

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

En vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

En Génie Electrique

Option : Maintenance industrielle

*Thème*

**Dimensionnement d'une installation  
électrique d'une ligne de production d'eau**

Présenté par :

**SLIMANI Abderrahim**

**RAHMOUNI Fares**

Encadré par :

**Mr. ATROUN Salah**

Membre de jury :

**Mr. MEBARKI**

**Mr. MEZIANI**

Soutenu le : 23/09/2021

Promotion 2020-2021

## *Remerciements*

*Nous remercions en premier lieu Dieu de nous avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos remerciements au **Mr. Salah ATROUN** pour avoir dirigé ce mémoire de fin d'études, nous leur exprimons toute notre reconnaissance pour nous avoir initiées et accompagnées tout au long de notre travail et pour leur patience, et surtout pour la confiance qu'il nous a accordée durant cette période de préparation du mémoire. Il a également été d'un précieux conseil pour répondre à nos diverses interrogations.*

*Nous remercions chaleureusement (dames ou monsieur) les membres du jury d'avoir accepté de consacrer de leur temps pour juger ce travail.*

*Nos remerciements vont également vers nos très chers parents pour leur amour, patience, confiance, éducation et sacrifices, et leur soutien, sans oublier nos très chers frères et sœurs.*

*Merci à vous tous.*

# **DEDICACES**

*Je dédie ce mémoire A mes très chers parents:*

*Ma mère **NOIARA***

*Mon père **ABDEIHAMID***

*Pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer*

*A mes frères et mes sœurs*

***Nassima, Faouzi, Nassim, Wassila, Hania et Ahlam.***

*A mes bons frères et mes belles sœurs*

***Khaled, Said, Soufian, Adel, Sissa et Ghania.***

*A mes petits anges*

***Maroua, Rayen, Amire, Djana, Hamza, Mamou, Dadi, Ahmed, Ayoub, Yani et Elin.***

*A mon cher binôme **RAHMONI Fares**, j'espère que la vie lui réserve le meilleur*

*Spéciale dédicace à mes chères amies **Ihsen, Rafik, Anis, Meryem, naoual.***

*A mes camarades pour leur aide, leur*

*Soutien tout au long de réalisation de ce travail*

*A qui je témoigne toute ma reconnaissance et mes sincères remerciements*

*A tout le groupe de maintenance industrielle 2021*

**SLIMANI Abderrahim**

# **DEDICACES**

*Je dédie ce travail à...*

*A ma très chère mère Dalila : Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.*

*A mon Père Mabrouk : Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation, mon bien être et ma formation.*

*A mes frères Bilal et Abdeslam et ma sœur Amina*

*A mon cher ami, frère et binôme SLIMANI Abderrahim*

*A mes chers grands parents*

*A mes oncles surtout Cherif et Amhand ainsi son fils Djihade , mes tantes surtout Hamida, cousins et cousines surtout Hana*

*A la personne qui m'a beaucoup soutenu :Ibtissem*

*A mes chers amis : Marouan, Lamine, Massinissa, Nassim, Mounir, Naim, Tarek*

*A mon promoteur ATROUNE Salah*

*A toute la famille universitaire ainsi la résidence universitaire 17 octobre 1961 a leur tête Sofiane Belhocine*

*A mes très chers frères : Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour toi*

*A tous mes amis sans vous je ne serais pas la aujourd'hui.*

*A tout la promotion 2020-2021.*

**RAHMOUNI Fares**

## Liste des abréviations

ABREVIATIONS	SIGNIFICATIONS
<b>BTA</b>	Basse Tension A
<b>BT</b>	Basse Tension
<b>C</b>	Condensateur
<b>CC</b>	Court-circuit
<b>F</b>	Fréquence
<b>F</b>	Facteur de correction (moyenne tension)
<b>HT</b>	Haute Tension
<b>HTA</b>	Haute Tension A
<b>HTB</b>	Haute Tension B
<b>IT</b>	Neutre isolé et masse à la terre
<b>I<sub>a</sub></b>	Courant absorbée
<b>I<sub>b</sub></b>	Courant d'emploi
<b>I<sub>n</sub></b>	Courant nominal
<b>I<sub>cc</sub></b>	Courant de court-circuit
<b>I<sub>z</sub></b>	Courant équivalent
<b>I<sub>ad</sub></b>	Courant admissible
<b>JB</b>	Jeux de barres
<b>K<sub>u</sub></b>	Facteur d'utilisation
<b>K<sub>s</sub></b>	Facteur de simultanéité
<b>K<sub>e</sub></b>	Facteur d'extension
<b>K</b>	Facteur de correction (basse tension)
<b>L</b>	Longueur
<b>m</b>	Rapport de transformation
<b>MT</b>	Moyenne tension
<b>PEN</b>	Conducteur de protection et conducteur de neutre confondus
<b>PR</b>	Polyéthylène Réticulé
<b>PVC</b>	Polychlorure de vinyle
<b>P<sub>n</sub></b>	Puissance nominale
<b>P<sub>a</sub></b>	Puissance absorbée
<b>PdC</b>	Pouvoir de coupure
<b>P<sub>u</sub></b>	Puissance utilisée
<b>Q<sub>a</sub></b>	Puissance réactive absorbée
<b>Q<sub>c</sub></b>	Puissance réactive de compensation
<b>R</b>	Résistance
<b>R<sub>t</sub></b>	Résistance du transformateur
<b>S</b>	Section

<b>S<sub>u</sub></b>	Puissance apparente utilisée
<b>S<sub>a</sub></b>	Puissance apparente absorbée
<b>S<sub>n</sub></b>	Puissance apparente nominale
<b>TN</b>	Neutre à la terre et masse au neutre
<b>TT</b>	Neutre à la terre et masse à la terre
<b>TNS</b>	Neutre à la terre, masse au neutre, conducteur de neutre et de protection séparés
<b>TNC</b>	Neutre à la terre, masse au neutre, conducteur de neutre et de protection confondus
<b>TGBT</b>	Tableau Générale Basse Tension
<b>t<sub>c</sub></b>	temps de coupure
<b>U<sub>n</sub></b>	Tension nominale
<b>U<sub>cc</sub></b>	Tension de court-circuit
<b>X<sub>t</sub></b>	Réactance du transformateur
<b>X<sub>t</sub></b>	Réactance du transformateur
<b>Z</b>	Impédance
<b>θ</b>	Température
<b>λ</b>	Réactance linéique des conducteurs, en Ω/m
<b>ρ</b>	Résistivité du conducteur en service normal
<b>η</b>	Rendement

## Liste des figures

### Chapitre II: Bilan de puissance d'installation d'usine de production d'eau

Figure II-1 : Schéma unifilaire de l'installation.....	12
Figure II-2 : Exemple de condensateurs fixes.....	21
Figure II-3 : Exemple de batterie à régulation automatique.....	22
Figure II-4 : Compensation globale.....	22
Figure II.5 : Compensation individuelle.....	23
Figure II-6 : Schéma d'une installation de batterie de condensation.....	23
Figure II.7 : Triangle des puissances.....	24

### Chapitre III : Dimensionnement des équipements de l'installation

Figure III-1 : Constitution d'un câble BT.....	30
Figure III-2 : Constitution d'un câble MT.....	30
Figure III.3 : Logigramme de détermination de la section minimale d'un câble en moyenne tension.....	31
Figure III.4 : Logigramme de détermination de la section minimale d'un câble en moyenne tension.....	35
Figure III.5 : procédure de calcul d'Icc pour la conception d'une installation électrique.....	47
Figure III.6 : Récapitulation des impédances des différents éléments d'un réseau BT.....	49

### Chapitre IV: Dimensionnement et protection des installations

Figure IV-1 : Zones de charge d'une canalisation.....	54
Figure IV-2 : Courbe de contrainte thermique des disjoncteurs.....	56
Figure IV-3 : Courbe de fonctionnement d'un fusible.....	57
Figure IV-4 : Courant et tension de défaut en schéma TN.....	58
Figure IV-5 : Temps de coupure en schéma TN (selon les normes CEI 60364 et NF C 15-100, tableaux 41 A et 48 A).....	58
Figure IV-6 : Le schéma TN, selon les normes CEI 60364 et NF C 15-100.....	60
Figure IV-7 : Le schéma TT.....	62
Figure IV-8 : Le schéma IT.....	62

## Liste des tableaux

### Chapitre II: Bilan de puissance d'installation d'usine de production d'eau

Tableau II.1 : Identification des différents circuits électriques de l'installation.....	13
Tableau II.2 : Identification des puissances absorbées des charges. ....	14
Tableau II.3 : Bilan de puissance installée. ....	15
Tableau II.4 : Facteur de simultanéité selon le nombre de récepteurs. ....	16
Tableau II.5 : Bilan de puissance utilisée de l'installation.....	17
Tableau II.6 : Bilan de puissance totale de toute l'installation. ....	18
Tableau II.7 : Facteur de puissance total de l'installation. ....	18
Tableau II.8 : Caractéristiques du transformateur adéquat pour l'installation. ....	20
Tableau II.9 : Puissances réactives avant et après compensation. ....	26
Tableau II.10 : Type de compensation de l'énergie réactive. ....	27

### Chapitre III : Dimensionnement des équipements de l'installation

Tableau III.1 : Résultats de calcul de la section selon l'échauffement. ....	37
Tableau III.2 : Formules de calcul de la chute de tension. ....	38
Tableau III.3 : chutes de tension admissibles dans les réseaux BT.....	39
Tableau III.4 : Vérification des sections par rapport aux chutes de tensions. ....	40
Tableau III.5 : Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit.....	42
Tableau III.6 : Résistances et réactances du réseau amont ramenées au secondaire du transformateur.....	49
Tableau III.7 : Résultat de calcul des courants de court-circuit. ....	51

### Chapitre IV: Dimensionnement et protection des installations

Tableau IV.1 : vérification de la surface des câbles pour le régime TNS.....	61
Tableau IV.2 : Analyse des causes et effets des différentes perturbations.....	64
Tableau IV.3 : Résultats du choix des disjoncteurs de l'installation.....	65



*Remerciement*  
*Dédicaces*  
*Liste des Abréviations*  
*Liste des figures*  
*Liste des tableaux*

## **SOMMAIRE**

Introduction Générale.....	01
<b>Chapitre I : Généralités sur l'énergie électrique et réseau électrique</b>	
I.1.Introduction.....	02
I.2.La production de l'énergie électrique.....	02
I.2.1.Centrale électrique.....	02
I.2.1.1.Énergies renouvelable.....	02
a) Centrale hydroélectrique.....	02
b) Éolienne.....	03
c) Énergie solaire.....	04
I.2.1.2.Énergies non renouvelable.....	04
a) Centrales thermiques à flamme.....	04
b) Centrales conventionnelles à chaudières.....	05
c) Turbines à gaz.....	05
d) Centrales nucléaires.....	05
I.3.Réseau électrique .....	05
I.3.1.Types de réseaux électriques.....	06
I.3.1.1.Réseaux de transport d'énergie électrique.....	06
I.3.1.2.Réseaux de répartition .....	07
I.3.1.3.Réseaux de distribution.....	07
I.3.2.Structures topologiques des réseaux .....	08
I.3.2.1.Réseau radial.....	08
I.3.2.2.Réseau bouclé .....	08
I.3.2.3.Réseau maillé.....	08
I.4.Réseaux Industriel.....	08
I.4.1.Raccordement sur un réseau radial MT : simple dérivation.....	08
I.4.2.Raccordement sur deux câbles MT en parallèle : double dérivation.....	08
I.5.Transformateur électrique.....	09
I.6.Conclusion.....	09
<b>Chapitre II : Bilan de puissance d'installation d'usine de production d'eau</b>	
II.1.Introduction.....	10
II.2.Présentation de la chaîne de production.....	10
II.2.1.Présentation des machines.....	10
a) Souffleuse .....	10
b) Tri block.....	10
c) Dateur.....	11
d) Poseuse d'étiquettes autocollantes.....	11
e) palettiseur.....	11
II.3.Bilan de puissance.....	11
II.4.Schéma unifilaire de l'installation.....	11

II.5. Identification des différents circuits électriques de l'installation.....	13
II.6. Calcul de la puissance installée.....	14
II.7. Calcul de la puissance d'utilisation.....	15
II.7.1. Facteur d'utilisation $K_u$ .....	15
II.7.2. Coefficient de simultan��t�� $K_s$ .....	16
II.7.3. Facteur d'extension $K_e$ .....	16
II.8. Détermination du facteur de puissance total de l'installation.....	18
II.9. Choix et dimensionnement du transformateur.....	18
II.9.1. Calcul du rapport de transformation .....	19
II.9.2. Calcul du courant secondaire .....	19
II.9.3. Calcul du courant primaire .....	20
II.9.4. Détermination de la tension de court-circuit $U_{cc}$ .....	20
II.10. Choix et dimensionnement du groupe électrogène.....	20
II.11. Compensation de l'énergie réactive.....	21
II.11.1. Pour quoi faire de la compensation de l'énergie réactive.....	21
II.11.2. Les différents types de compensation.....	21
II.11.3. La compensation peut être .....	22
II.11.4. Installation de batteries de compensation.....	23
II.11.5. Techniques de détermination de la puissance réactive nécessaire à compensation	24
II.11.5.1. Méthode graphique .....	24
II.11.5.2. Méthode Par calculs .....	24
II.11.6. Calcul des valeurs de capacités des condensateurs.....	24
II.11.6.1. En monophasé .....	24
II.11.6.2. En triphasé .....	25
a) Couplage triangle .....	25
b) Couplage ��toile .....	25
II.11.7. Calcul de la puissance de compensation.....	26
II.11.8. Protection des batteries de condensateurs .....	27
II.11.9. Vérification du type de compensation .....	27
II.11 Conclusion.....	27

### Chapitre III : Dimensionnement des équipements de l'installation

III.1. Introduction.....	29
III.2. Les condition de dimensionnement des câbles.....	29
III.3. La section d'un câle.....	29
III.4. Constitutions d'un câle électrique.....	30
III.4.1. Câle BT .....	30
III.4.2. Câle MT .....	30
III.5. Détermination de la section du câle MT.....	31
III.5.1. Détermination pratique de la section minimale d'un câle moyenne tension.....	31
III.5.2. Principe de la méthode.....	31
III.5.3. Courant maximal d'emploi $I_b$ .....	32
III.5.4. Facteurs de correction et choix de la section $S_1$ satisfaisant l'échauffement ....	33
III.5.5. Vérification des contraintes thermiques $S_2$ .....	33
III.5.6. Vérification des chutes de tensions .....	34
III.6. Détermination des sections des câbles en basse tension.....	35

III.6.1.Méthode de calcul.....	35
III.6.2.Calcul de la section technique .....	36
III.6.2.1.Calcul de la section selon l'échauffement $S_j$ .....	36
III.6.2.2.Calcul de la section selon la chute de tension $S_z$ .....	38
III.6.2.3.Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit	41
III.7.Dimensionnement des jeux de barres.....	43
III.7.1.Définition.....	43
III.7.2.Calcul du courant admissible $I_{ad}$ .....	44
III.7.3.Vérification de la tenue thermique.....	44
III.7.4.L'échauffement dû au courant de court-circuit.....	45
III.8.Déterminations des courants de court-circuit.....	47
III.8.1.Méthode de calcul.....	47
a) La méthode des impédances .....	47
b) La méthode de composition .....	47
c) La méthode conventionnelle .....	47
III.8.2.Calcul des courants de court-circuit par la méthode des impédances .....	48
III.9.Conclusion.....	52
<b>Chapitre IV : Dimensionnement et protection des installations</b>	
IV.1.Introduction.....	53
IV.2.Définition.....	53
IV.3.Protection contre les surcharges.....	53
IV.4.Protection contre le court-circuit.....	55
IV.4.1.Pouvoir de coupure.....	55
IV.4.2.Association ou coordination des protections.....	56
IV.4.3.Protection par disjoncteur .....	56
IV.4.4.Protection par fusible.....	57
IV.5.Protection par système de liaison à la terre.....	57
IV. 5.1.Les différents régimes du neutre .....	57
IV. 5.1.1.Mise au neutre ou schéma TN.....	57
IV. 5.1.2.Mise au neutre ou schéma TT.....	61
IV. 5.1.3.Mise au neutre ou schéma IT .....	62
IV. 5.2.Choix du SLT.....	63
IV. 5.3.Régime du neutre utilisé dans l'entreprise .....	63
IV. 6.Dimensionnement et choix des disjoncteurs de protection.....	63
IV. 6.1.Calibres et pouvoirs de coupure (PdC) des différents disjoncteurs des départs...	64
IV. 6.2.Calibrage de disjoncteur de tête.....	64
IV.7.Conclusion.....	65
Conclusion générale.....	66
Référence Bibliographique	
Annexes	

A decorative graphic of a scroll with a blue outline and three grey circular tabs at the top corners. The text is centered within the scroll.

# *Introduction générale*

## Introduction générale

De nos jours, l'électricité est devenue un produit de consommation de première nécessité tant sur le plan industriel que domestique. Il convient donc de l'utiliser le plus rationnellement possible. Néanmoins, le grand problème demeure toujours ; il s'agit de dompter l'énergie électrique.

La maîtrise de cette forme d'énergie repose sur le choix judicieux des différents éléments électriques (câbles, transformateurs, disjoncteurs, relais etc...) leur emplacement ainsi que les dispositions générales à prendre pour leur entretien, en vue de grandir au maximum la sécurité du présent matériel et surtout des personnes ayant accès à ce matériel. L'installation d'un petit distributeur avec disjoncteur est généralement préférable à une simple prise de courant. Le prix supplémentaire pour le matériel sera plus que rentable sous la forme d'une plus grande flexibilité, par exemple en cas de défaut ou lors de travaux d'extension. Des appareils supplémentaires, tels que des instruments de test ou de mesure et autres, peuvent également être alimentés en courant de manière aisée et sur de courtes distances. Un boîtier de prise équipé d'un disjoncteur peut prendre la fonction d'un petit distributeur secondaire et faciliter le raccordement d'autres appareils ou accélérer la remise en service après une coupure de courant due à une surtension.

Appliquer des normes techniques et des règles, c'est veiller au respect des aspects de sécurité essentiels. Elles facilitent aussi la mise en place de projets, ainsi que l'implémentation de solutions similaires dans le monde entier. Par ailleurs, suivre des normes techniques et des règles est également la façon la plus simple de respecter les exigences de qualité. De nombreuses normes techniques sont utilisées à divers degrés dans le monde. Le travail de l'ingénieur consiste justement à concevoir une combinaison optimale des différents appareillages électriques, qui permettent un contrôle efficace du courant électrique.

Dans cette présente étude, nous allons montrer en détail les différentes étapes à suivre pour aboutir à l'installation électrique finale de cette usine.

Notre travail concerne dimensionnement d'une installation électrique d'une ligne de production d'eau. Ainsi ce travail est façonné selon les démarches suivantes :

- ❖ Le premier chapitre sera consacré aux généralités sur l'énergie électrique, réseau électrique ;
- ❖ Dans le deuxième chapitre nous aborderons une présentation brève des différents tronçons présentés dans le schéma unifilaire, puis nous procéderons au calcul du bilan de puissance et choisir le transformateur adéquat pour notre l'installation\_;
- ❖ dans le troisième chapitre nous avons choisi des sections des câbles, le dimensionnement des jeux de barres et la détermination des courants de court-circuit;
- ❖ Au dernier chapitre, nous traiterons le dimensionnement et le choix des éléments de protection, ainsi le régime du neutre nécessaire pour un bon fonctionnement de notre unité.

A decorative graphic of a scroll with a blue outline and grey circular accents at the corners. The text is centered within the scroll.

# *Chapitre I*

*Généralités sur l'énergie  
électrique et réseau  
électrique*

## **I.1.Introduction**

L'énergie électrique est un facteur essentiel du développement économique, dans tous les pays du monde. Son importance relative s'accroît avec les progrès techniques, l'industrialisation et le besoin de confort moderne. L'augmentation de sa production est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse. Si pour cela ont besoin un réseau électrique ; qui est un ensemble d'outils destiné à produire, transporter, distribuer l'énergie électrique et veiller sur la qualité de cette énergie, notamment la continuité de service.

## **I.2.La production de l'énergie électrique**

La production d'électricité est essentiellement un secteur industriel qui approvisionne ses consommateurs en énergie électrique adaptée à leurs besoins. Pour les fournisseurs d'électricité, il s'agit de la première étape de cet approvisionnement, qui est suivie du transport et de la distribution et comprend le stockage.

La production d'électricité est réalisée depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle dans des centrales électriques. Les centrales transforment des énergies primaires, généralement grâce à des générateurs électriques entraînés soit par une machine thermique alimentée en combustible fossile (charbon, gaz naturel ou pétrole), en combustible organique (biomasse, déchets) ou en fission nucléaire, soit directement par l'énergie mécanique hydroélectrique ou éolienne. L'énergie solaire et la géothermie sont d'autres sources d'énergie électrique également exploitées [1].

### **I.2.1.Centrale électrique**

Une centrale électrique est un site industriel qui produit de l'électricité en grande quantité. Les centrales électriques transforment des sources d'énergie naturelles en énergie électrique, afin d'alimenter en électricité des consommateurs, particuliers ou industriels relativement lointain. Le réseau électrique est utilisé pour transporter/distribuer l'électricité jusqu'aux consommateurs. Différentes sources d'énergie sont utilisées dans les centrales [2].

#### **I.2.1.1.Énergies renouvelables**

Les énergies renouvelables correspondent à différentes sources d'énergies qui se renouvellent à l'échelle humaine.

##### **a) Centrale hydroélectrique**

L'énergie hydraulique est depuis longtemps une solution mise en œuvre dans la production d'électricité (appelée aussi énergie hydroélectrique), qui utilise une énergie renouvelable.

À un étranglement des rives d'un cours d'eau est érigé un barrage qui crée une retenue d'eau. Au pied de ce barrage, ou bien plus bas, à l'aide de conduite forcée, on installe des turbines reliées à des alternateurs. On alimente en eau sous pression les turbines par un système de canalisations et de régulateurs de débit.

Il y a différents types de centrales hydroélectriques, notamment les micro-centrales, installées sur des rivières en tête de bassin, certaines avec un fort impact écologique.

Il existe également des centrales hydroélectriques de pompage-turbinage qui permettent d'accumuler l'énergie venant d'autres sites de productions peu flexibles (telles que les centrales nucléaires) ou intermittents (productions éoliennes ou solaires) lorsque la consommation est basse, pour la restituer lors des pics de consommation [2].

### **b) Éolienne**

Dans une centrale éolienne, l'énergie électrique est produite directement par des génératrices éoliennes. Ces machines sont formées d'un mât, sur lequel est installé un générateur électrique entraîné par une hélice, elles sont positionnées idéalement sur les plans d'eau ou les collines ventées. L'alternateur permet de transformer cette énergie mécanique en énergie électrique [2].

#### **✓ Obstacles et inconvénients**

Les principaux défauts de ces éoliennes, sont une pollution visuelle du paysage et l'obstruction de la navigation aérienne de proximité à basse altitude. Le bruit est également nuisible d'après certains témoignages, lorsque qu'une éolienne est installée près d'une habitation. L'investissement est important, avec des rendements sujets aux caprices du vent et assez moyens comparés à d'autres systèmes concurrents.

#### **✓ Solution individuelle**

Tout comme on voit de plus en plus des panneaux solaires individuels sur les habitations, une version horizontale de l'éolienne, deux roues à aubes imbriquées, peut être installée sur son toit. Elle est quasi silencieuse et évite le transport de l'énergie sur de longues distances et, les pertes qui vont avec. Des solutions de stockage (donc la régularité de l'énergie disponible) existent à l'échelle d'une habitation individuelle.



### c) Énergie solaire

On distingue les centrales électriques solaires photovoltaïques et les centrales électriques thermiques, ces dernières étant très peu développées [2].

#### ✓ Centrale solaire photovoltaïque

Cet autre moyen de fabriquer de l'électricité avec l'énergie solaire utilise les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux.

Ce système, bien que de rendement faible, est très simple à mettre en œuvre et particulièrement léger. Inventé pour les besoins des satellites artificiels militaires, il est aujourd'hui très utilisé pour une production locale ou embarquée d'électricité.

Des panneaux solaires embarqués à bord de bateaux, véhicules terrestres, satellites et vaisseaux spatiaux, secondés par une batterie d'accumulateurs. Ces accumulateurs fournissent de l'énergie pendant les moments de non ou faible production des panneaux et stockent le surplus d'électricité pendant les moments de grande production [2].

#### ✓ Les centrales électriques thermiques

Une centrale thermique, est une centrale électrique qui fonctionne à partir d'une source de chaleur selon le principe des machines thermiques. Cette transformation se fait soit directement, par détente des gaz de combustion, soit indirectement, via un cycle eau-vapeur, par exemple. Les installations à cogénération utilisent en outre une partie de la chaleur résiduelle pour d'autres applications, telles que les réseaux de chaleur [2].

### I.2.1.2.Énergies non renouvelable

#### a) Centrales thermiques à flamme

Les centrales thermiques à flamme, utilisent des combustibles chimiques pour produire de la chaleur transformée en énergie mécanique par un cycle moteur thermodynamique, lui-même alimentant un alternateur. Les combustibles sont généralement fossiles : charbon, pétrole et gaz naturel .

Des combustibles renouvelables tels le bois ou le biogaz sont parfois utilisés [2].

**b) Centrales conventionnelles à chaudières**

Les centrales les plus répandues sont constituées d'une chaudière et d'une turbine à vapeur (cycle Rankine). Leur carburant est le plus souvent du charbon mais on trouve aussi des chaudières utilisant de la biomasse, du gaz naturel, du pétrole, ou des déchets municipaux.

La plupart des centrales à charbon sont de type " feu pulvérisé ", où le charbon est réduit en poudre très fine et injecté dans la chaudière. Les centrales les plus récentes possèdent un cycle vapeur supercritique, qui permet d'avoir un rendement qui dépasse 45% [2].

**c) Turbines à gaz**

Les turbines en cycle simple sont peu coûteuses à construire, de plus elles ont l'avantage de démarrer très rapidement (contrairement aux chaudières à vapeur qui ont une certaine inertie). Néanmoins, leur faible rendement (35% au mieux) empêche de les utiliser directement pour la production d'électricité sans valoriser leur chaleur résiduelle, sauf en appoint lors des pics de demande ou à toute petite échelle.

Les gaz d'échappement des turbines à gaz étant très chauds (de l'ordre de 600°C), la chaleur peut être réutilisée de diverses façons. La cogénération (ou tri génération) est le plus souvent associée aux turbines à gaz ; les gaz d'échappement alimentant une chaudière qui fournit de la chaleur (généralement sous forme de vapeur) et/ou une turbine fournissant de l'énergie mécanique (mouvement) pour un procès industriel [2].

**d) Centrales nucléaires**

Ces centrales utilisent également des cycles de conversion thermodynamique, néanmoins leur "chaudière" est un réacteur nucléaire. L'énergie nucléaire obtenue à la suite de réactions de fission de l'uranium et du plutonium est la source de chaleur utilisée. Elles produisent environ 15% de l'électricité mondiale. Les centrales nucléaires produisent des déchets radioactifs et présentent un risque d'accident. La probabilité d'occurrence d'un tel accident sur les centrales modernes est sujette à débat [2].

**I.3.Réseau électrique**

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble [3].

### **I.3.1.Types de réseaux électriques**

Il existe trois types de réseaux électriques :

#### **I.3.1.1.Réseaux de transport d'énergie électrique**

La transmission d'énergie électrique est le mouvement massif d'énergie électrique d'un site de production, tel qu'une centrale électrique, à une sous-station électrique. Les lignes interconnectées qui facilitent ce mouvement sont appelées réseau de transmission. Ceci est distinct du câblage local entre les sous-stations à haute tension et les clients, ce qui est généralement appelé la distribution d'énergie électrique. Le réseau de transport et de distribution combiné est connu sous le nom de « power grid » [4].

#### ✓ **Pylône électrique**

Un pylône électrique est un support vertical portant les conducteurs d'une ligne à haute tension. Le plus souvent métallique, il est conçu pour supporter un ou plusieurs câbles aériens et résister aux aléas météorologiques et sismiques (foudre y compris), aux vibrations des câbles et/ou du pylône, et ses fondations (fichées ou en dalle) sont adaptées au type de substrat (des sols rocheux à pulvérulents en passant par les substrats argileux éventuellement vulnérable au phénomène de retrait-gonflement des argiles) [4].

#### ✓ **Les lignes**

La plupart des lignes de transmission sont en courant alternatif triphasé à haute tension (AC), bien que l'AC monophasé soit parfois utilisé dans les systèmes d'électrification des chemins de fer. La technologie à courant continu à haute tension (en anglais High-voltage direct-current - HVDC) est utilisée pour une plus grande efficacité sur de très longues distances (généralement des centaines de kilomètres). La technologie HVDC est également utilisée dans les câbles d'alimentation sous-marins (en) (généralement plus longs que 50 km) et dans l'échange de puissance entre les réseaux qui ne sont pas synchronisés entre eux. Les liaisons HVDC sont utilisées pour stabiliser les réseaux de distribution d'énergie de grande puissance où de nouvelles charges soudaines ou des pannes

d'électricité dans une partie du réseau peuvent entraîner des problèmes de synchronisation et des défaillances en cascade (en) [4].

### ✓ **L'isolateur**

Un isolateur est un composant électrotechnique destiné à fixer, maintenir ou soutenir les conducteurs électriques nus. Il est constitué de matériau isolant, c'est-à-dire qui ne conduit pas l'électricité. On trouve des isolateurs en particulier sur les lignes à haute tension, mais aussi sur les lignes télégraphiques ou dans les postes électriques : ils assurent l'isolation électrique entre les conducteurs et les pylônes.

Le rôle essentiel des réseaux de transport et d'interconnexions est :

- ◆ De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport).
- ◆ De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion) [4].

### **I.3.1.2. Réseaux de répartition**

Ces réseaux, sont en grande partie constitués de lignes aériennes dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est soit en boucle fermée soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation [5].

### **I.3.1.3. Réseaux de distribution**

En Algérie, la tension nominale des réseaux de distribution HTA est de 5.5 kV ,10 kV et 30 kV. Ce réseau a pour fonction d'alimenter l'ensemble de la clientèle principalement connectée à ce réseau son exploitation est gérée par un Gestionnaire de Réseau de Distribution (GRD). Les réseaux de distribution ont principalement une structure radiale. A la différence d'une structure maillée une structure radiale est une structure arborescente ; cette structure arborescente simplifie considérablement le système de protections puisque le transit de puissance se fait de manière unilatérale du poste source (HTB/HTA) vers les postes HTA/BT et les consommateurs finaux. Ceci permet notamment la localisation et l'élimination rapide de défauts, ainsi que le comptage de l'énergie aux postes sources. Cette structure est donc parfaitement adaptée à un système verticalement intègre dans lequel la production est centralisée et la consommation distribuée. Nous utiliserons des diagrammes unifilaires pour représenter nos modèles et pour faire les analyses du réseau [5].

### **I.3.2.Structures topologiques des réseaux**

#### **I.3.2.1.Réseau radial**

Si l'énergie transportée par un réseau vers un client y parvient par un seul parcours, on parle de distribution radiale. (Utilisé pour le réseau rural) [5].

#### **I.3.2.2.Réseau bouclé**

Si l'énergie transportée par un réseau vers un client y parvient par plusieurs parcours, on parle de distribution bouclée. (Utilisé pour les réseaux de répartition) [5].

#### **I.3.2.3.Réseau maillé**

Les réseaux maillés sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées formant ainsi une structure analogue à la maille d'un filet. Ils sont utilisés pour les réseaux de distribution à basse tension et pour les réseaux de transport [5].

### **I.4.Réseaux Industriels**

#### **I.4.1.Raccordement sur un réseau radial MT : simple dérivation**

Le poste est alimenté par une dérivation du réseau radial (aérien ou câble), aussi appelé réseau en antenne, de distribution moyenne tension. Ce type de réseau permet une alimentation unique pour les récepteurs.

Le poste comporte, en règle générale, une cellule arrivée et protection générale par interrupteur-sectionneur et fusibles avec des sectionneurs de mise à la terre.

Dans certains pays un transformateur monté sur poteau, sans interrupteur-sectionneur ou fusibles (installés sur le poteau), constitue le "poste". Ce type de distribution est très courant dans les zones rurales. Les dispositifs de protection et de manœuvre sont éloignés du transformateur et commandent généralement une ligne aérienne principale sur laquelle sont connectées des lignes aériennes secondaires [6].

#### **I.4.2.Raccordement sur deux câbles MT en parallèle : double dérivation**

Lorsqu'il est possible de disposer de deux câbles souterrains en parallèle pour alimenter un poste, on utilise un tableau MT similaire à celui du poste en coupure d'artère.

La principale différence avec le poste en coupure d'artère est que les deux interrupteurs-sectionneurs sont inter-verrouillés de façon à ce qu'un seul d'entre eux puisse être fermé à la fois, sa fermeture interdisant celle de l'autre interrupteur.

En cas de perte de l'alimentation, l'interrupteur d'arrivée correspondant doit être ouvert et l'inter-verrouillage doit permettre de fermer l'interrupteur qui était ouvert.

Cette séquence peut être réalisée de façon manuelle ou automatique.

Les domaines d'utilisation de ce schéma sont les réseaux de certaines villes à forte densité ou en extension alimentés par câbles souterrains [6].

### **I.5.Transformateur électrique**

Un transformateur électrique est une machine électrique permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement.

On distingue les transformateurs statiques et les commutatrices. Dans un transformateur statique, l'énergie est transférée du primaire au secondaire par l'intermédiaire du circuit magnétique que constitue la carcasse du transformateur. Ces deux circuits sont alors magnétiquement couplés. Ceci permet de réaliser une isolation galvanique entre les deux circuits. Dans une commutatrice, l'énergie est transmise de manière mécanique entre une génératrice et un moteur électrique [7].

### **I.6.Conclusion**

Dans cette première partie nous avons présenté l'énergie électrique et réseau électrique pour faire les études nécessaires de bon fonctionnement de notre usine ainsi que les processus de production.

A decorative graphic of a scroll with a blue outline and grey circular accents at the corners, framing the text.

# *Chapitre II*

*Bilan de puissance  
d'installation d'usine de  
production d'eau*

## **II.1.Introduction**

Notre travail dans ce chapitre consiste à la présentation de schéma unifilaire de l'installation, ainsi que les puissances des équipements, ensuite, nous allons calculer la puissance installée et la puissance utilisée afin de bien dimensionner le transformateur adéquat pour un bon fonctionnement et choisir le groupe électrogène pour la source de secours.

Enfin, nous allons déterminer le facteur de puissance que nous allons améliorer en compensant l'énergie réactive par des batteries de condensateurs.

## **II.2.Présentation de la chaîne de production**

### **II.2.1.Présentation des machines**

La mise en bouteille nécessite différentes machines « Souffleuse, Tri block, Dateur, Poseuse d'étiquettes autocollantes, palettiseur».

#### **a) Souffleuse**

Conditionnées les préformes thermiquement, pour qu'elle puisse leur donner la forme des bouteilles prêtes à remplir, à l'aide d'un moule où on introduit les préformes et on y souffle par un compresseur. Les bouteilles sortent de la machine et entrent dans le cycle de production des machines installées en aval [8].

#### **b) Tri block**

C'est un ensemble des machines; qui permette de laver la bouteille soufflé à l'aide d'une rinçeuse, Les bouteilles vides provenant de la soufflante sont transportées jusqu'à l'étoile d'entrée de la remplisseuse, qui les positionne sur les fourches des vannes de remplissage. Les opérations de remplissages commencent. La bouteille pleine se trouve maintenant sur la capsulerie et alignée aux têtes de bouchage avec une visseuse. Après le bouchage la bouteille est portée, à l'aide d'un guide, à l'étoile et de là sur la bande de sortie, une machine automatique pour l'application de posage des poignées en plastique sur des bouteilles.



**c) Dateur**

C'est une machine automatisée, elle se compose de trois éléments importants : un clavier pour la Saisie ou la modification du programme, un afficheur pour les erreurs et le comptage du nombre de bouteilles daté, ainsi que la tête de tirage qui contient un détecteur qui détecte la bouteille pour imprimer la date, le numéro de la ligne de production et le numéro de la bouteille selon le comptage [9].

**d) Poseuse d'étiquettes autocollantes**

C'est la machine qui se charge de coller l'étiquette sur la bouteille. On fait entrer les bouteilles à l'étiqueteuse, qui permet de couper une étiquette, puis coller cette étiquette sur les bouteilles par une colle spéciale [8].

**e) palettiseur**

Regroupement manuel des fardeaux en palettes ; cette opération consiste à recouvrir la palette d'un film transparent avec une banderoleuse semi-automatique, à l'aide d'une base rotative ou vient un chariot élévateur poser la palette. À la sortie de cette machine, on aura des palettes qui sont scotchées et qui seront prêts à la livraison [8].

**II.3.Bilan de puissance**

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

Des informations concernant la structure tarifaire sont aussi nécessaires pour faire le meilleur choix du raccordement de l'installation au réseau au niveau de la moyenne tension ou de la basse tension [10].

**II.4.Schéma unifilaire de l'installation**

C'est une représentation schématique d'une installation électrique fixe, qui ne tient pas compte de la position du matériel électrique mais qui donne, grâce aux symboles, la composition de chaque circuit élémentaire et l'interconnexion des circuits élémentaires entre eux pour former l'installation électrique [11].

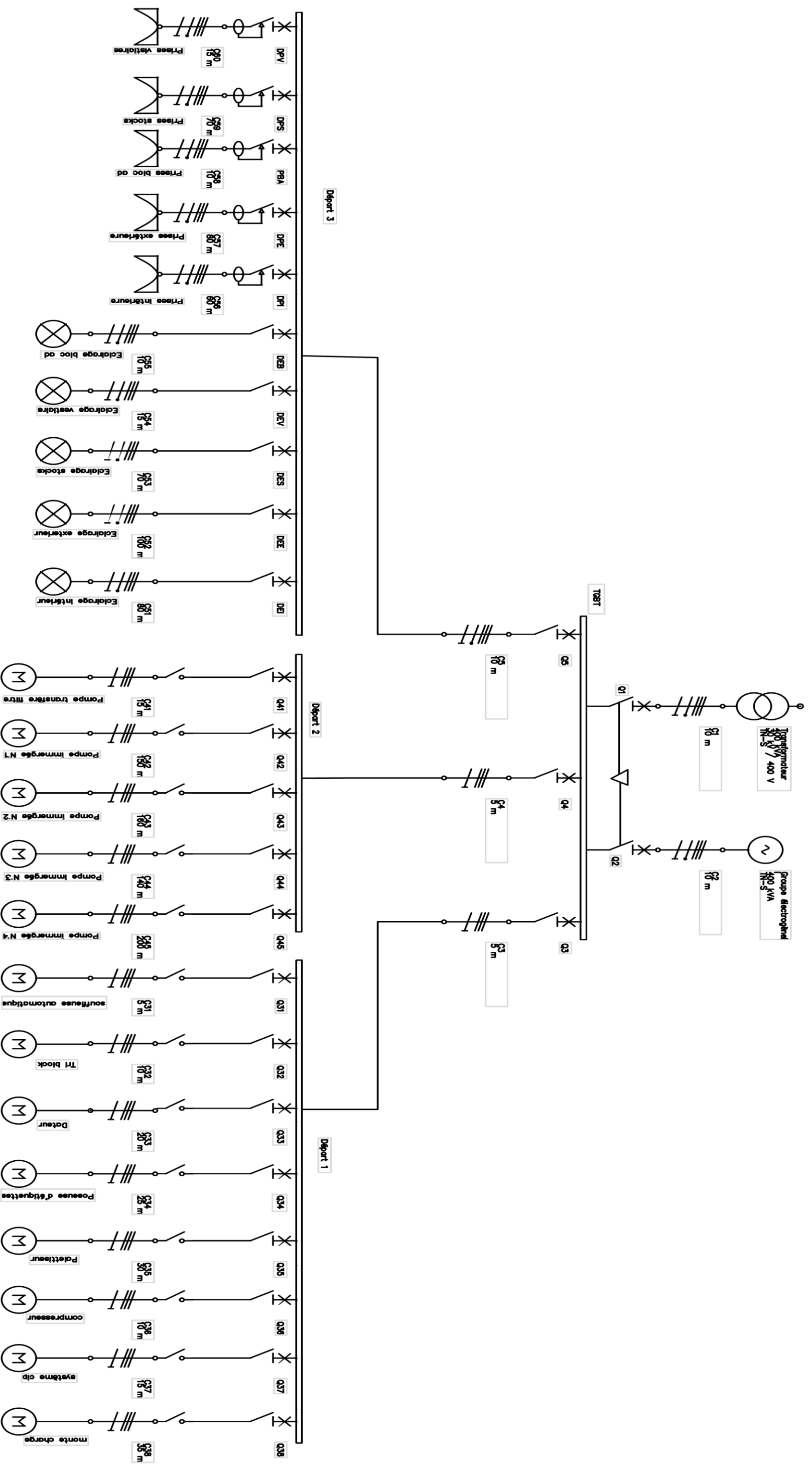


Figure II-1 : Schéma unifilaire de l'installation

## II.5. Identification des différents circuits électriques de l'installation

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

Récepteurs	Quantité	P <sub>n</sub> [W]	Longueurs[m]
<b>Alimentation force motrice</b>			
<b>Départe N°1</b>			
Souffleuse automatique	1	91200	5
Tri block Rinceuse 8 becs de bidons Remplisseuse 8 becs de bidons Visseuse 8 becs de bidons de 4l a 6l	1	10400	10
Dateur	1	1760	20
Poseuse d'étiquettes autocollantes	1	1200	25
Palettiseur	1	17600	30
monte-charge	1	25000	35
Compresseur 500L	1	6000	10
Système cip	1	4000	15
<b>Station de pompage</b>			
<b>Départe N°2</b>			
Pompe de transfère filtre	1	1920	15
Pompe immergée N°1	1	3000	150
Pompe immergée N°2	1	3000	160
Pompe immergée N°3	1	3000	140
Pompe immergée N°4	1	3000	200
<b>Eclairages et prise de courant</b>			
<b>Départe N°3</b>			
Eclairages intérieur	25	2500	80
Eclairages extérieur	20	4000	100
Eclairages stocks	40	2880	70
Eclairages vestiaires	8	576	15
Eclairages bloc administratif	10	1000	10
Prises extérieure	7	3520	60
Prises intérieure	8	3520	80
Prises bloc administratif	15	3520	10
Prises stocks	8	3520	70
Prises vestiaires	4	3520	15

**Tableau II.1** : Identification des différents circuits électriques de l'installation.

## II.6. Calcul de la puissance installée

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

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

$$Q_a = P_a \times \tan\phi \quad (\text{II.2})$$

$$I_a = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times U \times \eta \times \cos\phi} \quad (\text{II.3})$$

Récepteurs	U [V]	P <sub>n</sub> [W]	η	cosφ	tanφ	P <sub>a</sub> [W]	Q <sub>a</sub> [VAR]	I <sub>a</sub> [A]
<b>Alimentation force motrice</b>								
<b>Départe N°1</b>								
Souffleuse automatique	400	91200	0,8	0,8	0,75	114000	85500	205,681033
Tri block Rinceuse 8 becs de bidons Remplisseuse 8 becs de bidons Visseuse 8 becs de bidons de 4l a 6l	400	10400	0,8	0,8	0,75	13000	9750	23,4548547
Dateur	400	1760	0,8	0,8	0,75	2200	1650	3,9692831
Poseuse d'étiquettes autocollantes	400	1200	0,8	0,8	0,75	1500	1125	2,70632939
Palettiseur	400	17600	0,8	0,8	0,75	22000	16500	39,692831
monte-charge	400	25000	0,9	0,8	0,75	29411,7647	22058,8235	53,0652821
Compresseur 500L	400	6000	0,8	0,8	0,75	7500	5625	13,5316469
Système cip	400	4000	0,8	0,8	0,75	5000	3750	9,02109796
<b>Station de pompage</b>								
<b>Départe N°2</b>								
Pompe de transfère filtre	400	2400	0,8	0,8	0,75	3000	2250	5,41265877
Pompe immergée N°1	400	3000	0,8	0,8	0,75	3750	2812,5	6,76582347
Pompe immergée N°2	400	3000	0,8	0,8	0,75	3750	2812,5	6,76582347
Pompe immergée N°3	400	3000	0,8	0,8	0,75	3750	2812,5	6,76582347
Pompe immergée N°4	400	3000	0,8	0,8	0,75	3750	2812,5	6,76582347

Récepteurs	U [ V ]	Pn [ W ]	$\eta$	$\cos\phi$	$\tan\phi$	Pa [ W ]	Qa [ VAR ]	Ia [ A ]
<b>Eclairages et prise de courant</b>								
<b>Départe N°3</b>								
Eclairages intérieur	400	2500	1	1	0	2500	0	3,60843918
Eclairages extérieur	400	4000	1	1	0	4000	0	5,77350269
Eclairages stocks	400	2880	1	1	0	2880	0	4,15692194
Eclairages vestiaires	400	576	1	1	0	576	0	0,83138439
Eclairages bloc administratif	400	1000	1	1	0	1000	0	1,44337567
Prises extérieure	400	3520	1	1	0	3520	0	5,08068237
Prises intérieure	400	3520	1	1	0	3520	0	5,08068237
Prises bloc administratif	400	3520	1	1	0	3520	0	5,08068237
Prises stocks	400	3520	1	1	0	3520	0	5,08068237
Prises vestiaires	400	3520	1	1	0	3520	0	5,08068237

**Tableau II.2 :** Identification des puissances absorbées des charges.

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

Les puissances	Pa[kW]	Qa[kVAR]	Sa[kVA]
<b>TOTALE</b>	<b>241,167765</b>	<b>159,458824</b>	<b>289,117635</b>

**Tableau II.3 :** Bilan de puissance installée.

## II.7.Calcul de la puissance d'utilisation

Pour déterminer la puissance d'utilisation du TGBT, il faut une bonne connaissance des facteurs de correction suivants :

### II.7.1.Facteur d'utilisation Ku

En général, les récepteurs électriques ne fonctionnent pas à leurs puissances nominales d'où l'introduction du facteur d'utilisation pour le calcul de la puissance absorbée. Sachant que pour chaque type de récepteur est associé un facteur d'utilisation bien déterminé. Dans une installation électrique, ce facteur peut être estimé en moyenne à 0.75 pour les moteurs, et 1 pour l'éclairage.

### II.7.2. Coefficient de simultanéité $K_s$

La norme IEC 60439-1 définit les valeurs de facteur de simultanéité qui peuvent être utilisées à défaut d'information plus précises pour les tableaux et les canalisations électriques préfabriquées.

Eco dial n'applique pas par défaut ces valeurs pour calculer les courants d'emploi des canalisations et des jeux de barres. Ceci doit être changé par l'utilisateur manuellement.

La détermination du facteur  $K_S$  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.

Pour cette raison, il n'est impossible de donner des valeurs précises pour une application générale [12].

Nombre de départs	$K_s$
1	1
2 à 3	0,9
4 à 5	0,8
6 à 9	0,7
9 à 40	0,6
plus de 40	0,5

**Tableau II.4 :** Facteur de simultanéité selon le nombre de récepteurs.

### II.7.3. Facteur d'extension $K_e$

Le rôle du facteur d'extension, également appelé facteur de réserve, est de prévoir une augmentation de la puissance absorbée. Le coefficient varie de 1 à 1,5. Dans notre cas  $K_e$  est pris égal à 1,3.

➤ La puissance est donnée par la relation suivante :

$$P_{ui} = K_u \times P_a \quad (\text{II.4})$$

Cette puissance est déterminée en établissant la somme de toutes les puissances utiles du groupe de récepteurs alimenté par la même branche, multipliée par le facteur de simultanéité correspondant. Elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{uj} = K_s \times \sum_{i=1}^n P_{ui} \quad (II.5)$$

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

$$P_{ut} = K_e \times \sum_{j=1}^n P_{uj} \quad (II.6)$$

$$I_b = \frac{P_{ui} \times K_s}{\sqrt{3} \times U \times \cos\phi \times \eta} \quad (II.7)$$

Récepteurs	Quantité	Pa [W]	Qa [VAR]	K <sub>u</sub>	K <sub>s</sub>	P <sub>ui</sub> [W]	Q <sub>ui</sub> [VAR]	I <sub>b</sub> [A]
<b>Alimentation force motrice</b>								
<b>Départe N°1</b>								
Souffleuse automatique Tri block	1	114000	85500	0,75	/	85500	64125	134,978178
Rinceuse 8 becs de bidons Remplisseuse 8 becs de bidons Visseuse 8 becs de bidons de 4l à 6l	1	13000	9750	0,75	/	9750	7312,5	15,3922484
Dateur	1	2200	1650	0,75	/	1650	1237,5	2,60484203
Poseuse d'étiquettes autocollantes	1	1500	1125	0,75	/	1125	843,75	1,77602866
Palettiseur	1	22000	16500	0,75	/	16500	12375	26,0484203
monte-charge	1	29411,7647	22058,8235	0,75	/	22058,8235	16544,1176	32,7756154
Compresseur 500L	1	7500	5625	0,75	/	5625	4218,75	8,8801433
Système clip	1	5000	3750	0,75	/	3750	2812,5	5,92009553
<b>TOTAL</b>					<b>Ks=0,7</b>	<b>145958,82</b>	<b>109469,12</b>	<b>228,37557</b>
<b>Station de pompage</b>								
<b>Départe N°2</b>								
Pompe de transfère filtre	1	3000	2250	0,75	/	2250	1687,5	4,05949408
Pompe immergée N°1	1	3750	2812,5	0,75	/	2812,5	2109,375	5,0743676
Pompe immergée N°2	1	3750	2812,5	0,75	/	2812,5	2109,375	5,0743676
Pompe immergée N°3	1	3750	2812,5	0,75	/	2812,5	2109,375	5,0743676
Pompe immergée N°4	1	3750	2812,5	0,75	/	2812,5	2109,375	5,0743676
<b>TOTAL</b>					<b>Ks=0,8</b>	<b>13500</b>	<b>10125</b>	<b>24,356964</b>

Récepteurs	Quantité	Pa [W]	Qa [VAR]	Ku	Ks	Pui [W]	Qui [VAR]	Ib [A]
<b>Eclairages et prise de courant</b>								
<b>Départe N°3</b>								
Eclairages intérieur	25	2500	0	1	1	2500	0	2,16506351
Eclairages extérieur	20	4000	0	1	1	4000	0	3,46410162
Eclairages stocks	40	2880	0	1	1	2880	0	2,49415316
Eclairages vestiaires	8	576	0	1	1	576	0	0,49883063
Eclairages bloc administratif	10	1000	0	1	1	1000	0	0,8660254
Prises extérieure	7	3520	0	1	0.6	3520	0	3,04840942
Prises intérieure	8	3520	0	1	0.6	3520	0	3,04840942
Prises bloc administratif	15	3520	0	1	0.28	3520	0	3,04840942
Prises stocks	8	3520	0	1	0.55	3520	0	3,04840942
Prises vestiaires	4	3520	0	1	0.325	3520	0	3,04840942
<b>TOTAL</b>					<b>Ks=0,6</b>	<b>28556</b>	<b>0</b>	<b>24,730221</b>

	Ks	Puj[kW]	Quj[kVAR]	Suj[kVA]	Ib[A]
<b>TOTAL</b>	<b>0,9</b>	<b>169,21334</b>	<b>107,63471</b>	<b>200,54522</b>	<b>249,71648</b>

Tableau II.5 : Bilan de puissance utilisée de l'installation.

Dans notre installation, en introduisant un facteur d'extension qui est égal à 1,3, on obtient :

Ke	Put[kW]	Qut[kVAR]	Sut[kVA]	Ibt[A]
<b>1,3</b>	<b>219,97734</b>	<b>139,92512</b>	<b>260,70878</b>	<b>324,63143</b>

Tableau II.6 : Bilan de puissance totale de toute l'installation.

### II.8.Détermination du facteur de puissance total de l'installation

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

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

$$\cos\varphi = \frac{P_{ut}}{S_{ut}} \tag{II.8}$$

P <sub>ut</sub> [kW]	S <sub>ut</sub> [kVA]	cosφ
<b>219,97734</b>	<b>260,70878</b>	<b>0,8437665</b>

Tableau II.7 : Facteur de puissance total de l'installation



## II.9.Choix et dimensionnement du transformateur

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

Afin de choisir le transformateur de puissance normalisée adéquat à notre installation, on s'intéresse au bilan de puissance totale utilisée qui va nous permettre grâce aux normes de conception : DIN 42503, 42511, Spécifications Sonelgaz – STS 160 XDE édition Décembre 2000 et autres série 30Kv.

Le choix du transformateur se portera sur le transformateur qui porte une puissance apparente normalisée de **400 kVA** [13].

### II.9.1.Calcul du rapport de transformation

On détermine le rapport de transformation sachant que notre transformateur est couple en Dyn11 [13].

Pour cela, on va appliquer la formule suivante pour le calculer :

$$m = \sqrt{3} \frac{N_2}{N_1} = \sqrt{3} \frac{U_2}{U_1} = \sqrt{3} \frac{I_1}{I_2} \quad (\text{II.9})$$

Avec :

**I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>**: Courant primaire et secondaire du transformateur.

**N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>**: Nombre de spires au primaire et au secondaire du transformateur.

**U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>**: Tension primaire et secondaire du transformateur.

A.N:

$$m = \sqrt{3} \frac{U_2}{U_1} = \sqrt{3} \frac{400}{30000} = 0,02309$$

Le rapport de transformation est égale à : **m = 0,02309**

### II.9.2.Calcul du courant secondaire

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

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{20}} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

**I<sub>n</sub>** : Courant assigné du transformateur, côté BT (valeur efficace) (A).

$S_n$  : puissance assignée du transformateur (kVA).

$U_{20}$  : Tension assignée secondaire (à vide) du transformateur (V).

A.N: 
$$I_n = \frac{400 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 577,3502 \text{ A}$$

Le courant secondaire du transformateur est :  $I_2 = 577,3502 \text{ A}$ .

### II.9.3.Calcul du courant primaire

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

$$I_1 = \frac{m \times I_2}{\sqrt{3}} \quad (\text{II.11})$$

A.N:

$$I_1 = \frac{0,02309 \times 577,3502}{\sqrt{3}} = 7,6966 \text{ A}$$

Donc, le courant primaire du transformateur est égal à :  $I_1 = 7,6966 \text{ A}$ .

### II.9.4.Détermination de la tension de court-circuit $U_{cc}$

Pour le transformateur de distribution (norme NBN - HD 428 1 S1),  $U_{cc}$  a des valeurs normalisées.

D'après le tableau n°1 de l'annexe, on trouve que la tension de court-circuit de notre transformateur  $U_{cc} = 4\%U$ , ce qui nous donne  $U_{cc} = 16 \text{ V}$ .

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

Puissance apparente [kVA]	Tension primaire [kV]	Tension secondaire [V]	Courant primaire [A]	Courant secondaire [A]	m	$U_{cc}$ [V]	$R_t$ [mΩ]	$X_t$ [mΩ]
400	30	400	7,6966	577,3502	0,02309	16	5,1	16,9

**Tableau II.8** : Caractéristiques du transformateur adéquat pour l'installation.

### II.10.Choix et dimensionnement du groupe électrogène

Comme on peut le remarquer sur le schéma unifilaire de notre installation, nous constatons que toutes les charges doivent être alimentées même en cas de coupure de l'électricité, pour cela, nous allons

choisir un groupe électrogène de la même puissance apparente normalisée que le transformateur, on choisit alors un groupe électrogène de **400 kVA**.

## **II.11.Compensation de l'énergie réactive**

### **II.11.1.Pour quoi faire de la compensation de l'énergie réactive**

Le transport de la puissance réactive par les lignes électriques cause des pertes et une chute de tension à son extrémité, les fournisseurs d'électricité mais aussi les utilisateurs avec des puissances importantes ont donc tout intérêt à la diminuer au maximum.

Afin d'éviter cela, la compensation de puissance réactive, série ou shunt selon les cas, est utilisée pour limiter ce transport de puissance réactive.

On utilise le plus souvent des batteries et des condensateurs.

Dans une installation, la distance entre la TGBT et la batterie ne doit pas dépasser 15m. Ce dispositif doit être mis au plus près de la charge pour éviter que l'énergie réactive ne soit appelée sur le réseau. La puissance réactive des condensateurs à mettre en œuvre, doit être déterminée en fonction de la puissance de l'installation, du facteur de puissance ( $\cos\varphi$ ) d'origine et du  $\cos\varphi'$  requis à l'arrivée [14].

### **II.11.2.Les différents types de compensation**

Le choix du type de La compensation d'énergie réactive :

- Par condensateurs fixes (si la puissance des condensateurs est inférieure à 15% de la puissance du transformateur).



**Figure II.2** : Exemple de condensateurs fixes [10].

- Par batteries de condensateurs à régulation automatique (si la puissance des condensateurs est supérieure à de la puissance du transformateur), qui permettent l'adaptation immédiate de la compensation aux variations de la charge.



Figure II.3 : Exemple de batterie à régulation automatique [10].

### II.11.3.La compensation peut être

- Globale, en tête d'installation (Figure II.4).

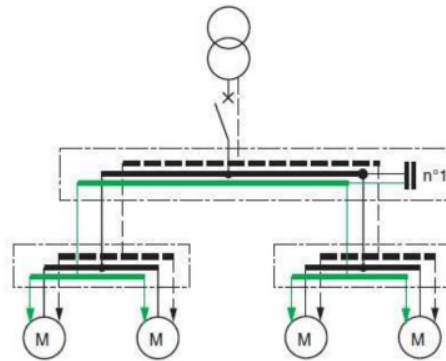


Figure II.4 : Compensation globale [15].

- Locale (Individuelle), aux bornes de chaque récepteur inductif (Figure II.5).

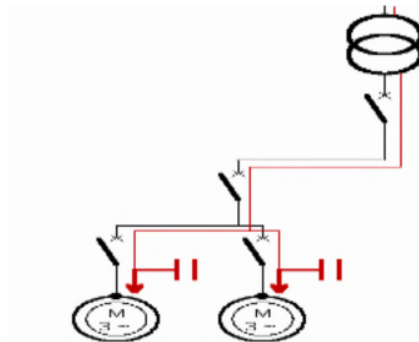


Figure II.5 : Compensation individuelle [15].

- Partielle, par secteur, au niveau du tableau de distribution dans des cas rares.

La compensation idéale est celle qui permet de produire l'énergie réactive à l'endroit même où elle est consommée et en quantité ajustée à la demande (compensation locale).

#### II.11.4. Installation de batteries de compensation

La batterie est raccordée en tête d'installation BT et assure une compensation pour l'ensemble de l'installation. La batterie reste en service en permanence pendant le fonctionnement normal de l'installation.

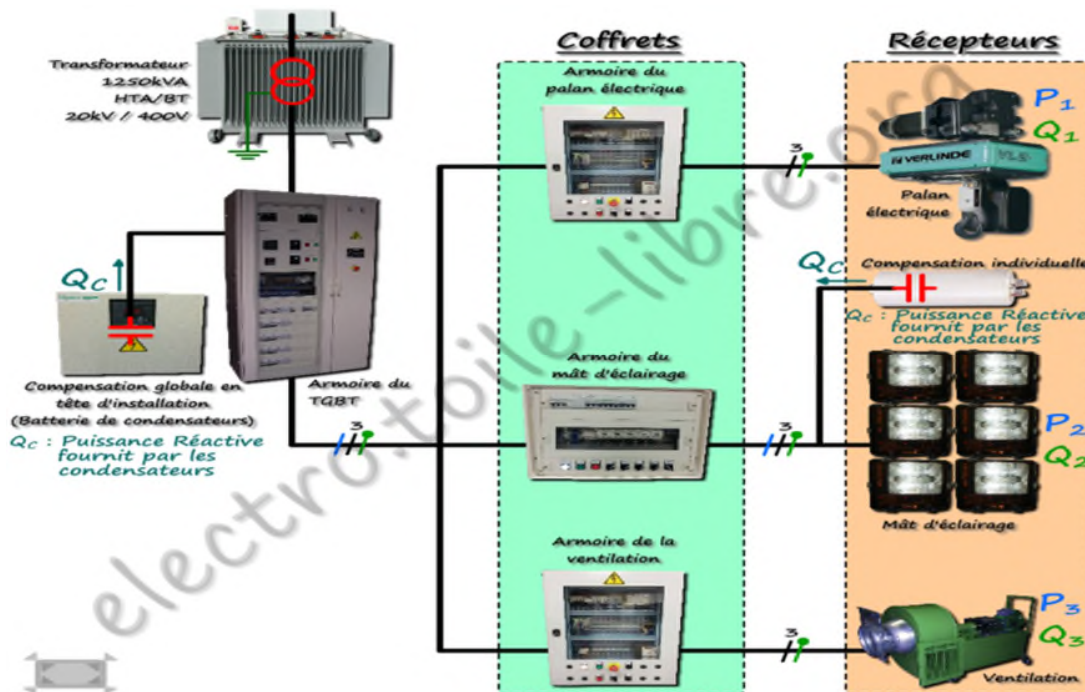


Figure II.6 : Schéma d'une installation de batterie de condensation [16].

### II.11.5. Techniques de détermination de la puissance réactive nécessaire à compensation

On connaît :

- la puissance active de l'installation ;
- son facteur de puissance actuel  $\cos(\varphi)$  ;
- le facteur de puissance souhaité  $\cos(\varphi')$  [17].

#### II.11.5.1. Méthode graphique

On trace le triangle des puissances à l'échelle. On détermine ainsi la puissance réactive actuelle. On trace le nouvel angle  $\varphi$  ce qui permet de connaître la nouvelle puissance réactive de l'installation. La puissance réactive de compensation est obtenue par différence. (Figure II.7) La méthode se poursuit par le calcul de la capacité de chacun des trois condensateurs [17].

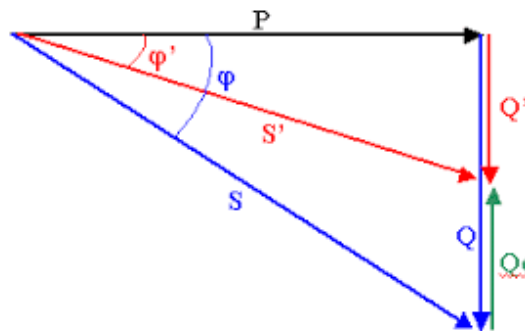


Figure II.7 : Triangle des puissances.

#### II.11.5.2. Méthode Par calculs [17]

La puissance réactive actuelle est donnée par :

$$Q_{ut} = P_{ut} \times \tan\varphi \quad (\text{II.12})$$

La puissance réactive souhaitée est donnée par :

$$Q' = P_{ut} \times \tan\varphi' \quad (\text{II.13})$$

La puissance réactive de compensation est donnée par la différence

$$Q_c = Q_{ut} - Q' \quad (\text{II.14})$$

### II.11.6. Calcul des valeurs de capacités des condensateurs

#### II.11.6.1. En monophasé

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

$$Q_c = C_{eq} \times \omega \times V^2 \quad (\text{II.15})$$

Avec :

$V$  : Tension (V) ;

$\omega$  : Pulsation des tensions du réseau (rd/s) ;

$C_{eq}$  : Capacité équivalente du condensateur (F) ;

### II.11.6.2. En triphasé

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

#### a) Couplage triangle

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

$$Q_c(\Delta) = 3 \times C_{eq} \times \omega \times U^2 \quad (\text{II.16})$$

$$C_{eq} = \frac{m}{n} \times C \quad (\text{II.17})$$

Avec :

$U$  : Tension composée (V) ;

$\omega$  : Pulsation des tensions du réseau (rd/s) ;

$C$  : Capacité du condensateur (F) ;

$n$  : nombre de condensateurs connectés en série ;

$m$  : nombre de condensateurs connectés en parallèle.

#### b) Couplage étoile

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

$$Q_c(Y) = 3 \times C_{eq} \times \omega \times V^2 \quad (\text{II.18})$$

✓ **La relation entre  $C_{eq}(\Delta)$  et  $C_{eq}(Y)$  :**

A partir de (II.16) on obtient :  $3 \times C_{eq} = \frac{Q_c(\Delta)}{\omega \times U^2}$  (II.19)

On sait que :  $V = \frac{U}{\sqrt{3}}$  (II.20)

En remplaçant (II.20) dans (II.18), on obtient :

$$C_{eq} = \frac{Q_c(Y)}{\omega \times U^2} \quad (\text{II.21})$$

De (II.19) et (II.21) :

$$C_{eq}(Y) = 3C_{eq}(\Delta) \quad (\text{II.22})$$

### II.11.7. Calcul de la puissance de compensation

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

Au niveau du TGBT on a :

$$\cos\varphi = 0,8437 \text{ ce qui donne } \tan\varphi = 0,6362 ;$$

$$Q_{ut} = 139,925 \text{ kVAR et } P_{ut} = 219,9773 \text{ kW} ;$$

$$\cos\varphi' \text{ désiré } 0,95 \text{ ainsi } \tan\varphi' = 0,32 ;$$

$$Q_c = P_{ut} \times (\tan\varphi - \tan\varphi') \rightarrow Q_c = 219,9773 \times (0,6362 - 0,32)$$

$$\rightarrow Q_c = 69,5556 \text{ kVAR}$$

$$Q_{ut} = Q' + Q_c \rightarrow Q' = Q_{ut} - Q_c \rightarrow Q' = 139,925 - 69,5556$$

$$\rightarrow Q' = 70,3694 \text{ kVAR}$$

$$C_{eq}(\Delta) = \frac{Q_c(\Delta)}{3 \times \omega \times U^2} \rightarrow C_{eq}(\Delta) = \frac{69555,6}{3 \times (2 \times \pi \times 50) \times 400^2} = 461,2548$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{eq}(\Delta) = 461,2548 \mu\text{F} \\ C_{eq}(Y) = 1383,7644 \mu\text{F} \end{array} \right.$$

Les puissances réactives avant et après compensation et les valeurs des capacités des condensateurs pour le TGBT sont données dans le tableau II.9 :

	Avant Compensation		Après Compensation				
	$Q_{ut}$ [kVAR]	$\cos\varphi$	$Q_c$ [kVAR]	$Q'$ [kVAR]	$\cos\varphi'$	$C_{eq}(\Delta)$ [ $\mu\text{F}$ ]	$C_{eq}(Y)$ [ $\mu\text{F}$ ]
<b>TGBT</b>	<b>139,925</b>	<b>0,8437</b>	<b>69,5556</b>	<b>70,3694</b>	<b>0,95</b>	<b>461,2548</b>	<b>1383,7644</b>

**Tableau II.9 :** Puissances réactives avant et après compensation.

Notre choix va se porter sur  $C_{eq}(\Delta)$  qui est inférieur de trois fois  $C_{eq}(Y)$ .



### II.11.8. Protection des batteries de condensateurs

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

$K = 2$  pour  $Q \leq 25$  kVAR ;

$K = 1,8$  pour  $25 < Q \leq 50$  kVAR ;

$K = 1,7$  pour  $50 < Q \leq 100$  kVAR ;

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

$$I_b = \frac{Q \times 10^3}{U \times \sqrt{3}} \times K \quad (\text{II.22})$$

Avec :

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

$U$  : tension nominale du réseau triphasé.

$$I_b = \frac{69555,6}{400 \times \sqrt{3}} \times 1,7 \rightarrow I_b = 170,6712 \text{ A}$$

### II.11.9. Vérification du type de compensation

$Q_c$ [kVAR]	$S_n$ [kVA]	$Q_c / S_n$ (%)	Type de compensation
69,5556	400	17,38	Automatique

**Tableau II.10** : Type de compensation de l'énergie réactive.

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

## II.11 Conclusion

Dans ce chapitre on conclut que pour l'installation de notre usine il faut un bilan de puissance ; donc nous avons déterminés les différents types de puissances aussi comment dimensionner et choisir un transformateur et un groupe électrogène aussi que les différents courants nominaux, et courant d'emplois des différents récepteurs et de toute l'installation aussi du facteur de puissance moyen qui égal  $\cos\phi=0.84$ , le rapport de transformation  $m$ , ainsi détermination de la tension de court-circuit  $U_{cc}$  .

La bonne maîtrise de la puissance réactive consommée par l'installation permet alors de limiter les impacts économiques, diminuer la facture énergétique d'une part et d'obtenir une exploitation optimale d'autre part.

A decorative graphic of a scroll with a blue outline and grey shading at the corners, framing the text.

# *Chapitre III*

*Dimensionnement des  
équipements de  
l'installation*

### **III.1.Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons procéder au dimensionnement des équipements de notre installation, ou nous allons déterminer les sections des câbles de chaque récepteur, le choix des sections se portera sur les conditions dans lesquelles sont installées les canalisations (mode de pose, type de câble, nature de l'isolant et de l'âme des conducteurs, regroupement des circuits et la température ambiante...), en outre, nous allons calculer les courants d'emplois, les courants de courts-circuits, d'une manière à supporter différentes contraintes afin d'assurer un meilleur fonctionnement pour notre installation.

Une installation électrique est un ensemble cohérent d'appareillage, câbles, circuits et récepteurs, le dimensionnement d'une installation électrique implique le choix optimal des éléments de l'appareillage, les câbles et les récepteurs.

### **III.2.Les condition de dimensionnement des câbles**

Le dimensionnement optimal des câbles doit tenir des conditions suivantes :

- Le mode de pose et la nature des milieux traversés.
- La température extrême du milieu ambiant.
- La tension et la nature du courant.
- L'intensité à transporter.
- La nature de l'âme.
- La longueur de la liaison.
- La chute de tension admissible.
- La valeur du courant de court-circuit et le temps de coupure sur défaut.
- Des conditions de sécurité, protection contre les contacts indirects.
- Une condition économique, cette condition, consiste à rechercher la section qui, en régime permanent, rend minimale la somme du coût d'investissement et du coût d'exploitation [18].

### **III.3. La section d'un câble**

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**

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

- **Surintensité due à un court-circuit**

La température atteinte par l'âme à la fin d'une surintensité de courte durée due par exemple à un court-circuit, ne doit pas dépasser la température dite de court-circuit admise par les matériaux constituant le câble retenu. Cette condition détermine la section  $S_{min}$ .

- **Chute de tension**

La chute de tension, provoquée par le passage du courant dans les conducteurs, doit être compatible avec les tensions existantes au départ et souhaitées à l'arrivée. Cette condition détermine une section  $S$  [18].

### III.4. Constitutions d'un câble électrique

#### III.4.1. Câble BT

Basse tension jusqu'à 1 000 V : (également appelée (0,6/1 kV) Les câbles de cette section sont utilisés pour les installations industrielles de puissance dans divers domaines (industrie générale, installations publiques, infrastructures, etc.). Ils sont conçus selon les normes internationales.

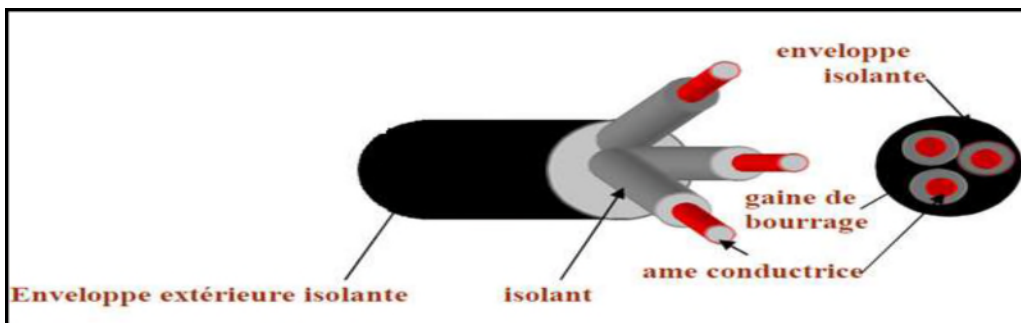


Figure III.1 : Constitution d'un câble BT [25].

#### III.4.2. Câble MT

Les câbles moyens tension sont de 1 kV à 36 kV. Elles sont utilisées pour distribuer l'électricité des sous-stations électriques aux postes de transformation.

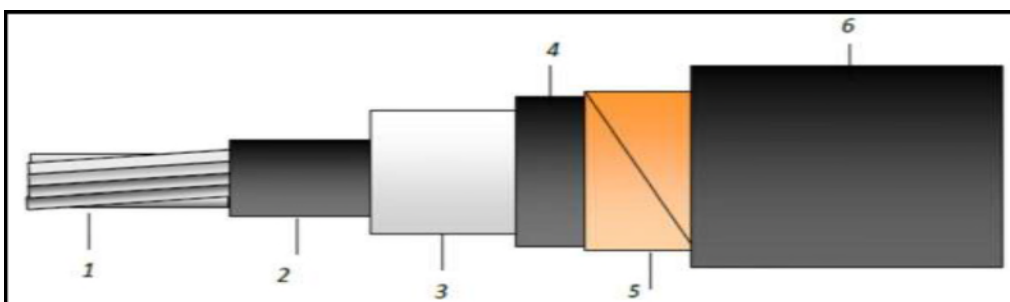


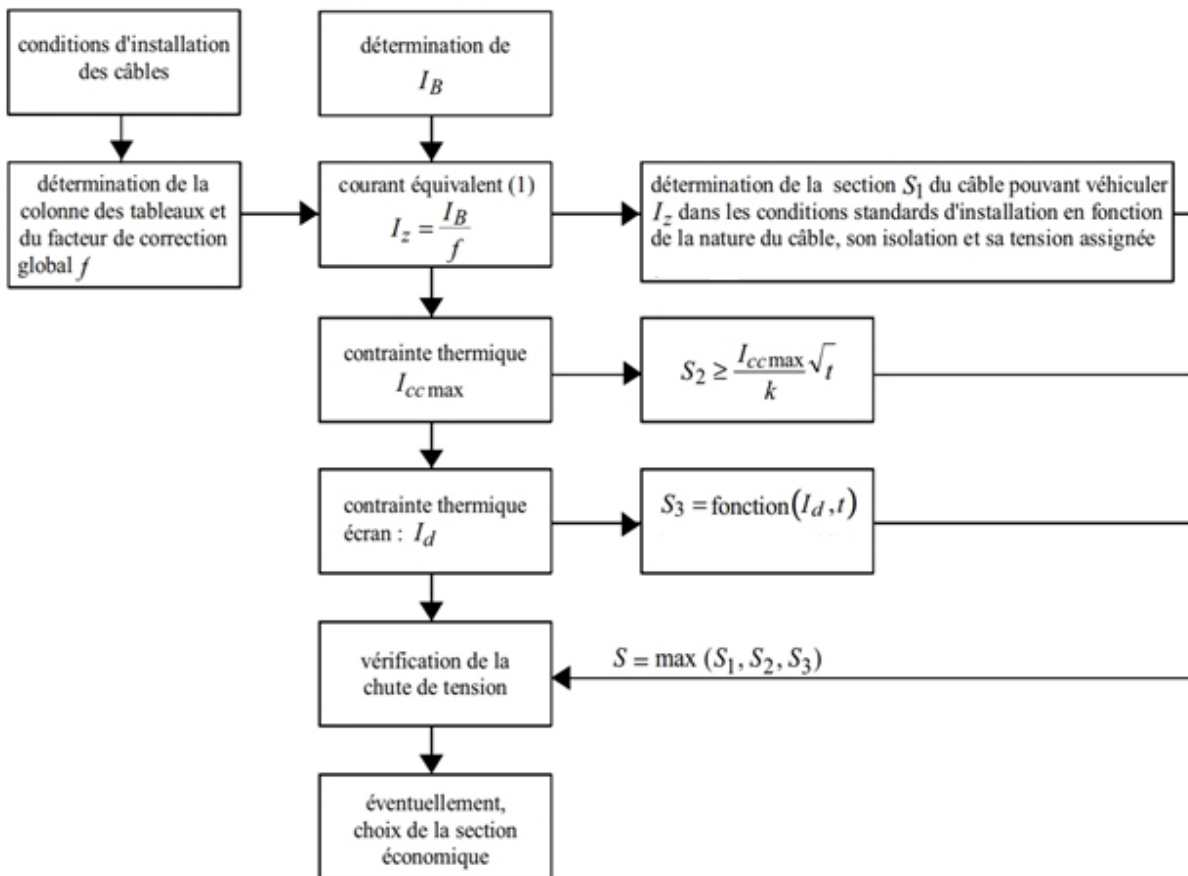
Figure III.2 : Constitution d'un câble MT [25].

**Constitutions :**

- 1 - Ame : cuivre ou Aluminium câblée circulaire de classe 2 (CEI 60128 ou NFC 32-013).
- 2 - Ecran semi-conducteur de extrudé.
- 3 - Isolant PR.
- 4 - Ecran semi-conducteur extrudé pliable.
- 5 - Ecran en cuivre (posé en hélice).
- 6 - Gaine en PVC spécial.

**III.5.Détermination de la section du câble MT**

**III.5.1.Détermination pratique de la section minimale d'un câble moyenne tension**



**Figure III.3 :** Logigramme de détermination de la section minimale d'un câble en moyenne tension [19].

**III.5.2.Principe de la méthode**

La méthode de détermination de la section des conducteurs en moyenne tension consiste à :

- ✓ Déterminer le courant maximal d'emploi  $I_b$  des récepteurs à alimenter.

- ✓ Déterminer la section S1 satisfaisant l'échauffement de l'âme du câble en régime de fonctionnement normal, qui peut être permanent ou discontinu. Cette étape nécessite la connaissance :
  - Des conditions d'installation réelles de la canalisation, par conséquent du facteur de correction global f.
  - Des valeurs des courants admissibles des différents types de câble dans les conditions standards d'installation.
- ✓ Déterminer la section S2 nécessaire à la tenue thermique du câble en cas de court-circuit triphasé.
- ✓ Déterminer la section S3 nécessaire à la tenue thermique de l'écran du câble en cas de Court-circuit à la terre.
- ✓ Vérifier éventuellement la chute de tension dans la canalisation pour la section S retenue. La section technique S à retenir est la valeur maximale parmi les sections S1, S2 et S3.
- ✓ Choisir la section économique [19].

### III.5.3. Courant maximal d'emploi $I_b$

Le courant maximal d'emploi ( $I_b$ ) est défini selon la nature de l'installation alimentée par la canalisation. C'est le courant correspondant à la plus grande puissance transportée par le circuit en service normal.

- **En monophasé :**

$$I_b = \frac{P}{V \times \cos\varphi} \quad \text{(III.1)}$$

- **En triphasé :**

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} \quad \text{(III.2)}$$

Avec :

**U** : tensions composée en triphasée.

**V** : tensions simple en monophasée.

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

**cosφ** : Facteur de puissance du récepteur.

Dans notre cas (le courant primaire de transformateur (câble C<sub>0</sub>):

$$I_b = I_n = \frac{400 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 30 \times 10^3} \rightarrow I_b = 7,698 \text{ A}$$

### III.5.4. Facteurs de correction et choix de la section S1 satisfaisant l'échauffement

Le facteur de correction global  $f$ , caractérise l'influence des différentes conditions de l'installation. Il s'obtient en multipliant les facteurs de correction  $f_i$ . Le facteur de correction  $f_0$  mesure l'influence du mode de pose. Le facteur  $f_1$  est un facteur de correction pour des températures ambiantes différentes de 30 °C (câbles posés dans l'air). Le facteur  $f_5$  est un facteur de correction pour groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles (câbles posés dans l'air et à l'abri du rayonnement solaire direct).

Pour le cas de notre étude, les facteurs de correction à appliquer sont :

- Mode de pose (Pose directe dans caniveaux ouverts ou ventilés) (Tableau n°2 de l'annexe)  $f_0 = 0,90$ .
- Température ambiante sous caniveaux 30°C (Tableau n°3 de l'annexe)  $f_1 = 1$ .
- Facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles (Tableau n°4 de l'annexe); dans notre cas les valeurs des courants admissibles dans les câbles, dans les conditions standards d'installation  $f_1=f_2=f_3=f_4=f_5=f_6 = 1$ .

D'après ces résultats, on obtient un facteur de correction global qui est :

$$f = f_0 * f_1 * f_5 \rightarrow f = 0,90 \quad (\text{III.3})$$

Le courant équivalent que le câble doit pouvoir véhiculer dans les conditions standards d'installation est :

$$I_z = \frac{I_b}{f} = \frac{7,698}{0,90} = 8,5533 \text{ A} \quad (\text{III.4})$$

Le tableau n°5 de l'annexe (Colonne (3), PR, Aluminium), donne une section minimale  $S_1 = 16 \text{ mm}^2$  qui a un courant admissible  $I_0 = 99 \text{ A}$

### III.5.5. Vérification des contraintes thermiques S2

En négligeant l'impédance amont au transformateur et l'impédance de la liaison transformateur - jeu de barres, le courant de court-circuit maximal à l'origine du câble est égal au courant de court-circuit du transformateur.

On calcule l'impédance du transformateur:

On suppose que le transformateur MT à une puissance  $S=10\text{MVA}$

$$Z_{T1} = \frac{U_n^2}{S_n} \times \frac{U_{cc}}{100} \rightarrow \frac{(30 \times 10^3)^2}{(10 \times 10^6)} \times \frac{4}{100} = 3,6 \ \Omega \quad (\text{III.5})$$

Le courant de court-circuit maximal est donc :

$$I_{cc} = 1,1 \times \frac{U_n}{Z_{T1} \times \sqrt{3}} \rightarrow 1,1 \times \frac{(30 \times 10^3)}{3,6 \times \sqrt{3}} = 4,8112 \text{ kA} \quad (\text{III.6})$$



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

$$S2 \geq \frac{I_{cc}}{K} \times \sqrt{t} \rightarrow S2 \geq \frac{4,8112}{94} \times \sqrt{1} \rightarrow S2 \geq 51,18 \text{ mm}^2 \quad (\text{III.7})$$

Avec :

**k = 94** : valeur du coefficient correspondant à un conducteur en aluminium isolé au PR (voir tableau n°5 de l'annexe).

**t = 1s** : durée du court-circuit égale à la temporisation de la protection.

La section minimale à retenir est donc : **S2 = 51,18 mm<sup>2</sup>**.

### III.5.6. Vérification des chutes de tensions

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

$$\Delta V = b(\rho \times \frac{L}{S} \times \cos\varphi + \lambda \times L \times \sin\varphi) \times I_l \quad (\text{III.8})$$

Avec :

**ΔV** : Chute de tension, en volt ;

**b** : coefficient ; b=1 pour circuit triphasé, b=2 pour circuit monophasé ;

**ρ** : Résistivité du conducteur en service normal, ρ = 0,036 Ωmm<sup>2</sup>/m pour l'aluminium

**L** : longueur du câble, en mètre ;

**S** : section des conducteurs, en mm<sup>2</sup> ;

**Cosφ** : facteur de puissance ; en l'absence d'indication précise on peut prendre

cos φ = 0,8 (sinφ = 0,6) ;

**I<sub>b</sub>** : courant maximal d'emploi, en ampère ;

**λ** : Réactance linéique des conducteurs, en Ω /m, 0,15\*10<sup>-3</sup>Ω /m pour les câbles

Unipolaires espacés.

L=2000 m, S=50,18 mm<sup>2</sup>, λ=0,15\*10<sup>-3</sup> Ω /m, ρ = 0,036 Ω mm<sup>2</sup>/m, I<sub>b</sub> = 7,698 A

cosφ = 0,8 (sinφ = 0,6).

$$\Delta V = 1(0,036 \times \frac{2000}{50,18} \times 0,8 + 0,15 * 10^{-3} \times 2000 \times 0,6) \times 7,698$$

$$\Delta V = 10,22 \text{ V}$$

Les chutes de tension en régime normal sont inférieures à 1 %, en tout point du réseau 30 kV, pour notre cas la chute de tension relative est de :  $\frac{\Delta V}{V_n}$

$$\frac{\Delta V}{V_n} = \frac{10,22}{\frac{30000}{\sqrt{3}}} \times 100 = 0,59\%$$

Malgré une longueur de liaison très importante pour un réseau industriel, la chute de tension est acceptable.

On a obtenu deux sections différentes avec deux méthodes différentes  $S_1=16 \text{ mm}^2$  et  $S_2=50 \text{ mm}^2$ , la section technique à retenir est donc  $S=50,18 \text{ mm}^2$ .

### III.6.Détermination des sections des câbles en basse tension

#### III.6.1.Méthode de calcul

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

- Calcul de la section technique ;
- Calcul de la section économique.
- Présentation de la méthode

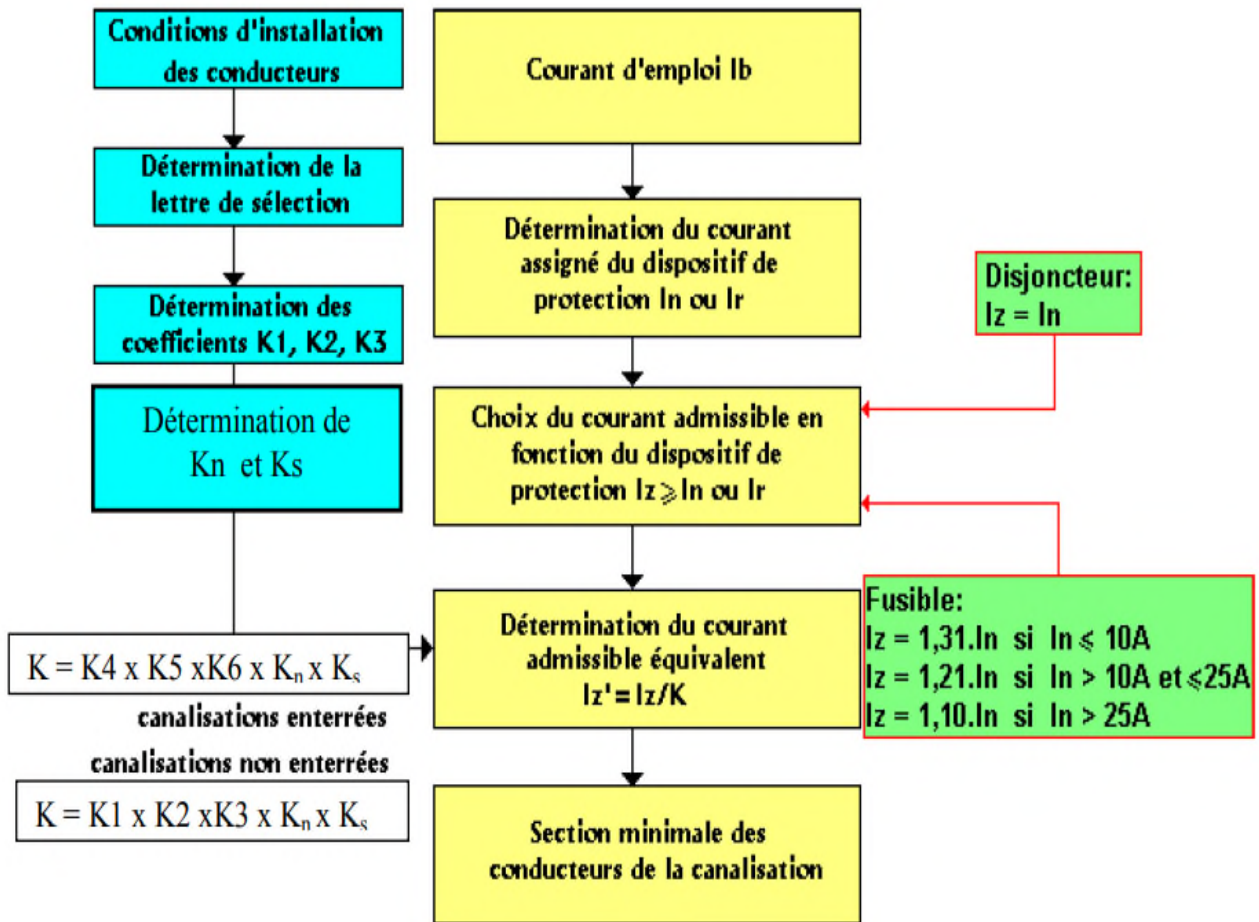


Figure III.4 : Logigramme de détermination de la section minimale d'un câble en moyenne tension [20].

### III.6.2. Calcul de la section technique

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

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

#### III.6.2.1. Calcul de la section selon l'échauffement $S_j$

En fonction des conditions environnementales et les critères des conducteurs, des facteurs de correction sont appliqués pour la détermination des courants admissibles des canalisations.

Les conditions dans lesquelles l'installation est dimensionnée sont les suivantes :

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

Le mode de pose dans notre cas c'est : sous caniveau, moulures, plinthes. Sélectionné par la lettre C du tableau n°7 de l'annexe. Le coefficient K s'obtient en multipliant les facteurs de correction  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_n$  et  $K_s$  :

- Le facteur de correction  $K_1$  prend en compte le mode de pose comme le montre le tableau n°8 de l'annexe.
- Le facteur de correction  $K_2$  prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte (tableau n°9 de l'annexe).
- Le facteur de correction  $K_3$  prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant (tableau n°10 de l'annexe).
- Le facteur de correction  $K_n$  (conducteur Neutre chargé) (selon la norme NF C 15-100 §523.5.2)  
 $K_n = 0,84$  ;  $K_n = 1,45$ .
- Le facteur de correction dit de symétrie  $K_s$  (selon la norme NF C 15-105 § B.5.2 et le nombre de câbles en parallèle)  $K_s = 1$  pour 2 et 4 câbles par phase avec le respect de la symétrie.  $K_s = 0,8$  pour 2, 3 et 4 câbles par phase si non-respect de la symétrie.

Pour les forces motrices et stations de pompage on choisit le mode de pose sous caniveau,  $K_1=0,95$ ,  $K_2=1$ ,  $K_3=1$ ,  $K_n=0,84$ ,  $K_s=1$ .

Pour les éclairages et prises on choisit le mode de pose encastré,  $K_1=0,70$ ,  $K_2=1$ ,  $K_3=1$ ,  $K_n=0,84$ ,  $K_s=1$ .

**Exemple de calcul :** Souffleuse automatique (câble C31)

On a:

$$Iz' = \frac{Iz}{K} \quad (\text{III.9})$$

$Iz = I_n$  ou juste supérieur, dans notre étude on prend  $Iz = I_b \rightarrow Iz = 134,978178 \text{ A}$ .

$$K = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_n \times K_s$$

$$\rightarrow K = 0,95 \times 1 \times 1 \times 0,84 \times 1 \rightarrow K = 0,79.$$

$$Iz' = \frac{134,978178}{0,79} = 170,85 \text{ A}$$

En se plaçant sur la ligne correspondant à la lettre de sélection C, dans la colonne PR3 (cuivre) du tableau n°11 de l'annexe, on choisit la valeur immédiatement supérieure à 170,85 A, ce qui donne un courant admissible  $I_{ad} = 179 \text{ A}$  et une section  $S_j = 50 \text{ mm}^2$ .

Les résultats obtenus pour chacun des circuits du TGBT sont résumés dans le tableau ci-dessous (Tableau III.1):

Récepteurs	courant d'emploi $Iz$ [A]	K	courant fictif $Iz'$ [A]	nature des câbles	courant admissible $I_{ad}$ [A]	$S_j$ [mm <sup>2</sup> ]
<b>Alimentation force motrice</b>						
<b>Départ N°1</b>						
<b>Souffleuse automatique</b>	134,978178	0,79	170,858453	Cuivre PR3	179	50
<b>Tri block</b>						
<b>Rinceuse 8 becs de bidons</b>						
<b>Remplisseuse 8 becs de bidons</b>	15,3922484	0,79	19,4838587	Cuivre PR3	22	1,5
<b>Visseuse 8 becs de bidons de 4l à 6l</b>						
<b>Dateur</b>	2,60484203	0,79	3,29726839	Cuivre PR3	22	1,5
<b>Poseuse d'étiquettes autocollantes</b>	1,77602866	0,79	2,24813754	Cuivre PR3	22	1,5
<b>Palettiseur</b>	26,0484203	0,79	32,9726839	Cuivre PR3	40	4
<b>monte-charge</b>	32,7756154	0,79	41,4881208	Cuivre PR3	51	6
<b>Compresseur 500L</b>	8,8801433	0,79	11,2406877	Cuivre PR3	22	1,5
<b>Système cip</b>	5,92009553	0,79	7,49379181	Cuivre PR3	22	1,5
<b>TOTAL départ N°1</b>	<b>228,37557</b>	<b>0,79</b>	<b>289,083</b>	<b>Cuivre PR3</b>	<b>322</b>	<b>120</b>

Récepteurs	courant d'emploi Iz[A]	K	courant fictif Iz'[A]	nature des câbles	courant admissible Iad[A]	Sj[mm <sup>2</sup> ]
<b>Station de pompage</b>						
<b>Départ N°2</b>						
<b>Pompe de transfère filtre</b>	4,05949408	0,79	5,1386001	Cuivre PR3	22	1,5
<b>Pompe immergée N°1</b>	5,0743676	0,79	6,42325013	Cuivre PR3	22	1,5
<b>Pompe immergée N°2</b>	5,0743676	0,79	6,42325013	Cuivre PR3	22	1,5
<b>Pompe immergée N°3</b>	5,0743676	0,79	6,42325013	Cuivre PR3	22	1,5
<b>Pompe immergée N°4</b>	5,0743676	0,79	6,42325013	Cuivre PR3	22	1,5
<b>TOTAL départ N°2</b>	<b>24,356964</b>	<b>0,79</b>	<b>30,8316</b>	<b>Cuivre PR3</b>	<b>40</b>	<b>4</b>
<b>Eclairages et prise de courant</b>						
<b>Départ N°3</b>						
<b>Eclairage intérieur</b>	2,16506351	0,588	3,6820808	Cuivre PVC3	17,5	1,5
<b>Eclairage extérieur</b>	3,46410162	0,588	5,89132929	Cuivre PVC3	17,5	1,5
<b>Eclairage stocks</b>	2,49415316	0,588	4,24175707	Cuivre PVC3	17,5	1,5
<b>Eclairage vestiaire</b>	0,49883063	0,588	0,84835141	Cuivre PVC3	17,5	1,5
<b>Eclairage bloc administratif</b>	0,8660254	0,588	1,47283231	Cuivre PVC3	17,5	1,5
<b>Prises extérieure</b>	3,04840942	0,588	5,18436976	Cuivre PVC3	17,5	1,5
<b>Prises intérieure</b>	3,04840942	0,588	5,18436976	Cuivre PVC3	17,5	1,5
<b>Prises bloc administratif</b>	3,04840942	0,588	5,18436976	Cuivre PVC3	17,5	1,5
<b>Prises stocks</b>	3,04840942	0,588	5,18436976	Cuivre PVC3	17,5	1,5
<b>Prises vestiaire</b>	3,04840942	0,588	5,18436976	Cuivre PVC3	17,5	1,5
<b>TOTAL départ N°3</b>	<b>24,730221</b>	<b>0,588</b>	<b>42,058199</b>	<b>Cuivre PVC3</b>	<b>57</b>	<b>10</b>
<b>Départ principale</b>	<b>324,63143</b>	<b>1</b>	<b>324,63143</b>	<b>Cuivre PR3</b>	<b>371</b>	<b>150</b>

Tableau III.1 : Résultats de calcul de la section selon l'échauffement.

III.6.2.2. Calcul de la section selon la chute de tension Sz

La chute de tension sur une canalisation est calculée par les formules ci-dessous

Circuit	Chute de tension (ΔU)	
	En volts	En %
Monophasé : deux phases	$\Delta U = 2 \times I_b (R \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi) \times L$	$\frac{\Delta U}{U_n} \times 100$
Monophasé : phases et neutre	$\Delta U = 2 \times I_b (R \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi) \times L$	$\frac{\Delta U}{V_n} \times 100$
Triphasé équilibré : trois phases (Avec ou sans neutre)	$\Delta U = \sqrt{3} \times I_b (R \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi) \times L$	$\frac{\Delta U}{U_n} \times 100$

Tableau III.2 : Formules de calcul de la chute de tension [10].

Pour notre étude on utilise la formule suivante :

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_b (R \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi) \times L$$

$$\rightarrow \Delta U = \sqrt{3} \times I_b \left( \frac{\rho \times L}{S} \times \cos\varphi + \lambda \times L \times \sin\varphi \right) \tag{III.10}$$

Avec :

$I_b$ : Courant d'emploi en ampère.

$\rho$ : Résistivité du conducteur en service normal,  $\rho = 0,0225 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  pour le cuivre.

$L$  : longueur du câble en m ;

$S$  : section des conducteurs en  $\text{mm}^2$  ;

$\lambda$ : Réactance linéique des conducteurs,  $\lambda = 0,08 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$  pour les câbles tripolaires.

- **Exemple de calcul :(Souffleuse automatique) (Câble C31)**

On a:  $U = 400 \text{ V}$ ,  $I_b = 134,978178 \text{ A}$ ,  $L = 5 \text{ m}$ ,  $S_j = 50 \text{ mm}^2$ ,  $\cos\varphi = 0,8$  ;  $\sin\varphi = 0,6$ .

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 134,978178 \left( \frac{0,0225 \times 5}{50} \times 0,8 + 0,08 \times 10^{-3} \times 5 \times 0,6 \right)$$

$$\Delta U = 0,4769 \text{ V}$$

En pourcentage on aura :  $\frac{\Delta U}{U_n} \times 100 \rightarrow \frac{0,4769}{400} \times 100 = 0,1192\%$

La chute de tension calculée est inférieure à la chute de tension admissible (8%) indiquée dans le tableau ci-dessous, donc la section de notre câble est convenable :

**Sz = 50 mm<sup>2</sup>.**

Type d'installations	Eclairage	Autre usages (force motrice)
Alimentation par le réseau BT de distribution publique	3%	5%
Alimentation par poste privé MT /BT	6%	8%

Lorsque les canalisations principales de l'installation ont longueur supérieure à 100 m ces chutes de tension peuvent être augmentées de 0,005% par mètre de canalisation au-delà de 100 m, sans toutefois que ce supplément soit supérieur à 0,5%.

**Tableau III.3 : chutes de tension admissibles dans les réseaux BT [10].**

Les résultats de calcul des autres paramètres sont représentés dans le tableau suivant :

Récepteurs	câbles	Iz[A]	cosφ	L[m]	R[Ω]	X[Ω]	ΔU[V]	ΔU%	Sj[mm <sup>2</sup> ]	Sz[mm <sup>2</sup> ]
<b>Alimentation force motrice</b>										
<b>Départ N°1</b>										
Souffleuse automatique	C31	134,978178	0,8	5	0,00225	0,0004	0,47693	0,11923	50	50
Tri block	C32	15,3922484	0,8	10	0,15	0,0008	3,21202	0,803	1,5	1,5
Dateur	C33	2,60484203	0,8	20	0,3	0,0016	1,08714	0,27179	1,5	1,5
Poseuse d'étiquettes autocollantes	C34	1,77602866	0,8	25	0,375	0,002	0,92654	0,23164	1,5	1,5
Palettiseur	C35	26,0484203	0,8	30	0,16875	0,0024	6,15579	1,53895	4	4
monte-charge	C36	32,7756154	0,8	35	0,13125	0,0028	6,05612	1,51403	6	6
Compresseur 500L	C37	8,8801433	0,8	10	0,15	0,0008	1,85309	0,46327	1,5	1,5
Système cip	C38	5,92009553	0,8	15	0,225	0,0012	1,85309	0,46327	1,5	1,5
	<b>C3</b>	<b>228,37557</b>	<b>0,8</b>	<b>3</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,235</b>	<b>0,0587</b>	<b>120</b>	<b>120</b>
<b>Station de pompage</b>										
<b>Départ N°2</b>										
Pompe de transfère filtre	C41	4,05949408	0,8	15	0,225	0,0012	1,27069	0,31767	1,5	1,5
Pompe immergée N°1	C42	5,0743676	0,8	150	2,25	0,012	15,8836	3,9709	1,5	1,5
Pompe immergée N°2	C43	5,0743676	0,8	160	2,4	0,0128	16,9425	4,23562	1,5	1,5
Pompe immergée N°3	C44	5,0743676	0,8	140	2,1	0,0112	14,8247	3,70617	1,5	1,5
Pompe immergée N°4	C45	5,0743676	0,8	200	3	0,016	21,1781	5,29453	1,5	1,5
	<b>C4</b>	<b>24,356964</b>	<b>0,8</b>	<b>3</b>	<b>0,0169</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,5756</b>	<b>0,1439</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Eclairages et prise de courant</b>										
<b>Départ N°3</b>										
Eclairage intérieur	C51	2,16506351	1	80	1,2	0,0064	4,5	1,125	1,5	1,5
Eclairage extérieur	C52	3,46410162	1	100	1,5	0,008	9	2,25	1,5	1,5
Eclairage stocks	C53	2,49415316	1	70	1,05	0,0056	4,536	1,134	1,5	1,5
Eclairage vestiaire	C54	0,49883063	1	15	0,225	0,0012	0,1944	0,0486	1,5	1,5
Eclairage bloc administratif	C55	0,8660254	1	10	0,15	0,0008	0,225	0,05625	1,5	1,5
Prises extérieure	C56	3,04840942	1	60	0,9	0,0048	4,752	1,188	1,5	1,5
Prises intérieure	C57	3,04840942	1	80	1,2	0,0064	6,336	1,584	1,5	1,5
Prises bloc administratif	C58	3,04840942	1	10	0,15	0,0008	0,792	0,198	1,5	1,5
Prises stocks	C59	3,04840942	1	70	1,05	0,0056	5,544	1,386	1,5	1,5
Prises vestiaire	C60	3,04840942	1	15	0,225	0,0012	1,188	0,297	1,5	1,5
	<b>C5</b>	<b>24,730221</b>	<b>0,8</b>	<b>2</b>	<b>0,0045</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,1928</b>	<b>0,0482</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
	<b>C1</b>	<b>324,63143</b>	<b>0,95</b>	<b>10</b>	<b>0,0015</b>	<b>0,0008</b>	<b>0,8434</b>	<b>0,2109</b>	<b>150</b>	<b>150</b>

Tableau III-4 : Vérification des sections par rapport aux chutes de tensions.

**Remarque :** D'après les calculs effectués dans le tableau ci-dessus, on remarque que les chutes de tensions calculées sont inférieures par rapport à la chutes de tension admissible, pour cela, les sections calculées auparavant son convenables.

### III.6.2.3. Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit

Pendant le temps de réponse du dispositif de protection, l'énergie dissipée par le câble ne doit pas endommager celui-ci. La contrainte thermique, notion importante, ne doit pas être dépassée.

Lors du passage d'un courant de court-circuit dans les conducteurs d'une canalisation pendant un temps très court (jusqu'à cinq secondes), l'échauffement est considéré adiabatique ; cela signifie que l'énergie emmagasinée reste au niveau du métal de l'âme et n'est pas transmise à l'isolant. Il faut donc vérifier que la contrainte thermique du court-circuit est inférieure à la contrainte thermique admissible du conducteur [19]: **Contrainte thermique  $> I_{cc}^2 \times t_c$**

Avec :

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

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

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

$S$  : section des conducteurs en  $mm^2$  ;

La valeur de  $k$  dépend du matériau de l'âme et de la nature de l'isolant (tableau n°6 de l'annexe). Afin de faciliter le calcul du courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) dans les différents points de l'installation, nous allons utiliser une méthode plus courte et utile qui est la méthode de composition, cette dernière est une approche simplifiée.

Connaissant le courant du court-circuit triphasé à l'origine de l'installation, elle permet d'estimer le courant de court-circuit présumé  $I_{k3}$  à l'extrémité d'une canalisation de longueur et section données. Cette méthode s'applique à des installations dont la puissance n'excède pas 400 kVA qui sont le cas de notre étude. Le courant de court-circuit maximal en un point quelconque de l'installation est déterminé à l'aide du tableau n°12 de l'annexe à partir de :

- $I_{k3}$  "Amont" (kA).
- La longueur du câble (m).
- La section des conducteurs de phases ( $mm^2$ ).
- La nature des conducteurs, dans notre cas c'est le cuivre.

#### ➤ Calcul de courant de court-circuit au niveau secondaire (en aval) de transformateur :

Pour notre transformateur de 400kVA :

$$I_{cc} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n} \times \frac{1}{U_{cc}} \quad \text{(III.11)}$$



Avec :

$I_{cc}$  : courant de court-circuit en kA.

$S_n$  : puissance apparente en kVA.

$U_n$  : tension nominal en V.

$U_{cc}$  : tension de court-circuit.

AN:

$$I_{cc} = \frac{400 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \times \frac{100}{4} \rightarrow I_{cc} = 14,43 \text{ kA}$$

Le résultat obtenu est vérifié par rapport au tableau n°13 de l'annexe.

• **Exemple de calcul (Souffleuse automatique (câble C31)) :**

-Le câble en cuivre, l'isolant est en PR.

-La section calculée  $S=50\text{mm}^2$ .

-Le temps de coupure  $t_c=0,2 \text{ s}$ .

- $I_{cc}$  amont=14,3 kA.

A partir du tableau n°12 de l'annexe :  $50\text{mm}^2 \rightarrow 5,1\text{m} ; 15\text{kA} \rightarrow 13,4\text{kA}$

$$S > \frac{I_{cc} \times \sqrt{t_c}}{k} \tag{III.12}$$

AN:

$$\frac{13,4 \times \sqrt{0,2}}{14,3} = 41,9067285 < 50$$

Donc la section calculée est convenable  $S_{cc}=50 \text{ mm}^2$ .

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

Récepteurs	K	$I_{cc}$ AVAL [kA]	$\frac{I_{cc} \times \sqrt{t_c}}{k}$	$S_j[\text{mm}^2]$	$S_{cc}[\text{mm}^2]$
<b>Alimentation force motrice</b>					
<b>Départe N°1</b>					
<b>Souffleuse automatique</b>	143	13,4	41,9067285	50	50
<b>Tri block</b>	143	1,8	5,62926204	1,5	6
<b>Dateur</b>	143	0,9	2,81463102	1,5	4
<b>Poseuse d'étiquettes autocollantes</b>	143	0,9	2,81463102	1,5	4
<b>Palettiseur</b>	143	1,3	4,06557814	4	6
<b>monte-charge</b>	143	1,3	4,06557814	6	6
<b>Compresseur 500L</b>	143	1,8	5,62926204	1,5	6
<b>Système cip</b>	143	1,3	4,06557814	1,5	6
<b>Câble C3</b>	<b>143</b>	<b>14,5</b>	<b>45,346833</b>	<b>120</b>	<b>120</b>

Récepteurs	K	I <sub>cc</sub> AVAL [Ka]	$\frac{I_{cc} \times \sqrt{t_c}}{k}$	S <sub>j</sub> [mm <sup>2</sup> ]	S <sub>cc</sub> [mm <sup>2</sup> ]
<b>Station de pompage</b>					
<b>Départe N°2</b>					
<b>Pompe de transfère filtre</b>	143	1,3	4,06557814	1,5	1,5
<b>Pompe immergée N°1</b>	143	1,3	4,06557814	1,5	16
<b>Pompe immergée N°2</b>	143	0,9	2,81463102	1,5	16
<b>Pompe immergée N°3</b>	143	0,9	2,81463102	1,5	16
<b>Pompe immergée N°4</b>	143	0,9	2,81463102	1,5	16
<b>Câble C4</b>	<b>143</b>	<b>6,4</b>	<b>20,015154</b>	<b>4</b>	<b>25</b>
<b>Eclairages et prise de courant</b>					
<b>Départe N°3</b>					
<b>Eclairage intérieur</b>	115	1,3	5,05545804	1,5	10
<b>Eclairage extérieur</b>	115	0,9	3,49993249	1,5	10
<b>Eclairage stocks</b>	115	1,3	5,05545804	1,5	10
<b>Eclairage vestiaire</b>	115	1,3	5,05545804	1,5	6
<b>Eclairage bloc administratif</b>	115	1,8	6,99986497	1,5	10
<b>Prises extérieure</b>	115	0,9	3,49993249	1,5	6
<b>Prises intérieure</b>	115	1,3	5,05545804	1,5	10
<b>Prises bloc administratif</b>	115	1,8	6,99986497	1,5	10
<b>Prises stocks</b>	115	1,3	5,05545804	1,5	10
<b>Prises vestiaire</b>	115	1,3	5,05545804	1,5	6
<b>Câble C5</b>	<b>143</b>	<b>12,2</b>	<b>38,153887</b>	<b>10</b>	<b>50</b>
<b>Câble C1</b>	<b>143</b>	<b>13,4</b>	<b>41,906729</b>	<b>150</b>	<b>150</b>

Tableau III.5 : Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit.

### III.7. Dimensionnement des jeux de barres

#### III.7.1. Définition

Les jeux de barres à basse tension sont destinés à assurer le transport d'énergie électrique entre éléments d'une installation la fournissant (générateurs, transformateurs...) et la répartissant (tableaux généraux de distribution dits TGBT) ; ils peuvent également être une partie de ces derniers ou d'ensembles d'appareillage à basse tension faisant l'objet de normes particulières. Ils peuvent être utilisés en tant que canalisations de distribution, mais cette fonction est plus généralement confiée aux systèmes de canalisations préfabriqués, également normalisés.

On les utilise, dans le cas de transport, en concurrence avec des câbles isolés, mais leur intérêt est, avant tout, économique car, à puissance transportée égale, ils reviennent sensiblement moins cher, le métal (cuivre ou aluminium) étant mieux utilisé [21].

Les principaux problèmes posés par l'emploi des jeux de barres peuvent se regrouper en deux catégories :

- Les conditions d'équilibre thermique avec leur environnement immédiat, qui déterminent les courants admissibles, pour une température acceptable du métal ; elles sont soumises à l'influence de nombreux facteurs ;
- les conditions de réalisation mécanique, en fonction des contraintes susceptibles de leur être appliquées, tant en service normal qu'en cas de défaut (court-circuit).

### III.7.2. Calcul du courant admissible $I_{ad}$

Le courant admissible maximal est estimé à 120% du courant nominal qui parcourt les jeux de barres. La formule suivante nous permet de calculer le courant admissible :

$$I_{ad} = 1,2 \times I_n \quad (\text{III.13})$$

Pour notre étude, le courant admissible sera :

$$I_{ad} = 1,2 \times \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n} \rightarrow I_{ad} = 1,2 \times \frac{400 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$I_{ad} = 692,82 \text{ A}$$

Connaissant le courant admissible, on peut choisir la section des barres directement à partir du tableau n°14 de l'annexe (température ambiante 30°C).

Pour un conducteur en cuivre nu et pour un courant admissible normalisé de **825 A**, donc la section sera  $S = 2 \times 50 \times 2 = 2 \times 100 \text{ mm}^2$ .

### III.7.3. Vérification de la tenue thermique

La formule de **MELSON & BOOTH** permet de définir l'intensité admissible dans un conducteur :

$$I = K \times \frac{24,9 \times (\theta - \theta_n)^{0,61} \times S^{0,5} \times P^{0,39}}{\sqrt{\rho_{20} \times [1 + \alpha(\theta - 20)]}} \quad (\text{III.14})$$

Avec :

**I** : Intensité de courant admissible en A.

$\theta_n$  : Température ambiante en °C (dans notre cas la température ambiante égale à 30°C).

$(\theta - \theta_n)$  : Echauffement admissible en °C (Voir le tableau n°15 de l'annexe).

**S** : Section d'une barre en cm<sup>2</sup>.

**P** : Périmètre d'une barre en cm.

**$\rho_{20}$**  : Résistivité du conducteur à 20°C (Cuivre : 1.83 $\mu\Omega$ /cm, Aluminium : 2.90 $\mu\Omega$ /cm).

**$\alpha$** : Coefficient de température de la résistivité,  $\alpha = 0,004$ .

**K** : Coefficient de conditions, avec  $K=K1*K2*K3*K4*K5*K6*K7*K8$  (Tableau n°16 de l'annexe).

Avec :

**K1** : est fonction de nombre de barres méplates par phase :

- Une barre **K1** = 1 ;

- 2 ou 3 barres (Tableau n°17 de l'annexe), **K1** = 1,73.

**K2** : coefficient de nature du métal, pour notre cas c'est une barre en cuivre :

**K2** = 1,26.

**K3** : coefficient d'état de surface : barre peinte **K3** = 1,12.

**K4** : coefficient de position : barre à plat **K4** = 0,75.

**K5** : coefficient d'atmosphère : atmosphère calme **K5** = 1.

**K6** : coefficient de nature du courant : courant alternatif pour 2 barres par phase **K6** = 1.

**K7** : coefficient d'échauffement : échauffement admissible 50°C **K7** = 1,14.

**K8** : coefficient de température ambiante : 30°C **K8** = 1,0284.

**K** = 2,1467.

- **Vérification de la section du JB :**

$$I = 2,1467 \times \frac{24,9 \times (90-30)^{0,61} \times 1^{0,5} \times 13,4^{0,39}}{\sqrt{1,83 \times [1+0,004(90-20)]}} = 1167,8398 \text{ A}$$

Donc, la solution choisie de 2 barres de **e = 2 mm**, et **a = 50 mm**, et qui admet un courant admissible de valeur de **1167,8398 A** > **I<sub>ad</sub> = 692,82 A** convient parfaitement.

### III.7.4.L'échauffement dû au courant de court-circuit

Pour le calcul de l'échauffement dû à un court-circuit, on utilise la formule suivante :

$$\Delta\theta_{cc} = 0,24 \times \frac{\rho_{20} \times I_{th}^2 \times t_k}{(n \times S)^2 \times C \times \delta} \quad (\text{III.15})$$

Avec :

**$\Delta\theta_{cc}$** : Echauffement dû au court-circuit (°C).

$\rho_{20}$ : Résistivité du conducteur à 20°C. (Cuivre : 1.83 $\mu\Omega$ /cm, Aluminium : 2.90 $\mu\Omega$ /cm).

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

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

$n$  : Nombre de barre(s) par phase.

$S$  : Section d'une barre en  $cm^2$ .

$C$  : Chaleur spécifique du métal (Cuivre : 0,091 kcal/daN°C, Aluminium: 0,23 kcal/daN °C).

$\delta$ : Masse volumique du métal (Cuivre: 8,9 g/cm<sup>3</sup>, Aluminium: 2,7 g/cm<sup>3</sup>).

On prend la longueur du JB  $L=1,5m$ .

On a:

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

$$Z_{cc} = Z_T + Z_{Dj} + Z_{C1} + Z_{JB}$$

(III.16)

$$Z_T = \frac{U_n^2}{S_n} \times \frac{U_{cc}}{100} = \frac{400^2}{400 \times 10^3} \times \frac{4}{100} \rightarrow Z_T = 0,016 \Omega$$

$$Z_{Dj} = \sqrt{(R_{Dj}^2 + X_{Dj}^2)} \rightarrow Z_{Dj} = \sqrt{(0^2 + (0,15 \times 10^{-3})^2)} \rightarrow Z_{Dj} = 0,15 \times 10^{-3} \Omega$$

$$Z_{C1} = \sqrt{(R_{C1}^2 + X_{C1}^2)} \rightarrow Z_{C1} = \sqrt{(0,0015)^2 + (0,0008)^2}$$

$$\rightarrow Z_{C1} = 0,0017 \Omega$$

$$Z_{JB} = \sqrt{(R_{JB}^2 + X_{JB}^2)} \rightarrow Z_{JB} = \sqrt{(0^2 + (7,5 \times 10^{-4})^2)} \rightarrow Z_{JB} = 7,5 \times 10^{-4} \Omega$$

$$Z_{CC} = \sqrt{\left(\sum R_i\right)^2 + \left(\sum X_i\right)^2} = \sqrt{(R_T + R_{Dj} + R_{C1} + R_{JB})^2 + (X_T + X_{Dj} + X_{C1} + X_{JB})^2}$$

$$\rightarrow Z_{CC} = 0,01707 \Omega$$

$$\text{Donc : } I_{cc} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 0,01707} \rightarrow I_{cc} = 13,52488 \text{ kA}$$

Pour une durée de court-circuit de  $t=2s$  :

$$\Delta\theta_{cc} = 0,24 \times \frac{1,83 \times (13,53488)^2 \times 2}{(2 \times 1)^2 \times 0,091 \times 8,9} \rightarrow \Delta\theta_{cc} = 49,659 \text{ °C}$$

$$\theta_t = \theta_n + (\theta - \theta_n) + \Delta\theta_{cc} \rightarrow \theta_t = 30 + (90 - 30) + 49,659$$

$$\rightarrow \theta_t = 139,659 \text{ °C}$$

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

$\theta_t=139,659 < \theta_{max}$  d'où le jeu de barre choisi est convenable.

### III.8.Déterminations des courants de court-circuit

#### III.8.1.Méthode de calcul

La détermination des valeurs de court-circuit en tous points d'une installation est essentielle au choix des matériels. Elle commence par l'estimation de cette valeur à l'origine de l'installation, puis en n'importe quel point selon plusieurs méthodes dont le choix dépend de l'importance de l'installation, des données disponibles, du type de vérification à effectuer [22].

➤ Organigramme de la méthode

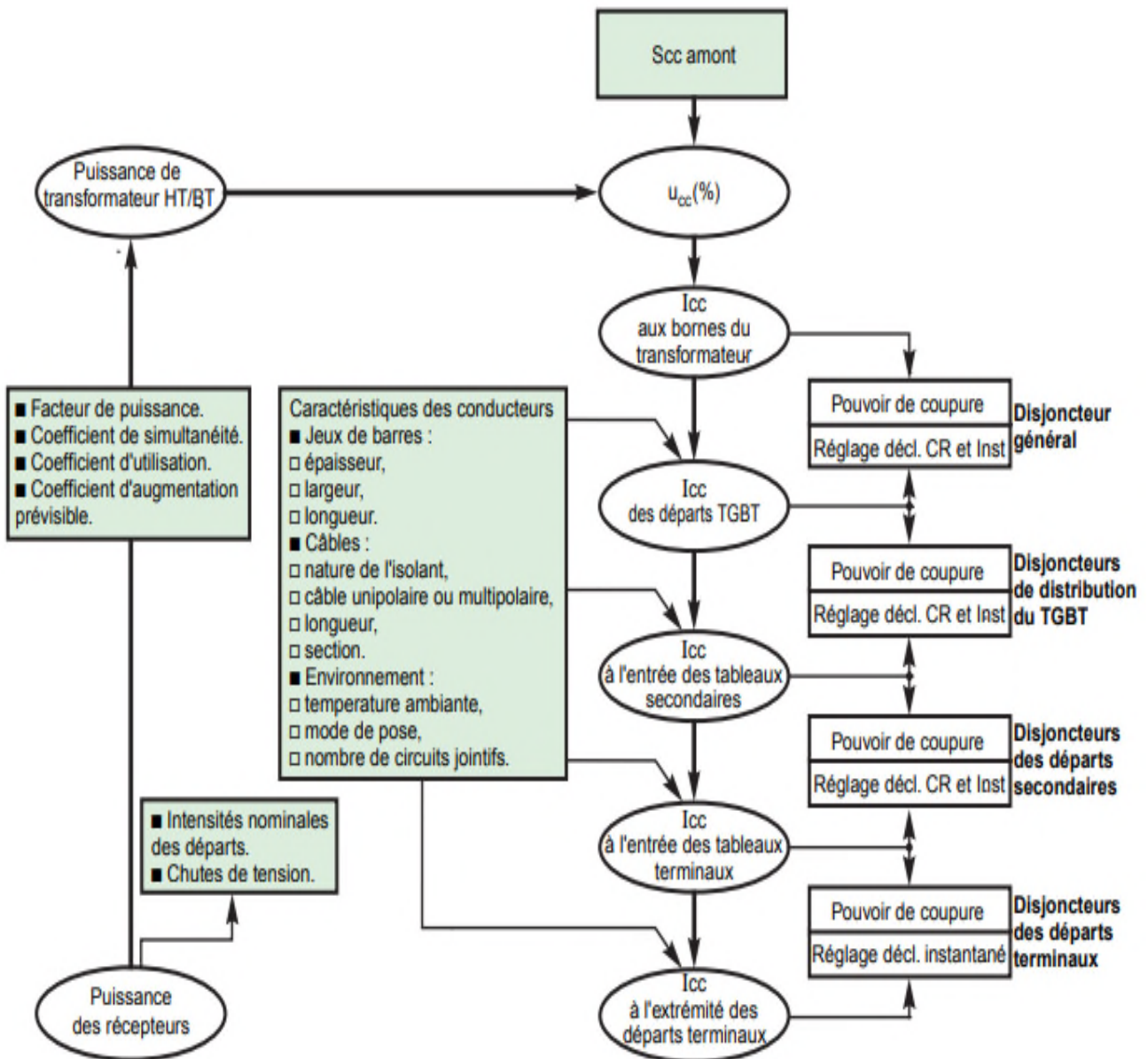


Figure III.5 : procédure de calcul d'*I*<sub>cc</sub> pour la conception d'une installation électrique [23].

Il existe trois méthodes de calcul du courant de court-circuit [22]:

**a) La méthode des impédances :**

Utilisable lorsque toutes les caractéristiques de la boucle de défaut sont connues, y compris celles de la source d'alimentation. Elle permet de calculer les valeurs maximales et minimales des courants de court-circuit.

**b) La méthode de composition :**

Utilisable lorsque l'on connaît le courant de court-circuit à l'origine du circuit et que l'on ne connaît pas les caractéristiques en amont. Elle permet de déterminer les courants de court-circuit maximaux.

**c) La méthode conventionnelle :**

Utilisable lorsque l'on connaît ni le courant de court-circuit à l'origine du circuit, ni les caractéristiques de l'alimentation en amont. Elle permet de déterminer les courants de court-circuit minimaux.

Dans notre étude, nous allons s'intéresser au calcul des courants de court-circuit par la méthode des impédances.

### III.8.2. Calcul des courants de court-circuit par la méthode des impédances

La méthode des impédances consiste à totaliser les résistances et réactances des boucles de défaut depuis la source jusqu'au point considéré et à en calculer l'impédance équivalente. Les différents courants de court-circuit et de défaut sont alors déduits par l'application de la loi d'Ohm. Cette méthode est utilisable lorsque toutes les caractéristiques des éléments constituant les boucles de défaut sont connues [22].

Les différents courants de court-circuit et de défaut sont alors calculés par les formules suivantes :

$$I_{cc} = \frac{c \times m \times U_0}{\sqrt{3} \times Z_{cc}} = \frac{c \times m \times U_0}{\sqrt{3} \times \sqrt{(\sum_{i=1}^n R_i)^2 + (\sum_{i=1}^n X_i)^2}} \quad (\text{III.17})$$

Ou:

$$I_{cc} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \times Z_{cc}} \quad (\text{III.18})$$

Avec :

**c** : facteur de tension pris égal à :

-  $c_{\max} = 1,05$  pour les courants maximaux

-  $c_{\min} = 0,95$  pour les courants minimaux

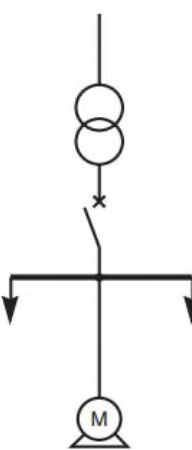
**m** : facteur de charge pris égal à 1,05, quelle que soit la source (transformateur ou générateur).

**U<sub>0</sub>** : étant la tension nominale de l'installation entre phase et neutre.

**Z<sub>cc</sub>** : étant l'impédance de la boucle de défaut.

**ΣR<sub>i</sub>** : somme des résistances en série.

**ΣX<sub>i</sub>** : somme des réactances en série.



Éléments considérés	Résistance R	Réactance X
Réseau amont Figure G34	$\frac{R_a}{X_a} = 0,1$ R peut donc être négligé par rapport à X	$X_a = 0,995 Z_a; Z_a = \frac{U_{20}^2}{P_{sc}}$
Transformateur Figure G35	$R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3I_n^2}$ R <sub>tr</sub> = peut souvent être négligée devant X <sub>TR</sub> pour transformateur de puissance > 100 kVA	$\sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$ avec $Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{sc}}{100}$
Disjoncteur	Négligeable	X <sub>D</sub> = 0,15 mΩ/pole
Jeu de barres	Négligeable pour S > 200 mm <sup>2</sup> en dessous : $R = \rho \frac{L}{S}^{(1)}$	X <sub>B</sub> = 0,15 mΩ/m
Canalisations <sup>(2)</sup>	$R = \rho \frac{L}{S}^{(1)}$	Câbles : X <sub>c</sub> = 0,08 mΩ/m
Moteurs	Voir § "moteurs" (souvent négligeable en BT)	
<b>Courant de court-circuit triphasé</b>	$I_{cc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$	

Figure III.6 : Récapitulation des impédances des différents éléments d'un réseau BT [10].

• Réseau amont :

La puissance de court-circuit du réseau HT est donnée par le distributeur d'énergie, le tableau ci-dessous nous montre les valeurs des résistances et réactances du réseau amont ramenées au secondaire du transformateur :

P <sub>cc</sub> (MVA)	U <sub>0</sub> (V)	R <sub>a</sub> (mΩ)	X <sub>a</sub> (mΩ)
250	230	0,03	0,21
	400	0,095	0,633
500	230	0,016	0,105
	400	0,047	0,316

Tableau III.6 : Résistances et réactances du réseau amont ramenées au secondaire du transformateur [22].



Pour notre étude, on a :

$P_{cc}=250\text{MVA}$  et  $U_0=400\text{V}$  d'où :  $R_a=0,095\text{ m}\Omega$  et  $X_a=0,633\text{ m}\Omega$  ;

$$\text{Alors : } Z_a = \sqrt{R_a^2 + X_a^2} \quad (\text{III.19})$$

$$\text{AN: } Z_a = \sqrt{0,095^2 + 0,633^2} \rightarrow Z_a = 0,64\text{ m}\Omega$$

- **Transformateur :**

$$Z_T = \frac{U_n^2}{S_n} \times \frac{U_{cc}}{100} = \frac{400^2}{400 \times 10^3} \times \frac{4}{100} \rightarrow Z_T = 0,016\text{ }\Omega \quad (\text{III.20})$$

$$R_T = 0,31 \times Z_T = 0,31 \times 0,016 \rightarrow R_T = 4,96\text{ m}\Omega \quad (\text{III.21})$$

$$X_T = 0,95 \times Z_T = 0,95 \times 0,016 \rightarrow X_T = 0,0152\text{ }\Omega \quad (\text{III.22})$$

- **Câble C1 :**

On a :  $R_{c1}= 0,0015\text{ }\Omega$  et  $X_{c1}= 0,0008\text{ }\Omega$  d'où :  $Z_{c1} = 0,0017\text{ }\Omega$

- **Disjoncteurs :**

L'impédance d'un disjoncteur ne doit être prise en compte que pour les appareils en amont de celui qui doit ouvrir sur le court-circuit envisagé. Sa réactance est prise égale à  $0,15\text{ m}\Omega$  et sa résistance négligée [10].

Donc :  $Z_{Dj} = 0,15\text{ m}\Omega$

- **Jeu de barres :**

La résistance d'un jeu de barres est généralement négligeable, de ce fait l'impédance est pratiquement égale à la réactance. La valeur linéique typique d'un jeu de barres est approximativement  $0,15\text{ m}\Omega/\text{mètre}$ . Notre jeu de barre à une longueur de  $L=1,5\text{m}$ , ce qui nous donne une impédance de  $Z_{JB} = 0,225\text{ m}\Omega$ .

Les résultats de calcul des courants de court-circuit dans les différents circuits terminaux sont représentés dans le tableau suivant :

Éléments	L[m]	R[Ω]	X[Ω]	Z[Ω]	Z <sub>total</sub> [Ω]	I <sub>cc</sub> [kA]
Transformateur	/	0,00496	0,0152	0,0159888	0,0159888	14,44386744
Câble C1	10	0,0015	0,0008	0,0017	0,0176888	13,05572496
jeu de barre TGBT	1,5	0	0,000225	0,000225	0,0180638	12,78469135
Câble C3	3	0,0006	0,00024	0,00064622	0,01886002	12,24495575
jeu de barre 1	1	0	0,00015	0,00015	0,01901002	12,148336
Souffleuse automatique	5	0,00225	0,0004	0,00228528	0,0214453	10,76879881
Tri block	10	0,15	0,0008	0,15000213	0,16916215	1,365199623
Dateur	20	0,3	0,0016	0,30000427	0,31916429	0,723577535
Poseuse d'étiquettes autocollantes	25	0,375	0,002	0,37500533	0,39416535	0,585896517
Palettiseur	30	0,16875	0,0024	0,16876707	0,18792709	1,228881441
monte-charge	35	0,13125	0,0028	0,13127986	0,15043988	1,535098958
Compresseur 500L	10	0,15	0,0008	0,15000213	0,16916215	1,365199623
Système cip	15	0,225	0,0012	0,2250032	0,24416322	0,945843145
Câble C4	3	0,0169	0,00024	0,0169017	0,0351155	6,576585297
jeu de barre 2	1	0	0,00015	0,00015	0,0352655	6,548612131
Pompe de transfère filtre	15	0,225	0,0012	0,2250032	0,2604187	0,886803076
Pompe immergée N°1	150	2,25	0,012	2,250032	2,2854475	0,101048091
Pompe immergée N°2	160	2,4	0,0128	2,40003413	2,43544964	0,094824423
Pompe immergée N°3	140	2,1	0,0112	2,10002987	2,13544537	0,108146109
Pompe immergée N°4	200	3	0,016	3,00004267	3,03545817	0,076080807
Câble C5	2	0,0045	0,00016	0,00450284	0,0182138	12,67940285
jeu de barre 3	1	0	0,00015	0,00015	0,0183638	12,5758344
Eclairage intérieur	80	1,2	0,0064	1,20001707	1,21853087	0,189523396
Eclairage extérieur	100	1,5	0,008	1,50002133	1,51853513	0,152080846
Eclairage stocks	70	1,05	0,0056	1,05001493	1,06852873	0,216129057
Eclairage vestiaire	15	0,225	0,0012	0,2250032	0,243517	0,948353124
Eclairage bloc administratif	10	0,15	0,0008	0,15000213	0,16851593	1,370434849
Prises extérieure	60	0,9	0,0048	0,9000128	0,9185266	0,251424518
Prises intérieure	80	1,2	0,0064	1,20001707	1,21853087	0,189523396
Prises bloc administratif	10	0,15	0,0008	0,15000213	0,16851593	1,370434849
Prises stocks	70	1,05	0,0056	1,05001493	1,06852873	0,216129057
Prises vestiaire	15	0,225	0,0012	0,2250032	0,243517	0,948353124

Tableau III.7 : Résultat de calcul des courants de court-circuit.

**III.9.Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes méthodes de calculs et les vérifications que nous avons faites pour le choix des sections des conducteurs au niveau de chaque tronçon de notre installation.

Nous avons dimensionné le jeu de barre constituant la TGBT et ensuite nous avons calculé les courants de court-circuit. Ces derniers vont nous permettre de dimensionner et de choisir les équipements de protection (chapitre suivant).

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey scroll-like elements at the corners.

# *Chapitre IV*

*Dimensionnement et  
protection des installations*

### IV.1.Introduction

La protection électrique est destinée à éviter tous les dangers et dégâts inhérents aux risques électriques. L'objectif de ce chapitre, est d'assurer un meilleur choix des équipements de protection, afin de garantir une bonne protection électrique des éléments de l'installation et sans oublier la protection des personnes intervenant.

Eviter toute perturbation possible du fonctionnement de l'installation et tout contact soit direct ou indirect qui sera un danger sur les personnes intervenant et la priorité d'une bonne protection.

### IV.2.Définition

La protection des installations consiste à définir des défauts contre lesquels on doit se protéger, puis à choisir l'appareil capable de détecter ces défauts et d'opérer leur suppression.

Les principales perturbations sur une installation électrique se traduisent par :

- ◆ les surintensités : surcharges ou court-circuit ;
- ◆ les surtensions ou les baisses tensions [24].

### IV.3.Protection contre les surcharges

Le passage d'un courant électrique dans un conducteur engendre un échauffement proportionnel au carré de l'intensité : c'est l'effet Joule. Partant de cet axiome, il faut déterminer le courant admissible  $I_z$  du conducteur en fonction de sa section, de sa nature et de ses conditions d'installation (modes de pose). Un préalable qui permettra ensuite de choisir une protection adaptée contre les surcharges.

Le courant réel d'emploi  $I_b$  ne doit pas excéder le courant assigné (calibre  $I_n$  ou réglage  $I_r$ ) de l'appareil de protection dont la valeur elle-même ne doit pas dépasser celle du courant admissible par la canalisation  $I_z$ . La valeur  $I_z$  doit être réduite d'un coefficient  $R$  en cas de protection par fusible.

Il convient donc de respecter :  $I_b \leq I_n \leq R \times I_z$

Avec :

$R = 1$  pour les disjoncteurs ;

$R = 0,75$  pour les fusibles  $gG < 16$  A ;

$R = 0,9$  pour les fusibles  $gG \geq 16$  A.

Pour les disjoncteurs réglables, il est conseillé de choisir  $I_z$  supérieur au calibre  $I_n$  nominal de l'appareil. Les conséquences d'un réglage thermique  $I_r$  inadapté ou d'une évolution du courant d'emploi  $I_b$  seront sans risque [22].

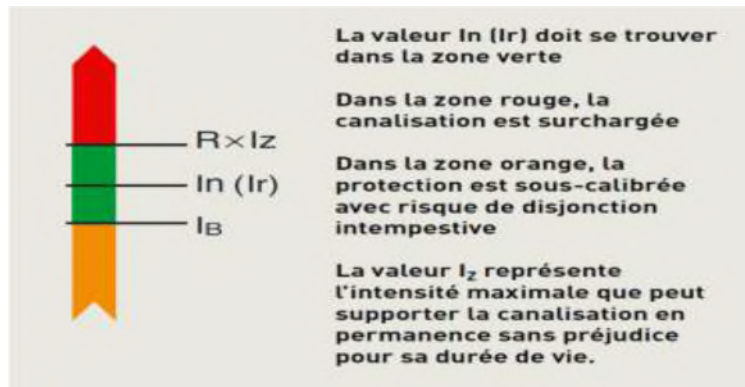


Figure IV.1 : Zones de charge d'une canalisation.

- **Emplacement des protections :**

En principe, un dispositif de protection doit être placé à l'origine de chaque canalisation (ligne principale ou dérivation), dès lors que le courant  $I_z$  admissible par la canalisation devient inférieur au courant  $I_n$  du dispositif de protection amont [22].

- **Dispense de protection contre les surcharges :**

Il est possible de se dispenser de protection contre les surcharges dans les cas suivants:

- la canalisation est effectivement protégée contre les surcharges par un appareil en amont.
- la canalisation n'est pas susceptible d'être parcourue par des surcharges et ne comporte ni dérivation, ni prises (appareils ayant une protection intégrée adaptée à la section du câble, appareil fixe ne générant pas de surcharge et dont le courant d'emploi est compatible avec l'intensité admissible du câble, canalisation alimentant plusieurs dérivations protégées individuellement et dont la somme des courants d'emploi est inférieure au courant admissible dans la canalisation, canalisations dont la source ne peut fournir un courant supérieur à son intensité admissible,...).

Les dispenses ne sont pas valables en schéma IT et dans les installations présentant un risque d'incendie ou, sans vérification complémentaire.

Il est à noter qu'il est possible ne pas protéger une dérivation sur une longueur de 3 mètres maximum à condition qu'elle soit réalisée de manière à réduire le risque de court-circuit au minimum et que le dispositif de protection soit placé directement après ces 3 mètres.

Cette disposition est particulièrement utile dans le câblage des tableaux [22].

- **Recommandation de non-protection contre les surcharges :**

Lorsque la continuité de service ou la sécurité le nécessite ou si l'ouverture du circuit entraîne un danger (moteurs de désenfumage, circuits de machines tournantes, appareils de levage...) il est recommandé de ne pas placer de dispositif avec protection contre les surcharges.

Dans ce cas, la canalisation doit être dimensionnée pour le courant éventuel de défaut en surcharge: rotor bloqué pour un moteur par exemple [22].

#### **IV.4. Protection contre le court-circuit**

Pour se prémunir des risques des courants de court-circuit, tout dispositif de protection contre ces court-circuit doit répondre aux deux règles suivantes :

- le pouvoir de coupure de l'appareil doit être au moins égal au courant de court-circuit maximum présumé en son point d'installation.
- le temps de coupure, pour un court-circuit se produisant en n'importe quel point de l'installation, ne doit pas être supérieure au temps portant la température des conducteurs à la valeur maximale admissible.

En application de ces règles, il est nécessaire, pour chaque circuit, de déterminer le courant de court-circuit maximum en son origine ainsi que le courant de court-circuit minimum en son extrémité.

Le courant de court-circuit maximum à l'origine du circuit est utilisé :

- pour déterminer le pouvoir de coupure nécessaire des appareils de protection.
- pour s'assurer de la protection des conducteurs contre les contraintes thermiques.

Le courant de court-circuit minimum à l'extrémité du circuit est utilisé :

- pour vérifier les conditions de coupure pour le réglage magnétique des disjoncteurs.
- pour s'assurer de la protection des conducteurs contre les contraintes thermiques notamment en cas de protection par fusibles ou par disjoncteur retardé.

En règle générale la protection contre les courts-circuits doit-être placée en tête de chaque circuit [22].

##### **IV.4.1. Pouvoir de coupure**

Le pouvoir de coupure d'un dispositif de protection doit être au moins égal au courant de court-circuit maximum présumé susceptible de se produire au point où l'appareil est installé :

$$PdC \geq I_{ccmax}.$$

Avec :

$I_{cc}$  : Intensité de court-circuit ;

**PDC** : pouvoir de coupure de l'appareil de protection.

#### IV.4.2. Association ou coordination des protections

Il est admis, par dérogation, que le pouvoir de coupure du dispositif de protection soit inférieur au court-circuit maximum présumé à condition :

- Qu'il soit associé en amont à un appareil ayant le pouvoir de coupure nécessaire.
- Que l'énergie limitée par l'association des appareils puisse être supportée par l'appareil aval ainsi que par les canalisations protégées.

#### IV.4.3. Protection par disjoncteur

Dans le cas d'une protection par disjoncteur, il convient de vérifier que l'énergie que laisse passer l'appareil reste inférieure à la contrainte maximale admissible par les canalisations.

Le courant à prendre en compte est le courant de court-circuit maximum à l'origine du circuit considéré.

La lecture directe des courbes de limitation en contrainte thermique des disjoncteurs permet de vérifier que la valeur limitée est effectivement inférieure à celle supportée par les conducteurs pour les conditions présumées de défaut.

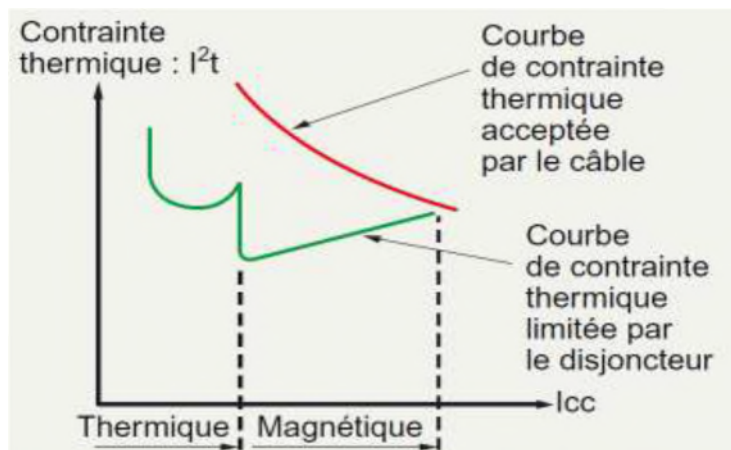


Figure IV.2 : Courbe de contrainte thermique des disjoncteurs [22].



#### IV.4.4. Protection par fusible

Dans le cas d'une protection par fusible, il y a lieu de s'assurer que la plus petite valeur de court-circuit à l'extrémité de l'installation fera "fondre" le fusible dans un temps compatible avec la contrainte thermique du câble.

Attention, les courants de court-circuit à prendre en compte sont ceux à l'extrémité de la Canalisation :

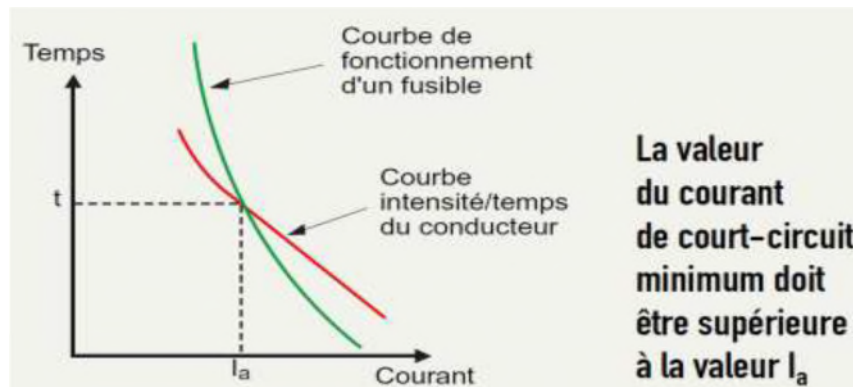


Figure IV.3 : Courbe de fonctionnement d'un fusible [22].

#### IV.5. Protection par système de liaison à la terre

##### Définition

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

##### IV. 5.1 Les différents régimes du neutre

Conformément aux normes CEI 60364 et NFC 15-100 des régimes du neutre l'identification des types de schémas est définie au moyen de deux lettres [26] :

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

La combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles :

##### IV. 5.1.1. Mise au neutre ou schéma TN

TN : neutre du transformateur à la terre et les masses sont reliées au neutre par l'intermédiaire d'un PE [27].

En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut  $I_d$  n'est limité que par l'impédance des câbles de la boucle de défaut (Figure IV.4) :

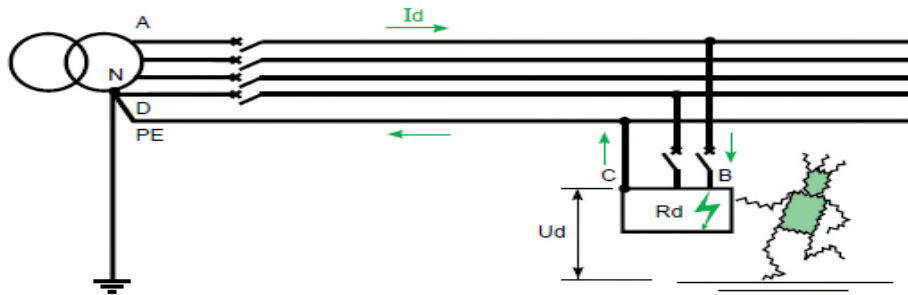


Figure IV.4 : courant et tension de défaut en schéma TN.

$$I_d = \frac{U_0}{R_{ph1} + R_d + R_{PE}} \tag{IV.1}$$

Pour un départ et dès que  $R_d \approx 0$  :

$$I_d = \frac{0,8 \times U_0}{R_{ph1} + R_{PE}} \tag{IV.2}$$

En effet, lors d'un court-circuit, il est admis que les impédances en amont du départ considéré provoquent une chute de tension de l'ordre de 20 % sur la tension simple  $U_0$ , qui est la tension nominale entre phase et terre, d'où le coefficient de 0,8.

$I_d$  induit donc une tension de défaut, par rapport à la terre :

$$U_d = R_{PE} \times I_d \tag{IV.3}$$

Soit :  $U_d = \frac{0,8 \times U_0}{R_{ph1} + R_{PE}} \times R_{PE}$

Si :  $R_{PE} = R_{ph}$  ;  $U_d = \frac{0,8 \times U_0}{2}$

Pour les réseaux 230/400 V, cette tension de l'ordre de  $U_0/2$  (si  $R_{PE} = R_{ph}$ ) est dangereuse car supérieure à la tension limite de sécurité, même en milieu sec ( $U_L = 50V$ ). Il est alors nécessaire d'assurer une mise hors tension automatique et immédiate de l'installation ou de la partie de l'installation (Figure IV.5).

$U_0$ (volts) tension phase/neutre	Temps de coupure (secondes) $U_L = 50 V$	Temps de coupure (secondes) $U_L = 25 V$
127	0,8	0,35
230	0,4	0,2
400	0,2	0,05
> 400	0,1	0,02

Figure IV.5 : temps de coupure en schéma TN (selon les normes CEI 60364 et NF C 15-100, tableaux 41 A et 48 A).

Le défaut d'isolement étant similaire à un court-circuit phase-neutre, la coupure est réalisée par le dispositif de protection contre les courts-circuits avec un temps maximal de coupure spécifié fonction de  $U_L$ .

Pour être sûr que la protection est bien active il faut, quel que soit le lieu du défaut, que le courant  $I_d$  soit supérieur au seuil de fonctionnement de la protection  $I_a$  ( $I_d > I_a$ ).

Cette condition doit être vérifiée lors de la conception de l'installation par le calcul des courants de défaut, ceci pour tous les circuits de la distribution.

La protection est assurée si le temps de déclenchement ou dispositif de protection pour le courant  $I_d$  est inférieure aux temps maximale que une personne pourrait supporte la tension de contacte.

Dans le cas où cette protection n'est pas assurée, il faudrait :

-Augmente la section du conducteur.

-Agir sur le réglage de calibre de réglage magnétique.

Une autre façon de vérifier que le dispositif de protection assurera la protection des personnes est de calculer la longueur maximale que chaque départ ne devra pas dépasser pour un seuil de protection  $I_a$  donné.

Pour atteindre le courant magnétique de disjoncteur de protection, il faut un courant de défaut de grand possible. Pour cela il faut avoir une résistance de la boucle on défaut la plus faible possible. Etant donné que la résistance dépend des conducteurs, on est amène à fixer une longueur de câble maximal pour le régime TN.

$$U_d = \frac{0,8 \times U_0}{R_{Ph} + R_{PE}} \times R_{Ph} \quad (\text{IV.4})$$

D'où :

$$R_{Ph} + R_{PE} = \rho \times L \times \left[ \frac{1}{S_{Ph}} + \frac{1}{S_{PE}} \right] = \frac{\rho \times L}{S_{Ph}} \times \left( 1 + \frac{S_{Ph}}{S_{PE}} \right) \quad (\text{IV.5})$$

On pose :  $m = \frac{S_{Ph}}{S_{PE}}$

D'où :  $R_{Ph} + R_{PE} = \frac{\rho \times L}{S_{Ph}} \times (1 + m)$  ; soit :  $I_d = \frac{0,8 \times U_0 \times S_{Ph}}{\rho \times L \times (1 + m)}$

Sachant qu'il faut  $I_d \geq I_a$  pour que la protection des personnes assurée on déduit :

$$I_a \leq \frac{0,8 \times U_0 \times S_{Ph}}{\rho \times L \times (1 + m)} \quad (\text{IV.6})$$

$$\text{D'où} \quad L \leq \frac{0,8 \times U_0 \times S_{Ph}}{\rho \times I_a \times (1 + m)} \quad (\text{IV.7})$$

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times U_0 \times S_{Ph}}{\rho \times I_a \times (1 + m)} \quad (\text{IV.8})$$

Avec :

$L_{max}$ : Longueur maximale en m ;

$U_0$ : Tension simple 230 V pour un réseau triphasé 400 V ;

$\rho$ : Résistivité à la température de fonctionnement normal ;

$I_a$ : Courant de coupure automatique.

Le schéma TN, selon les normes CEI 60364 et NF C 15-100, comporte plusieurs sous schémas (Figure IV.6) :

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

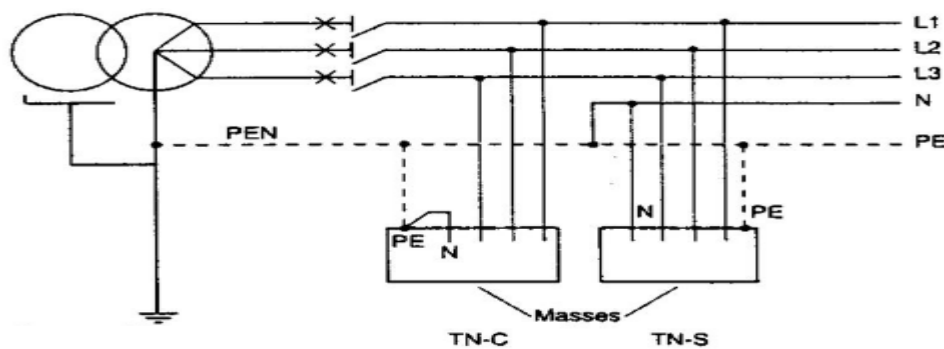


Figure IV.6 : Le schéma TN, selon les normes CEI 60364 et NF C 15-100.

**Exemple de calcul (souffleuse automatique) :**

On suppose que  $S_{ph} = S_{PE}$  d'où  $m=1$

D'où 
$$L \leq \frac{0,8 \times U_0 \times S_{ph}}{\rho \times I_a \times (1+m)}$$

$$L_{max} = \frac{0,8 \times U_0 \times S_{ph}}{\rho \times I_a \times (1+m)} = \frac{0,8 \times 230 \times 50}{0,0225 \times 205,68 \times 2} = 993,99m$$

Donc  $L \leq L_{max}$  d'où  $S_{ph}$  est convenable.

Les résultats de calcul des surfaces des phases pour les différents récepteurs sont représentés dans le tableau suivant :

Récepteurs	$0.8 \cdot U_0$ [V]	$I_a$ [A]	L [m]	$S_{ph}$ [mm <sup>2</sup> ]	$L_{max}$ [m]	Scable [mm <sup>2</sup> ]
Souffleuse automatique	184	205,681033	5	50	993,987834	50
Tri block	184	23,4548547	10	6	1045,98104	6
Dateur	184	3,9692831	20	4	4120,53138	4
Poseuse d'étiquettes autocollantes	184	2,70632939	25	4	6043,44601	4
Palettiseur	184	39,692831	30	6	618,079706	6
monte-charge	184	53,0652821	35	6	462,32362	6
Compresseur 500L	184	13,5316469	10	6	1813,03381	6

Récepteurs	$0.8*U_0$ [V]	$I_a$ [A]	L [m]	$S_{ph}$ [mm <sup>2</sup> ]	Lmax [m]	Scable [mm <sup>2</sup> ]
Système cip	184	9,02109796	15	6	2719,55071	6
Pompe de transfère filtre	184	5,41265877	15	1,5	1133,14613	1,5
Pompe immergée N°1	184	6,76582347	150	16	9669,51362	16
Pompe immergée N°2	184	6,76582347	160	16	9669,51362	16
Pompe immergée N°3	184	6,76582347	140	16	9669,51362	16
Pompe immergée N°4	184	6,76582347	200	16	9669,51362	16
Eclairages intérieur	184	3,60843918	80	10	11331,4613	10
Eclairages extérieur	184	5,77350269	100	10	7082,1633	10
Eclairages stocks	184	4,15692194	70	10	9836,33792	10
Eclairages vestiaires	184	0,83138439	15	6	29509,0137	6
Eclairages bloc administratif	184	1,44337567	10	10	28328,6533	10
Prises extérieure	184	5,08068237	60	6	4828,7477	6
Prises intérieure	184	5,08068237	80	10	8047,91284	10
Prises bloc administratif	184	5,08068237	10	10	8047,91284	10
Prises stocks	184	5,08068237	70	10	8047,91284	10
Prises vestiaires	184	5,08068237	15	6	4828,7477	6

Tableau IV.1 : vérification de la surface des câbles pour le régime TNS.

#### IV. 5.1.2. Mise au neutre ou schéma TT

TT : neutre du transformateur à la terre et les masses sont reliées à la terre par l'intermédiaire d'un PE (Figure IV.7). Il est défini selon ces principales caractéristiques :

- Solution la plus simple à l'étude et à l'installation, elle est utilisable dans les installations alimentées directement par le réseau de distribution publique à basse tension.
- Ne nécessite pas une permanence de surveillance en exploitation (seul un contrôle périodique des dispositifs différentiels peut être nécessaire).
- La protection est assurée par des dispositifs spécifiques, les DDR, qui permettent en plus la prévention des risques d'incendie lorsque leur sensibilité est  $\leq 300$  mA.
- Chaque défaut d'isolement entraîne une coupure. Cette coupure est limitée au circuit en défaut par l'emploi de plusieurs DDR en série (DDR sélectifs) ou en parallèle (sélection des circuits).
- Les récepteurs ou parties d'installation, qui sont la cause en marche normale de courants de fuite importants, doivent faire l'objet de mesures spéciales pour éviter les déclenchements indésirables (alimenter les récepteurs par transformateurs de séparation ou utiliser des différentiels adaptés [28]).

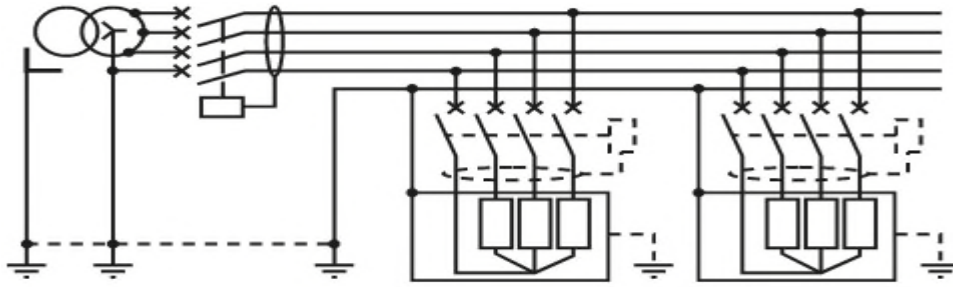


Figure IV.7 : Le schéma TT.

#### IV. 5.1.3. Mise au neutre ou schéma IT

IT : neutre du transformateur isolé ou relié à la terre à travers une impédance de forte valeur et les masses sont reliées à la terre par l'intermédiaire d'un PE (Figure IV.8). Il est défini selon ces principales caractéristiques :

- Solution assurant la meilleure continuité de service en exploitation.
- La signalisation du premier défaut d'isolement, suivie obligatoirement de sa recherche et de son élimination, permet une prévention systématique de toute interruption d'alimentation.
- Utilisation uniquement dans les installations alimentées par un transformateur MT / BT ou BT / BT privé.
- Nécessite un personnel d'entretien pour la surveillance et l'exploitation.
- Nécessite un bon niveau d'isolement du réseau (implique la fragmentation du réseau si celui-ci est très étendu, et l'alimentation des récepteurs à courant de fuite important par transformateurs de séparation).
- La vérification des déclenchements pour deux défauts simultanés doit être assurée à l'étude par les calculs, et obligatoirement à la mise en service par des mesures à l'intérieur de chaque groupe de masses interconnectées.
- La protection du conducteur neutre doit être assurée comme indiqué [28].

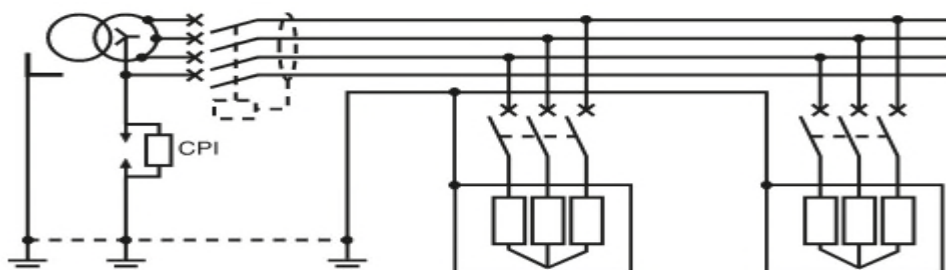


Figure IV.8 : Le schéma IT.

#### IV. 5.2.Choix du SLT

C'est le croisement des impératifs réglementaires, de continuité de service, de condition d'exploitation et de nature du réseau et des récepteurs qui déterminent le ou les types de schémas les plus judicieux [29].

Le choix résulte des éléments suivants :

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

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

#### IV. 5.3.Régime du neutre utilisé dans l'entreprise

Dans notre cas (une installation industrielle) il est primordial d'imposer le régime TN-S, ces principaux avantages sont :

- Il peut accepter les protections différentielles (protection des personnes).
- la protection contre les contacts indirects est assurée par les dispositifs de protection contre les surintensités.
- En termes de maintenabilité la localisation du défaut est rapide.

#### IV.6.Dimensionnement et choix des disjoncteurs de protection

Dans notre travail on a choisi la protection par disjoncteur où toutes les généralités concernant ce type de protection sont citées dans le tableau suivant :

Perturbations	Causes	Effets	Moyens de protection
Surcharges	Dès que les appareils d'utilisation demande une puissance plus importante dans un circuit électrique ; par exemple plusieurs radiateurs sur une même prise de courant ou moteur électrique bloqué.	Accroissement anormal de courant absorbe par le circuit d'où échauffement lent mais pouvant entrainer la détérioration de l'installation.	-fusible type gG -contacteur avec relais thermique -disjoncteur. (caractéristique de fonctionnement à temps inverse plus l'intensité augment plus le temps de coupure diminue).
Court circuits	Evolution brutale du courant absorbé par le circuit due à un courant électrique entre deux conducteurs de polarités différents ; par exemple deux conducteur dénudés qui se touchent.	-Création d'un arc électrique -échauffement très important pouvant entraine la fusion des conducteurs -création des efforts électrodynamiques	Des appareils de protection doivent avoir un pouvoir de coupure supérieur au courant de court-circuit présume -fusible gG, aM -disjoncteur avec relai magnétique -temps de coupure inférieure au temps d'échauffement de conducteur

**Tableau IV.2 :** Analyse des causes et effets des différentes perturbations [24].

**IV. 6.1.Calibres et pouvoirs de coupure (PdC) des différents disjoncteurs des départs**

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

$$I_n \geq I_b \tag{IV.9}$$

$$PdC \geq I_{cc} \tag{IV.10}$$

Avec :

**I<sub>n</sub>** : Le courant nominal du disjoncteur (A) ;

**I<sub>b</sub>** : Le courant d'emploi (A) ;

**PdC** : Pouvoir de coupure du disjoncteur (kA) ;

**I<sub>cc</sub>** : Courant de court-circuit (kA).

**IV. 6.2.Calibrage de disjoncteur de tête**

Le disjoncteur de tête Q1 est choisi selon Le tableau n°18 de l'annexe, il est placé au premier départ de l'installation. Le calibre de ce disjoncteur est déterminé à partir de la puissance apparente du transformateur placé en amont tel que :

$$S_n = \sqrt{3} \times U_n \times I_b \text{ d'où } I_b = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n} = \frac{400 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \rightarrow I_b = 577,3502 \text{ A} \tag{IV.11}$$

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

**I<sub>cc</sub>=13,05572496 kA.**

Selon la loi : **PdC ≥ I<sub>cc</sub>**



Donc : D'après le tableau n°18 de l'annexe, le disjoncteur qui répond aux caractéristiques est le disjoncteur **NSX630F** de calibre **630 A** et d'un PdC de **20 kA**.

Le tableau ci-dessous représente le choix des disjoncteurs adéquats dans les branches de l'installation à partir des résultats précédents et des tableaux n° (19 et 20) de l'annexe [25].

Disjoncteur	Ib[A]	Iassigne[A]	Icc[kA]	PdC[kA]	Type du disjoncteur
<b>Q1</b>	577,3502	630	13,05572496	20	NSX630F
<b>Q3</b>	228,37557	250	12,24495575	20	NSX250L
<b>Q4</b>	24,356964	32	6,57658529	10	A9P54732
<b>Q5</b>	24,730221	32	12,67940285	15	Multi9C60H
<b>Q31</b>	134,978178	160	10,76879881	16	NG160N
<b>Q32</b>	15,3922484	20	1,365199623	6	A9P52720
<b>Q33</b>	2,60484203	6	0,723577535	10	A9P54706
<b>Q34</b>	1,77602866	6	0,585896517	10	A9P54706
<b>Q35</b>	26,0484203	32	1,228881441	10	A9P54732
<b>Q36</b>	32,7756154	40	1,535098958	10	A9P54740
<b>Q37</b>	8,8801433	13	1,365199623	10	A9P54713
<b>Q38</b>	5,92009553	10	0,945843145	10	A9P54710
<b>Q41</b>	4,05949408	6	0,886803076	10	A9P54706
<b>Q42</b>	5,0743676	10	0,101048091	10	A9P54710
<b>Q43</b>	5,0743676	10	0,094824423	10	A9P54710
<b>Q44</b>	5,0743676	10	0,108146109	10	A9P54710
<b>Q45</b>	5,0743676	10	0,076080807	10	A9P54710
<b>Eclairage intérieur</b>	2,16506351	4	0,189523396	10	A9P54604
<b>Eclairage extérieur</b>	3,46410162	4	0,152080846	10	A9P54604
<b>Eclairage stock</b>	2,49415316	4	0,216129057	10	A9P54604
<b>Eclairage vestiaire</b>	0,49883063	4	0,948353124	10	A9P54604
<b>Eclairage bloc administratif</b>	0,8660254	4	1,370434849	10	A9P54608
<b>Prises extérieure</b>	3,04840942	6	0,251424518	10	A9P54706
<b>Prises intérieure</b>	3,04840942	6	0,189523396	10	A9P54706
<b>Prises bloc administratif</b>	3,04840942	6	1,370434849	10	A9P54706
<b>Prises stocks</b>	3,04840942	6	0,216129057	10	A9P54706
<b>Prises vestiaire</b>	3,04840942	6	0,948353124	10	A9P54706

**Tableau IV-3 : Résultats du choix des disjoncteurs de l'installation**

#### IV.7.Conclusion

Dans cette étape de notre travail, nous avons procédé aux choix des équipements de protection afin d'assurer et garantir aux utilisateurs une sécurité et une bonne continuité de service.

A decorative graphic of a scroll with a blue outline and three grey circular elements at the corners. The text is centered within the scroll.

*Conclusion*

*générale*

## Conclusion générale

Durant tout le travail que nous avons mené, nous avons passé en revue toutes les étapes utiles pour l'étude et la conception d'une installation électrique industrielle, qui permet d'assurer la continuité d'alimentation des récepteurs compatibles avec les exigences de notre usine d'une part, et une productivité et sécurité maximale des personnes et des biens d'autre part.

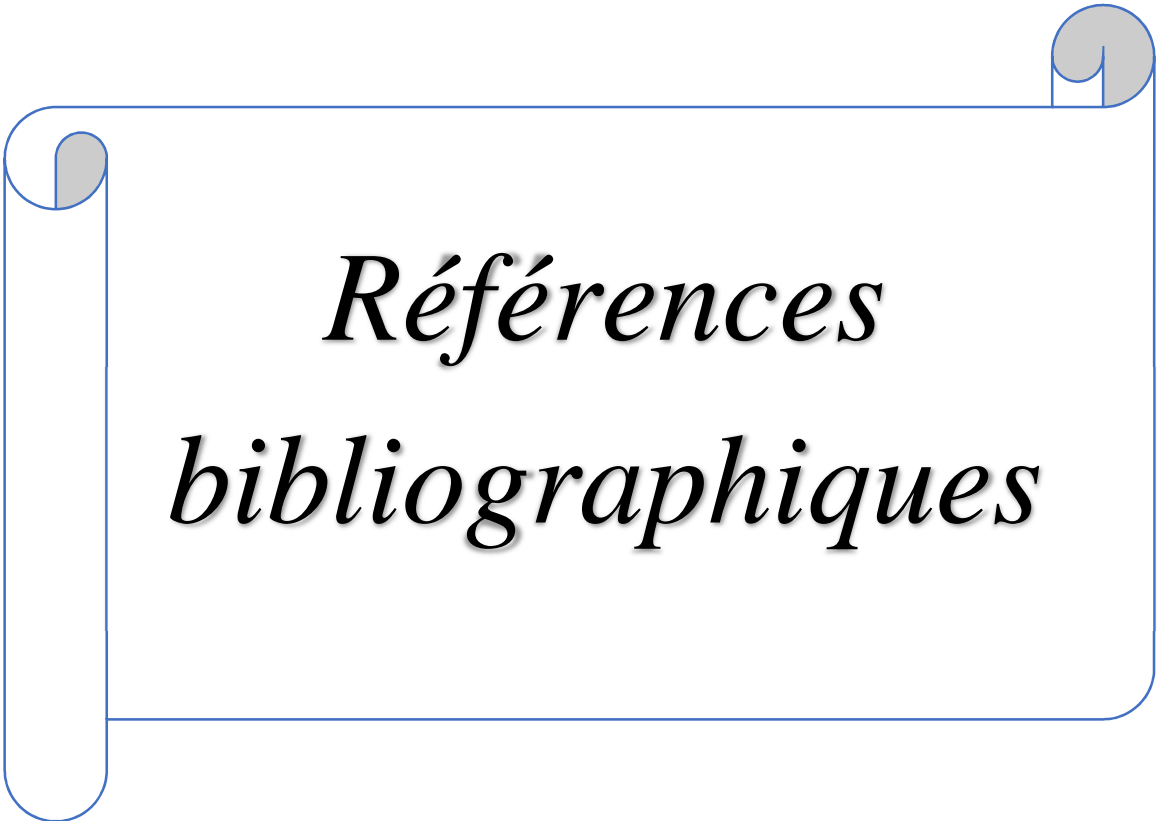
Pour cela, nous avons commencé par une description générale des installations et des réseaux électriques industriels.

Dans la seconde partie de notre travail, qui consiste à dimensionner le transformateur adéquat aux puissances et aux modes de fonctionnement des différentes machines (récepteurs), sans oublier le dimensionnement du groupe électrogène (source de secours), ou on a supposé que toute l'installation doit être prise en charge par le groupe dès que il y'a coupure de l'énergie de notre fournisseur. Afin de mener à terme cette étape, nous avons présenté la méthodologie à suivre pour tous dimensionnement d'une source électrique et cette étape s'appelle étude du bilan de puissance.

Nous avons pu grâce à cette méthode, déterminer la puissance apparente adéquate pour le bon fonctionnement de l'installation. Et ensuite, nous avons déterminé le facteur de puissance moyen qui égal à  $\cos\varphi=0.84$  d'où la nécessité d'améliorer ce facteur pour le bien du fonctionnement de l'installation.

Après avoir déterminé les courants qui seront véhiculés par les canalisations pour chaque récepteur et départ d'alimentation, on passe aux calculs des sections de câble. Nous avons décrit la méthodologie à suivre à fin de déterminer ces sections en fonction des différentes contraintes que nous avons rencontrées.

Au dernier lieu, dans le dernier chapitre, nous avons pu calculer et dimensionner les protections de chaque départ et de chaque récepteurs, nous avons prêté beaucoup d'attention aux choix des équipements de protection afin d'assurer et garantir aux utilisateurs une sécurité et une bonne continuité de service.



*Références  
bibliographiques*

## **Références bibliographiques**

[1] « Les bougies Jablochhoff à Londres », *L'électricité*, n° 8, 20avril1879.

Lien ([https://fr.wikipedia.org/wiki/Production\\_d%27%C3%A9lectricit%C3%A9](https://fr.wikipedia.org/wiki/Production_d%27%C3%A9lectricit%C3%A9)).

[2] « Pointe Jarry : Une nouvelle centrale électrique pour La Guadeloupe », EDF Guadeloupe, ~2012 [PDF]. Lien ([https://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale\\_%C3%A9lectrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_%C3%A9lectrique)).

[3] « Réseaux électriques », *Encyclopædia Universalis*, version 10.

Lien ([https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau\\_%C3%A9lectrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_%C3%A9lectrique)).

[4] « A Primer on Electric Utilities, Deregulation, and Restructuring of U.S. Electricity Markets », United States Department of Energy Federal Energy Management Program (FEMP),

Lien ([https://fr.wikipedia.org/wiki/Transport\\_d%27%C3%A9nergie\\_%C3%A9lectrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Transport_d%27%C3%A9nergie_%C3%A9lectrique)).

[5] Y- DAHADJ, R- NOUARI, «Optimisation des Réseaux de Distribution Basse tension (étude de cas Poste n°571- TIMIMOUNE) », mémoire de master, université d'Ahmed Draïa Adrar (2017/2018).

[6] Guide de l'Installation Electrique ; « Wiki Installation Electrique» ;

lien([https://fr.electricalinstallation.org/frwiki/Diff%C3%A9rents\\_types\\_d%27alimentation\\_MT](https://fr.electricalinstallation.org/frwiki/Diff%C3%A9rents_types_d%27alimentation_MT)).

[7] Charles Harel, Machines électriques et essais de Machines, Société française des électriciens École supérieure d'électricité, Paris, 1960, chap. « Transformateurs », p. 118-180.

[8] ESCHOUF SIDALI, «Etude de réalisation d'une unité de production d'eau minérale», mémoire de master, Université SAAD DAHLAB de BLIDA (2017/2018).

[9] MAZ SID AHMED CHERIF, «conception et automatisation d'un systeme de palettisation des bouteilles - unite LABELLE - annaba», mémoire de master, université ANNABA (2016/2017).

[10] Schneider Electric, « Guide de l'installation électrique », 2010.

[11] Caroline Willems, «Schéma unifilaire» ;

Lien (<https://www.btvcontrol.be/Assets/Documents/FR/Schema%20unifilaire.pdf>).

[12] EcoStruxure Power Design – Ecodial page 11.

[13] L'entreprise algérienne ELECTRO-INDUSTRIES SPA.

- [14] Technic-Achat Société industrielle à Bègles ; compensation-denergie-reactive  
Lien (<https://blog.technic-achat.com/diagramme-de-puissance-et-principe-de-compensation-denergie-reactive/>).
- [15] Guide de l'Installation Electrique ; « Wiki Installation Electrique». Lien ([https://fr.electrical-installation.org/frwiki/O%C3%B9\\_installer\\_les\\_condensateurs\\_de\\_compensation\\_%3F#](https://fr.electrical-installation.org/frwiki/O%C3%B9_installer_les_condensateurs_de_compensation_%3F#)).
- [16] electotoile.eu ; Schéma d'une installation de batterie de condensation.
- [17] H. ABBAS, S. AIT MOKHTAR, « Etude et dimensionnement électrique de la raffinerie sucre liquide Cevital », mémoire de master, université de Béjaia (2015/2016).
- [18] Guide technique professionnel à l'électricité industrielle et tertiaire, éclairage et domotique.  
Lien (<http://techni-doc.blogspot.com/2008/09/le-dimensionnement-dune-installation.html>).
- [19] C. PRÉVÉ, R. JEANNOT, « Guide de conception des réseaux électriques industriels », Schneider Electric (Février 1997).
- [20] Christophe Jaunay, «détermination de la section minimale des conducteurs».
- [21] Extrait du livre : « Réseaux électriques industriels et tertiaires », Réf.internet : 42265, 3<sup>e</sup> édition.
- [22] S.CHAOU, M.BOUNECER, «Etude et dimensionnement technique d'une installation électrique industrielle», mémoire de master, université de Béjaia (2019/2020).
- [23] B. DE METZ-NOBLAT, F. DUMAS et C. POULAIN, « Calcul des courants de court-circuit », Cahier Technique n° 158, Schneider Electric, 2005.
- [24] Cours Schémas et Appareillages Electriques, Par : Dr. LAIFAOUI Abdelkrim, Département de Génie Électrique, Faculté de Technologie, Université de Bejaia.
- [25] SCHNEIDER ELECTRIC, Catalogue 2021 Basse tension Appareillages modulaires sur rail DIN (Acti9).
- [26] O.AREZKI, « Projet de fin d'études ; ' Etude et calcul de l'installation électrique au niveau de la raffinerie sucre Cevital' »2014/2015.
- [27] Cahier technique nA172- Eduscol.

[28] Guide de l'Installation Electrique ; « Wiki Installation Electrique»

Lien ([https://fr.electricalinstallation.org/frwiki/Caract%C3%A9ristiques des\\_sch%C3%A9mas\\_TT,TN et IT](https://fr.electricalinstallation.org/frwiki/Caract%C3%A9ristiques_des_sch%C3%A9mas_TT,TN_et_IT)).

[29] J.L.Lilien, Université de Liège, Effets indirects des champs électromagnétiques, Institut montefiore Année académique 2004 – 2005.