

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

OUATOUAT Amar

BENZAOUI Khaled Mohammed Said

**Thème:**

## **Etude et Conception d'une Installation Electrique Industrielle**

Soumis au jury composé de :

M <sup>f</sup> Naceur Sonia	MCA	Président	UKM Ouargla
M <sup>f</sup> Benaouadj Mahdi	MCB	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M <sup>f</sup> Bouhadouza Boubakeur	MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2019/2020

*Avant tout, nous remercions ALLAH le tout puissant, le miséricordieux, qui nous a donné la force et le courage pour achever cet modeste travail.*

*Nous remercions tout particulièrement nos parents, pour leur soutien inconditionnel au cours de ces longues années d'études.*

*Nous tenons à remercier tous les enseignants du département « Génie Electrique », spécialement notre encadreur Monsieur Benaouadj Mahdi, pour l'intérêt qu'il a apporté pour achever ce travail de mémoire.*

*Nos sincères remerciements s'adressent également, à messieurs les membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous feront en participant au jugement de notre travail.*

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

## *Je dédie ce mémoire*

*Aux être les plus chères dans ma vie : mes parents, mes frères et sœurs qui ont étaient à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études.*

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

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

***Ouatouat Amar***

## *Je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents, que nulles dédicaces ne puissent exprimer mes sincères sentiments pour leur patience illimitée, leur encouragement contenu, leur aide, et témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.*

*A mes chères sœurs pour leur grand amour et soutien qu'ils trouvent ici avec l'expression de ma haute gratitude.*

*A mon très cher neveu Karim (Kimo), chers amis :  
Khaled, Hashani, Abdelhaq, Omar et Zohir.*

***Benzaoui Khaled Mohammed Said***

# **Table des matières**

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01
<b>Chapitre I : Généralités sur les installations électriques industrielles</b>	
I.1. Introduction	04
I.2. Les installations électriques	04
I.2.1. Domaines de tension	04
I.2.2. Exigences générales pour la conception électrique	04
I.3. Les sources d'énergie électrique	05
I.4. Distribution de l'énergie électrique	05
I.5. Les tableaux électriques	06
I.5.1. Tableau de distribution	06
I.5.2. Types des tableaux de distribution	06
I.5.3. Modes d'alimentation des tableaux BT	06
I.5.3.1. Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation	06
I.5.3.2. Alimentation des tableaux BT par double alimentation sans couplage	07
I.5.3.3. Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage	07
I.5.4. Subdivisions des charges	08
I.6. Fonctions de base de l'appareillage électrique	09
I.6.1. Le sectionnement	09
I.6.2. La commande	09
I.6.3. La protection	09
I.6.3.1. Rôle de la protection	09
I.6.3.2. Qualités fondamentales de la protection électrique	10
I.6.3.2.1. La sélectivité des protections	10

I.6.3.2.2. Différents moyens de vérification du niveau de sélectivité	11
I.6.3.2.3. La filiation	13
I.6.3.2.4. Protection contre les chocs électriques	13
I.7. Conclusion	14

## **Chapitre II : Méthodologie de calcul des sections des câbles**

II.1. Introduction	16
II.2. Bilan de puissance	16
II.2.1. Le courant d'emploi	16
II.2.2. Principe du choix de la section des câbles	17
II.3. Choix du dispositif de protection	18
II.3.1. Protection contre les surcharges	18
II.3.2. Protection contre les courts-circuits	18
II.4. Le courant admissible non corrigé	19
II.5. Intensité admissible dans une canalisation	20
II.5.1. Paramètres dont dépend l'intensité admissible dans une canalisation	20
II.5.2. Conditions d'installation des conducteurs	20
II.5.2.1. Cas des canalisations non enterrées	20
II.5.2.2. Cas des canalisations enterrées	23
II.5.3. Section du conducteur de protection et du neutre	26
II.5.4. Vérification de la chute de tension	27
II.5.5. Longueurs maximales des câbles pour la protection contre les contacts indirects	29
II.5.5.1. Protection par disjoncteur	29
II.5.5.2. Protection par fusible	31
II.5.6. Vérification des contraintes thermiques des conducteurs	31
II.6. Conclusion	32

---

**Chapitre III : Programmation et application**

III.1. Introduction	34
III.2. Description de l'usine	34
III.3. Algorithmes et organigrammes	37
III.4. Programmation et application	43
III.4.1. Evolution du programme pour l'algorithme 01	43
III.4.2. Evolution du programme pour l'algorithme 02	45
III.4.3. Evolution du programme pour l'algorithme 03	45
III.4.4. Evolution du programme pour l'algorithme 04	52
III.4.5. Evolution du programme pour l'algorithme 05	55
III.4.6. Récapitulatif des résultats	56
III.4.7. Schéma unifilaire final	57
III.5. Conclusion	58
Conclusion générale	59
Références bibliographiques	61

# Liste des figures

## Chapitre I : Généralités sur les installations électriques industrielles

<b>Figure I.1</b> : La distribution radiale	05
<b>Figure I.2</b> : Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation	07
<b>Figure I.3</b> : Alimentation des tableaux BT par double alimentation sans couplage	07
<b>Figure I.4</b> : Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage	08
<b>Figure I.5</b> : Représentation des charges et sources d'alimentation	09
<b>Figure I.6</b> : La sélectivité totale	10
<b>Figure I.7</b> : La sélectivité partielle	11
<b>Figure I.8</b> : La sélectivité ampèremétrique	12
<b>Figure I.9</b> : La sélectivité chronométrique	12
<b>Figure I.10</b> : Protection contre les contacts directs	13
<b>Figure I.11</b> : Protection contre les contacts indirects	14

## Chapitre II : Méthodologie de calcul des sections des câbles

<b>Figure II.1</b> : Protection contre les surintensités	19
<b>Figure II.2</b> : Courbe de fusion d'un fusible	31

## Chapitre III : Programmation et application

<b>Figure III.1</b> : Plan de l'usine	34
<b>Figure III.2</b> : Calcul des courants d'emploi	38
<b>Figure III.3</b> : Détermination des courants admissibles non corrigé	39
<b>Figure III.4</b> : Calcul des courants admissibles corrigés	40
<b>Figure III.5</b> : Détermination de la section du conducteur	41
<b>Figure III.6</b> : Calcul de chute de tension	42
<b>Figure III.7</b> : Fenêtre pour le choix du type de la charge	43
<b>Figure III.8</b> : Fenêtre pour le choix du type de protection	45
<b>Figure III.9</b> : Fenêtre pour le choix du type de canalisation	45
<b>Figure III.10</b> : Fenêtre pour le choix du type d'élément du conducteur	46
<b>Figure III.11</b> : Fenêtre pour le choix de la disposition des câbles jointif	46
<b>Figure III.12</b> : Fenêtre pour le choix du nombre de circuits ou câbles multiconducteurs	47

<b>Figure III.13</b> : Fenêtre pour le choix du nombre de couches	47
<b>Figure III.14</b> : Fenêtre pour le choix de la température ambiante	48
<b>Figure III.15</b> : Fenêtre pour le choix du type d'isolant	48
<b>Figure III.16</b> : Fenêtre pour le choix du type de canalisation	49
<b>Figure III.17</b> : Fenêtre pour le choix du type de mode de pose des câbles enterrés	49
<b>Figure III.18</b> : Fenêtre pour le choix de l'espace entre circuits	49
<b>Figure III.19</b> : Fenêtre pour le choix du nombre de circuits ou câbles multiconducteurs	50
<b>Figure III.20</b> : Fenêtre pour le choix du nombre de couches	50
<b>Figure III.21</b> : Fenêtre pour le choix de la nature du sol	51
<b>Figure III.22</b> : Fenêtre pour le choix de la température su sol	51
<b>Figure III.23</b> : Fenêtre pour le choix du type d'isolant	52
<b>Figure III.24</b> : Fenêtre pour le choix du type de canalisation	52
<b>Figure III.25</b> : Fenêtre pour le choix du type de la matière des conducteurs	53
<b>Figure III.26</b> : Fenêtre pour le choix du type d'isolant	53
<b>Figure III.27</b> : Fenêtre pour le choix de la lettre de sélection	53
<b>Figure III.28</b> : Fenêtre pour le choix du nombre des conducteurs chargés	53
<b>Figure III.29</b> : Fenêtre pour le choix du type de canalisation	54
<b>Figure III.30</b> : Fenêtre pour le choix du type de la matière des conducteurs	54
<b>Figure III.31</b> : Fenêtre pour le choix du type d'isolant	54
<b>Figure III.32</b> : Fenêtre pour le choix du nombre des conducteurs chargés	55
<b>Figure III.33</b> : Fenêtre pour le choix du type d'alimentation	55
<b>Figure III.34</b> : Fenêtre pour le choix de la disposition des câbles	56
<b>Figure III.35</b> : Schéma unifilaire final	58

# Liste des tableaux

**Chapitre I : Généralités sur les installations électriques industrielles**

<b>Tableau I.1 : Domaines de tension</b>	04
<b>Tableau I.2 : Avantages et inconvénients de la distribution radiale</b>	06

**Chapitre II : Méthodologie de calcul des sections des câbles**

<b>Tableau II.1 : Valeurs du facteur d'utilisation selon l'utilisation</b>	17
<b>Tableau II.2 : Valeurs du facteur de simultanéité en fonction de l'utilisation</b>	17
<b>Tableau II.3 : Valeurs du facteur de simultanéité en fonction du nombre des récepteurs</b>	17
<b>Tableau II.4 : Détermination du courant admissible en fonction de type de protection</b>	19
<b>Tableau II.5 : Détermination de la lettre de sélection en fonction du mode de pose</b>	21
<b>Tableau II.6 : Le facteur de correction K1</b>	21
<b>Tableau II.7 : Le facteur de correction K2</b>	21
<b>Tableau II.8 : Le facteur de correction K3</b>	22
<b>Tableau II.9 : Sections des conducteurs pour les canalisations non enterrées</b>	23
<b>Tableau II.10 : Le facteur de correction K4</b>	24
<b>Tableau II.11 : Le facteur de correction K5</b>	24
<b>Tableau II.12 : Le facteur de correction K6</b>	24
<b>Tableau II.13 : Le facteur de correction K7</b>	25
<b>Tableau II.14 : Sections des conducteurs pour les canalisations enterrées</b>	26
<b>Tableau II.15 : Section du conducteur de protection</b>	26
<b>Tableau II.16 : Relations pour la détermination de la chute de tension</b>	27
<b>Tableau II.17 : Réactance des conducteurs en fonction du type de câbles et son mode de pose</b>	28
<b>Tableau II.18 : Chutes de tension admissibles dans les installations BT</b>	28
<b>Tableau II.19 : Temps de coupure maximaux pour le schéma IT (deuxième défaut)</b>	29
<b>Tableau II.20 : Temps de coupure maximaux pour le schéma TN</b>	29
<b>Tableau II.21 : Valeurs du coefficient K</b>	32

**Chapitre III : Programmation et application**

<b>Tableau III.1</b> : Forces motrices de l'atelier	35
<b>Tableau III.2</b> : Eclairage de l'atelier	35
<b>Tableau III.3</b> : Chauffage des bureaux	36
<b>Tableau III.4</b> : Eclairage des bureaux	36
<b>Tableau III.5</b> : Eclairage du parking	36
<b>Tableaux III.6</b> : Coordonnées des ateliers de l'usine selon les axes (x, y)	44
<b>Tableau III.7</b> : Valeurs des courants d'emploi et calibres des disjoncteurs	45
<b>Tableau III.8</b> : Cas des canalisations non enterrées	56
<b>Tableau III.9</b> : Cas des canalisations enterrées	57

# **Introduction générale**

L'énergie électrique est devenue le produit le plus consommé au niveau mondial. Elle est aussi parmi les causes majeures du développement économique et industriel que notre monde connaît. Pour les réseaux électriques industriels (qui sont un prolongement naturel du réseau de distribution), cela impose une architecture plus ou moins complexe suivant le niveau de tension, de la puissance demandée et de la sûreté d'alimentation requise.

Il est pratiquement impossible d'avoir un réseau électrique industriel sans défauts et perturbations. En outre, les perturbations de production sont souvent générées par une interruption de l'alimentation électrique due plus souvent à des défauts aussi bien intrinsèques qu'extrinsèques.

La continuité de distribution d'énergie électrique exige un dimensionnement correct de chacun des éléments du réseau : transformateurs, câbles, lignes et tableaux électriques qui présentent le point de passage indispensable du courant électrique. Un tableau électrique intègre les appareils qui assurent la distribution de l'énergie électrique, la protection des circuits et personnes, le contrôle et la commande de l'installation. Par conséquent, la conception d'une installation électrique industrielle, qui répondra aux exigences essentielles comme la continuité du service et la sécurité, nécessite une étude et conception bien précises.

L'objectif principal de ce manuscrit est l'étude et la conception d'une installation électrique industrielle. Pour aboutir à cet objectif, nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

**Chapitre 01** est consacré à la définition des différentes structures, caractéristiques, dispositions généraux et exigences d'une installation électrique industrielle.

**Chapitre 02** est dédié à la présentation de la méthodologie de conception d'une installation électrique et les techniques de calcul de la section des câbles des canalisations en tenant compte des différentes conditions (modes de pose des canalisations, température ambiante, nature du sol, etc.).

**Chapitre 03** est réservé à la proposition d'un programme implanté sous Matlab permettant de remédier à toutes les diversités que peut rencontrer un ingénieur lors de la conception d'une installation électrique industrielle.

Enfin, nous clôturerons ce mémoire par une conclusion générale.

# **Chapitre I :**

Généralités sur les

installations

électriques industrielles

## I.1. Introduction

Dans ce chapitre et avant d'étudier et réaliser un projet d'installation électrique, il importe d'avoir à l'esprit un certain nombre des caractéristiques générales dont dépend à la conception de l'étude, et même des facteurs et exigences techniques à répondre.

## I.2. Les installations électriques

Une installation électrique est un ensemble cohérent de circuits électriques et leurs canalisations, d'appareillages électriques associés réalisée suivant un schéma déterminé sert à alimenter et distribuer l'énergie électrique aux différents récepteurs et de liaison à la terre est aussi un élément central dans l'installation. Elle peut se situer dans un bâtiment ou a usage d'habilitation, industriel, commercial ou de bureaux. Elle doit être réalisée en conformément à la législation.

### I.2.1. Domaines de tension

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

**Tableau I.1** : Domaines de tension

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

Dans une installation, lorsque deux domaines de tensions sont utilisés en voisinage, une séparation électrique et physique doit les isoler [1].

### I.2.2. Exigences générales pour la conception électrique

- **Exigences architecturales** : c'est la coordination avec l'architecte, ainsi que la connaissance de la fonction de chaque espace dans les plans.
- **Exigences mécaniques** : elle correspond à la connaissance de toutes les charges mécaniques et leurs emplacements dans l'espace de construction.
- **Exigences électriques** : c'est la définition des exigences du projet pour l'éclairage, pour les équipements et les systèmes qui fonctionnent en TBT comme les caméras de surveillance.

### I.3. Les sources d'énergie électrique

Les sources d'énergie électrique sont définies par la qualité de fourniture requise pour les implémentations à alimenter. Elles sont divisées en : sources normales, sources de secours et sources sans interruption [2].

- **La source normale** : c'est la principale source d'énergie électrique. Elle doit alimenter les totalités des charges et les autres besoins du site.
- **La source de secours** : elle doit alimenter, en BT ou MT, les charges à secourir afin de garantir la continuité de service.
- **La source sans interruption (ASI)** : elles représentent des interfaces installées entre le réseau et les charges sensibles. La source de secours depuis chaque TGBT fournit son énergie électrique aux ASI afin de garantir leur permanence.

### I.4. Distribution de l'énergie électrique

La norme NF C 15-100 recommande que toute installation doive être devisée en plusieurs circuits afin de minimiser les conséquences résultantes d'un défaut survenant dans un circuit. Cette division de l'installation dépend du mode de distribution utilisé.

La distribution radiale est le mode de distribution le plus employé. Elle est conseillée systématiquement dans toute installation industrielle.

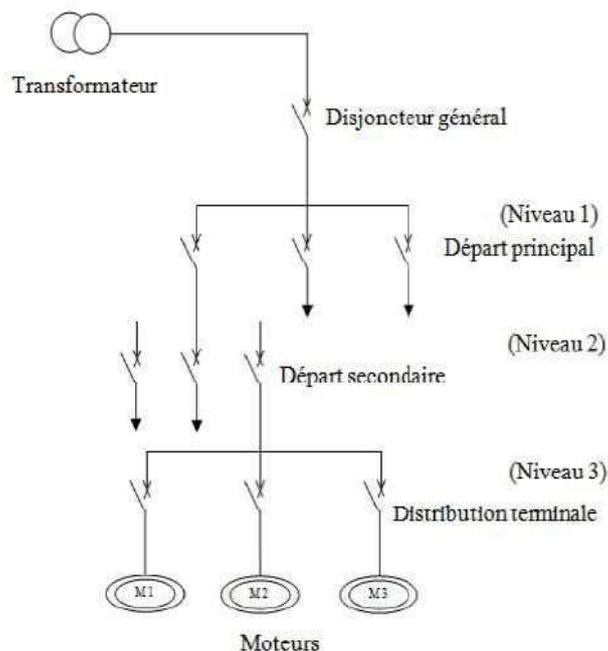


Figure I.1 : La distribution radiale

Les avantages et inconvénients de ce type de distributions sont résumés dans le tableau I.2.

**Tableau I.2 :** Avantages et inconvénients de la distribution radiale

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seul le circuit en défaut est mis hors service.</li> <li>- Localisation facile.</li> <li>- Il est possible d'effectuer des opérations d'entretien sans coupure générale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un défaut survenant au niveau 1 d'un départ principal affecte tous les départs secondaires du niveau 2 et la distribution terminale du niveau 3.</li> </ul>

## I.5. Les tableaux électriques

### I.5.1. Tableaux de distribution

Ces tableaux présentent le point d'arrivée de l'énergie électrique d'une installation BT. En se divisant en plusieurs départs, chacun est commandé et protégé par l'appareillage installé. Chaque type de tableau de distribution doit être adapté à son application.

### I.5.2. Types des tableaux de distribution

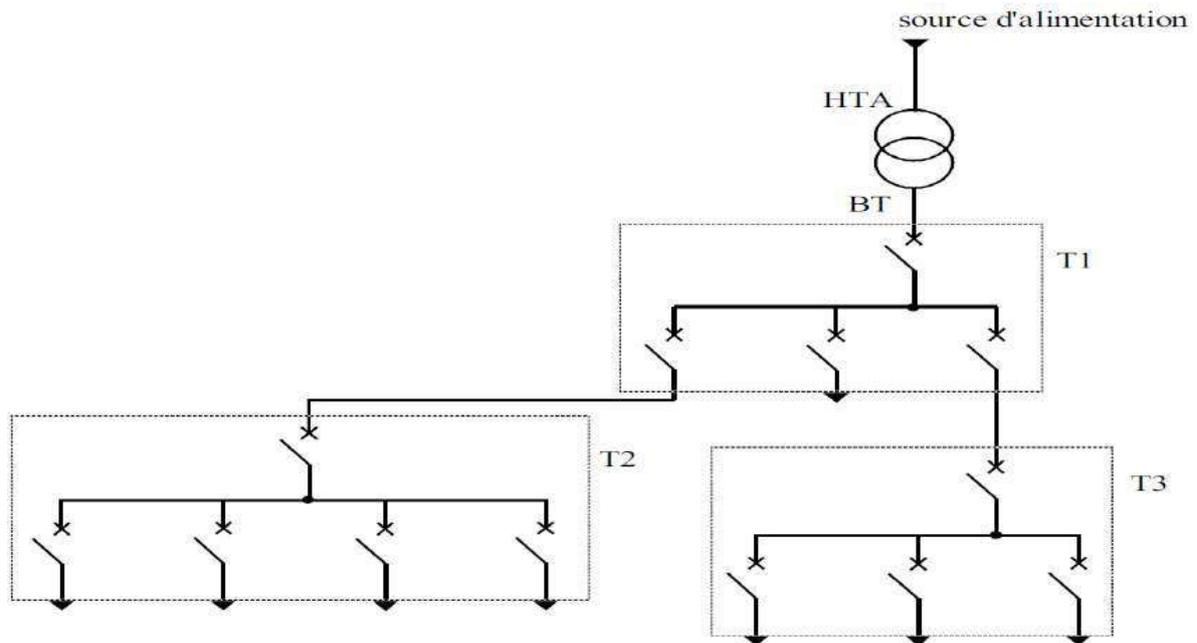
Les tableaux, ou ensemble d'appareillage à basse tension, se différencient selon le type d'application en :

- ✓ Tableau général basse tension (TGBT).
- ✓ Tableau secondaire.
- ✓ Tableau terminal.
- ✓ Tableau de contrôle-commande.

### I.5.3. Modes d'alimentation des tableaux BT

#### I.5.3.1. Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

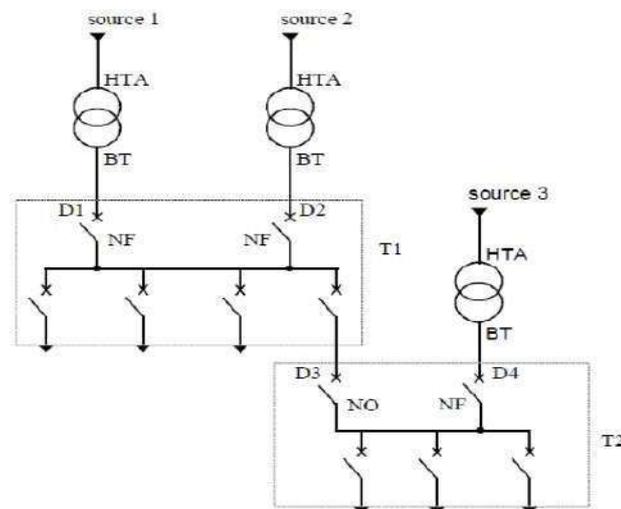
Dans ce cas, tous les départs bénéficient d'une seule source d'alimentation. En cas de défaut en T1 ou perte de la source, toute l'installation est mise hors service jusqu'à l'opération de réparation [3].



**Figure 1.2 :** Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

### I.5.3.2. Alimentation des tableaux BT par double alimentation sans couplage

Pour ce type d'alimentation, chaque tableau a sa propre source d'alimentation. En cas de défaut, T2 bénéficie de l'alimentation à partir de la seconde.

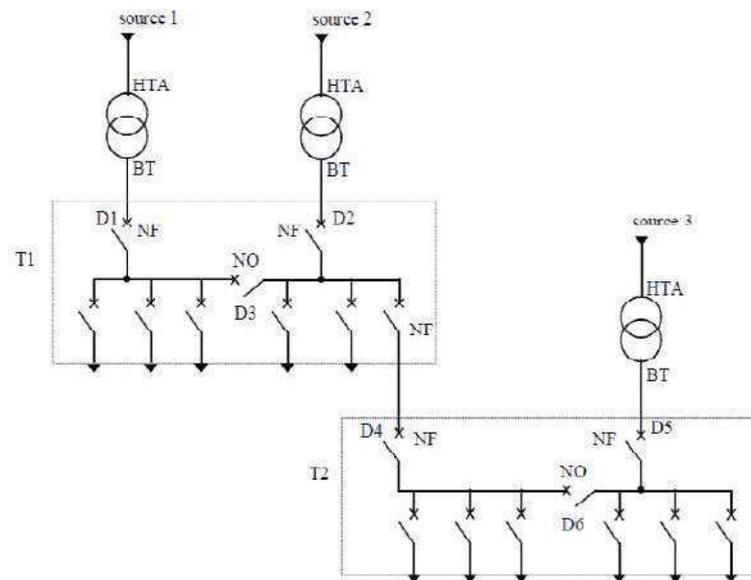


**Figure 1.3 :** Alimentation des tableaux BT par double alimentation sans couplage

### I.5.3.3. Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage

Le tableau T1 bénéficie d'une double alimentation avec couplage par deux transformateurs. En cas de perte d'une source d'alimentation, le disjoncteur de couplage D3 est fermé et un seul transformateur alimente la totalité de T1.

Pour le tableau T2, il profite d'une double alimentation avec couplage par deux départs. En fonctionnement normal, le disjoncteur de couplage D6 est ouvert et chaque source alimente une partie de T2. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage D6 est fermé et l'autre source alimente la totalité de T2.



**Figure I.4 :** Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage

#### I.5.4. Subdivisions des charges

La classification des charges se fait en fonction de leurs importance et priorité en [4] :

- **Charges normales « non-essentiels » :** ce sont les charges alimentées par la source principale. Elles représentent les récepteurs les plus importants.
- **Charges de secours « essentielle » :** elles sont alimentées par les deux sources normale et de secours, et sont mises hors tension quelques secondes pendant le transfert entre les sources. Ces charges représentent une partie des récepteurs les plus importants.
- **Charges sans interruption « sensible » :** ces charges sont sensibles et ne doivent pas être mises hors tension soudainement. Elles sont alimentées par les deux sources normale et de secours par l'intermédiaire d'une ASI.

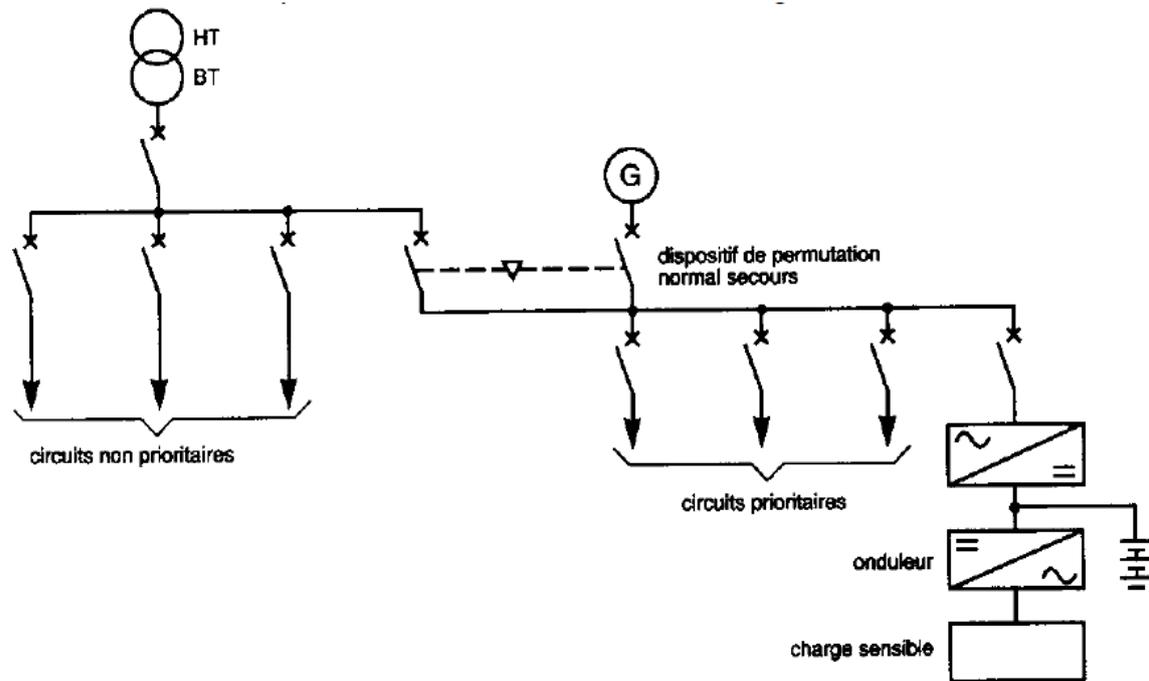


Figure I.5 : Représentation des charges et sources d'alimentation

## I.6. Fonctions de base de l'appareillage électrique

L'appareillage électrique d'une installation électrique industrielle doit assurer trois fonctions : le sectionnement, la commande et la protection.

### I.6.1. Le sectionnement

Pour des raisons de sécurité, cette fonction est destinée à assurer la mise hors tension de toute ou partie d'une installation électrique.

### I.6.2. La commande

C'est l'action destinée à assurer la fermeture, l'ouverture ou la variation de l'alimentation en énergie électrique de tout ou partie d'une installation.

### I.6.3. La protection

L'énergie électrique bien qu'utile, elle est dangereuse pour l'homme. Si un courant électrique, par exemple, traverse le corps humain, il y a un risque de mort. Par conséquent, Il est nécessaire de protéger les personnes et biens contre de tels dangers.

#### I.6.3.1. Rôle de la protection

Le rôle principal de la protection est d'assurer la continuité d'alimentation ainsi que la sécurité des personnes et des biens. Pour cela, elle doit assurer la protection contre :

- Les surintensités (surcharge et court-circuit).

- Conditions anormales de fonctionnement (fausses manœuvres, vieillissement et détérioration des isolants).

Un système de protection doit répondre aux exigences suivantes :

- Eliminer seule la partie affectée par un défaut.
- Préserver la stabilité du réseau et la continuité de fonctionnement.
- Avoir un comportement d'autonomie.
- Etre fiable.
- Garantir la sécurité des personnes et des biens.

### I.6.3.2. Qualités fondamentales de la protection électrique

Une bonne protection électrique doit posséder les qualités suivantes : rapidité, sûreté, sécurité, fiabilité, sélectivité et disponibilité.

#### I.6.3.2.1. La sélectivité des protections

La sélectivité est une technique qui consiste à coordonner les protections de manière à ce qu'un défaut sur un circuit ne fasse déclencher que la protection placée en tête de ce circuit, évitant ainsi la mise hors service du reste de l'installation. La sélectivité améliore la continuité de service et la sécurité de l'installation. Deux types sont distingués [5] :

##### a) La sélectivité totale

La sélectivité entre deux dispositifs de protection placés en série est dite *totale* lorsque le dispositif de protection aval assure la protection jusqu'à la valeur de court-circuit maximale présumée à l'endroit où il est installé sans provoquer le fonctionnement du dispositif de protection amont.

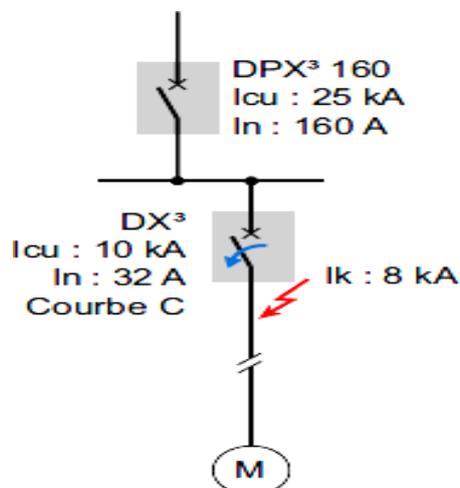


Figure I.6 : La sélectivité totale

### b) La sélectivité partielle

La sélectivité entre deux dispositifs de protection placés en série est dite *partielle* lorsque le dispositif de protection aval assure la protection jusqu'à un niveau donné de surintensité sans provoquer l'intervention du dispositif de protection amont. Au-delà de ce niveau de surintensité, c'est le dispositif amont qui assurera la protection.

La quasi-totalité des défauts ayant lieu au niveau de l'utilisation, une sélectivité partielle peut d'avérer suffisante si la limite de sélectivité est supérieure à la valeur du court-circuit maximale pouvant survenir au point d'utilisation [ou en bout de canalisation], on parle alors de sélectivité d'exploitation. Cette technique est très souvent suffisante, plus économique et moins contraignante en termes de réalisation.

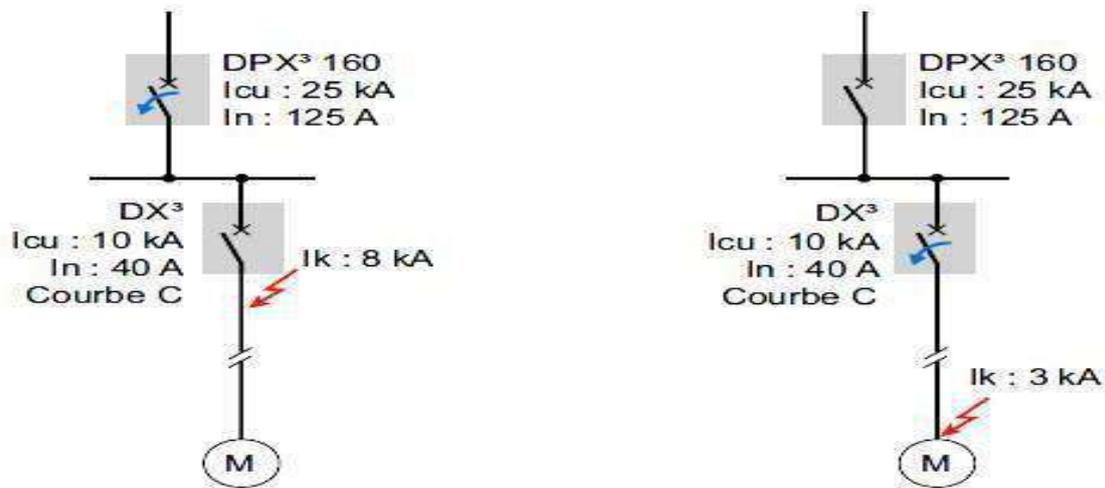


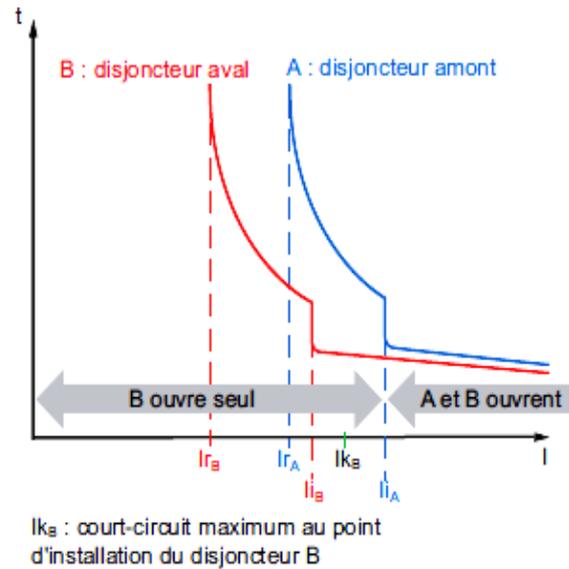
Figure I.7 : La sélectivité partielle

#### I.6.3.2.2. Différents moyens de vérification du niveau de sélectivité

Pour confirmer un niveau de sélectivité totale ou partielle pour deux disjoncteurs placés en série, il faut vérifier la sélectivité pour les différentes zones de déclenchement des appareils.

#### ✚ La sélectivité ampèremétrique

Cette technique repose sur le décalage en intensité des courbes de déclenchement temps/courant des disjoncteurs amont et aval. Elle se vérifie en s'assurant que ces courbes ne se chevauchent pas.

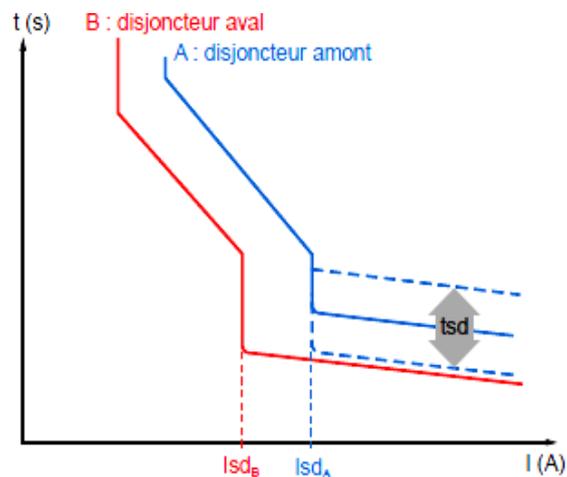


**Figure I.8 :** La sélectivité ampèremétrique

Elle s'applique à la zone des surcharges et à la zone des courts-circuits de faible intensité et elle est d'autant meilleure que les calibres des appareils sont éloignés. La sélectivité ampèremétrique est adaptée pour les circuits terminaux où les niveaux de courts-circuits sont relativement faibles.

#### ✚ La sélectivité chronométrique

Cette technique repose sur le décalage temporel des courbes de déclenchement temps/courant des disjoncteurs en série. Elle se vérifie en s'assurant que ces courbes ne se chevauchent pas. Elle s'applique pour la sélectivité dans la zone des courts-circuits d'intensité moyenne.



**Figure I.9 :** La sélectivité chronométrique

La sélectivité chronométrique s'utilise en complément de la sélectivité ampèremétrique afin d'obtenir une sélectivité au-delà du courant de réglage magnétique [ou court retard] du disjoncteur amont.

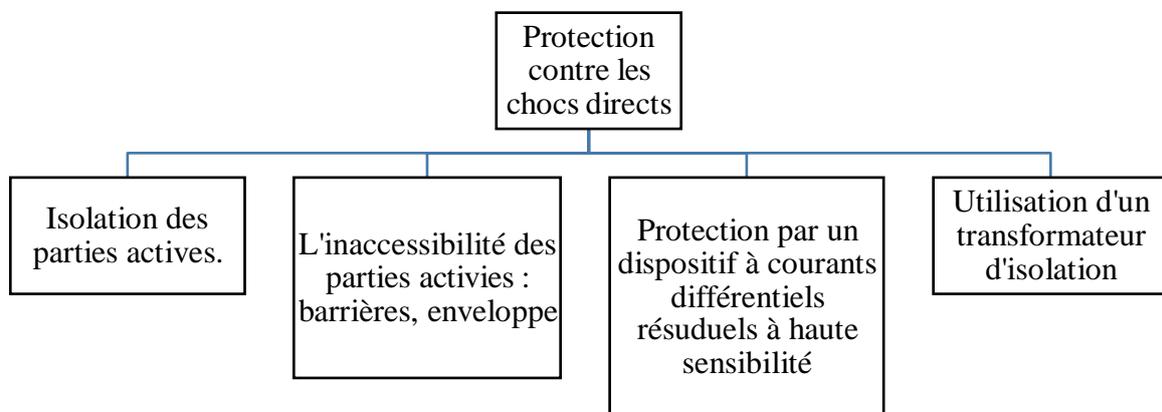
### I.6.3.2.3. La filiation

La filiation est la technique qui consiste à augmenter le pouvoir de coupure d'un disjoncteur en le coordonnant avec un autre dispositif de protection placé en amont.

Cette coordination permet d'utiliser un appareil de protection possédant un pouvoir de coupure inférieur au courant de court-circuit maximum en son point d'installation. Elle peut être mise en œuvre même si les appareils sont situés dans des tableaux différents.

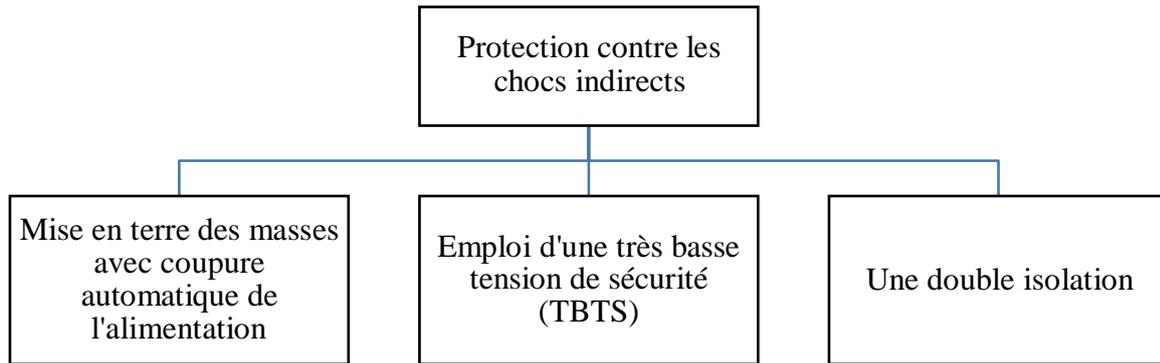
### I.6.3.2.4. Protection contre les chocs électriques

- ❖ **Protection contre les contacts directs** : c'est le contact d'une personne avec une partie active normalement sous tension d'un matériel ou d'un équipement électrique (phase ou neutre) [6]. Les moyens de prévoir les contacts indirects sont indiqués dans la figure I.10.



**Figure I.10** : Protection contre les contacts directs

- ❖ **Protection contre les contacts indirects** : Un contact est dit : indirect lorsqu'une personne vient de toucher une masse métallique mise accidentellement sous tension [6]. Les moyens de prévoir les contacts indirects sont indiqués dans la figure I.11 [7].



**Figure I.11 :** Protection contre les contacts indirects [7]

## I.7. Conclusion

Les installations électriques industriels doivent assurer l'alimentation de tous les récepteurs en tenant compte des besoins à satisfaire tels que : la sécurité des personnes, la sécurité des biens, la continuité d'alimentation, la facilité d'exploitation du réseau, le coût minimale de prescriptions et usages locaux.

Vu que tous les besoins ne pourront pas être satisfaits de façon optimale, le concepteur doit rechercher, alors, le meilleur compromis en connivence avec les normes.

## **Chapitre II :**

Méthodologie de calcul  
des sections des câbles

## II.1. Introduction

Après avoir donné quelques généralités sur les installations électriques industrielles dans le chapitre précédent, nous passerons dans le présent chapitre à illustrer les différentes étapes permettant de calculer les sections des câbles adéquats d'une installation électrique BT. A noter que le dimensionnement nécessite une détermination précise de la puissance maximale (courant d'emploi), des canalisations et leurs protections électriques.

## II.2. Bilan de puissance

Le bilan de puissance est une étape essentielle qui permet d'étudier une installation et conçu le transformateur, les sections des câbles et leurs protections. Cette étude nécessite de savoir les caractéristiques des charges et les facteurs [6].

### II.2.1. Le courant d'emploi

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

$$I_B = \frac{P_n * e * K_u * K_s * K_e}{\eta * \cos \varphi} \quad (\text{II.1})$$

$P_n$  : puissance utile nominale du récepteur

$\eta$  : rendement du récepteur

$\cos \varphi$  : facteur de puissance du récepteur

#### \* Facteur de conversion des puissances en intensité $e$

Ce facteur permet de transformer la puissance active en intensité.

$$e = \frac{1}{220} v \text{ (en monophasé)} \quad (\text{II.2})$$

$$e = \frac{1}{\sqrt{3} * 380} \text{ (en triphasé)} \quad (\text{II.3})$$

#### \* Facteur d'utilisation $K_u$

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 à un facteur d'utilisation bien déterminé.

**Tableau II.1 :** Valeurs du facteur d'utilisation selon l'utilisation

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

\* **Facteur de simultanéité  $K_s$**

Les récepteurs d'une installation ne fonctionnent pas simultanément. La détermination de ce facteur nécessite la connaissance détaillée de l'installation considérée et l'exploitation des conditions d'exploitation.

**Tableau II.2 :** Valeurs du facteur de simultanéité en fonction de l'utilisation

Utilisation	Facteur de simultanéité
Eclairage	1
Chauffage et conditionnement d'air	1
Prises du courant	De 0.1 à 0.2 (pour un nombre > 20)

**Tableau II.3 :** Valeurs du facteur de simultanéité en fonction du nombre des récepteurs

Nombre des récepteurs	Facteur de simultanéité
2 à 3	0.9
4 à 5	0.8
6 à 9	0.7
10 et plus	0.6

\* **Facteur d'extension  $K_e$**

Le rôle du facteur d'extension est de prévoir une augmentation de la puissance de la puissance absorbée. Le coefficient varie de 1 à 1.5, la valeur 1.2 est souvent utilisée.

### II.2.2. Principe du choix de la section des câbles

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

Les câbles doivent :

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

Les dispositifs de protections doivent :

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

### II.3. Choix du dispositif de protection

La protection contre les surintensités a pour le but de prévoir des dispositifs qui doivent interrompre toute augmentation anormale du courant dans les conducteurs d'un circuits avant qu'il ne puisse provoquer un échauffement nuisible à l'isolation, aux connexions, aux extrémités ou à l'environnement des canalisations.

#### II.3.1. Protection contre les surcharges

La protection des conducteurs contre les surcharges définie dans la NF C 15-100 doit satisfaire les conditions suivantes :

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (\text{II.4})$$

$I_b$  : courant d'emploi du courant

$I_n$  : courant nominal du dispositif de protection

$I_z$  : courant admissible dans la canalisation à protéger

$$I_2 \leq 1.45 * I_z \quad (\text{II.5})$$

$I_2$  : Courant conventionnel de fonctionnement du dispositif de protection.

#### II.3.2. Protection contre les courts-circuits

La protection contre les courts-circuits est assurée lorsque :

$$Pd \geq I_{cc} \quad (\text{II.6})$$

$PdC$  : pouvoir de coupure du dispositif de protection contre les courts-circuits

$I_{cc}$  : intensité du courant de court-circuit à l'endroit ou ce dispositif sera installé

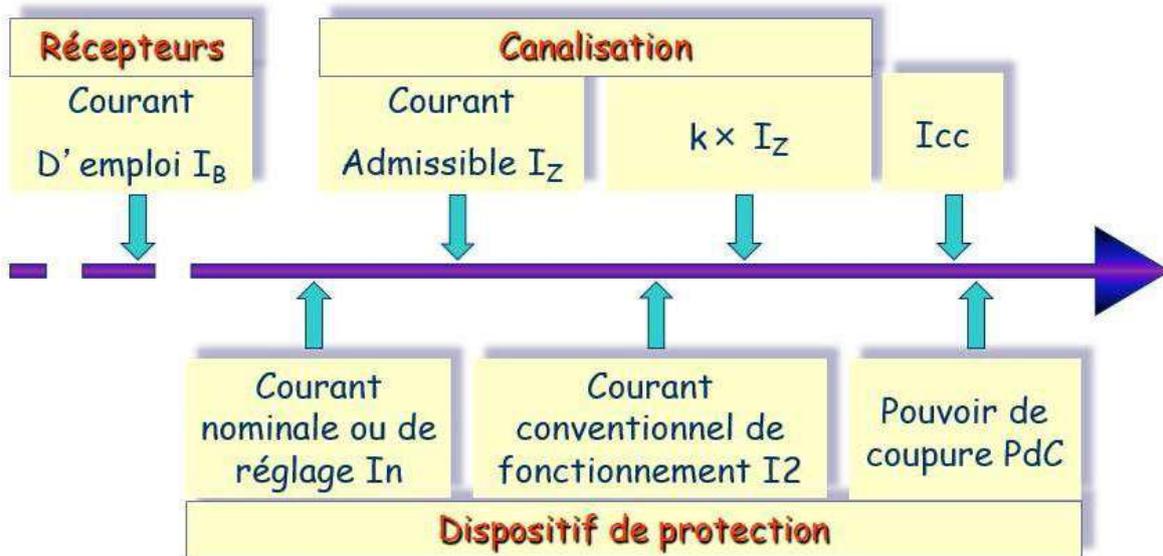


Figure II.1 : Protection contre les surintensités

- Cas de disjoncteur

$$I_2 \leq 1.45 * I_n \tag{II.7}$$

- Cas des fusibles

$$I_2 = K_2 * I_n \tag{II.8}$$

Avec :  $K_2 = 1.6$  à  $1.9$  selon les fusibles.

#### II.4. Le courant admissible non corrigé

Le courant admissible est la valeur maximale du courant qui peut parcourir en permanence, dans des conditions données, un conducteur, sans que sa température de régime permanent soit supérieure à la valeur assignée ( $70^\circ C$  avec un isolant PVC,  $90^\circ C$  avec un isolant PR,  $105^\circ C$  avec un isolant minéral) en fonction du dispositif de protection [7].

Tableau II.4 : Détermination du courant admissible en fonction du type de protection

Protection par fusible	Protection par disjoncteur
$I_z = 1.31 * I_n$ , si $I_n \leq 10 A$	$I_z = I_n$
$I_z = 1.21 * I_n$ , si $10 A < I_n \leq 25 A$	
$I_z = 1.1 * I_n$ , si $I_n > 25 A$	

## II.5. Intensité admissible dans une canalisation

C'est le courant admissible dans la canalisation en fonction des influences extérieures (ce sont des facteurs sécurité appliquée pour les calculs actuels en fonction des conditions actuelles attendues de conditions standards) [8].

### II.5.1. Paramètres dont dépend l'intensité admissible dans une canalisation

Les conditions pour déterminer la section des conducteurs pour un courant admissible donné prennent en compte :

- Le mode de pose.
- La température ambiante.
- La nature de l'isolant.
- La nature de l'âme du conducteur.
- L'influence mutuelle des circuits placés coté à coté.
- L'influence du type de conducteurs : conducteurs isolés, câblés mono/multiconducteurs.

### II.5.2. Conditions d'installation des conducteurs

#### II.5.2.1. Cas des canalisations non enterrées

Pour avoir la section du câble minimale correspondant aux conditions d'installation, il faut déterminer le mode de pose et les facteurs associés [6].

- **La lettre de sélection et mode de pose**

#### **Lettre de sélection B**

- Deux conducteurs isolés ou deux câbles mono conducteurs ou un câble à deux conducteurs.
- Trois conducteurs isolés ou trois câbles mono conducteurs ou un câble à trois conducteurs.

#### **Lettre de sélection C**

- Deux câbles mono conducteurs ou un câble à deux conducteurs.
- Trois câbles mono conducteurs ou un câble à trois conducteurs.

#### **Lettre de sélection E et F**

- Un câble à deux ou trois conducteurs pour la lettre E.
- Deux ou trois câbles mono conducteurs pour la lettre F.

**Tableau II.5 :** Détermination de la lettre de sélection en fonction du mode de pose

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>● sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré</li> <li>● sous vide de construction, faux plafond</li> <li>● sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles</li> </ul>	<b>B</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● en apparent contre mur ou plafond</li> <li>● sur chemin de câbles ou tablettes non perforées</li> </ul>	<b>C</b>
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>● sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé</li> <li>● fixés en apparent, espacés de la paroi</li> <li>● câbles suspendus</li> </ul>	<b>E</b>
câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>● sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé</li> <li>● fixés en apparent, espacés de la paroi</li> <li>● câbles suspendus</li> </ul>	<b>F</b>

L'exploitation de facteur de correction K permet de calculer l'intensité admissible corrigée à partir de l'intensité admissible dans la canalisation :

- **Facteur de correction K1 :** ce facteur prend en compte le mode de pose.

**Tableau II.6 :** Le facteur de correction K1

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

- **Facteur de correction K2 :** ce facteur prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés coté à coté.

**Tableau II.7 :** Le facteur de correction K2

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2											
		nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
<b>B, C, F</b>	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
<b>C</b>	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles.		
	simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
<b>E, F</b>	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales												
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, appliquer en plus un facteur de correction de :

- 0,80 pour deux couches
- 0,73 pour trois couches
- 0,70 pour quatre ou cinq couches.

- **Facteur de correction K3** : ce facteur prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.

**Tableau II.7** : Le facteur de correction K2

températures ambiantes (°C)	isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,06	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,94	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	-	0,61	0,76
60	-	0,50	0,71

Le facteur de correction globale est égal au produit des coefficients déterminés ci-dessus.

$$= k1 * k2 * k3 \quad (\text{II.9})$$

Le courant admissible corrigé peut être calculé par :

$$I'_z = I_z / K \quad (\text{II.10})$$

La section de la canalisation est indiquée dans le tableau suivant par lecture directe :

- ✓ Du choix de la colonne est réalisé à partir du mode de pose (lettre de sélection) et des caractéristiques du câble (isolant, nombre de conducteurs chargés).
- ✓ Du choix de la ligne est réalisé à partir de la valeur  $\geq I'_z$  dans la colonne du tableau correspondant à la nature de l'âme du conducteur (cuivre ou aluminium).

**Tableau II.9 :** Sections des conducteurs pour les canalisations non enterrées

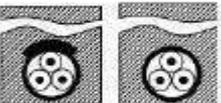
		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
lettre de sélection	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
	E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
	F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
section cuivre (mm <sup>2</sup> )	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
400					656	754	825		940	
500					749	868	946		1 083	
630					855	1 005	1 088		1 254	
section aluminium (mm <sup>2</sup> )	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	58	62	67	
	16	53	59	61	66	73	77	84	91	
	25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	263	280	300	337
	150		227	245	261	283	304	324	346	389
	185		259	280	298	323	347	371	397	447
	240		305	330	352	382	409	439	470	530
	300		351	381	406	440	471	508	543	613
	400					526	600	663		740
500					610	694	770		856	
630					711	808	899		996	

**II.5.2.2. Cas des canalisations enterrées**

Pour obtenir la section des conducteurs, il faut pour la lettre de sélection « D » qui correspond aux câbles enterrés : détermine un coefficient K qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation [6].

- **Facteur de correction K4** : ce facteur prend en compte le mode de pose.

**Tableau II.10** : Le facteur de correction K4

type de pose des câbles (1) enterrés	espace entre conduits ou circuits		nombre de conduits ou circuits					
	1	2	3	4	5	6		
pose dans des conduits, des fourreaux ou des conduits profilés enterrés	Appliquer d'abord un coefficient général de 0,80 puis tenir compte l'espace entre circuits et du nombre de conducteurs							
	■ seul	1						
	■ jointif		0,87	0,77	0,72	0,68	0,65	
	■ 0,25 m		0,93	0,87	0,84	0,81	0,79	
	■ 0,5 m		0,95	0,91	0,89	0,87	0,86	
	■ 1,0 m		0,97	0,95	0,94	0,93	0,93	
posés directement dans le sol avec ou sans protection	Appliquer directement les coefficients ci-dessous							
	■ seul	1						
	■ jointif		0,76	0,64	0,57	0,52	0,49	
	■ un diamètre		0,79	0,67	0,61	0,56	0,53	
	■ 0,25 m		0,84	0,74	0,69	0,65	0,60	
	■ 0,5 m		0,88	0,79	0,75	0,71	0,69	
	■ 1,0 m		0,92	0,85	0,82	0,80	0,78	

(1) Câbles mono ou multiconducteurs.

- **Facteur de correction K5** : ce facteur prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés coté à coté.

**Tableau II.11** : Facteur de correction K5

influence mutuelle des circuits dans un même conduit	disposition des câbles jointifs	nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16
	enterrés	1	0,71	0,58	0,50	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,29	0,25

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, multiplier K5 par :

- 0,80 pour 2 couches
- 0,73 pour 3 couches
- 0,70 pour 4 ou 5 couches
- 0,68 pour 6 ou 8 couches
- 0,66 pour 9 couches et plus

- **Facteur de correction K6** : ce facteur prend en compte l'influence de la nature du sol.

**Tableau II.12** : Le Facteur de correction K6

influence de la nature du sol	nature du sol	
	■ terrain très humide	1,21
■ humide	1,13	
■ normal	1,05	
■ sec	1	
■ très sec	0,86	

- **Facteur de correction K7** : ce facteur prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.

Tableau II.13 : Le facteur de correction K7

température du sol (°C)	isolation polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) éthylène, propylène (EPR)
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65

Le coefficient K s'obtient en multipliant les facteurs de correction K4, K5, K6 et K7 :

$$= K4 * K5 * K6 * K7 \quad (\text{II.11})$$

Le courant admissible peut être déterminé par :

$$I'_z = I_z / K \quad (\text{II.12})$$

La section de la canalisation est indiquée dans le tableau suivant par lecture directe :

- Du choix de la colonne est réalisé à partir des caractéristiques du câble (isolant, nombre de conducteurs chargés).
- Du choix de la ligne est réalisé à partir de la valeur  $\geq I'_z$  dans la colonne du tableau correspondant à la nature de l'âme du conducteur (cuivre ou aluminium).

**Tableau II.14** : Sections des conducteurs pour les canalisations enterrées

		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)			
		caoutchouc ou PVC		butyle ou PR ou éthylène PR	
		3 conducteurs	2 conducteurs	3 conducteurs	2 conducteurs
section cuivre (mm <sup>2</sup> )	1,5	26	32	31	37
	2,5	34	42	41	48
	4	44	54	53	63
	6	56	67	66	80
	10	74	90	87	104
	16	96	116	113	136
	25	123	148	144	173
	35	147	178	174	208
	50	174	211	206	247
	70	216	261	254	304
	95	256	308	301	360
	120	290	351	343	410
	150	328	397	387	463
	185	367	445	434	518
	240	424	514	501	598
300	480	581	565	677	
section aluminium (mm <sup>2</sup> )	10	57	68	67	80
	16	74	88	87	104
	25	94	114	111	133
	35	114	137	134	160
	50	134	161	160	188
	70	167	200	197	233
	95	197	237	234	275
	120	224	270	266	314
	150	254	304	300	359
	185	285	343	337	398
240	328	396	388	458	
300	371	447	440	520	

### II.5.3. Section du conducteur de protection et du neutre

- **Section du conducteur de protection**

La section du conducteur de protection est définie en fonction de la section de la phase (pour le même métal conducteur) comme suit :

**Tableau II.15** : Section du conducteur de protection

Section du conducteur de phase $S_{Ph}$	Section du conducteur de protection $S_{Pe}$
$S_{Ph} \leq 16 \text{ mm}^2$	$S_{Pe} = S_{Ph}$
$16 \text{ mm}^2 < S_{Ph} \leq 35 \text{ mm}^2$	$S_{Pe} = 16 \text{ mm}^2$
$S_{Ph} > 35 \text{ mm}^2$	$S_{Pe} = S_{Ph} \text{ mm}^2$

- Dans le schéma TT, la section du conducteur de protection peut être limitée à :
  - o 25 mm<sup>2</sup> pour le cuivre
  - o 35 mm<sup>2</sup> pour l'aluminium

#### ✚ Section des conducteurs PEN

Dans le cas du schéma TN-C, le conducteur de protection assure également la fonction du neutre. Dans ce cas, la section du PEN doit être au moins égale à la plus grande valeur résultant des contraintes suivantes :

- o 10 mm<sup>2</sup> pour le cuivre
- o 16 mm<sup>2</sup> pour l'aluminium

#### ✚ Section du conducteur neutre

Le conducteur de neutre doit avoir la même section que les conducteurs de phase les cas suivants :

- Circuit monophasé
- Circuit triphasé ayant des sections de phase inférieures ou égale à 16 mm<sup>2</sup> pour le cuivre ou 25 mm<sup>2</sup> pour l'aluminium, la section du neutre peut être inférieure à celle des phases à conditions de respecter simultanément les conditions suivantes :
  - o Le conducteur neutre est protégé contre les surintensités par fusible ou un réglage du déclencheur du disjoncteur adapté à sa section.
  - o La section du conducteur neutre est au moins égale à 16 mm<sup>2</sup> pour le cuivre ou 25 mm<sup>2</sup> pour l'aluminium.

### II.5.4. Vérification de la chute de tension

Le bon fonctionnement des récepteurs étant conditionné par la valeur de la tension à ses bornes, il est nécessaire de limiter la chute de tension.

#### ➤ Détermination de la chute de tension

**Tableau II.16 :** Relations pour la détermination de la chute de tension

Circuit	Chute de tension en volt	En %
<b>Monophasé : entre phase et neutre</b>	$\Delta U = 2 \cdot Ib (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$100 \cdot \Delta U / U_n$
<b>Biphasé : entre phase et phase</b>	$\Delta U = 2 \cdot Ib (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$100 \cdot \Delta U / U_n$
<b>Triphasé équilibré : avec ou sans neutre</b>	$\Delta U = \sqrt{3} \cdot Ib (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$100 \cdot \Delta U / U_n$

Avec :

$$R : \text{Résistance du conducteur } R = \frac{\rho L}{S}$$

S : Section du conducteur

L : Longueur du conducteur

$\rho$  : Résistivité du conducteur ( $\rho = 0.027 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  pour Cu,  $\rho = 0.043 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  pour Al).

X : Réactance d'un conducteur

**Tableau II. 17** : Réactance linéique des conducteurs en fonction du type de câbles et son mode de pose

Câbles et mode poses	Réactance linéique [ $\Omega/\text{km}$ ]
Câbles multiconducteurs ou câbles mono conducteurs en trèfle	0.08
Câbles mono conducteurs jointifs en nappe	0.09
ou câbles mono conducteurs séparés de plus d'un diamètre	0.13

#### ➤ Normalisation

La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs suivantes :

**Tableau II.18** : Chutes de tension admissibles dans les installations BT

Chutes de tension admissibles		
Type d'alimentation	Eclairage	Moteurs
Alimentation par un poste DP	3%	5%
Alimentation par un poste de livraison	6%	8%

#### ➤ Circuits alimentant des moteurs

La chute de tension est calculée en remplaçant le courant d'emploi  $I_b$  par le courant de démarrage du moteur. La norme NF C 15-100 préconise que la chute de tension, en tenant compte de tous les moteurs pouvant démarrer simultanément, soit inférieure à 15 %, en limitant à 10 %.

### II.5.5. Longueurs maximales des câbles pour la protection contre les contacts indirects

Pour les schémas TN et IT, le courant de défaut doit être éliminé dans un temps compatible avec la protection des personnes. Il est possible de déterminer un temps de coupure maximal en fonction de la tension nominale de l'installation.

**Tableau II.19 :** Temps de coupure maximaux pour le schéma IT (deuxième défaut)

Tension nominale alternative ( $V_n/U_n$ )	Temps de coupure (Secondes)	
	Neutre non distribué	Neutre distribué
127/220	0.8	5
220/380, 230/400	0.4	0.8
400/690	0.2	0.4
580/1000	0.1	0.2

**Tableau II.20 :** Temps de coupure maximaux pour le schéma TN

Tension nominale alternative ( $V_n/U_n$ )	Temps de coupure (secondes)
127/220	0.8
220/380, 230/400	0.4
400/690	0.2
580/1000	0.1

En schéma TT, la protection est en général assurée par des dispositifs à courant différentiel résiduel dont le réglage doit satisfaire la condition suivante :

$$R * I_A \leq 50 V \quad (\text{II.13})$$

$R_A$  : Résistance de la prise de terre des masses

$I_A$  : Courant différentiel résiduel assigné du disjoncteur

#### II.5.5.1. Protection par disjoncteur

Pour les schémas TN et IT, le seuil de déclenchement magnétique du disjoncteur doit être inférieur au courant de court-circuit minimal. De plus, la temporisation éventuelle du disjoncteur doit être inférieure au temps de coupure maximal défini dans les tableaux II.4 et II.5.

Pour un disjoncteur et une section de conducteur donnés, il existe donc une longueur maximale du circuit à ne pas dépasser afin de respecter les contraintes concernant la protection des personnes contre les contacts indirects.

Pour des sections inférieures à  $150 \text{ mm}^2$ , l'influence de la réactance des conducteurs peut être négligée.

Pour les fortes sections, on tiendra compte de l'influence de la réactance en divisant l'inductance maximale par :

- 1.15 pour une section de  $150 \text{ mm}^2$
- 1.20 pour une section de  $185 \text{ mm}^2$
- 1.25 pour une section de  $240 \text{ mm}^2$
- 1.30 pour une section de  $300 \text{ mm}^2$

#### • Schéma TN

Pour les schémas TN, la longueur maximale d'un circuit en schéma TN est :

$$L_{max} = \frac{0.8 * V_n * S_{ph}}{\rho * (1+m) * I_m} \quad (\text{II.14})$$

Avec :

$L_{max}$  : longueur maximale en mètres

$V_n$  : tension simple en volts

$S_{ph}$  : section des phases en  $\text{mm}^2$

$I_m$  : courant de fonctionnement du déclenchement magnétique du disjoncteur

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{pe}} \quad (\text{II.15})$$

$S_{ph}$  : section des phases

$S_{pe}$  : section du conducteur de protection

#### • Schéma IT

Pour les schémas It, la longueur maximale d'un circuit en schéma IT est :

- Si le conducteur neutre est distribué :

$$I_{max} = \frac{0.8 * V_n * S_1}{2 * \rho * (1+m) * I_m} \quad (\text{II.16})$$

$S_1 = S_{ph}$  : si le départ considéré ne comporte pas de neutre

$S_1 = S_{neutre}$  : si le départ considéré comporte un neutre

- Si le conducteur neutre n'est pas distribué :

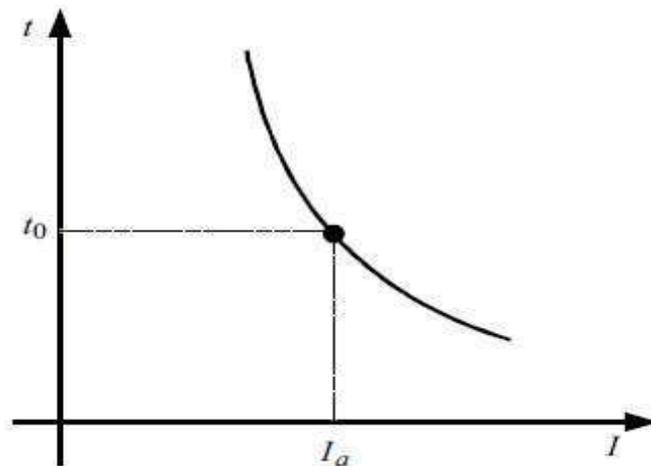
$$I_{\max} = \frac{0.8 * \sqrt{3} * V_n * S_{ph}}{2 * \rho * (1+m) * I_m} \quad (\text{II.17})$$

- **Schéma TT**

Aucune condition sur la longueur de la canalisation n'est imposée car la protection des personnes est réalisée par le dispositif différentiel résiduel.

### II.5.5.2. Protection par fusible

A partir de la courbe de fusion, on détermine le courant  $I_a$  assurant la fusion du fusible dans le temps  $t_0$  spécifié dans les tableaux II.4 et II.5. On calcule alors la longueur maximale de la canalisation de la même façon que pour le disjoncteur en remplaçant  $I_m$  par  $I_a$ .



**Figure II.2 :** Courbe de fusion d'un fusible

### II.5.6. Vérification des contraintes thermiques des conducteurs

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 :

$$S_{cc} = I_{cc} * \sqrt{t_k / K} \quad (\text{II.18})$$

$$S_c < S_{cal} \quad (\text{II.19})$$

Où :

$t_k$  : temps de coupure du dispositif de protection en seconde

$I_{cc}$  : courant de court-circuit

$S_{cc}$  : section de court-section

La valeur de K dépend du matériau de l'âme et de la nature de l'isolant :

**Tableau II.21** : Valeurs du coefficient K

<b>Isolant</b>	<b>PVC</b>	<b>PR</b>
<b>Cuivre</b>	115	135
<b>Aluminium</b>	74	87

## II.6. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation de la méthodologie de choix et calcul des sections des câbles d'une installation électrique industrielle tout en respectant les conditions d'exploitation et de protection contre tous les surintensités et chocs électriques.

Dans le chapitre qui suit, nous entamerons l'étude d'une installation spécialisée dans la fabrication mécanique. Pour ce la, nous avons implémenté un programme sous Matlab qui permet de calculer les sections adéquats des câbles tout en respectant que les chutes de tension soient dans les normes.

# **Chapitre III :**

## Programmation et application

### III.1. Introduction

Dans le chapitre précédent, après avoir la méthodologie de dimensionnement des sections des câbles d'une installation électrique industrielle, nous passerons dans ce qui suit à détaillé les étapes utilisés pour l'implémentation d'un programme interactif sous Matlab permettant d'obtenir ces sections pour n'importe quelle usine en partant d'une connaissance préalable du plan du site, du cahier de charge, ..., etc.

### III.2. Description de l'usine

L'usine choisie est spécialisée dans la fabrication mécanique et l'usinage des pièces de haute précision. Elle est d'une superficie de  $34000\text{m}^2$  ( $200\text{m} \times 170\text{m}$ ), et comprend :

- ✓ Un hangar (atelier) de  $140\text{m}$  de longueur et de  $80\text{m}$  de largeur,
- ✓ Une administration de  $20\text{m}$  de longueur et de  $20\text{m}$  de largeur,
- ✓ Un parking de  $80\text{m}$  de longueur et de  $5\text{m}$  de largeur. Le reste est réservé aux espaces verts et au trafic des produits et véhicules.

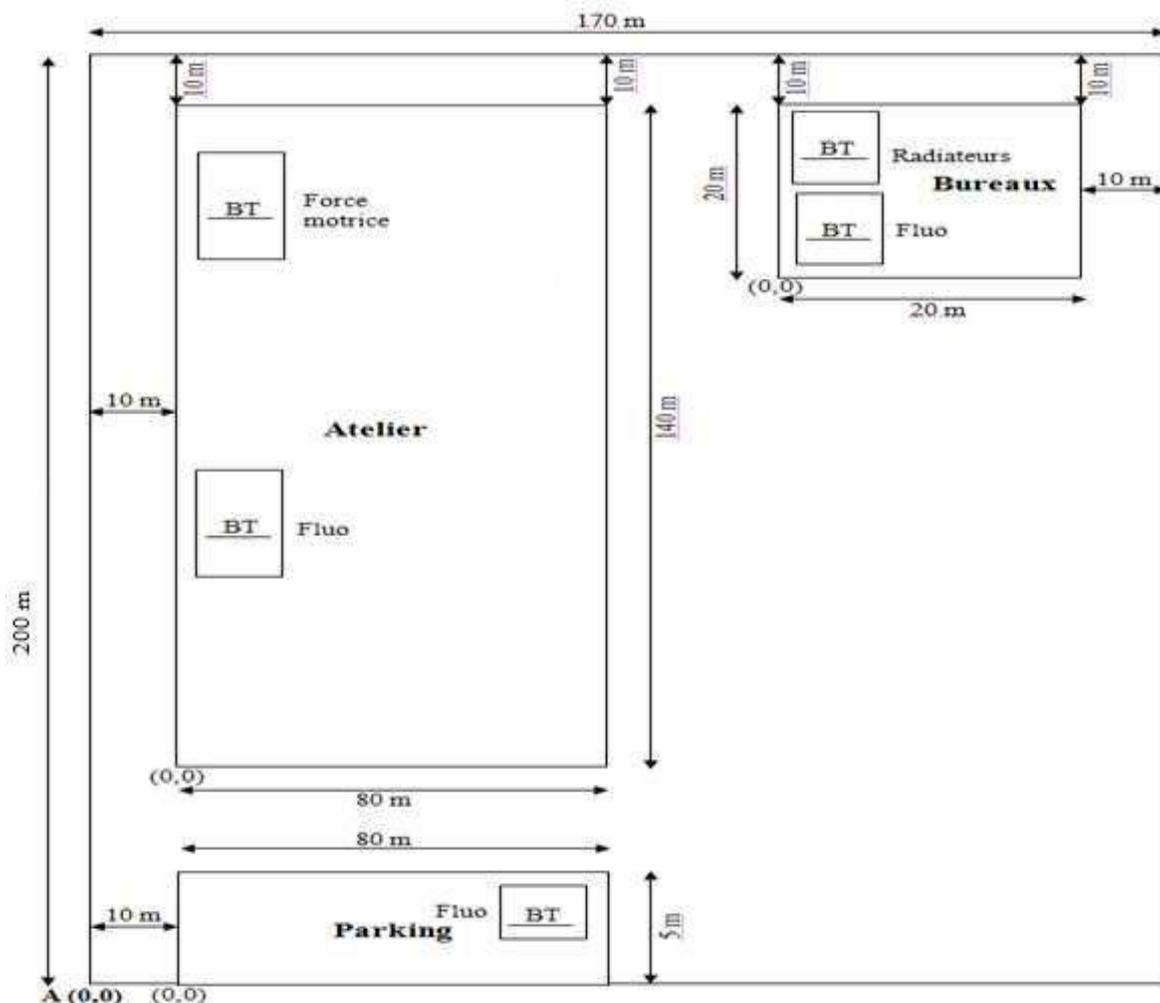


Figure III.1 : Plan de l'usine

L'installation de l'usine est alimentée par un réseau électrique (30kV – 50Hz) par l'intermédiaire de 3 câbles souterrains unipolaires et en aluminium d'une surface de 147mm<sup>2</sup>. Un poste de livraison HTA/BT garantira l'alimentation BT en 380 V et en 220 V.

La distribution générale est assurée à partir d'un TGBT situé à l'intérieur de l'atelier. La liaison est réalisée par l'intermédiaire de 3 câbles mono-conducteurs en cuivre, isolé au PR souterrain, posé sous fourreaux sur un sol très humide sous une température de 15 °C.

- **Cahier de charge**

- \* **Atelier**

- Forces motrices**

**Tableau III.1 : Forces motrices de l'atelier**

Récepteur	Nombre	Pu [kW]	$\eta$	$\cos \varphi$	ku
Tours	4	3	0.8	0.8	0.7
Fraiseuses	3	3	0.82	0.85	0.7
Raboteuses	2	5	0.85	0.83	0.7
Perceuses	2	2	0.8	0.7	0.7
Scie	1	5	0.81	0.84	0.7
Moteurs	6	4	0.75	0.8	1

Alimentation des forces motrices par 3 câbles mono-conducteurs en cuivre, isolé au PVC, posé sur chemin de câbles perforés, posé jointivement avec 6 circuits sur des tablettes verticales sous une température de 35 °C.

- Eclairage**

**Tableau III.2 : Eclairage de l'atelier**

Récepteur	Nombre	Pu [kW]	$\eta$	$\cos \varphi$	ku
Lampes fluorescentes	50	0.20	1	0.86	1

Alimentation de l'éclairage par 3 câbles mono-conducteurs en cuivre, isolé au RP, posé sur chemin de câbles perforés, posés jointivement avec 2 circuits sur des corbeaux sous une température 50 °C.

\* **Bureaux****Chauffage****Tableau III.3 : Chauffage des bureaux**

Récepteur	Nombre	Pu [kW]	$\eta$	$\cos \varphi$	ku
Radiateur	12	2	0.85	0.95	0.4

Alimentation du chauffage par 2 câbles mono-conducteurs en cuivre, isolé au PVC, posé sur chemin de câbles perforés, posé jointivement avec 5 circuits sur simple couche sur des tablettes horizontales sous une température 30 °C.

**Eclairage****Tableau III.4 : Eclairage des bureaux**

Récepteur	Nombre	Pu [kW]	$\eta$	$\cos \varphi$	ku
Lampes fluorescentes	24	0.2	1	0.86	1

Alimentation de l'éclairage par 2 câbles multiconducteurs en cuivre, isolé au PR, sur chemin de câbles perforé, posé jointivement avec 12 circuits sur simple couche sur des échelles à câbles sous une température de 30 °C.

\* **Parking****Eclairage****Tableau III.5 : Eclairage du parking**

Récepteur	Nombre	Pu [kW]	$\eta$	$\cos \varphi$	ku
Lampes fluorescentes	40	0.2	1	0.86	1

Alimentation de l'éclairage par 2 câbles mono-conducteurs en cuivre, isolé au PR souterrain, posés sous fourreaux posé jointivement avec 2 circuits sur un sol humide sous une température de 20 °C.

### III.3. Algorithmes et organigrammes

Afin de faciliter la complexité des calculs, nous avons élaboré un programme qui permet de calculer les sections des câbles de n'importe quelle installation électrique quel que soit son cahier de charge. Pour y arriver, nous avons utilisé les algorithmes suivants :

- **Algorithme 01 :** Afin de calculer les courants d'emploi pour chaque atelier et toute l'installation, dimensionnement du transformateur principal et le barycentre électrique dans le but de calculer les longueurs optimales ce qui nous aide à minimiser les pertes et les chutes de tension. Pour ce la, vous devez :
- Entrer le nombre d'ateliers,
  - Entrer le nombre des charges dans chaque atelier,
  - Choisir le type de charge dans chaque atelier (monophasée ou triphasée),
  - Entrer la puissance utile de chaque charge en Watts,
  - Entrer le facteur de puissance de chaque charge,
  - Entrer le rendement de chaque charge,
  - Entrer le facteur d'utilisation de chaque charge,
  - Entrer les coordonnées de chaque atelier relatifs au point (0,0) de l'usine selon le repère (o, x, y).

Ces opérations se répètent jusqu'à atteindre le nombre d'ateliers.

- **Organigramme 01 :** En adoptant l'algorithme 01, nous obtenons l'organigramme indiqué dans la figure III.2.

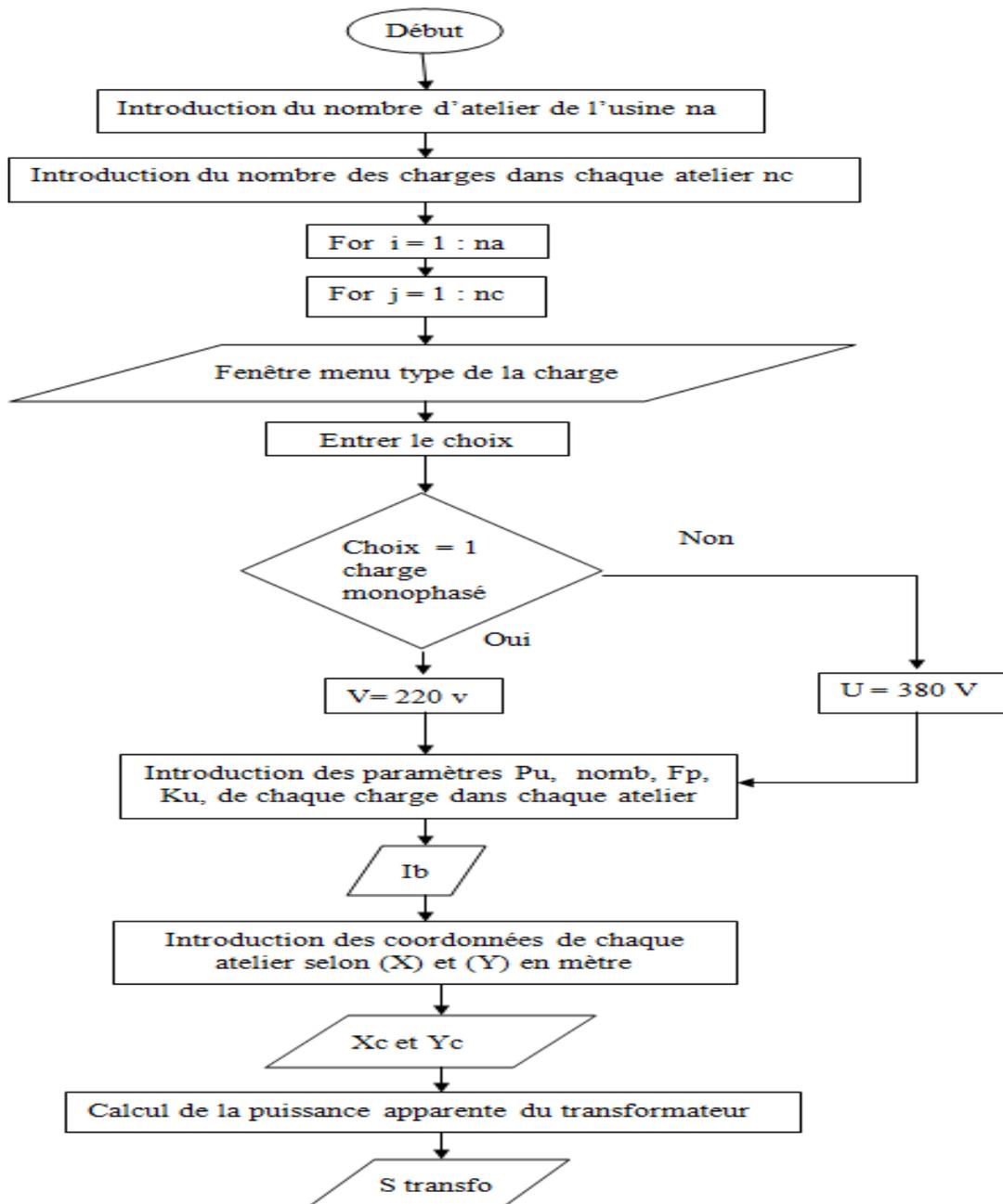
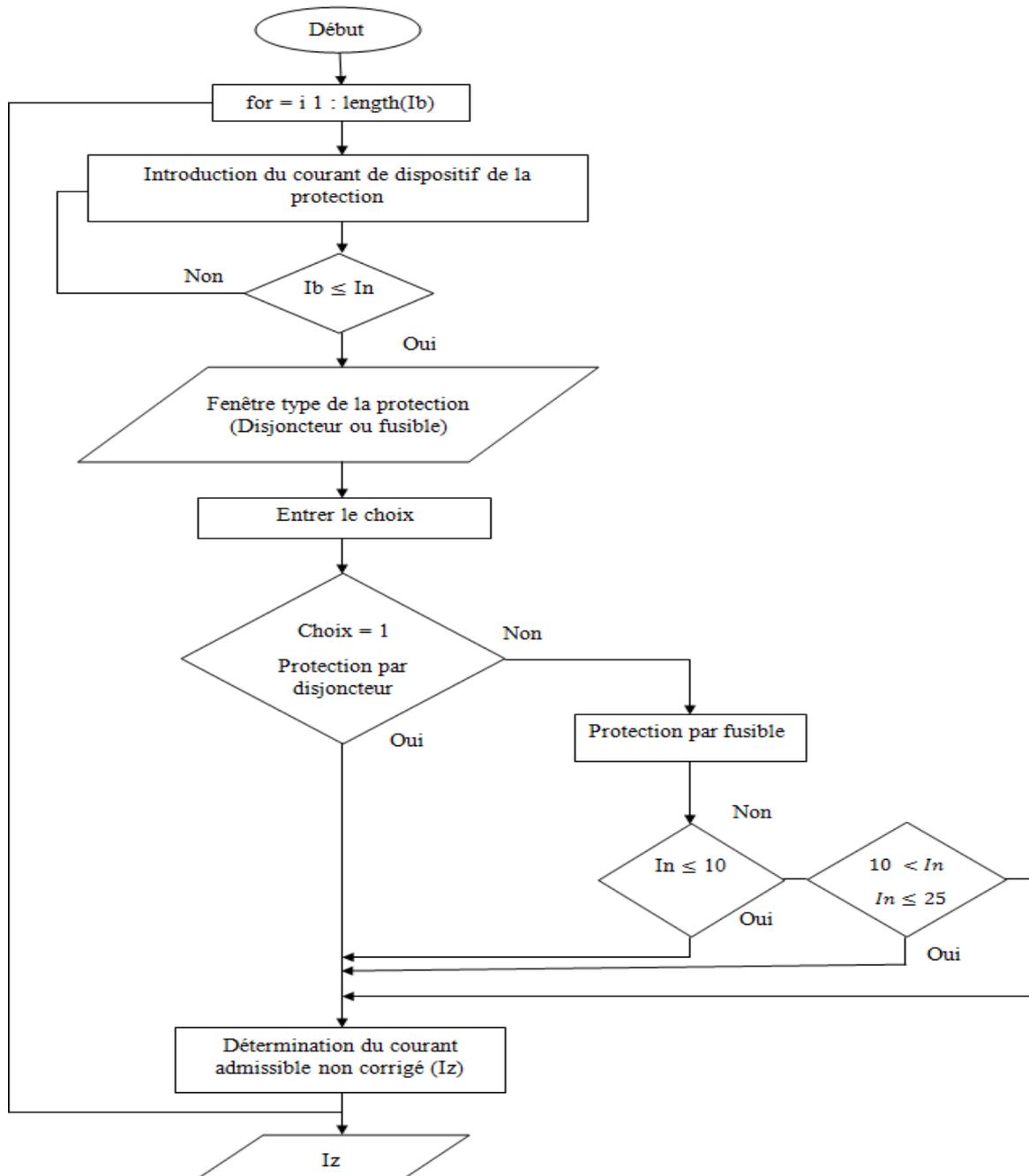


Figure III.2 : Calcul des courants d'emploi

- **Algorithme 02 :** Cet algorithme est opté pour la détermination des intensités assignée des dispositifs de protection ( $I_n$ ) et le calcul des courants admissibles non corrigés ( $I_z$ ). Pour ce la, vous devez suivre les étapes suivantes :
  - Entrez l'intensité assignée ( $I_n$ ) du dispositif de protection,
  - Choisissez le dispositif de protection (par disjoncteur ou bien par fusible).
- **Organigramme 02 :** En se basant sur l'algorithme 02, nous aboutissons à l'organigramme montré dans la figure III.3.



**Figure III.3 :** Détermination des courants admissibles non corrigés

- ✓ **Algorithme 03 :** Cet Algorithme est destiné au calcul des courants admissibles corrigés en fonction des conditions extérieures de l'installation. Pour ce la, vous devez :
  - Choisir le type des canalisations (enterrées ou non-enterrées),
  - Choisir le mode de pose,
  - Choisir le type d'isolation.
- ✓ **Organigramme 03 :** En optant l'algorithme 03, nous obtenons à l'organigramme qui suit.

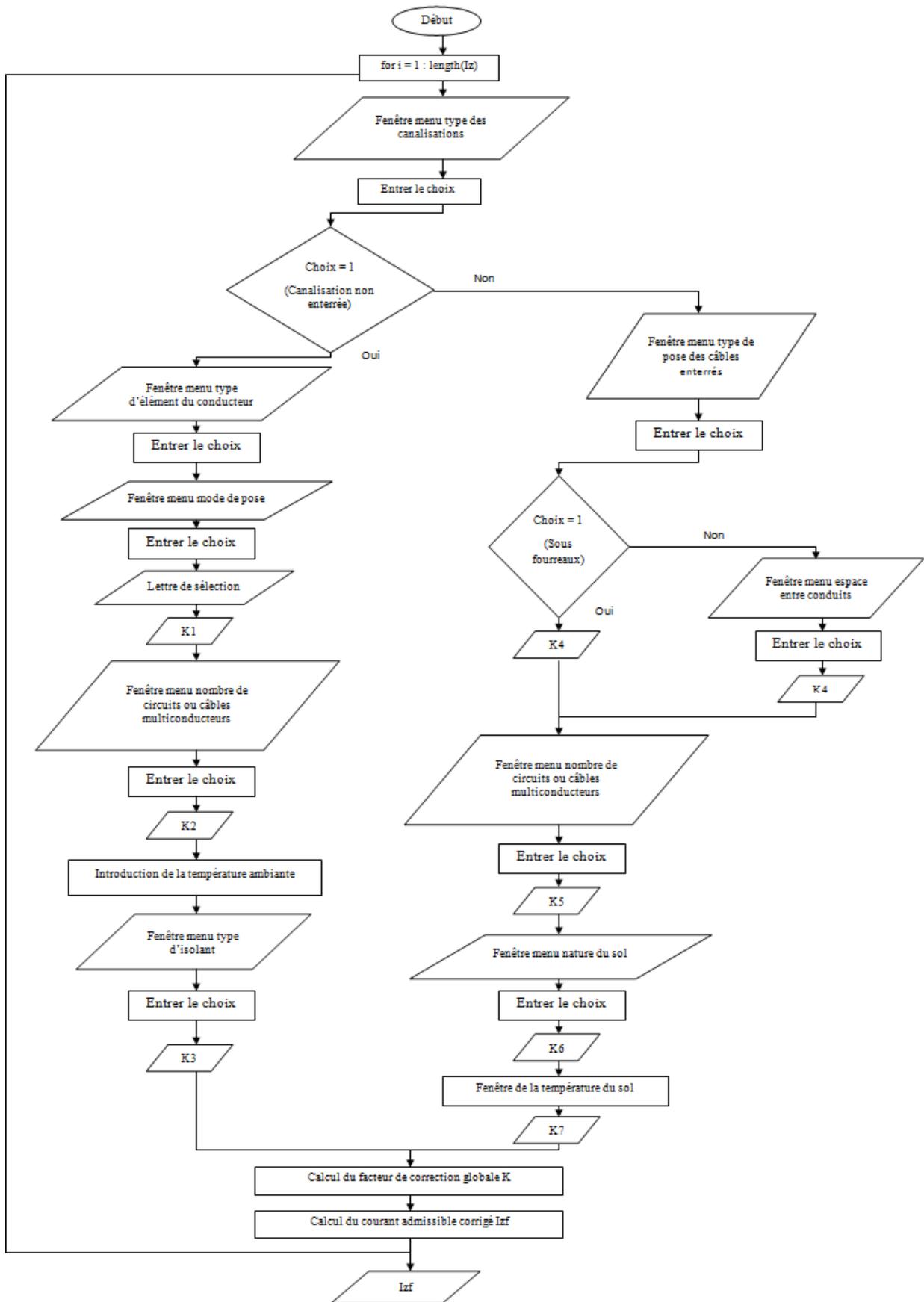


Figure III.4 : Calcul des courants admissibles corrigés

- **Algorithme 04 :** C'est un algorithme qui permet de déterminer la section des câbles. Pour cela, vous devez suivre les étapes suivantes :
  - Choisissez le type des canalisations (non-enterrées ou enterrées),
  - Choisissez la matière du conducteur,
  - Choisissez le type d'isolant.
- **Organigramme 04 :** En utilisant l'algorithme 04, nous aboutissons à l'organigramme suivant :

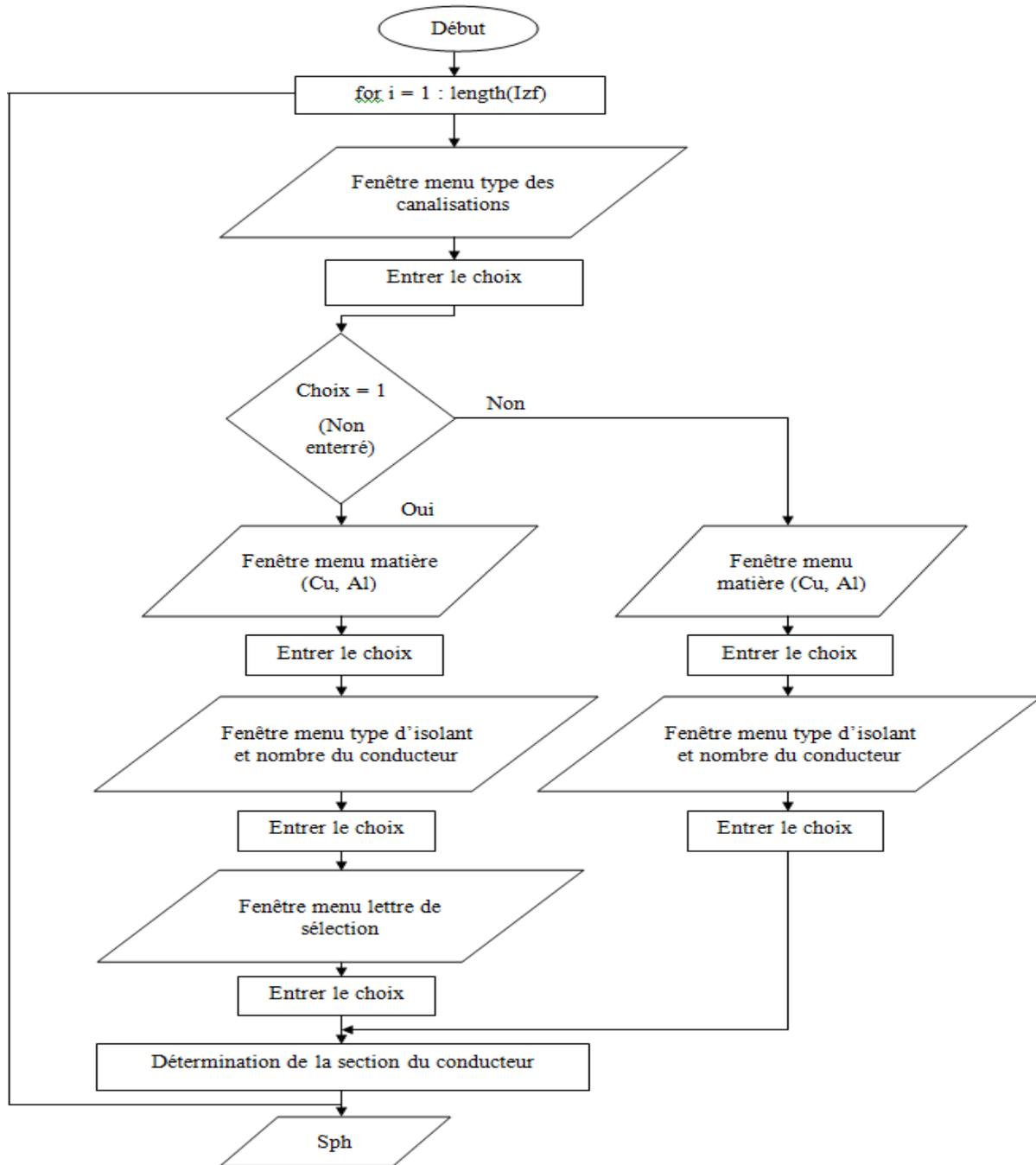


Figure III.5 : Détermination de la section du conducteur

**Algorithme 05 :** Cet algorithme permet de calculer la chute de tension dans le circuit en fonction de sa longueur. Pour ce la, vous devez :

- Entrer la valeur du courant d'emploi,
- Entrer la valeur du facteur de puissance,
- Entrer la valeur de la section du conducteur,
- Entrer la longueur du circuit,
- Choisir le type d'alimentation,
- Choisir la matière du conducteur.

**Organigramme 05 :** En se basant sur l'algorithme 05, nous obtenons l'organigramme suivant :

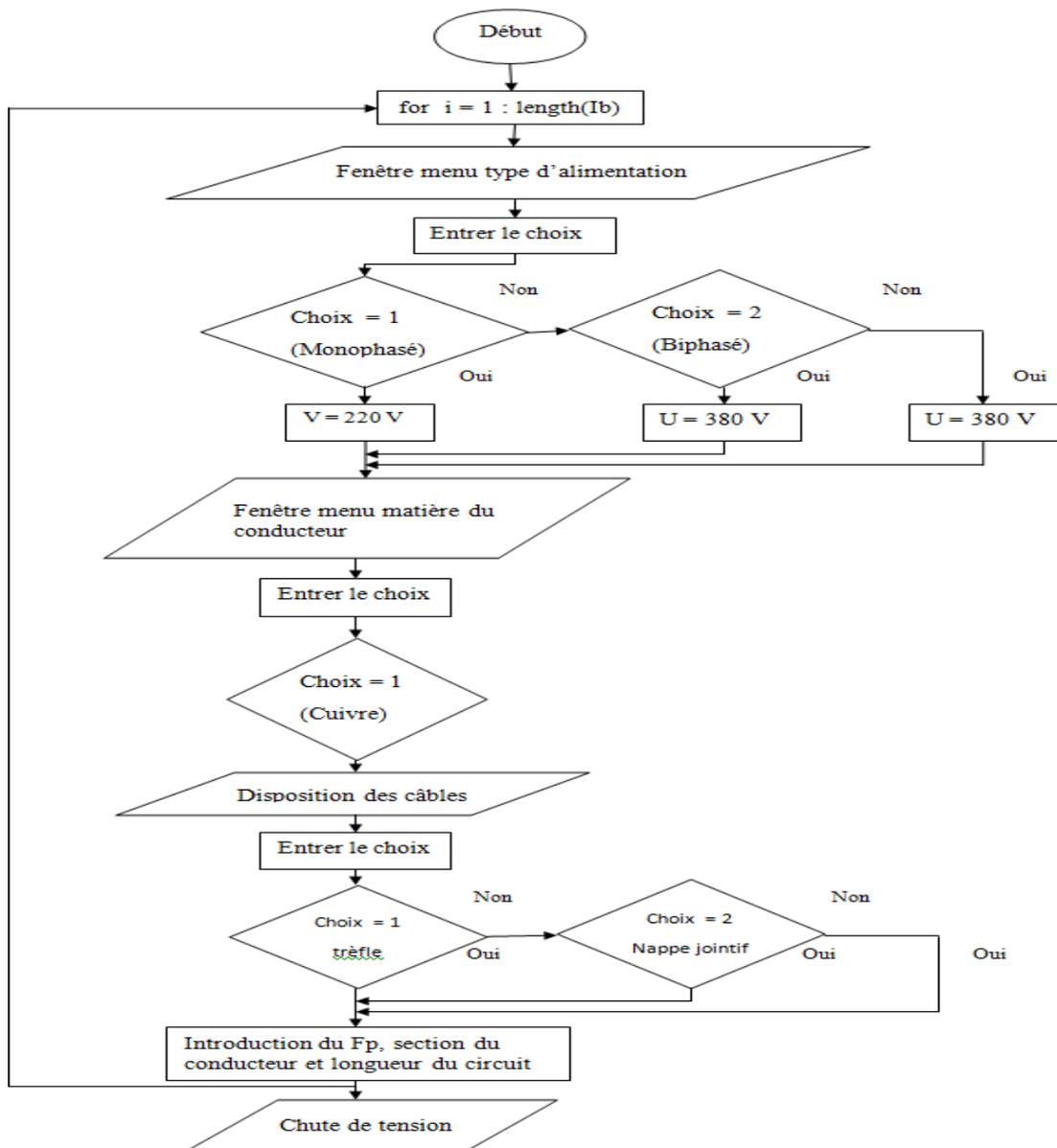


Figure III.6 : Calcul de la chute de tension

### III.4. Programmation et application

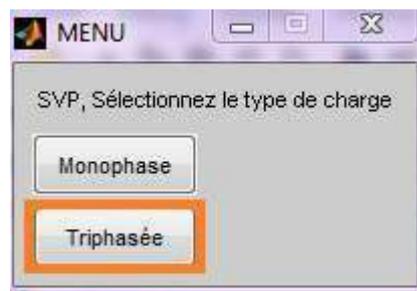
La programmation est la tâche finale à réaliser. Pour cela, nous avons créé un programme Matlab sous forme d'un logiciel ; c'est-à-dire, utiliser la technique des fenêtres pour que l'exécution soit :

1. Simple (lire le contenu des fenêtres et faire les choix adéquats).
2. Fiable pour n'importe quel utilisateur peut l'exécuter.
3. Esthétique (donner une vivacité au programme).

#### III.4.1. Evolution du programme pour l'algorithme 01

- **Calcul des courants d'emploi**

- Dans l'usine, il y a 5 locaux, donc :  $n_a = 5$ .
- Pour le premier local (atelier), nous avons 7 charges, donc :  $n_c = 7$ .
- Pour la première charge (tours), un click sur le bouton : « charge triphasé » comme indiqué dans la figure ci-dessous.



**Figure III.7 :** Fenêtre pour le choix du type de la charge

- Le nombre de tours dans l'atelier est 4.
- La puissance utile d'un seul tour est de : 3000 W.
- Le facteur de puissance d'un seul tour est de : 0.8.
- Le rendement d'un seul tour est de : 0.8.
- Le facteur d'utilisation est de : 0.7.

Quand il sera terminé avec la première charge, la même opération sera répétée avec les charges restantes et pour chaque local. Alors, le courant d'emploi ( $I_b$ ) pour chaque local sera établi.

Les valeurs du courant d'emploi total (entre le transformateur d'alimentation et le TGBT) et pour les 5 locaux sont résumées dans le tableau III.7.

### ❖ Dimensionnement de la puissance du transformateur d'alimentation

En utilisant la valeur du courant d'emploi totale, nous obtenons une puissance apparente du transformateur d'alimentation de l'usine :  $S_{\text{transfo}} = 216.94 \text{ KVA}$ .

*Nous prenons :  $S_{\text{transfo}} = 250 \text{ KVA}$  (puissance apparente normalisée).*

### ❖ Calcul du barycentre de l'usine

Pour calculer le barycentre de l'usine, il faut déterminer le barycentre de chaque local. Cette opération nécessite la connaissance des coordonnées de chaque charge ce qui est très difficile. Pour ce la, nous avons proposé la solution suivante : après avoir supposé que le barycentre de chaque local est le point (0, 0), nous déterminons les coordonnées de chaque local relatif au point A (0, 0) de l'usine. En connaissant les puissances de chaque atelier, nous pouvons, ensuite, appliquer les formules suivantes :

$$X_i = \frac{\sum^n X_i * P_i}{P_i} \quad (\text{III.1})$$

$$Y_i = \frac{\sum^n Y_i * P_i}{P_i} \quad (\text{III.2})$$

En introduisant les coordonnées de chaque ateliers par rapport aux axes x et y, nous obtenons les résultats suivantes :

**Tableaux III.6 :** Coordonnées des ateliers de l'usine selon les axes (x, y)

Local	$X_i$	$Y_i$	Puissance active [W]
Atelier (force motrice)	10	50	80913
Atelier (éclairage)	10	50	12500
Bureaux (chauffage)	140	170	28235
Bureaux (éclairage)	140	170	6000
Parking (éclairage)	10	0	10000

Le barycentre trouvé est le point : B (42.33 m, 76.21 m). Se trouvant à l'intérieur de l'atelier, il est décalé vers un nouveau point : B1 (89.33, 76.21).

### III.4.2. Evolution du programme pour l'algorithme 02

#### ❖ Calcul des calibres ( $I_n$ ) des disjoncteurs

D'après les courants d'emploi obtenus, les intensités assignés ( $I_n$ ) des disjoncteurs D1, D2, D3, D4, D5, D6 des canalisations C1, C2, C3, C4, C5, C6 (voir figure III.35) sont indiqués dans le tableau III.7.

**Tableau III.7 :** Valeurs des courants d'emploi et calibres des disjoncteurs

Câble	C1	C2	C3	C4	C5	C6
<b><math>I_b</math></b>	124.94	66.07	54.04	31.71	52.85	329.61
<b><math>I_n</math></b>	125	70	63	36	60	350

#### ❖ Calcul du courant admissible ( $I_z$ ) non corrigé

Etant donné que tous les câbles sont protégés par des disjoncteurs, nous cliquons sur le bouton : « disjoncteur ».



**Figure III.8 :** Fenêtre pour le choix du type de protection

### III.4.3. Evolution du programme pour l'algorithme 03

#### ❖ Calcul des courants admissibles dans les câbles en fonction des contraintes extérieures

**1<sup>er</sup> Cas :** cas des canalisations non enterrées (un click sur le bouton : « non enterrées »).

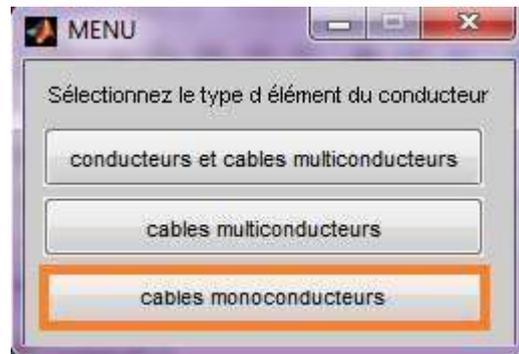


**Figure III.9 :** Fenêtre pour le choix du type de canalisation

**Exemple :** câble de la canalisation C1

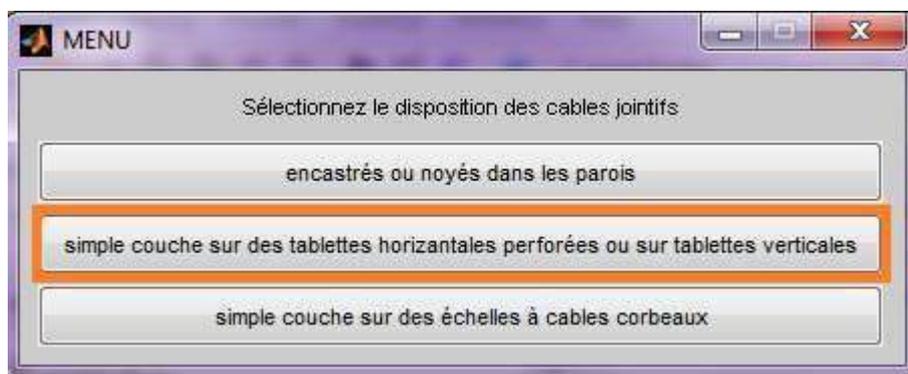
Pour cette canalisation, nous avons : 3 câbles mono-conducteurs en cuivre, isolé au PVC, posé sur chemin de câbles perforés, posé conjointement avec 6 circuits sur des tablettes verticales sous une température de 35 °C. Donc :

- ✓ **Type d'éléments conducteur :** un click sur le bouton : « câbles mono-conducteurs ».



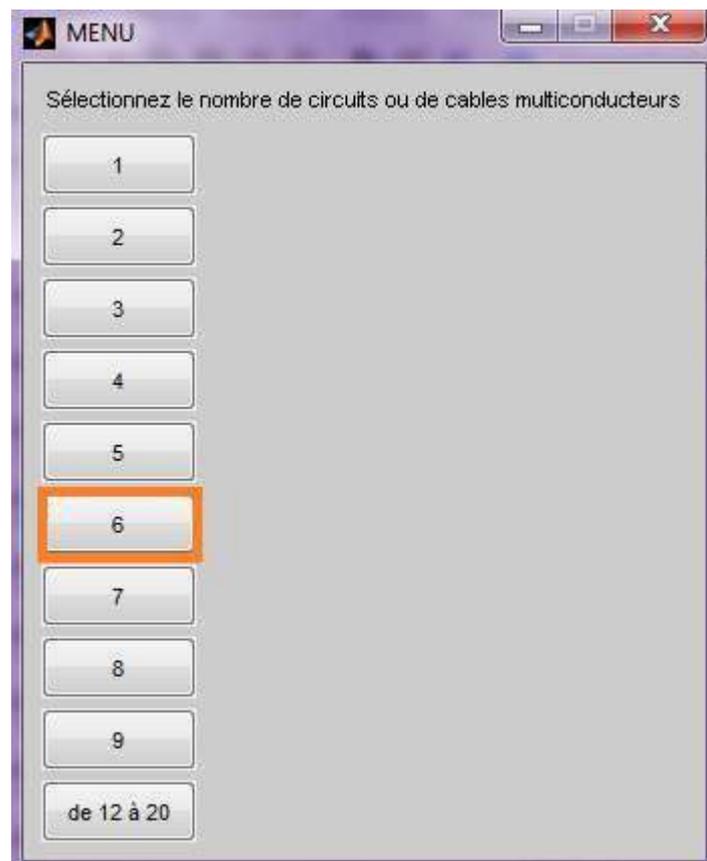
**Figure III.10 :** Fenêtre pour le choix du type d'élément du conducteur

- ✓ **Mode de pose :** posé sur chemin de câbles perforés. Dans ce cas, la lettre de sélection sera 'F'. D'après cette lettre de sélection, le facteur de correction correspondant est :  $K1 = 1$ .
- ✓ **Disposition des câbles jointifs :** un click sur le bouton : « simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur des tablettes verticales ».



**Figure III.11 :** Fenêtre pour le choix de la disposition des câbles jointifs

- ✓ **Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs :** un click sur le bouton : « 6 ».
- ✓ **Nombre de couches :** 1 seule couche.



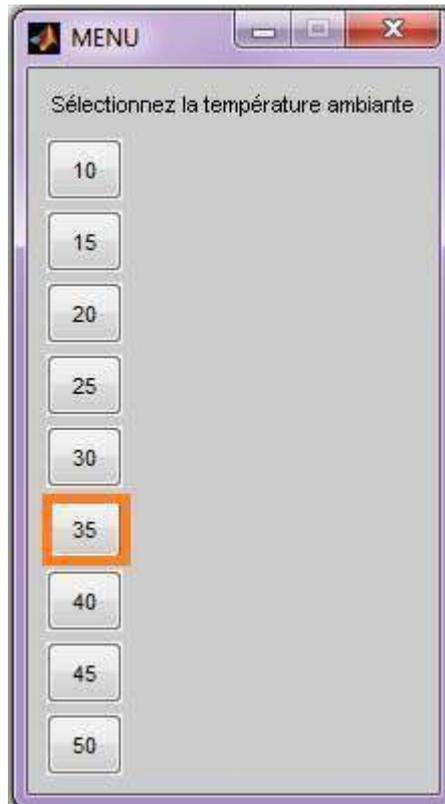
**Figure III.12 :** Fenêtre pour le choix du nombre de circuits ou câbles multiconducteurs



**Figure III.13 :** Fenêtre pour le choix du nombre de couches

Les deux choix précédent nous donnent un facteur de correction  $K_2$  égal à : 0.73.

- ✓ **Température ambiante :**  $T = 35 \text{ }^\circ\text{C}$
- ✓ **Type d'isolant :** un click sur le bouton : « PVC » (selon le choix du client)



**Figure III.14 :** Fenêtre pour le choix de la température ambiante



**Figure III.15 :** Fenêtre pour le choix du type d'isolant

D'après ce choix, le facteur de correction K3 est égal à : 0.94.

- Le facteur de correction totale est :  $K = K1 * K2 * K3 = 0.6862$
- Le courant admissible dans le câble de la canalisation C1 est :

$$I_{zf} = \frac{125}{0.6862} = 182.16 \text{ A}$$

De la même manière, les courants admissibles corrigés dans les câbles (C2, C3 et C4) seront déterminés. Les résultats sont écrits dans le tableau III.8.

**2<sup>ème</sup> Cas :** cas des canalisations enterrées (un click sur le bouton : « enterrées »)



**Figure III.16 :** Fenêtre pour le choix du type de canalisation

**Exemple :** câble de la canalisation C5

Pour cette canalisation, nous avons : 2 câbles mono-conducteurs en cuivre, isolé au PR souterrain, posés sous fourreaux, posé conjointement avec 2 circuits sur un sol humide sous une température de 20 °C.

- **Type de pose des câbles :** un click sur le bouton : « pose sous fourreaux » et puis sur : « seul »



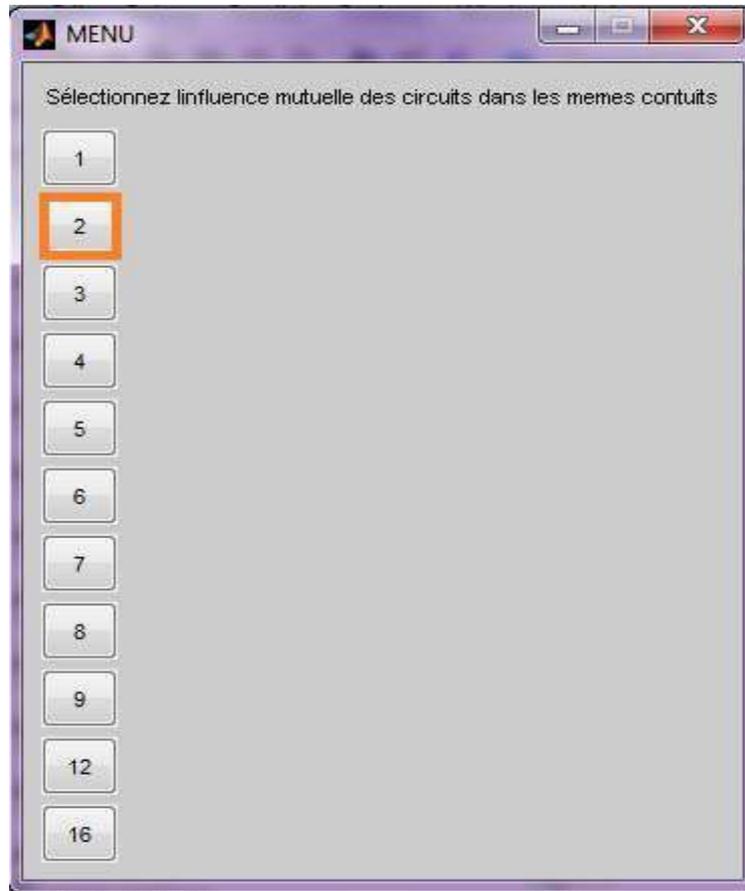
**Figure III.17 :** Fenêtre pour le choix du type de mode de pose des câbles enterrés



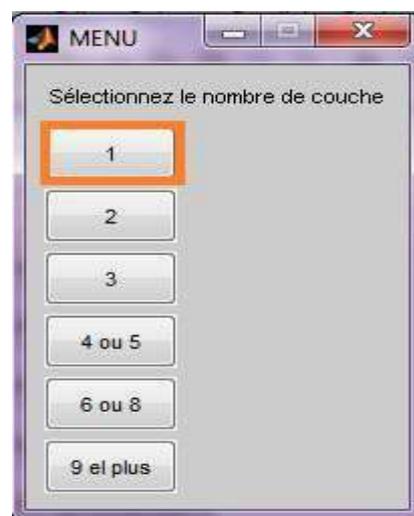
**Figure III.18 :** Fenêtre pour le choix de l'espace entre circuits

D'après ce choix, le facteur de correction  $K_4$  est égal à : 1.

- **Nombre des circuits ou des câbles multiconducteurs** : un click sur le bouton : « 2 ».
- **Nombre de couches** : 1 seule couche



**Figure III.19** : Fenêtre pour le choix du nombre de circuits ou câbles multiconducteurs



**Figure III.20** : Fenêtre pour le choix du nombre de couches

A partir des deux choix précédents, le facteur de correction  $K_5$  est égal à : 0.71

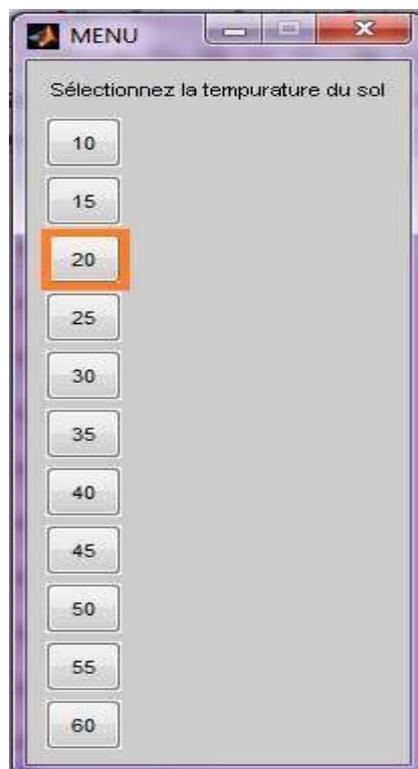
- **Nature du sol** : un click sur le bouton : « humide »



**Figure III.21** : Fenêtre pour le choix de la nature du sol

Un sol humide correspond à un facteur de correction  $K_6$  égal à : 1.13

- **La température du sol** :  $T = 20\text{ °C}$
- **Type d'isolant** : un click sur le bouton : « PR »



**Figure III.22** : Fenêtre pour le choix de la température du sol



**Figure III.23 :** Fenêtre pour le choix du type d'isolant

D'après ce choix, le facteur de correction K7 est égal à : 1

- Le facteur de correction totale  $K = K4 * K5 * K6 * K7 = 0.8023$
- Le courant admissible dans le câble de la canalisation C5 est :

$$I_{zf} = \frac{60}{0.8023} = 74.78 \text{ A}$$

De la même manière, le courant admissible corrigé du câble de la canalisation C6 sera déterminé. Les résultats sont indiqués dans le tableau III.9.

#### III.4.4. Evolution du programme pour l'algorithme 04

Pour les différents départs, les câbles utilisés sont en cuivre.

**1<sup>er</sup> Cas :** cas des canalisations non enterrés

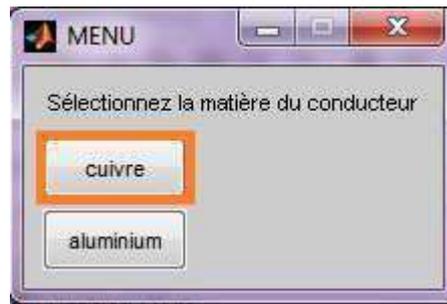
**Exemple :** câble de la canalisation C1

- Un click sur le bouton : « non enterrée »



**Figure III.24 :** Fenêtre pour le choix du type de canalisation

- **Choix de la matière :** un click sur le bouton : « cuivre »



**Figure III.25 :** Fenêtre pour le choix du type de la matière des conducteurs

- **Type d'isolation :** un click sur le bouton : « caoutchouc ou PVC »



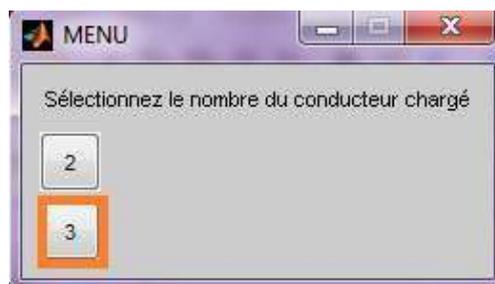
**Figure III.26 :** Fenêtre pour le choix du type d'isolant

- **Lettre de sélection :** un click sur le bouton : « F »



**Figure III.27 :** Fenêtre pour le choix de la lettre de sélection

- **Nombre des conducteurs chargés :** un click sur le bouton : « 3 »



**Figure III.28 :** Fenêtre pour le choix du nombre des conducteurs chargés

En procédant à tous ces étapes, le programme affiche une section  $S_{ph} = 70 \text{ mm}^2$  pour la canalisation C1.

**2<sup>ème</sup> Cas :** cas des canalisations enterrés

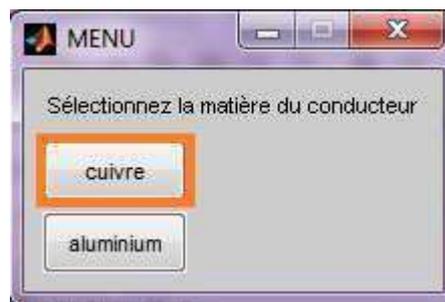
**Exemple :** Câbles de la canalisation C5

- Un click sur le bouton : « enterrée »



**Figure III.29 :** Fenêtre pour le choix du type de canalisation

- **Choix de la matière :** un click sur le bouton : « cuivre »



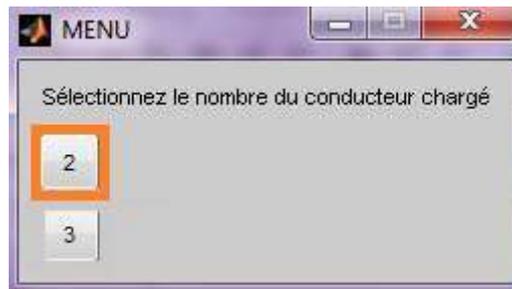
**Figure III.30 :** Fenêtre pour le choix de la matière des conducteurs

- **Type d'isolation :** un click sur le bouton : « Butyle PR ou éthylène PR »



**Figure III.31 :** Fenêtre pour le choix du type d'isolant

- **Nombre des conducteurs chargés :** un click sur le bouton : « 3 »



**Figure III.32 :** Fenêtre pour le choix du nombre des conducteurs chargés

En procédant à tous ces étapes, le programme affiche une section  $S_{ph} = 16 \text{ mm}^2$  pour la canalisation C5.

#### III.4.5. Evolution du programme pour l'algorithme 05

A partir du courant d'emploi, du facteur de puissance admissible et de la longueur, la chute de tension pour chaque canalisation peut être déterminée et comparée avec celles admissibles (voir tableau II.18).

**Exemple :** câble de la canalisation C1 (tous les câbles mono/multi -conducteurs sont disposés en trèfle).

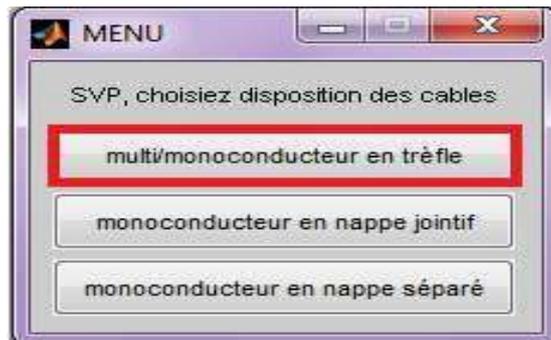
Il suffit d'introduire (voir tableau II.16) :

- **Le courant d'emploi :** 124.94A
- **Le facteur de puissance :** 0.81
- **La longueur du câble :** 79m
- **Le type d'alimentation :** un click sur le bouton : « triphasé »



**Figure III.33 :** Fenêtre pour le choix du type d'alimentation

- **Disposition des câbles :** un click sur le bouton : « multi/mono-conducteur en trèfle »



**Figure III.34 :** Fenêtre pour le choix de la disposition des câbles

En suivant ces étapes, la chute de tension trouvée pour la canalisation C1 est :  $\Delta U = 2 \%$  de la tension d'alimentation.

**III.4.6. Récapitulatif des résultats**

Tous les résultats affichés par le programme sont résumés dans les tableaux III. 8 et III. 9.

**Tableau III.8 :** Cas des canalisations non enterrées

Câbles	C1	C2	C3	C4
<b>I<sub>z</sub></b>	125	70	63	36
<b>K1</b>	1	1	1	1
<b>K2</b>	0.73	0.88	0.75	0.79
<b>K3</b>	0.94	0.82	1	1
<b>K</b>	0.6862	0.7216	0.75	0.79
<b>I<sub>zf</sub> = I<sub>z</sub>/K</b>	182.16	97.01	84	45.56
<b>S<sub>ph</sub> (mm<sup>2</sup>)</b>	70	35	35	25
<b>Longueur (m)</b>	109	79	120	100
<b>cos φ</b>	0.81	0.86	0.95	0.86
<b>ΔU (%)</b>	2 (Vérifiée)	3 (Vérifiée)	4 (Vérifiée)	2 (Vérifiée)

**Tableau III.9** : Cas des canalisations enterrées

<b>Câbles</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>Iz</b>	60	350
<b>K4</b>	1	1
<b>K5</b>	0.71	1
<b>K6</b>	1.13	1.21
<b>K7</b>	1	1.04
<b>K</b>	0.8023	1.2584
<b>I<sub>zf</sub> = Iz/K</b>	74.78	278.13
<b>S<sub>ph</sub> (mm<sup>2</sup>)</b>	25	95
<b>Longueur (m)</b>	71	81
<b>cos φ</b>	0.86	0.83
<b>ΔU (%)</b>	3 (Vérifiée)	3 (Vérifiée)

**III.4.7. Schéma unifilaire final**

Le schéma unifilaire final représenté dans la figure III.35 résume tous les résultats affichés par le programme implanté.

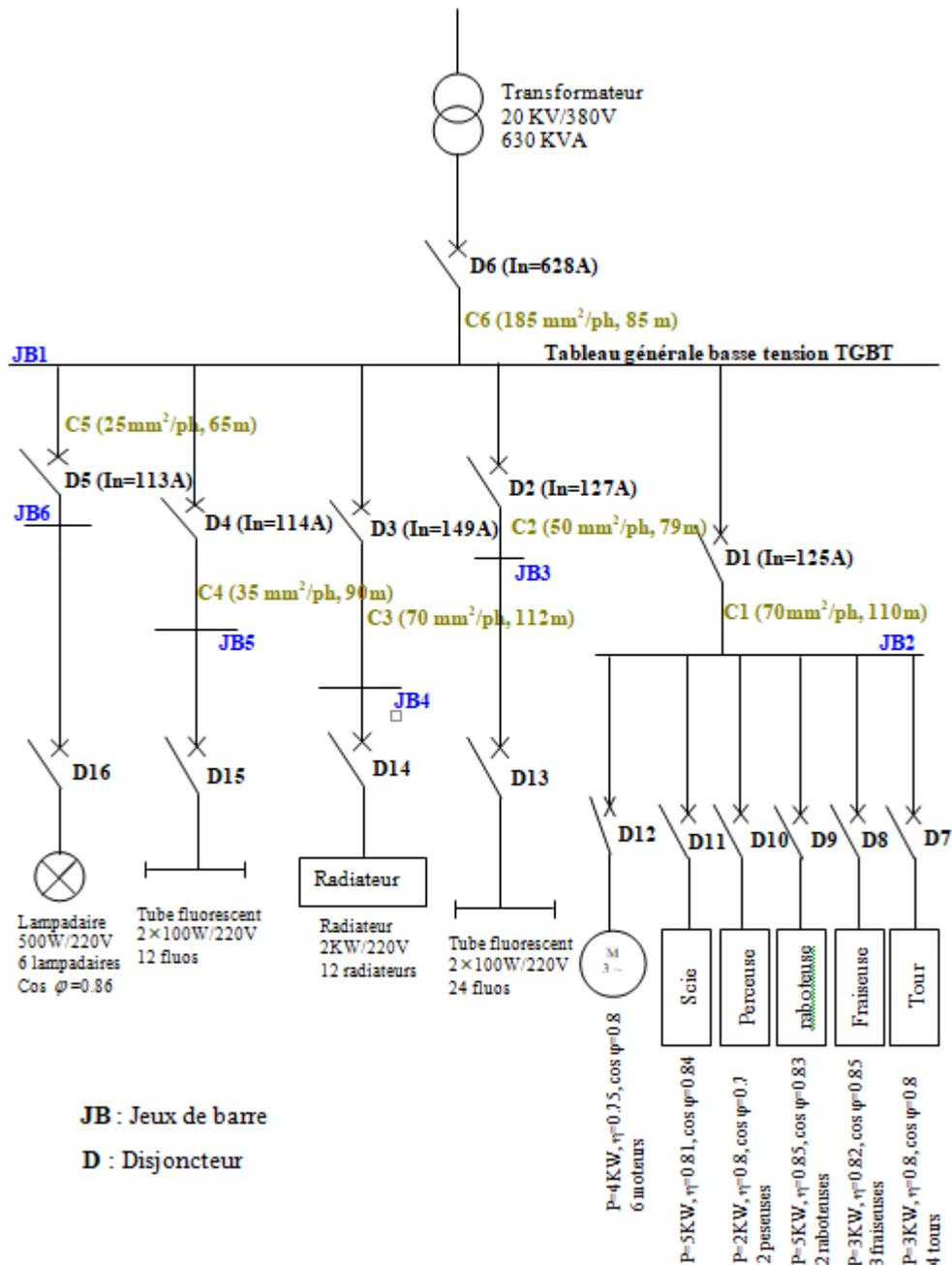


Figure III.35 : Schéma unifilaire final

### III.5. Conclusion

Afin de bien dimensionner les sections des câbles de n'importe quelle installation électrique industrielle, deux stratégies ont été mises en point :

- 1) Collection du maximum d'informations sur le site de la fabrique : géographiques, climatiques, dimensions et superficie.
- 2) Division de l'algorithme général en plusieurs sous algorithmes le rendant plus simple pour vérification de la suite des étapes et simplifiant l'ajout des différents choix.

# **Conclusion générale**

Dans ce travail, nous avons passé en revue de 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 des usines d'une part, et une productivité et sécurité maximale des personnes et des biens d'autre part.

Pour ce la, nous avons commencé par une description générale des installations électriques industrielles. Ensuite, nous avons décrit la méthodologie de calcul des sections des câbles en fonction des différentes contraintes pouvant être rencontrées.

Enfin, nous avons prêté beaucoup d'attention au calcul des sections des câbles des différentes canalisations (enterrées et non enterrées). Pour y arriver, le calcul du barycentre électrique de l'installation sélectionnée nous a permis de bien positionner le TGBT pour que les chutes de tension soient dans les fourchettes admissibles tout en gardant les sections les plus modérées possibles. Concernant le programme lui-même, on a veillé à ce qu'il réponde aux critères suivants :

- ✓ *Simplicité,*
- ✓ *Généralité,*
- ✓ *Confort,*
- ✓ *Robustesse.*

Pour arriver à ces critères, la programmation devient de plus en plus longue et complexe surtout avec des sous-programmes qui se répètent en fonction de plusieurs variantes (le nombre d'ateliers, par exemple).

# **Références bibliographiques**

- [1] J. Marie BROUST, `` Appareillages et installations électriques industriels``, Dunod, Paris, 2008.
- [2] A. BIANCOTE et P. BOYE, `` La construction normalisée en électrotechnique``, Tome 1, Delagrave, Juillet 1997.
- [3] C. PREVE et R. JEANOTE, `` Guide de conception des réseaux électriques industriels``, Rapport technique, Schneider Electric N°68883 427/A, Février 1997.
- [4] S. LOGIACO, ``Etudes de sûreté des installations électriques``, Cahier technique N°184, Schneider Electric, Janvier 1999.
- [5] Le Grand, Guide technique, `` Coordination entre les dispositifs de protection``, Rapport technique, Janvier 2015.
- [6] Schneider Electric, `` Guide de la distribution BT et HTA``, Rapport technique, 2012.
- [7] Union Technique de l'Electricité et de la Communication (UTE), `` Installations électriques à basse tension``, Décembre 2002.
- [8] Le Grand, Guide Puissance, `` Distribution et puissance jusqu'à 4000A``, Rapport technique, Edition 2007.
- [9] A. BOUGHAR, M. BAKTACHE, `` Etude d'installation électrique intérieure d'un siège administratif``, mémoire de master, Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2016.
- [10] A. BENAMIROUCHE, S. AIT, `` Etude et dimensionnement d'une armoire électrique pour une installation de traitement d'eau au sein d'IFRI``, mémoire de master, Université A. MIRA – BEJAIA, 2019.

[11] L.OUARTI, A.KENDIRA, `` Etude et dimensionnement électrique de la raffinerie Sucre Roux au sein de l'entreprise CEVITAL``, mémoire de master Université A. MIRA – BEJAIA, 2019.

[12] M.LAFRIA, `` Etude technique et conception de l'installation électrique d'une nouvelle unité industrielle de production des armoires électriques``, mémoire du projet de fin d'étude, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Maroc, 2014.

## Résumé

Le réseau électrique industriel doit assurer aux coûts optimaux d'investissement, d'exploitation et de production, l'alimentation de tous les récepteurs en tenant compte de plusieurs facteurs et répondre à des exigences techniques.

Ce travail s'intéresse à l'étude et la conception des installations électriques industrielles. Il repose sur l'implémentation d'un programme général permettant d'obtenir les sections adéquates des câbles tout en veillant que les chutes de tension soient dans les normes. Pour cela, il suffit de faire de simples choix en fonction des informations requises préalablement sur : le cahier de charge de l'usine, son plan, ses dimensions, etc.

**Mots-clés :** Conception, Etude, Installation électrique industrielle, Matlab, Protection, Section du câble.

## Abstract

The industrial electrical network must ensure at optimal investments, operating and production, supply of all receivers taking into account several factors and meet technical requirements.

This work interests the study and design of industrial electrical installations. It is based on the implementation of a general program allowing obtaining the adequate sections of cables while ensuring that the voltage drops are within the standards. To do this, just make simple choices based on the informations required beforehand on: the specifications of the factory, its plan, its dimensions, etc.

**Keywords:** Design, Study, Industrial electrical installation, Matlab, Protection, Area of the cable,

## ملخص

يجب أن تضمن الشبكة الكهربائية الصناعية بتكاليف مثلى لإنتاجها، التشغيل والإنتاج، تزويد جميع أجهزة الاستقبال، مع مراعاة العديد من العوامل وتلبية المتطلبات المترتبة. يهتم هذا العمل بدراسة وتصميم المنشآت الكهربائية الصناعية. حيث يعتمد على تنفيذ برنامج عام يسمح بالحصول على المساحات المناسبة للكابلات مع ضمان أن الإنخفاضات في الجهد تكون حسب المعايير. من أجل ذلك، يكفي إجراء خيارات بسيطة استنادًا إلى المعلومات المتحصل عليها مسبقًا حول: مواصفات المصنع، مخططه، أبعاده وما إلى ذلك.

**الكلمات المفتاحية:** تصميم، دراسة، منشأة كهربائية صناعية، ماتلاب، حماية، مساحة الكابل.