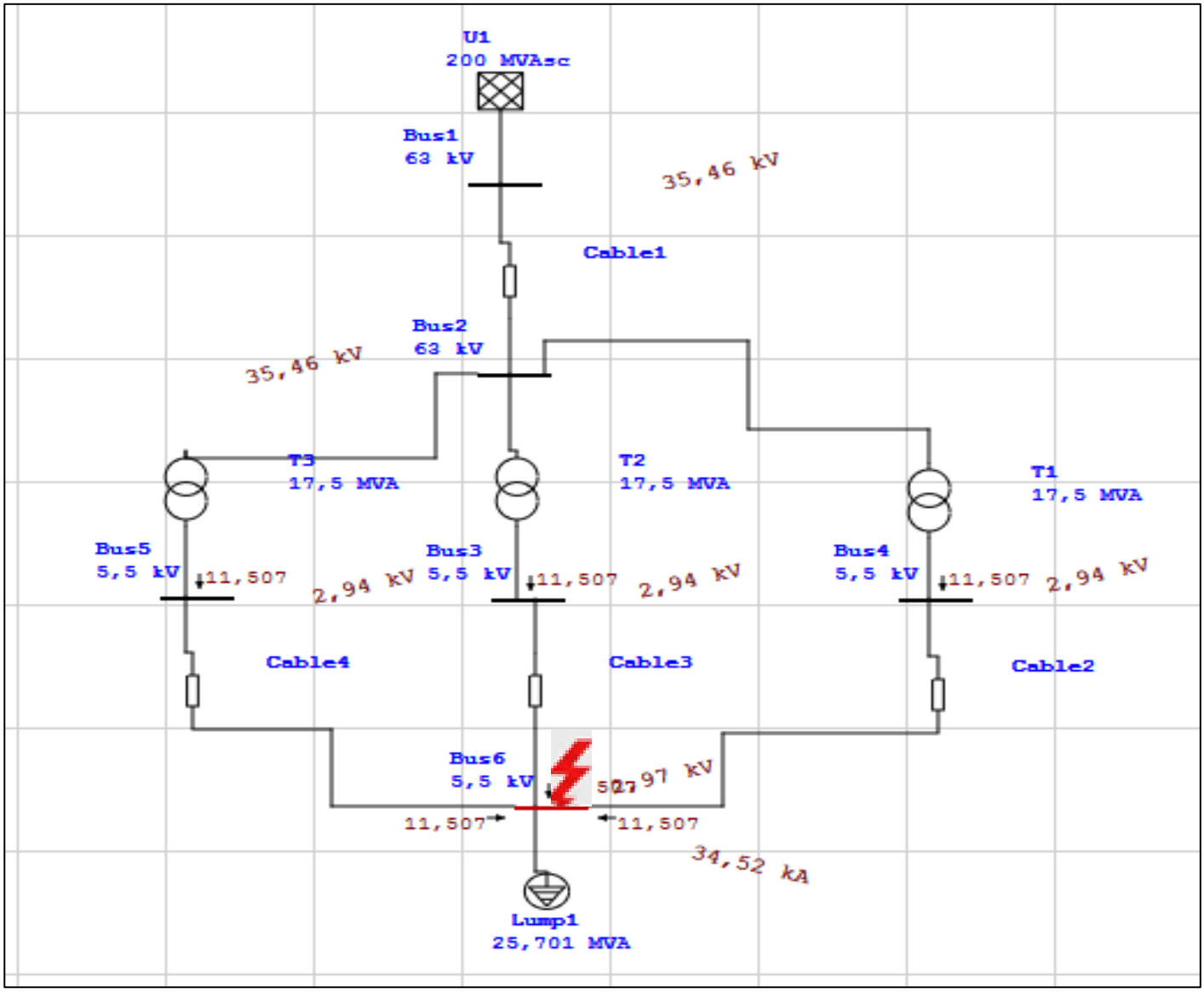


***Figure IV.7:*** Simulation du court-circuit sous ETAP.

### *IV.6.1. Analyse du court-circuit triphasé au niveau du bus 6*

Les résultats de l'étude de court-circuit triphasé réalisée au niveau du bus 6 sont présentés dans le tableau III.7

***Tableau IV.7 :*** Rapport de court-circuit triphasé au bus 6

**SHORT-CIRCUIT REPORT**

3-Phase fault at bus: **Bus6**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Nominal kV | = | 5.500 | |
| Voltage c Factor | = | 1.10 | (User-Defined) |
| Peak Value | = | 74.171 | kA Method C |
| Steady State | = | 14.640 | kA rms |

| Contribution | | Voltage & Initial Symmetrical Current (rms) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| From Bus ID | To Bus ID | % V From Bus | kA Real | kA Imaginary | X/R Ratio | kA Magnitude |
| Bus6 | Total | 0.00 | 3.019 | -29.920 | 9.9 | 30.072 |
| Bus3 | Bus6 | 2.59 | 0.494 | -4.855 | 9.8 | 4.880 |
| Bus4 | Bus6 | 2.59 | 0.494 | -4.855 | 9.8 | 4.880 |
| Bus5 | Bus6 | 2.59 | 0.494 | -4.855 | 9.8 | 4.880 |
| Lump1 | Bus6 | 100.00 | 1.536 | -15.355 | 10.0 | 15.432 |
| Bus2 | Bus3 | 25.55 | 0.494 | -4.855 | 9.8 | 4.880 |
| Bus2 | Bus4 | 25.55 | 0.494 | -4.855 | 9.8 | 4.880 |
| Bus2 | Bus5 | 25.55 | 0.494 | -4.855 | 9.8 | 4.880 |

**Breaking and DC Fault Current (kA)**

**Based on Total Bus Fault Current**

| TD (S) | Ib sym | Ib asym | Idc |
|---|---|---|---|
| 0.01 | 28.976 | 42.416 | 30.976 |
| 0.02 | 28.564 | 36.400 | 22.562 |
| 0.03 | 28.114 | 32.565 | 16.434 |
| 0.04 | 27.631 | 30.112 | 11.970 |
| 0.05 | 27.119 | 28.486 | 8.719 |
| 0.06 | 26.930 | 27.669 | 6.351 |
| 0.07 | 26.737 | 27.134 | 4.626 |
| 0.08 | 26.539 | 26.752 | 3.370 |
| 0.09 | 25.962 | 26.077 | 2.454 |
| 0.10 | 25.282 | 25.346 | 1.788 |
| 0.15 | 23.678 | 23.681 | 0.367 |
| 0.20 | 22.146 | 22.146 | 0.075 |
| 0.25 | 20.694 | 20.694 | 0.015 |

***Interprétation***

Afin d'évaluer la robustesse du réseau face aux perturbations sévères, une étude de court-circuit triphasé a été réalisée au niveau du bus 6. Ce type de défaut représente la condition la plus contraignante pour les équipements électriques, puisqu'il génère les courants de défaut les plus élevés. Les résultats obtenus montrent que le courant de court-circuit symétrique initial atteint 34,17 kA, tandis que le courant en régime permanent se stabilise à 14,69 kA. L'analyse des contributions des différentes sources révèle une participation relativement équilibrée des bus amonts, avec des apports d'environ 4,88 kA chacun, alors que la source équivalente « Lump1 » contribue de manière plus importante avec près de 15,43 kA. Par ailleurs, le rapport X/R proche de 10 indique un réseau à caractère fortement inductif, entraînant une composante continue significative et des contraintes électrodynamiques élevées sur les équipements. L'évolution du courant de défaut dans le temps met en évidence l'amortissement progressif des composantes transitoires jusqu'à l'établissement du régime permanent. Ces résultats confirment la présence d'un niveau de court-circuit élevé au niveau du bus 6 et soulignent la nécessité de vérifier le pouvoir de coupure des disjoncteurs ainsi que la tenue thermique et mécanique des différents équipements du réseau afin de garantir une exploitation sûre et fiable .

## IV.7. IV.6. Analyse du court-circuit au niveau de 63 kv

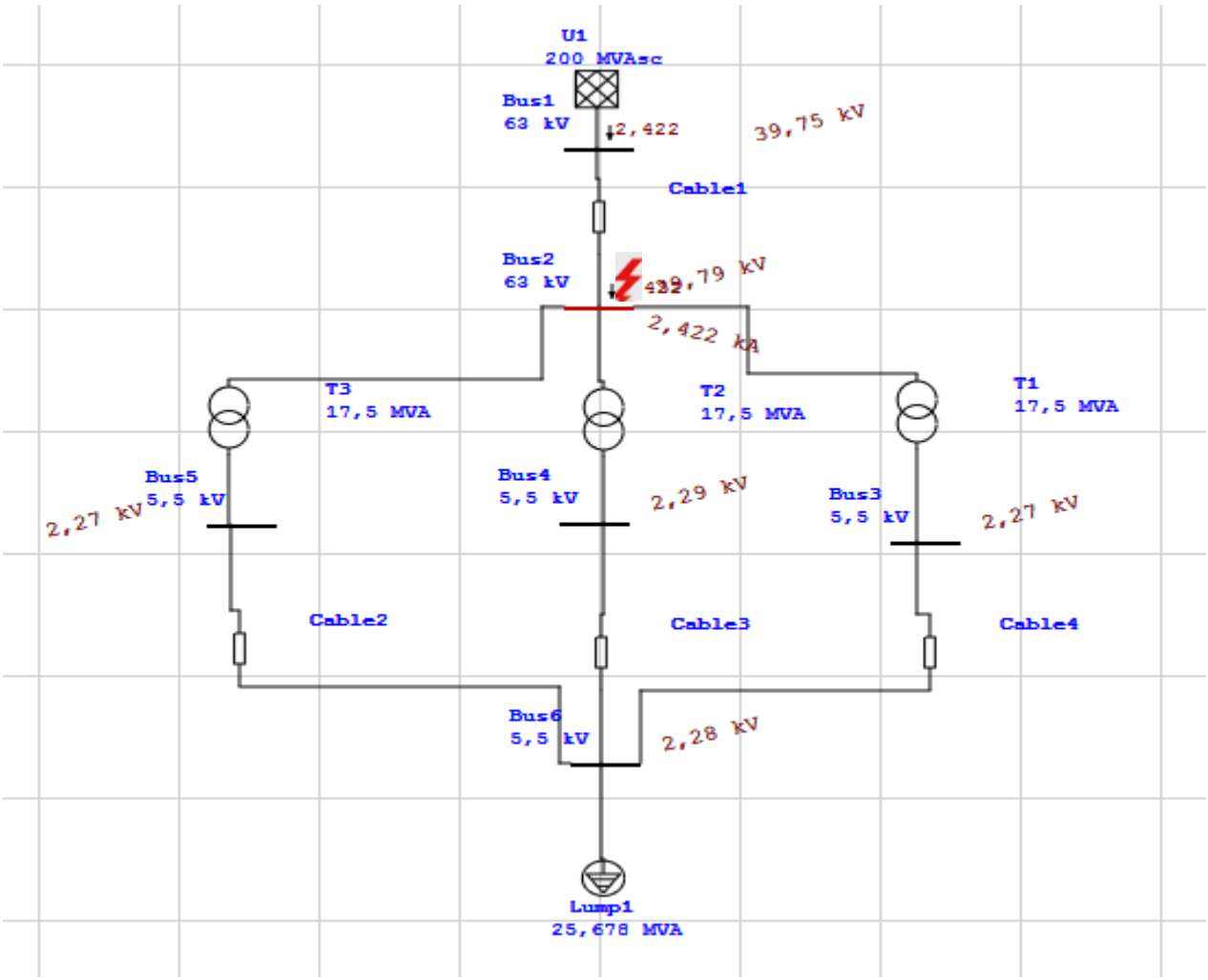


***Figure IV.8 :*** Simulation du court circuit au niveau 63 kv

❖ ***Interprétation***

La simulation du court-circuit au niveau de 63 kV réalisée sous ETAP a donné un courant de court-circuit Icc = 2422 A au point de défaut. En comparaison, le calcul théorique a fourni une valeur de Icc = 2941 A. L'écart observé entre les deux résultats peut être expliqué par les hypothèses simplificatrices utilisées dans le calcul théorique, tandis que la simulation ETAP prend en compte de manière plus détaillée les paramètres réels du réseau (impédances des câbles, transformateurs, sources et conditions d'exploitation). Malgré cette différence, les deux valeurs restent du même ordre de grandeur, ce qui valide globalement les résultats obtenus.

## IV.8. texte de contenance

Les résultats obtenus (Figure IV.9 et Figure IV.10) à partir de l'étude de flux de puissance réalisée sous ETAP ont permis de vérifier le comportement réel du réseau électrique du complexe GP1Z. La simulation a montré que la charge totale du complexe, estimée à 25,7 MVA, peut être alimentée convenablement par deux transformateurs de 17,5 MVA chacun, soit une puissance disponible totale de 35 MVA. Cette puissance reste largement supérieure à la demande du complexe, ce qui garantit une exploitation normale sans surcharge des transformateurs.

Les tensions calculées au niveau des différents jeux de barres demeurent dans les limites admissibles et les chutes de tension observées restent faibles, ce qui confirme la validité du dimensionnement réalisé pour les transformateurs et les câbles. De plus, les courants transitant dans les différents départs restent inférieurs aux capacités admissibles des équipements installés.

Bien que deux transformateurs soient suffisants pour assurer le fonctionnement normal de l'installation, un troisième transformateur a été considéré lors de la modélisation afin de représenter une configuration

d'exploitation plus flexible et plus sécurisée. Cette solution permet d'améliorer la continuité de service, de répartir les charges entre plusieurs sources et de maintenir l'alimentation du complexe en cas d'indisponibilité ou de maintenance de l'un des transformateurs. Elle offre également une marge de réserve importante pour faire face à une éventuelle augmentation de la demande énergétique ou à des extensions futures du complexe sans nécessiter de modifications majeures de l'infrastructure électrique existante.

Ainsi, l'étude confirme que le complexe GP1Z peut fonctionner de manière fiable avec deux transformateurs de 17,5 MVA, tandis que l'ajout d'un troisième transformateur constitue essentiellement une réserve d'exploitation destinée à renforcer la disponibilité, la sécurité et l'évolutivité du réseau électrique à long terme.

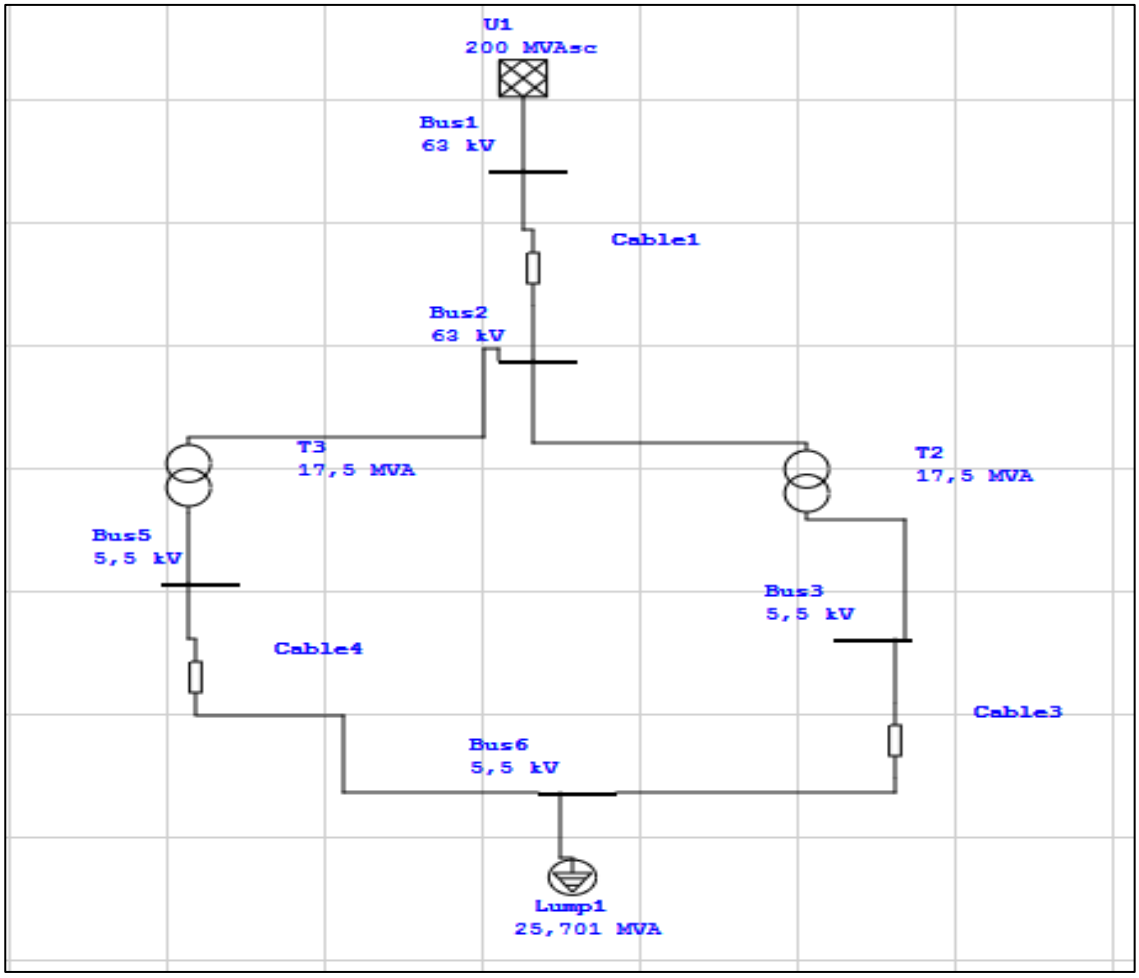


***Figure IV.9 :*** *simulation sous Etap avec deux transformateurs*

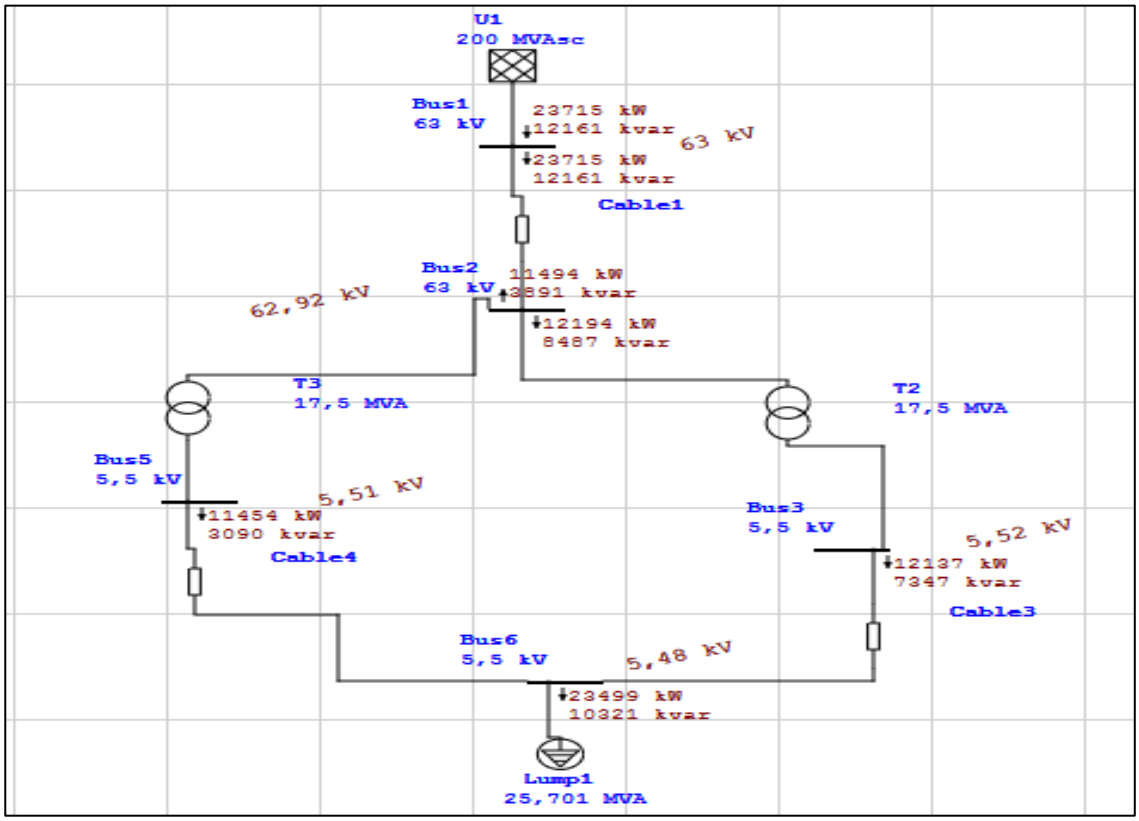


***Figure IV.10*** : simulation sous Etap avec deux transformateurs

## *IV.8. Conclusion*

Dans ce chapitre, une modélisation de la partie étudiée du réseau électrique du complexe GP1Z a été réalisée à l'aide du logiciel ETAP. Les différentes données des transformateurs, câbles, jeux de barres et charges ont été introduites afin de reproduire .le comportement réel de l'installation Les analyses de flux de puissance ont permis de vérifier la répartition des charges, les niveaux de tension ainsi que les courants circulant dans les différents départs du réseau. Les résultats obtenus montrent que les tensions restent dans des limites admissibles et que les équipements fonctionnent dans des conditions normales d'exploitation.

L'étude de court-circuit a également permis d'évaluer les niveaux de courant de défaut aux différents jeux de barres et de vérifier la tenue des équipements électriques face aux contraintes thermiques et électrodynamiques. Les résultats de simulation confirment la cohérence des calculs théoriques réalisés dans le chapitre précédent et démontrent que .le dimensionnement adopté est satisfaisant Ainsi, l'utilisation du logiciel ETAP a permis de valider le fonctionnement du réseau étudié et de confirmer la conformité des choix techniques retenus pour assurer la sécurité, la fiabilité et la continuité de service de l'installation électrique.

# Conclusion générale

Ce travail de fin d'études, réalisé au sein du complexe industriel GP1Z de SONATRACH, nous a permis d'étudier en profondeur un réseau électrique industriel de forte puissance. Notre objectif principal était d'analyser, d'évaluer et de vérifier le dimensionnement de cette installation critique, en allant des fondements théoriques à la validation par simulation, afin d'en garantir la fiabilité, la sécurité et la continuité de service. Tout d'abord, l'analyse de la structure du réseau a révélé une architecture hiérarchique robuste, organisée autour de trois niveaux de tension (63 kV, 5.5 kV et 380 V), conçue pour assurer une distribution fiable de l'énergie depuis le poste source jusqu'aux récepteurs finaux. La présence de sources redondantes, de générateurs de secours et d'un double jeu de barres avec couplage au niveau de la sous-station 63 kV illustre une stratégie claire visant à garantir la continuité de service, même en cas d'incident sur une source d'alimentation. L'étude des systèmes de protection, à mit en évidence la complexité de la protection d'un tel réseau, où des dispositifs de natures différentes (différentielles, à maximum de courant, directionnelles, etc.) doivent être coordonnés avec soin pour assurer la sélectivité, c'est-à-dire l'élimination du seul élément en défaut. notre travail a consisté en une évaluation précise du dimensionnement. Le bilan de puissance, soigneusement calculé en intégrant les facteurs d'utilisation (Ku), de simultanéité (Ks) et d'extension (Ke), a montré une puissance totale installée de 38,7 MW, avec une puissance simultanée de 19,8 MVA et une puissance totale à installer de 25,7 MVA. Ce résultat nous a permis de justifier le choix de trois transformateurs de 17,5 MVA chacun. Ce choix, apparemment surdimensionné, est en réalité une décision stratégique excellente : il permet d'assurer l'alimentation complète de l'usine avec deux transformateurs en cas de panne ou de maintenance du troisième, offrant ainsi une redondance << N-1 >> et une marge de réserve de plus de 100% pour d'éventuelles extensions futures. Les calculs de dimensionnement des câbles pour une sélection de départs MT ont suivi la méthodologie normative. Les résultats ont montré que, si la condition d'échauffement en régime permanent (Iz) est généralement satisfaisante, c'est la contrainte thermique due au court-circuit qui s'est avérée dimensionnant pour les plus gros récepteurs (exigeant une section de 140 mm² contre 120 mm² pour l'échauffement seul). La comparaison avec les sections réellement installées sur le site (souvent plus grandes, avec des câbles en parallèle) révèle une approche industrielle conservative, qui privilégie une marge de sécurité supplémentaire pour faire face aux régimes transitoires sévères, aux courants de démarrage élevés, aux conditions d'installation réelles et aux évolutions futures, ce que nos calculs théoriques minimaux ne capturent qu'en partie. Enfin, la simulation sous ETAP a constitué une étape de validation cruciale. La modélisation du réseau et l'analyse du flux de puissance ont confirmé les résultats de notre bilan, montrant des tensions stables (proches de 1 p.u.) et une répartition de charge satisfaisante sur les transformateurs (environ 50 % en régime normal, 75% en mode dégradé). L'étude des courts-circuits a quant à elle fourni des valeurs de défaut très utiles (34,52 kA triphasé au bus 6), qui sont essentielles pour vérifier le pouvoir de coupure des disjoncteurs et la tenue thermique des câbles. La concordance entre les ordres de grandeur des résultats simulés et nos calculs théoriques valide notre approche et le dimensionnement existant. En conclusion, cette étude démontre que l'installation électrique du complexe GP1Z est globalement bien dimensionnée, robuste et conforme aux exigences de fiabilité et de sécurité requises pour une industrie de procédé à haut risque. Les principaux points de force

résident dans la redondance des sources, la stratégie de dimensionnement conservative des câbles et le choix judicieux des transformateurs. Les perspectives d'amélioration pourraient inclure l'intégration d'une étude complète de coordination des protections dans ETAP, l'analyse de la qualité de l'énergie (harmoniques, facteur de puissance) et la simulation du comportement dynamique du réseau lors du démarrage des gros moteurs ou de la perte soudaine d'une source. Lors de notre stage en complexe nous avons acquis énormément de savoir-faire commençant par la familiarisation avec le monde industriels, l'expérience, l'analyse et la prise de décision. Ce travail a également été une opportunité précieuse pour appliquer et confronter les connaissances théoriques d'ingénieur à une problématique industrielle concrète et complexe

# *Références bibiographiques*

**[1]** J. Marie BROUST, Appareillages et installations électriques industriels", Dunod, Paris, 2008.

**[2]** IEC 60364-5-52 – Installations électriques basse tension — Partie 5-52 : choix et pose des câbles et conducteurs 2009.

**[3]** Schneider Electric, Guide de l'installation électrique, Édition technique, chapitre « Chute de tension » 2012.

**[4]** Manuel Opératoire; Process: Volume I et II (GP1/Z). 2014

**[5]** Dupont jean, Guide de la protection des donnée Paris : Dalloz , 2018.

**[6]** Schneider Electric, Guide de la distribution BT et HTA", Rapport technique, 2012.

**[7]** Union Technique de l'Electricité et de la Communication (UTE), Installations électriques à basse tension, Décembre 2002.

**[8]** Wikipedia .(**https://fr.wikipedia.org/wiki/Paratonnerre**).

**[9]** IHI corporation (1982, avril ).Document technique B7153-1101-R-2A(Rév.2A).

**[10]** IEC 60502-1, Power Cables with Extruded Insulation and Their Accessories for Rated Voltages from 1 kV up to 30 kV – Part 1: Cables for Rated Voltages up to 1 kV, International Electrotechnical Commission 2021

**[11]** Pierre Bertrand "les protections directionnelles", fiche technique Schneider n°181, juillet 1996.

**[12]** Patrice Joyeux "Modélisation d'un Relais polarise haute Sensibilité", Thèse du doctorat, laboratoire d'électrique de Grenoble, 21 décembre 2000.

**[13]** IEC 60502-2, Power Cables with Extruded Insulation and Their Accessories for Rated Voltages from 1 kV up to 30 kV – Part 2: Cables for Rated Voltages from 6 kV up to 30 kV, International Electrotechnical Commission 2014.

**[14]** Nexans – Power Câble Handbook. 2008

**[15]** Ben derradji Selsabil "Calcul des protections d'un départ HTA (30KV)", mémoire de master académique, encadré par Djeddi Abdeghani, Université kasdi merbah- Ouargla 2014.

**[16]** QUATOUAT Amar, BENZAOUI Khaled Mohammed Said " étude et conception d'une installation électrique industriel " UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA 2019.

**[17]** Le Grand, Guide Puissance, Distribution et puissance jusqu'à 4000A, Rapport technique, Edition 2007.