

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ AMAR TLEIDJI LAGHOUAT



FACULTÉ DE TECHNOLOGIE DÉPARTEMENT
D'ÉLECTROTECHNIQUE

Projet de Fin d'Etude

En vue d'obtention du diplôme de master en Électrotechnique

Option : Électrotechnique Industrielle

Thème

Étude et Réalisation d'une application de
Dimensionnement des câbles dans des Installations
Monophasées et Triphasées

Réalisée et présentée par

GOUAFLIA GHANIA

Soutenu le 03/07/2022

Devant le jury

SAROUTE Mohammed

MAA

Président

DAREM El Moradj

MAA

Examineur

OMRANE Mohammed

MCA

Encadreur

Promotion : 2022

REMERCIEMENT

- *Tout d'abord, j'aimais remercier Dieu le tout-puissant, de m'avoir donnée la force et la patience de pouvoir mener ce travail à terme.*
- *Je tiens à exprimer mes reconnaissances et mes sincères remerciements : à mon encadreur:*
- *Mr .Omrane Mohammed pour m'avoir bien guidé et conseillé tout au long de la préparation de ce mémoire.*
- *Tous mes enseignants qui m'ont enseigné durant ma formation.*

ملخص :

يهدف هذا العمل الى دراسة وانجاز تطبيق يسمح بتحجيم الناقل الكهربائي في النظامين الأحادي و الثلاثي الطور. الغرض الأساسي اقتراح تطبيق يسمح بحساب مقطع الحبل الكهربائي باختيار الحماية اللازمة و نوع الحمولة، واخترنا لهذا الغرض برنامج مايكروسوفت اكسل.

قسمنا عملنا هذا الى الفصول التالية:

الفصل الأول خصص لتقديم نظرة عامة عن الاحبال الكهربائية وانواعها . ومن جهة أخرى خصص الفصل الثاني لإيضاح الطرق المتبعة لحساب ابعاد الكابلات انطلاقا من اختيار نوع الحمولة ونوع الحماية. أخيراً الفصل الثالث نتطرق الى المراحل التطبيقية لإنجاز التطبيق باستعمال برنامج EXCEL والمقارنة نتيجة البرنامج بنتائج استخلصت من برامج أخرى مشابهة.

كلمات مفتاحية : حبل كهربائي – مقطع – تحجيم - التيار المسموحة - تيار الاستعمال.

RÉSUMÉ :

Ce travail vise à étudier et mettre en œuvre une application permettant de calculer la section des conducteurs électriques dans les deux systèmes monophasés et triphasés. Le but principal est de proposer une application permettant de calculer la section des câbles électriques en choisissant la protection nécessaire et le type de charge, et nous avons adopté Microsoft Excel à cet effet.

Nous avons réparti notre travail en trois chapitres:

Le premier chapitre expose un aperçu sur les câbles électriques et leurs types. Par contre ; le deuxième chapitre est consacré à l'explication des méthodes utilisées pour le calcul des dimensions des câbles, en fonction de la sélection du type de charge et du type de protection. Enfin, le troisième chapitre traite des étapes pratiques de mise en œuvre de l'application à l'aide programme EXCEL et une comparaison des résultats usés à d'autres programmes similaires.

Mots clés : Câble Electrique - Section - Dimensionnement - Courant Admissible.

ABSTRACT:

This work aims to study and implement an application to calculate the section of electrical conductors in both single-phase and three-phase systems. The main purpose is to provide an application to calculate the section of electric cables by choosing the necessary protection and the type of load, and we have adopted Microsoft Excel for this purpose.

We have divided our work into the following chapters:

The first chapter is dedicated to give an overview about electrical cables and their types. However; the second chapter is intended for the explanation of the methods used for the calculation of the dimensions of the cables, according to the selection of the type of load and the type of protection. Finally, the third chapter discusses the practical steps for implementing the application using the EXCEL program and comparing it to results used in other similar programs.

Keywords: Electrical Cable - Section - Dimensioning - Admissible Current - Operating Current.

LISTE DES SYMBOLES

Δu :	Chute de tension en [V].
a :	Facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement des récepteurs.
b :	Facteur d'utilisation des appareils.
c :	Facteur de simultanéité.
d :	Facteur tenant compte des prévisions d'extension.
e :	Facteur de conversion des puissances en intensités.
I_2 :	Courant de fonctionnement du dispositif de protection dans le temps conventionnel.
I_n :	Courant assigné du dispositif de protection.
K_2 :	Rapport entre le courant I_2 et I_n .
PR :	Le Caoutchouc butyle vulcanisé.
PR2 :	Polyéthylène réticulé pour deux conducteurs.
PRC :	Polyéthylène Réticulé Chimiquement.
PVC :	Polychlorure de Vinyle ou le Polyéthylène.
PVC2 :	Polychlorure de vinyle pour deux conducteurs.
:	
I_B :	Courant d'emploi en ampère
I_Z :	Courant admissible, courant supporté par la canalisation
P_n :	Puissance utile de la charge [kW]
f_1 :	Facteur correcteur en tenant compte de la température,
f_2 :	Correction en fonction du groupement des circuits et des câbles
f_3 :	Correction suivant le mode de pose
δ :	Réactance linéique des conducteurs, valeur moyenne $0.08 \cdot 10^{-3} \Omega /m$. l : Longueur du conducteur en [m].
ρ :	Résistivité des conducteurs en [$\Omega \text{ mm}^2/m$] (0.0225 pour le cuivre et 0.036 pour l'aluminium).

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 Fonctions principales d'un système électrique.....	1
Figure I-2 Etapes de dimensionnement des câbles.....	2
Figure I-3 Conducteur câblé en Al	4
Figure I-4 Conducteurs creux en Cu	5
Figure I-5 Conducteurs en Aluminium massifs ronds ou sectorals.....	5
Figure I-6 Résumé des effets du passage du courant alternatif et le courant continu dans l'organisme.	11
Figure I-7 : Signification des deux lettres utilisées en SLT [21].	14
Figure I-8 Régime TN-S [24]	16
Figure I-9 Constituant d'un Câble unipolaire.....	3
Figure I-10 Câble multipolaire.....	4
Figure II-1 Détermination du nombre de circuit.....	27
Figure II-2 Compare les différents courants de (charge, canalisation et dispositif de protection) [37]	30
Figure III-1: Application de EXCEL.	37
Figure III-2 Exemple d'une liste déroulante	40
Figure III-3 Exemple d'une liste déroulante en cascade.....	40
Figure III-4: Vue générale de l'interface de l'application.....	42
Figure III-5 Interface pour l'introduction des données du réseau	42
Figure III-6 Interface pour l'introduction des données de la charge	43
Figure III-7 Interface pour l'introduction des renseignements du câble	43
Figure III-8 Interface des résultats	45
Figure III-9 Longueur maximale protégée par le dispositif de protection.....	46
Figure III-10 Sigle du logiciel comparateur.....	46
Figure III-11 Partie réservée pour le calcul de la section du câble	47
Figure III-12 Résultats obtenus par les deux applications.....	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1 Facteurs de correction " a "	23
Tableau II-2 Facteur d'utilisation " b " en cas d'absence d'information	23
Tableau II-3 Facteur de simultanéité " c « proposé par la norme.....	24
Tableau II-4 Facteur d'extension.	24
Tableau II-5 Modes de pose des câbles	25
Tableau II-6 Facteur de correction température ambiante f1	26
Tableau II-7 Facteurs de correction pour des températures du sol différentes de 20 °C	26
Tableau II-8 Facteur de groupement	27
Tableau II-9 Facteur correcteur suivant le mode de pose " f3 ".....	28
Tableau II-10 Coordination du dispositif de protection avec la section UTE C 15-105.....	31
Tableau II-11 Courant assigné des cartouches gG	31
Tableau II-12 Section des conducteurs en fonction du courant admissible pour les modes de pose B, C, E, E et F ...	31
Tableau II-13 Section et Nombre de conducteurs chargés en fonction de la longueur maximale protégée.....	31
Tableau II-14 Section des conducteurs enterrés (Mode D)	32
Tableau II-15 Chutes de tension permises dans les installations	34
Tableau III-1 Paramères introduites dans les deux applications.....	47

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT.....	I
ملخص:.....	II
RÉSUMÉ :.....	II
ABSTRACT:.....	III
Liste des symboles.....	IV
Liste des figures.....	V
Liste des Tableaux.....	VI
Chapitre I. Généralités.....	1
I.1. Introduction :.....	1
I.2. Système électrique :.....	1
I.3. Méthodologie de dimensionnement d'une installation électrique :.....	1
I.4. Câble électrique :.....	2
I.4.1.Types des câbles :.....	2
I.4.1.1) Câble unipolaire :.....	2
I.4.1.2) Câble multipolaire :.....	3
I.4.2. Types de conducteur électrique :.....	4
I.4.2.Différents types de câbles électriques :.....	5
I.4.3. Isolateurs de lignes aériennes :.....	9
I.5. Utilisation du câble:.....	9
I.5.1-Transport d'énergie:.....	9
I.5.2-Transmission de signal:.....	9
I.5.3-Ligne de transmission:.....	9
I.6. Production de L'énergie électrique:.....	10
I.7. protection des installations électriques BT Les dangers du courant électrique:	10
I.7.1.Effets physiopathologiques :.....	11
I.7.2. Contacts directs :.....	12
I.7.3.Contacts indirects :.....	12
I.8. niveaux de tensions :.....	12
I.9. Régimes de Neutre :.....	12

I.9.1 Choisir un schéma de liaison à la terre adapté :.....	14
I.10. Eléments de protection :.....	16
I.10.1. Fusible :	17
I.10.2. DISJONCTEUR.....	17
I.11. Choix de l'appareillage électrique :	18
I.12. lignes aériennes et câbles souterraines:	18
I.12.1. Lignes aériennes :	18
I.12.2. Câbles souterraines	18
I.15. Conclusion :.....	19
Chapitre II. Calcul de la section du câble et du conducteur.....	20
II.1. Introduction :.....	20
II.2. Principe de la méthode de calcul :.....	20
II.4. Détermination de la section des CONDUCTEURS:.....	21
II.4.1. Courant d'emploi I_B :	21
II.4.2. Courant admissible I_Z :	21
II.5. Calcul de la section minimale des conducteurs :.....	22
II.5.1. Calcul du courant d'emploi :	22
II.6. Calcul du courant admissible I_Z :.....	24
II.6.1. Détermination des facteurs correcteurs du courant admissible :.....	25
II.6.1.1. Facteur correcteur en fonction	25
II.7. Choix du dispositif de protection.....	28
II.7. 1.Protection par fusible:.....	28
II.7.2. Protection par disjoncteur :	29
II.11. Coordination entre les sections des conducteurs et les dispositifs de protection contre les surcharges :	30
II.12. Choix de la section du conducteur :	31
II.13. Section du neutre et du conducteur de protection :	33
II.14. Déterminations des sections de conducteurs :.....	33
II.14.1. Section du conducteur neutre :	33
II.14.2. Sections des conducteurs de protection des masses basse tension(SPE) :	34
II.15. Contrôle de la chute de tension:.....	34

II.15.1. Vérification de la chute de tension par le calcul:	34
Chapitre III. Réalisation, Résultats et Comparaison	37
III.1 Introduction:	37
III.2. Programme de l'EXCEL :	37
III.2.1. Avantages d'Excel :	40
III.2.2. utilisation du logiciel EXCEL:	41
III.2.3. Méthode de calcul :	41
III.3.1. Deuxième test:	48
Conclusion générale	50
Bibliographies	51

Introduction Générale

L'énergie électrique est très présente dans la vie quotidienne de pratiquement tous les habitants et surtout dans les pays industrialisés. En particulier consomme une partie très importante de leur énergie sous forme électrique [1].

Sens parmi les autres énergies la place de l'énergie électrique est tout à fait capitale, car elle se transporte bien, inodore et autorise des transferts à très bon rendement par ailleurs cette dernière est directement liée à l'ensemble des énergies existantes.

Il y a quatre raisons principales pour lesquelles le dimensionnement des installations électriques est très important au stade de la conception. D'abord et avant tout, le dimensionnement des installations électriques est important pour fonctionner indéfiniment à pleine charge, sans être endommagé. De plus, il est nécessaire supporter le courant de court-circuit et de s'assurer que les dispositifs de protection sont efficaces lors d'un défaut à la terre. D'autre part, d'assurer l'alimentation de la charge avec une tension appropriée et évitez les chutes de tension excessives [2].

Notre objectif est de focalisé sur le dimensionnement des câbles dans des installations électriques monophasées et triphasées d'une nouvelle unité de production, se dimensionnement consiste à trouver la section des câbles électrique nécessaire à l'alimentation, avec le calibrage des équipements protections (fusibles et disjoncteurs).

Le calcul avec l'outil informatique s'avère nécessaire, en utilisant un logiciel pratique et très performant qui est le Microsoft EXCEL. Ce travail est structuré en trois chapitres:

Le premier chapitre expose des généralités sur le système électrique et les différents types de protection, une comparaison entre des lignes aériennes et câbles souterraines est exposée.

Par contre, le deuxième chapitre est réservé au dimensionnement et choix des éléments de l'installation, méthode de calcul des sections des câbles, le calibrage des équipements de protections tels que les disjoncteurs et les fusibles.

Suivit par un troisième chapitre consacré en premier lieu à la présentation du logiciel EXCEL, puis à la vérification des résultats de calculs avec d'autre logiciel destiné à cet objectif.

Finalement, on clôture ce travail par une conclusion générale faisant ressortir l'intérêt de ce travail ainsi que les perspectives relatives au développement future du travail effectué.

Chapitre I. GENERALITES

I.1. INTRODUCTION :

L'étude du dimensionnement en général des câbles revêt une très grande importance en raison de ses avantages pour éviter les accidents, protéger les ressources matérielles et humaines et assurer la protection nécessaire.

Sous la dénomination appareillage électrique, nous classons l'ensemble des matériels permettant d'interrompre, assurer les fonctions de connexion, de commande et de protection. La protection d'un circuit contre les accidents et les anomalies peut entraîner une interruption de service [3].

Dans cette section, nous dévouons un aperçu sur l'utilisation des câbles les moyens de leurs protections ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients.

Ce premier chapitre, est réservé à rappeler des généralités de l'appareillage électrique en particulier celui destiné à la protection.

I.2. SYSTEME ELECTRIQUE :

- Un système électrique est un ensemble des équipements électriques qui assurent la livraison à tous les consommateurs des kilowattheures produits.



Figure I-1 Fonctions principales d'un système électrique.

I.3. METHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION ELECTRIQUE :

Lorsque toutes les études préalables ont été effectuées (bilan de puissance, schéma de principe, puissance de la source, choix régime de neutre), le dimensionnement d'une installation électrique peut se faire suivant la chronologie ci-après.

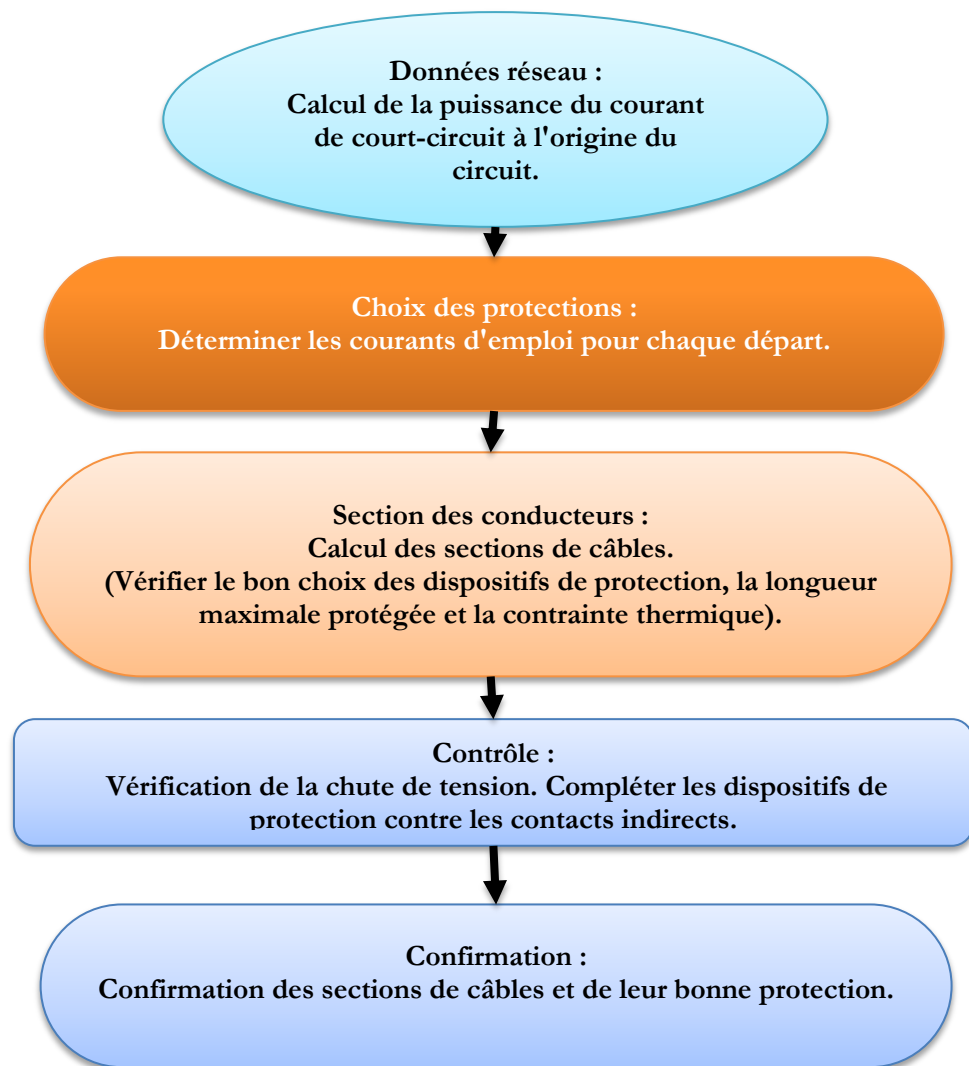


Figure I-2 Etapes de dimensionnement des câbles

I.4. CABLE ELECTRIQUE :

Un câble électrique est constitué de fils de cuivre isolés et aussi de paires torsadées pour la transmission de données. Il peut comporter de deux à plusieurs centaines de fils mais aussi parfois de fibre optique pour la transmission de données à longue distance. Un câble standard est composé d'au moins deux fils d'une matière conductrice (l'âme en cuivre, aluminium et parfois, pour résister à de hautes températures, en nickel) isolés les uns des autres et d'une enveloppe isolante (PVC, silicone, silicone + tresse). Le pourcentage de l'un par rapport à l'autre peut varier d'un câble à un autre en fonction de son utilisation et de son emplacement. [4]

Tout conducteur selon sa nature (matériaux le constituant : cuivre, aluminium, etc...) offre une résistance électrique au courant qui le parcourt (effet Joule : perte d'énergie sous forme de chaleur). C'est pourquoi, suivant la longueur du conducteur, la tension (en Volts) lue en bout de câble sera toujours inférieure à celle donnée au départ du conducteur. Plus on charge le conducteur, plus la tension diminue, plus la distance est grande, plus la tension diminue. Cela s'appelle une différence de potentiel exprimée en Volt. De ce fait il est nécessaire de calculer la section adaptée d'un conducteur par rapport aux caractéristiques propres à chaque installation. [30]

I.4.2. TYPES DES CABLES :

CABLE UNIPOLAIRE :

Un câble unipolaire est un conducteur isolé comporte en plus une ou plusieurs gaines de protection, la différence avec un conducteur c'est que il assure une protection contre les agressions externe au câble (écrasement, choc, produit chimique) et aussi le refroidissement des câbles unipolaire est meilleur [21].

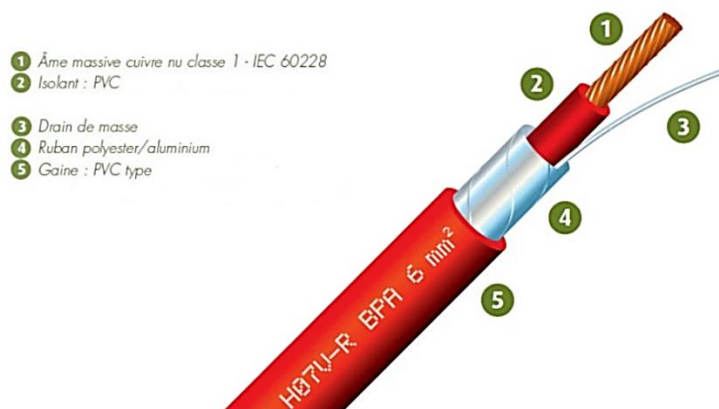


Figure I-3 Constituant d'un Câble unipolaire

CABLE MULTIPOLAIRE :

C'est un ensemble de conducteurs électriquement différents mais comportant une protection commune [31].

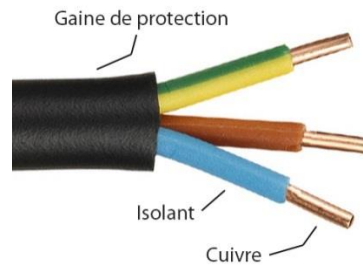


Figure I-4 Câble multipolaire

I.4.3. TYPES DE CONDUCTEUR ELECTRIQUE :

Le fil électrique s'utilise pour transporter le courant électrique de la source d'alimentation vers l'appareil utilisateur final. C'est le cas pour une prise ou un appareil d'éclairage. En effet, ce fil est un conducteur [5] .

Ils existent trois types de conducteurs : câblés (toronnée), massif et conducteurs creux.

a. Conducteur câblés (toronnée) :

Afin de donner aux conducteurs une souplesse suffisante, les câbles sont constitués habituellement de brins d'égales sections circulaires disposés en couches spirales dont le sens est alterné d'une couche à la suivante autour d'un brin central rectiligne.



Figure I-5 Conducteur câblé en Al

b. Conducteurs creux :

- Avant 1940, des lignes à tensions égales à 220 kV en Europe et à 287 kV aux Etats-Unis d'Amérique ont été équipées de conducteurs creux. Cependant ces conducteurs creux sont très coûteux et ont été abandonnés dans la construction des lignes depuis 1950.

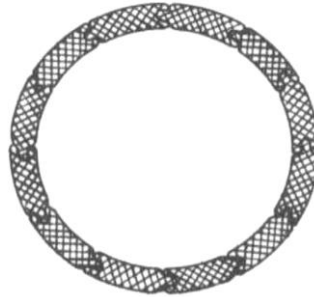


Figure I-6 Conducteurs creux en Cu

c. Conducteur massif :

Conducteurs massifs et conducteurs câblés pour lignes aériennes de transport d'énergie.



Figure I-7 Conducteurs en Aluminium massifs ronds ou sectoriels.

I.4.2. DIFFERENTS TYPES DE CABLES ELECTRIQUES :

Il existe aujourd'hui plus de 20 types de câbles électriques différents, conçus pour des applications allant de la transmission à l'utilisation industrielle lourde. Certains sont plus couramment utilisés, comme les 12 suivants [6] citons par exemple les câbles non métallisé en caoutchouc, gainé métallique, coaxial etc...

Caractéristiques électriques des câbles :

Elles correspondent à deux fonctions essentielles :

- ✓ L'âme a pour rôle d'acheminer le courant électrique;

- ✓ D'un isolant qui assure l'isolement entre les conducteurs à des potentiels différents et avec la terre ou les masses pour éviter les contacts directs ;
- ✓ Les isolants utilisés sont caractérisés par leur tension nominale d'isolement ;
- ✓ La tension nominale du câble doit être au moins égale à la tension nominale d'installation [7];

Principales caractéristiques d'un câble:

- **Classe de température** : Tout au long de sa vie, le câble est soumis à des températures internes et externes qu'il doit supporter (passage de courant dans le fil, proximité du moteur, ...etc.). Il faut donc que l'isolant puisse résister dans le temps à ces températures.
- **Section** : Elle est définie en fonction de la résistance électrique souhaitée. Plus sa section est importante, plus le conducteur pourra transmettre de la puissance. Les équipes de dimensionnement calculent ensuite au plus juste ces sections pour limiter le poids, le volume et le coût des fils dans le faisceau électrique.
- **Diamètre** : Afin de pouvoir être monté dans des connecteurs, le fil doit répondre aux dimensions prescrites par le constructeur tout en répondant aux critères de souplesse que nécessite ensuite l'assemblage des fils en faisceaux puis le montage dans le véhicule.
- **Cuivre** : Le métal le plus utilisé pour faire des fils et câbles électriques, car il a une excellente conductivité électrique. On l'utilise soit en fil de section cylindrique monobrin (rigide), soit en section cylindrique mais multibrins ou (souple). Pour le rendre plus souple, il est utilisé en alliage avec d'autres métaux. Le fil de cuivre est protégé soit par une pellicule de vernis, quand on utilise pour la fabrication des bobinages, transformateurs, électroaimants, soit par une couche de plastique colorée, dans la majorité des autres cas. Ces protections assurent l'isolation tout en ne gênant pas la mise en forme des fils dit « rigides ».
- **Aluminium** : Bonne conductivité, métal léger, moyennement malléable. L'aluminium est souvent utilisé dans le transport d'électricité de grande puissance lorsque la section du câble et sa longueur éliminent le cuivre, à cause de sa masse spécifique plus élevée. Il est exclusivement utilisé en âmes à brins multiples, du fait des sections en jeu et de sa relative rigidité. Sa relative facilité de casse lors de torsions et de manipulations le rend indésirable en milieu domestique. Il est utilisé à la place du cuivre dès que la contrainte de poids devient importante (aéronautique, conquête spatiale...etc.)[8].

De nos jours, 3 types de revêtements isolants sont préférés, à savoir :

1-ISOLANT POLYCHLORURE DE VINYLE OU LE POLYETHYLENE PVC :

- Le Polychlorure de vinyle est une matière thermoplastique de synthèse composée de carbone, d'hydrogène et de chlore, Le carbone et

l'hydrogène proviennent du pétrole (43 %) tandis que le chlore est originaire du sel (57 %).

- PVC c'est un plastique très présent dans notre vie quotidienne car l'ensemble de ses propriétés mécaniques et physiques et son aptitude à être modifié selon les besoins en font un matériau adapté à de multiples usages [9].
- Quant aux plastifiants, leur rôle est de déplacer la température de transition vitreuse de 74°C à -10°C [10].
- PVC c'est un plastique très présent dans notre vie quotidienne car l'ensemble de ses propriétés mécaniques et physiques et son aptitude à être modifié selon les besoins en font un matériau adapté à de multiples usages [11].
- Propriété de Polychlorure de vinyle
- Le PVC est très polyvalent. A l'état brut, le PVC est sensible à l'action du rayonnement ultraviolet (Vieillessement accéléré). Les fabricants ajoutent au mélange des photo-stabilisants très efficaces. Le PVC a une excellente rigidité diélectrique, une bonne résistance aux acides et bases et une bonne résistance aux hydrocarbures aliphatiques. Il présente toutefois une mauvaise résistance aux hydrocarbures aromatiques et chlorés ainsi qu'aux cétones et esters. Le PVC pur est instable à la chaleur et à la lumière. Sa température de transition vitreuse T est élevée entre 75 et 80, ce qui le rend impropre à de nombreuses applications. Placé dans une flamme, le PVC se brûle mais ne propage pas lui-même la flamme [12].

PROPRIETES ELECTRIQUES DE PVC :

Le PVC présente de bonnes propriétés isolantes mais les pertes électriques dans le matériau sont suffisamment importantes pour permettre le soudage par haute fréquence.

2-POLYETHYLENE RETICULE CHIMIQUEMENT PRC :

- Jusqu'à la fin des années 1970, le seul procédé utilisé industriellement était la réticulation par voie chimique en présence de peroxyde et sous pression de vapeur d'eau. Depuis le début des années 1980 sont apparus de nouveaux procédés dont certains s'affranchissent du peroxyde [41].

Défauts des isolations hautes tension :

- Les isolations hautes tension contiennent souvent des défauts qui sont généralement l'origine de toutes altérations et dégradations des propriétés de l'isolant sous les contraintes de service (champ électrique, température, rayonnement,...). Ces défauts peuvent être classés en trois catégories :

- Les cavités gazeuses qui peuvent donner lieu à des phénomènes de décharges,
- Les hétérogénéités aux interfaces ou dans la masse de l'isolant autour desquelles le champ électrique peut prendre des valeurs importantes.
- La première découverte de PVC par E. Baumann date de 1872 [13]. Ce polymère est largement utilisé dans le monde industriel, il se classe en deuxième position après le polyéthylène. La large utilisation du PVC dans la fabrication des câbles moyenne tension, comme isolant et matériau de gaine de protection revient, d'une part à son faible coût de revient et d'autre part à ses bonnes qualités d'isolation électrique. La souffrance de ce matériau de la mauvaise stabilité thermique, freine son utilisation comme un isolant dans les câbles HT et THT [14].

Propriétés électriques :

- Facteur de pertes diélectriques à 50 Hz et 20 °C est de l'ordre de 15×10^{-3} .
- Constante diélectrique à 50 Hz et 20 °C et de l'ordre de 3.4
- Résistivité transversale est de l'ordre de $10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$.

C'est le plus utilisé des plastiques, on le retrouve aussi bien en matériel chaudronné pour l'industrie chimique qu'en construction mécanique, dans l'industrie électrique.

3-CAOUTCHOUC BUTYLE VULCANISE PR :

- Le polyéthylène est un matériau thermoplastique de la famille de polyoléfines contenant uniquement des carbones hybridés de types sp^3 [43]

Propriétés électriques

- Le PEBD est une substance non polaire, caractérisée par : une permittivité relative faible (≈ 2 à 3) limitant ainsi le courant de déplacement, un facteur de pertes diélectriques relativement faible, et une rigidité diélectrique élevée[44]

Il est possible de répartir ces conditions en 5 critères primordiaux :

- Température
- Vieillessement
- L'eau
- Poussières

DEFINITION D'ISOLANT

Isolants ou diélectriques sont des matériaux ayant une résistivité très élevée: 10^8 à $10^{16} \Omega \cdot \text{m}$. car ils contiennent très peu d'électrons libres. Un isolant est

caractérise par ses propriétés électriques, mécaniques, chimiques et thermiques. Un bon isolant ne devrait pas laisser passer de courant lorsqu'il est soumis à une tension continue [15].

I.4.3. ISOLATEURS DE LIGNES AERIENNES :

L'isolateur est utilisé comme son nom l'indique pour l'isolement entre deux corps ou deux pièces sous différentes tensions pour empêcher les courts circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution. L'isolateur est un matériau solide, liquide ou gaz qui a une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle.

Les isolateurs des lignes aériennes ont deux fonctions principales. D'une part, ils permettent d'isoler électriquement les lignes de transport d'énergie électrique des pylônes mis à la terre, et d'autre part, ils ont un rôle mécanique qui consiste à soutenir ces mêmes lignes et donc résister aux différentes contraintes mécaniques dû surtout au poids de la ligne, son mouvement en présence de vent etc...

En pratique, on distingue deux types d'isolateurs de lignes aériennes :

- ✓ Isolateurs rigides
- ✓ Isolateurs suspendus (éléments de chaîne) [16]

I.5. UTILISATION DU CABLE:

Les utilisations les plus importantes du câble est:

I.5.1-TRANSPORT D'ENERGIE:

Un fil ou, un câble composé de plusieurs fils, permet de transporter de l'énergie électrique, même sur de longues distances.

I.5.2-TRANSMISSION DE SIGNAL:

En télécommunication, en électronique, en informatique ou en domotique un fil électrique sert à transmettre un signal ou une information.

I.5.3-LIGNE DE TRANSMISSION:

La ligne de transmission est une notion théorique très importante dans le domaine des télécommunications, elle décrit l'influence d'un conducteur électrique dans la transmission de signaux à haute fréquence [17].

I.6. PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE:

La centrale de production est la composante principale du système électrique. Une centrale peut regrouper sur un même site plusieurs groupes de production.

Elle est destinée à produire de l'électricité par l'intermédiaire des alternateurs. la moyenne tension de production est élevée à une valeur entre 63 et 400 kV à l'aides des transformateurs situés dans un poste de départ placé au voisinage immédiat de l'usine pour un transport économique de l'énergie.

Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il a fallu inventer et construire des centrales capables de produire de l'électricité en grande quantité. Les trois principaux modes de production sont les centrales nucléaires, les centrales à combustibles fossiles et les centrales hydroélectriques. Les centres de production sont répartis presque uniformément dans l'ensemble du réseau interconnecté, d'autres modes de production existent tels que l'éolien, solaire, marémotrice, géothermale,...etc.

La turbine et l'alternateur sont les deux pièces maîtresses de ces générateurs d'électricité. Dans le cas des usines thermiques, la turbine est entraînée par la vapeur produite dans les chaudières où l'on brûle les combustibles. Alors que dans le cas des usines hydroélectriques, la turbine est animée par la force de l'eau. La turbine est couplée à un alternateur.

Les moyens mis en œuvre sont diversifiés, et dépendent de plusieurs facteurs :

- Les technologies disponibles et sa fiabilité;
- La production nécessaire;
- Le rendement possible;
- Le coût des éventuelles matières premières [18].

I.7. PROTECTION DES INSTALLATIONS ELECTRIQUES BT LES DANGERS DU COURANT ELECTRIQUE:

La protection contre les chocs électriques est une fonction essentielle pour la sécurité des personnes, des employés et des équipes de maintenance. Elle évite toutefois les incendies dans le bâtiment et l'emballlement des équipements

électromécaniques et électroniques sensibles au courant de fuite suite au défaut d'isolement.

Cette protection prend plusieurs formes, il y a la protection :

1. Contre les contacts directs :
2. Contre les contacts indirects :
3. La mise à la terre des tableaux électriques, des équipements mécaniques et des structures métalliques du bâtiment ainsi que les liaisons équipotentielles.

1.7.1.EFFETS PHYSIOPATHOLOGIQUES :

Le corps humain est très sensible au courant électrique. Des études internationales sur les effets du courant électrique sur le corps humain sont effectuées depuis de nombreuses années. La CEI a établi, dans sa publication 479, une courbe définissant le temps maximal pendant lequel une personne peut supporter un courant donné sans risque d'effet physiopathologique dangereux. Au-delà des limites de cette courbe et en fonction du temps de passage du courant, divers phénomènes peuvent apparaître. Le corps humain sera traversé par un courant électrique dès lors qu'il sera soumis à une différence de potentiel (tension de contact). Cette tension de contact peut être liée à deux causes principales.

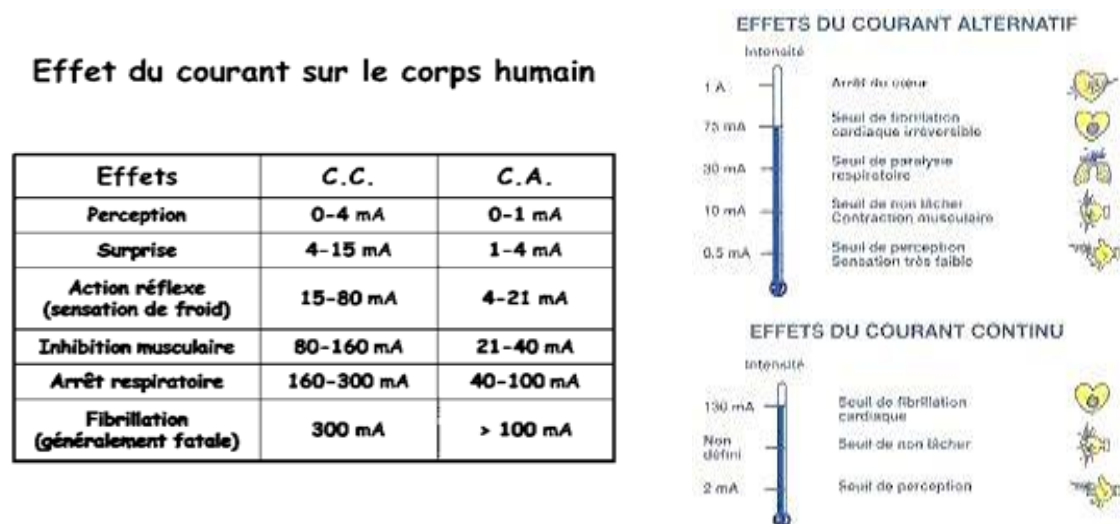


Figure I-8 Résumé des effets du passage du courant alternatif et le courant continu dans l'organisme.

I.7.2. CONTACTS DIRECTS :

Contact d'une personne entre une partie active sous tension et une masse reliée à la terre (ou directement avec la terre). La tension de contact est proche de la tension simple. Le courant corporel peut alors atteindre une valeur dangereuse, par exemple : sous une tension simple de 230 Volts, la tension de contact direct peut atteindre 200 Volts. Si la résistance du corps humain (R_c) est de 2000 Ω , le courant corporel (I_c) sera de 100 mA [7] .

I.7.3. CONTACTS INDIRECTS :

Contact d'une personne entre une masse mise accidentellement sous tension et une autre masse reliée à la terre (ou directement avec la terre). La tension de contact (U_c) engendre un courant de défaut (I_c) dont la valeur est inversement proportionnelle à l'impédance des prises de terre, par exemple : sous 230 Volts, avec des résistances de prise de terre R_u et R_i de 20 et 30 Ω et une résistance corporelle de 2000 Ω , le courant corporel (I_c) est de 46 mA [7].

I.8. NIVEAUX DE TENSIONS :

La nouvelle norme en vigueur en France UTE C18-510 définit les niveaux de tension alternative comme suit :

- ✓ HTB → pour une tension composée supérieure à 50 kV
- ✓ HTA → pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 kV
- ✓ BTB → pour une tension composée comprise entre 500 V et 1 kV
- ✓ BTA → pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V
- ✓ TBT → pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V [18]

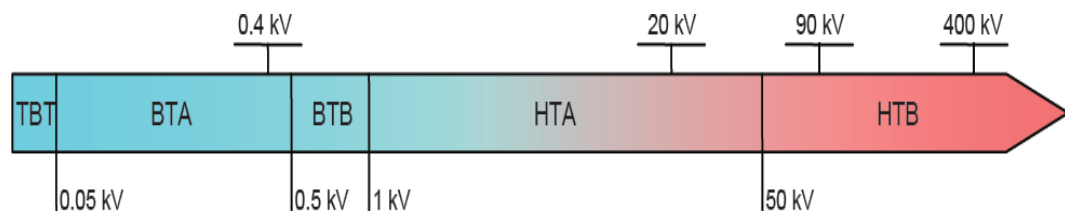


Fig. I.6: Niveaux de tension normalisés [19]

I.9. Régimes de Neutre :

Les régimes de neutre caractérisent le mode de raccordement du conducteur neutre de l'installation et les méthodes de mise à la terre des masses de l'installation. Le régime de neutre d'une installation détermine les conditions de protection des

personnes contre les contacts indirects et les protections des installations contre les surintensités. Les symboles utilisés ont la signification suivante :

1ère lettre : situation de l'alimentation par rapport à la terre :

T : Liaison directe d'un point de l'alimentation avec la terre (neutre à la terre).

I : Isolation ou liaison au travers d'une impédance d'un point de l'alimentation avec la terre (neutre isolé).

2ème lettre : situation des masses de l'installation par rapport à la terre :

T : Directement reliées à une prise de terre indépendante de la prise de terre de l'alimentation (masse à la terre).

N : Directement reliées au point de l'alimentation mis à la terre (généralement le neutre). Autres lettres : disposition conducteurs neutre et protection :

S : Fonctions neutre et protection assurées par des conducteurs distincts.

C : Fonctions neutre et protection combinées en un seul conducteur.

Les schémas TN ont un point relié à la terre, les masses de l'installation étant reliées à ce point par des conducteurs de protection.

Deux types de schéma TN sont pris en considération suivant la disposition du conducteur neutre et du conducteur de protection :

TN-S : Conducteur de protection distinct du conducteur neutre.

TN-C : Conducteur de protection et conducteur neutre combinés en un seul conducteur dans l'ensemble du schéma.

TN-C-S : Conducteur de protection et conducteur neutre combinés en un seul conducteur dans une partie du schéma.

La combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles:

TT : Si le neutre du transformateur raccordé à la terre et la masse raccordé directement à la terre ».

TN : Si le neutre du transformateur raccordé à la terre et la masse raccordé au neutre à l'origine de l'installation ».

IT : Si le neutre du transformateur isolé à la terre et la masse raccordé directement à la terre [20].

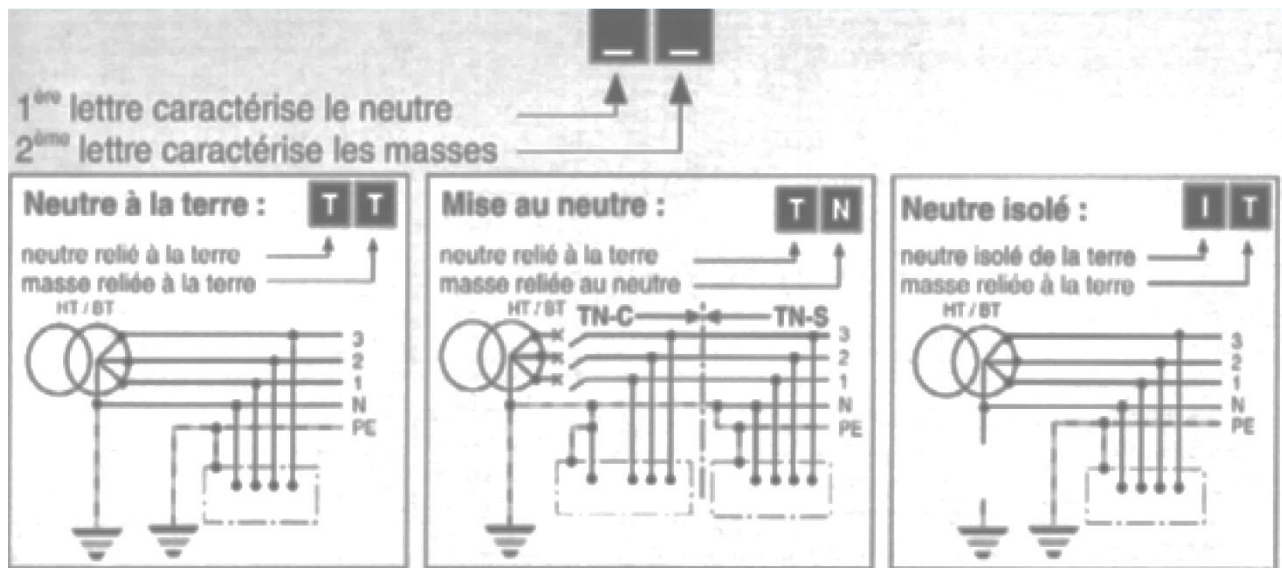


Figure I-9 : Signification des deux lettres utilisées en SLT [21].

I.9.1 CHOISIR UN SCHEMA DE LIAISON A LA TERRE ADAPTE :

Les schémas de liaison à la terre ont pour but de protéger les personnes et le matériel en maîtrisant les défauts d'isolement. En effet, pour des raisons de sécurité, toute partie conductrice d'une installation est isolée par rapport aux masses [22]

Cet isolement peut se faire par éloignement, ou par l'utilisation de matériaux isolants. Mais avec le temps, l'isolation peut se détériorer (à cause des vibrations, des chocs mécaniques, de la poussière, etc.), et donc mettre une masse (la carcasse métallique d'une machine par exemple) sous un potentiel dangereux. Ce défaut présente des risques pour les personnes, les biens mais aussi la continuité de service.

I.9.1.1. Régime TN-C :

Dans le SLT TN, le neutre du secondaire du transformateur est relié à la terre et les masses utilisateurs sont connectées au conducteur de protection (nommé PE Protection Équipotentielle principale) lui-même relié à la prise de terre. L'ensemble est donc interconnecté à une barre collectrice en cuivre à laquelle est connectée la prise de terre en fond de fouille [23].

Les normes CEI 60364 et NF C 15-100 définissent 3 sous-schémas pour le SLT TN : TN-C (terre et neutre commun), TN-S (terre et neutre séparé) et TN-C-S (TN-C pour les circuits principaux et TN-S pour les circuits terminaux et section des conducteurs $< 10 \text{ mm}^2$ cuivre et $< 16 \text{ mm}^2$ aluminium).

Dans le TN-C (Terre Neutre Confondus), les conducteurs de neutre (N) et de protection (PE) sont confondus pour former le PEN.

Dans le cas du régime de neutre TNC, un seul conducteur (PEN) assure la protection en cas de défaut (terre) et assure le transit des courants de déséquilibre.

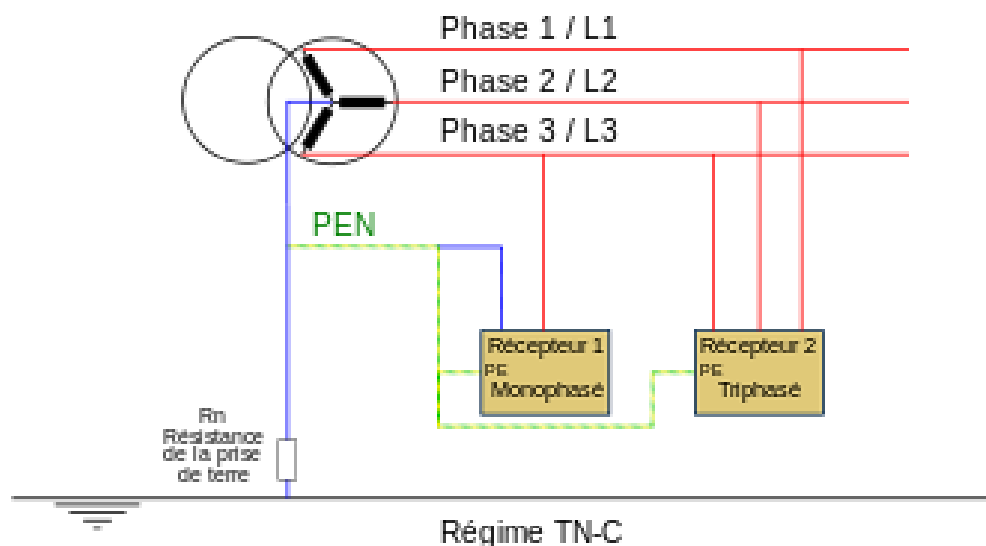


Fig. I.7. Régime TN-C.

I.9.1.2. Régime TN-S :

- Dans le TN-S, le conducteur de protection et le conducteur neutre sont reliés uniquement au poste de distribution et à aucun autre point.
- Le TN-S est obligatoire pour les réseaux ayant des conducteurs avec une section supérieure à 10 mm^2 en Cuivre ou une section supérieure 16 mm^2 en Aluminium

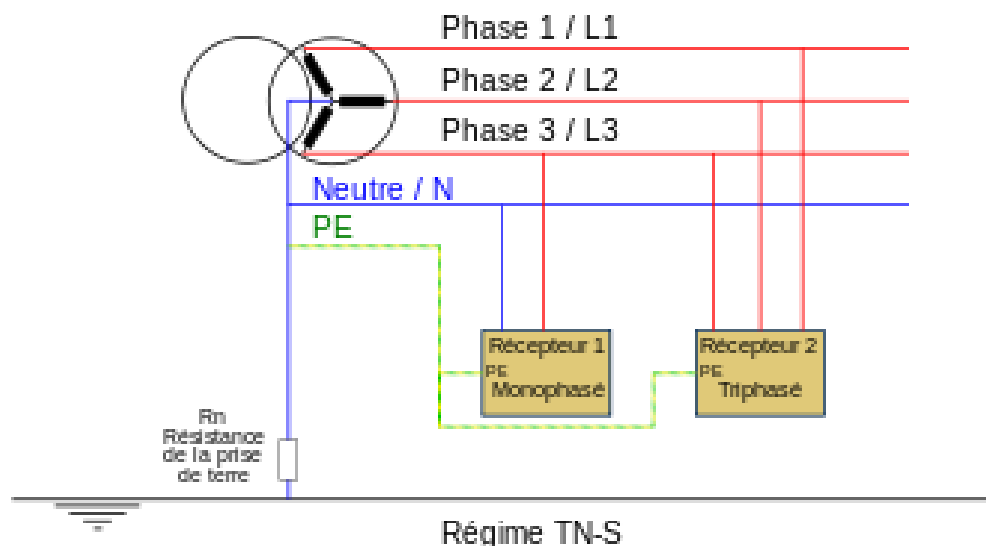


Figure I-10 Régime TN-S [24]

I.9.2. Avantages du régime TT:

1. Le courant de défaut de petite valeur, permet d'une part de diminuer la section du conducteur de protection et d'autre part d'éviter les conséquences de courant de défaut élevée sur les câbles et les appareils de protection ainsi que les effets électrodynamiques et les perturbations électromagnétiques des appareils électroniques ;
2. Etude, installation et extension plus simples ;
3. Pas de nécessité d'avoir une équipe professionnelle pour la maintenance.
4. Protection des personnes
5. Protection contre les incendies.
6. La continuité de service est assurée par la sélectivité verticale ;
7. Pas de nécessité de vérification les longueurs des câbles surtout pour les derniers étages [14].

I.10. ELEMENTS DE PROTECTION :

Pour protéger les appareils physiques et les personnes des dangers, des éléments de protection doivent être utilisés, notamment :

I.10.1. FUSIBLE :

Le fusible a été breveté par Thomas Edison en 1880 et développé par le physicien anglais Sir Joseph Swan. Le fusible, c'est un appareil qui protège les équipements électriques, ils sont régis par la norme C.E.I. 60269 [25] .

Un fusible est un organe de sécurité dont le rôle est d'ouvrir un circuit électrique lorsque le courant électrique dans celui-ci atteint une valeur d'intensité donnée pendant un certain temps. [26].

Son nom vient du fait qu'il y a fusion d'un filament conducteur sous l'effet de son élévation de température provoquée par la surintensité [27] .

Le fusible, également appelé coupe-circuit à fusible, est un appareil de protection qui interrompt le courant électrique par fusion lorsque le circuit présente un court-circuit "et", "ou" une surcharge suivant le type de charge.

I.10.2.1 AVANTAGE DES FUSIBLES :

Les avantages du fusible qui le caractérise d'autres appareils de protection grâce à plusieurs performances :

- *Rapidité de coupure ;*
- *Meilleur limiteur de courant permettant de protéger les êtres vivants (les personnes et les animaux) ;*
- *Caractérisé par un grand pouvoir de coupure ;*
- *La coupure d'arc se fait dans un environnement fermé évitant ainsi des incendies.*
- *Faible dissipation de puissance ;*
- *Universalité, les fusibles peuvent protéger des câbles, les transformateurs, les moteurs, les condensateurs, et des équipements d'électronique.*
- *Grande endurance au vieillissement et ne demande pas de maintenance.*
- *Prix très réduit*

I.10.2. DISJONCTEUR

Un disjoncteur est un dispositif capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, ainsi que d'établir, de supporter pendant une durée spécifiée et d'interrompre des courants dans des conditions anormales spécifiées telles que celles du court-circuit ou de la surcharge [28].

Il existe plusieurs types de disjoncteurs suivant leurs types de protection. Pour la protection contre les courts-circuits, on trouve les disjoncteurs magnétiques, le disjoncteur de type thermique pour la protection des surcharges et le type disjoncteur différentiel pour la protection des personnes [25].

I.11. CHOIX DE L'APPAREILLAGE ELECTRIQUE :

Le choix de l'appareillage électrique demande une bonne connaissance des caractéristiques du récepteur et son comportement dans des conditions normales de fonctionnement. L'appareillage doit être conforme aux normes correspondantes et convenir à leur application en cas de surcharges, courts circuits et sursensions. Nous rappelons que l'appareillage électrique est destiné à fonctionner dans les niveaux de tensions [40] .

I.12. LIGNES AERIENNES ET CABLES SOUTERRAINES:

Une ligne aérienne est un ensemble de conducteurs assurant avant tout la continuité électrique et réalisant une connexion entre deux nœuds d'un réseau électrique. Une ligne aérienne a une durée de vie d'environ 80 ans.

I.12.1. LIGNES AERIENNES :

a) Avantages

- *Sont moins coûteuses que les câbles souterraines au point de vue des frais d'installation et de réparation;*
- *Permettent une surveillance aisée de leur état et un repérage facile des accidents et défauts;*
- *Peuvent être réparées très rapidement en cas d'accident ou de défaut.*
- *Peuvent être surchargées en intensité de courant sans trop de danger.*

b) Inconvénients :

- *Sont exposées aux sursensions d'origine atmosphérique;*
- *Leur installation donne lieu à de difficiles discussions avec les propriétaires des terrains surplombés;*
- *Soulèvent des problèmes d'esthétique et de respect des sites;*
- *Sont susceptibles d'induire des forces électromotrices perturbatrices ou dangereuses dans les circuits de télécommunication;*
- *Sont susceptibles de produire des perturbations radioélectriques gênant les réceptions de radiodiffusion et de télévision;*
- *la rupture de leurs conducteurs est susceptible de présenter des dangers pour les personnes, les animaux.*
- *Selon certains scientifiques, les champs électriques et magnétiques peuvent exercer une influence néfaste sur la santé.*

I.12.2. CABLES SOUTERRAINES

Un câble sous terrain est un de raccordement pour réseau électrique, installés sous terre la durée de vie d'un câble souterrain est d'environ 40 ans.

a. Avantages

- *Constituent la seule solution possible dans les agglomérations denses;*
- *Sont soustraites aux surtensions d'origine atmosphérique ;*
- *Ne causent pas d'interférences avec les circuits de télécommunications et les réceptions de radiodiffusion et télévision;*
- *Seule solution possible pour traverser de larges fleuves ou des bras de mer lorsque la distance franchir dépasse 3 km.*

b. Inconvénients

Sont d'un coût beaucoup plus élevé que celui des lignes aériennes. La différence est d'autant plus grande que la tension est plus élevée;

- *Le repérage des défauts y est délicat et lent,*
- *Les réparations sont coûteuses et parfois malaisées;*
- *Leurs armures et gaines doivent être protégées contre les effets de corrosion dus aux courants vagabonds,*
- *Risquent d'être détériorés en cas de mouvements de terrains (particulièrement à craindre dans les régions minières),*
- *Leur isolement est susceptible d'être détérioré par élévation de température des conducteurs en cas de surcharge. [29]*

I.15. CONCLUSION :

De ce qui précède, nous concluons que les câbles jouent un rôle crucial dans le transport ou la distribution de l'énergie électrique. On peut les considérer comme les veines du réseau électrique, le choix de leurs dimensions demeurent un point très important, dans le chapitre suivant on va procéder au calcul de la section du câble ou le conducteur.

Chapitre II. CALCUL DE LA SECTION DU CÂBLE ET DU CONDUCTEUR

II.1. INTRODUCTION :

Le dimensionnement et le choix des éléments de protection de l'installation électrique nécessite avant tout de reconnaître les éléments constituant le circuit tel que :

- La tension continue ou alternative, la fréquence et le système d'alimentation (Mono, bi ou triphasé) etc...
- Type de charge (Moteur, lampes...)
- Type de câble choisie ; suspendu ou souterrain ; isolant PR ou PVC et conducteur en Cu ou Al.
- Température de l'environnement qui entoure le câble.
- Autre câbles voisins placés sur platine ou autre s'ils existent.
- Le dispositif de protection (fusible ou disjoncteur)
- La longueur du câble

II.2. PRINCIPE DE LA METHODE DE CALCUL :

- Afin de pouvoir arriver et calculer la section des canalisations on doit suivre les étapes suivantes (voir figure) :
- Détermination du courant d'emploi maximal (I_B) et le normalisé.
- Détermination du courant admissible dans des canalisations (courant fictif).
- Déduire la section de conducteur.
- Valider cette section par un calcul de la chute de tension.
- Choix de protection (disjoncteur ou Fusible).

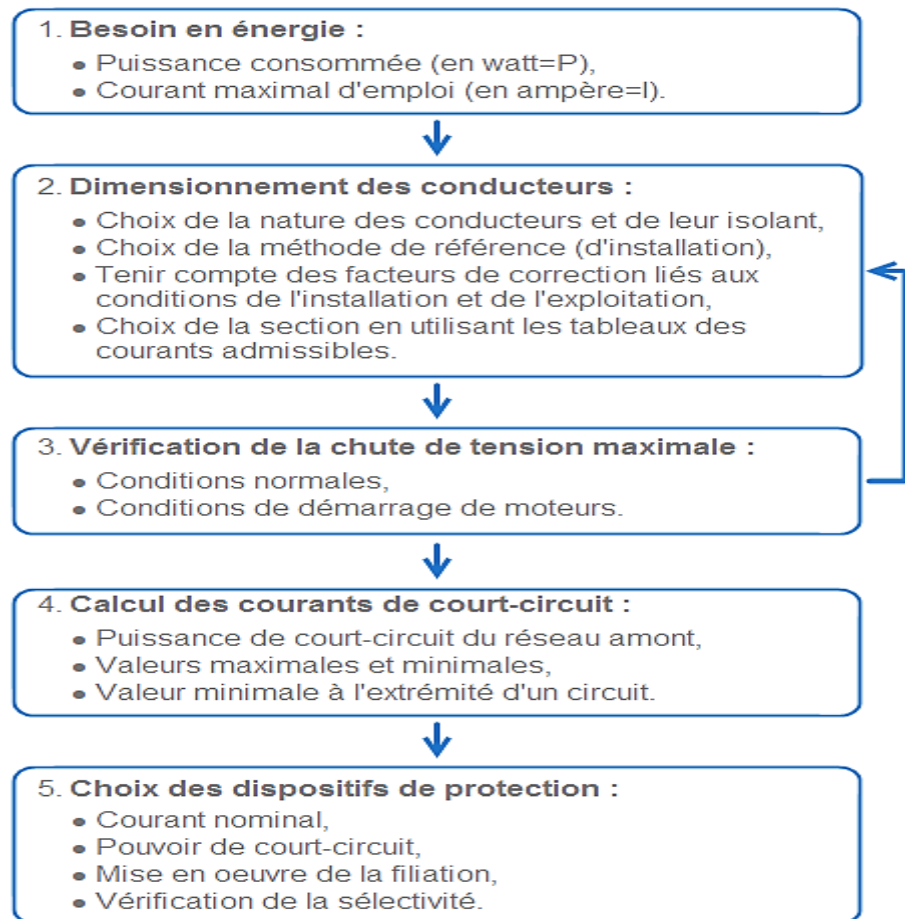


Fig.II.4.Principe de calcul de section de câble [43]

II.4. DETERMINATION DE LA SECTION DES CONDUCTEURS:

Câbles doivent assurer le transit de l'intensité du courant dans les conditions normales sans échauffement de l'âme conductrice et doivent supporter l'intensité du courant de court-circuit pendant une durée déterminée [32].

II.4.1. COURANT D'EMPLOI I_B :

Le courant d'emploi I_B est le courant correspondant à la plus grande puissance transportée par le circuit en service normal. Ce courant dépend directement de la puissance des appareils alimentés par le circuit, il est déterminé à partir du courant absorbé et corrigé selon plusieurs facteurs [34].

- *au niveau des circuits terminaux, c'est le courant qui correspond à la puissance apparente des récepteurs.*
- *au niveau des circuits de distribution, c'est le courant correspondant à la puissance d'utilisation, laquelle tient compte des coefficients de simultanéité et d'utilisation.*

II.4.2. COURANT ADMISSIBLE I_Z :

- C'est le courant maximal que la canalisation peut véhiculer en permanence sans préjudice pour sa durée de vie [35]. Ce courant pour une section donnée dépend de plusieurs paramètres :
 - *Constitution du câble (cuivre, aluminium, isolation PVC ou PR, nombre de conducteurs actifs)*
 - *Température ambiante*
 - *Mode de pose*
 - *Influence des circuits voisins (effets de proximité).*

Pour obtenir la section des conducteurs de phase, il faut :

- *Déterminer une lettre de sélection qui dépend du conducteur utilisé et de son mode de pose.*
- *Déterminer un coefficient f qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation [36].*

II.5. CALCUL DE LA SECTION MINIMALE DES CONDUCTEURS :

Le calcul pratique de la section d'un conducteur est une étape très importante pour le dimensionnement d'une installation électrique. En effet, le mal dimensionnement va entraîner un échauffement par effet joule ce qui peut engendrer un incendie et le surdimensionnement d'une section entraîne des problèmes mécaniques dû à l'excès du poids et une perte sur le plan du coût financier.

Une installation bien dimensionnée doit assurer l'acheminement du courant électrique sans dépasser la chute de tension admissible et permet aux appareils de protection de reprendre à leurs rôles dans les bonnes conditions de fonctionnement.

Dans ce qui suit, on expose par étape le calcul de la section optimal d'un conducteur [25].

II.5.1. CALCUL DU COURANT D'EMPLOI :

On note le courant d'emploi I_B

$$I_B = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot P_n \text{ [A]} \quad (\text{II.1})$$

- *Les facteurs a, b, c, d, e sont des facteurs correcteurs du courant nominal.*
- *a : Facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement des récepteurs.*
- *b : Facteur d'utilisation des appareils.*
- *c : Facteur de simultanéité.*
- *d : Facteur tenant compte des prévisions d'extension.*
- *e : Facteur de conversion des puissances en intensités.*
- *P_n : Puissance utile de la charge [Kw]*

II.5.1.1 Détermination du facteur "a" :

Ce facteur correcteur est fonction du facteur de puissance $\cos\varphi$ de la charge et son rendement

$$a = \frac{1}{\eta \cdot \cos\varphi} \geq 1 \quad (\text{II.2})$$

En l'absence d'information, l'UTE C 15-105 propose les données suivantes :

la valeur de "a " est majorée pour tenir compte des pics de courant à la mise sous tension. Pour le chauffage par résistance $a = 1$.

Tableau II-1 1.Facteurs de correction "a"

Types des lampes	a
Incandescence	1,00
Vapeur de mercure à lumière mixte	1,40
Vapeur de sodium à base pression 18 à 180w	1,60
Ballasts non compensés (Iodures métalliques)	3,40
Ballasts non compensés (Fluorescence (tubes))	3,70
Ballasts non compensés (Vapeur de mercure – ballons fluorescents)	4,00
Ballasts non compensés (Vapeur de sodium haute pression)	4,20
Ballasts compensés (Iodures métalliques)	2,40
Ballasts compensés (Fluorescence (tubes))	2,20
Ballasts compensés (Vapeur de mercure – ballons fluorescents)	2,50
Ballasts compensés (Vapeur de sodium haute pression)	2,00
Chauffage par résistance	1,00
Moteurs	2,00
Prise de courant	1,00

II.5.1.2. Détermination du facteur d'utilisation "b" :

L'appareillage dans une installation électrique ne fonctionne pas toujours en permanence, pour cette raison, on fait cette correction pour tenir compte de la cadence d'utilisation ce facteur est inférieur ou égale à 1.

Tableau II-2 Facteur d'utilisation "b" en cas d'absence d'information

Éclairage et chauffage	1
Installation industrielle	0,6
Pas d'information	0,75

II.5.1.3. Détermination de simultanéité "c ":

Généralement, les récepteurs électriques ne fonctionnent pas au même temps, un facteur correcteur a pour but de minorer la valeur du courant. En l'absence de données précises, les valeurs de ce facteur peuvent être admises.

* pour tenir compte des courants de démarrage, le courant nominal est majoré de 1/3. Pour les armoires électriques le facteur c peut prendre les valeurs suivantes :

Tableau II-3 Facteur de simultanéité " c " « proposé par la norme

Éclairage ou Chauffage et conditionnement d'air	1
Ascenseurs * et monte-charge (Moteur le plus puissant)	1
Ascenseurs * et monte-charge (Moteur suivant)	0,75
Ascenseurs * et monte-charge (Les autres)	0,6
Prise de courant	0,75

II.5.4. Détermination du facteur d'extension " d " :

- Ce facteur prend en considération les extensions possibles de l'installation électrique.

Tableau II-4 Facteur d'extension.

Cas général	1
Industrielle	1,2

II. 5.5. Détermination du facteur de conversion puissance/intensité " e " :

Ce facteur a pour but de convertir la puissance active en kW à des courants en « A ».

$$e = \frac{1000}{V} \quad \text{En monophasé} \quad (\text{II.3})$$

$$e = \frac{1000}{\sqrt{3}.U} \quad \text{En triphasé} \quad (\text{II.4})$$

V : Tension en monophasé, U : Tension entre deux phases

II.6. CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE I_z :

Le courant admissible est le courant supporté par la canalisation, la valeur minimale est calculée par :

$$I_z = \frac{I_B}{f} \quad (\text{II.5})$$

$$\text{Avec } f = f1. f2. f3 \quad (\text{II.6})$$

I_z : Courant admissible, courant supporté par la canalisation

I_B : Courant d'emploi en ampère

$f1$: Facteur correcteur en tenant compte de la température,

f_2 : Correction en fonction du groupement des circuits et des câbles,
 f_3 : Correction suivant le mode de pose.

Canalisations non protégées :

Lorsque la canalisation n'est pas protégée contre les surcharges, on prend le courant admissible égal le courant d'emploi [35] :

$$I_z = I_B \quad (\text{II.7})$$

II.6.1. DETERMINATION DES FACTEURS CORRECTEURS DU COURANT ADMISSIBLE :

La norme UTE C 15-105 Juillet 2003 décrit la méthode de la détermination du mode de pose symbolisé par des lettres majuscule B, C, D, E ou F.

Tableau II-5 Modes de pose des câbles

Type d'éléments Conducteurs	Mode de pose	Lettre
Conducteurs et câbles multiconducteurs	Dans des caniveaux ouverts ou ventilés Dans des vides de construction ou caniveaux fermé ou faux-plafonds. Dans des goulottes Dans des conduits dans des vides	B
	Fixés sur un mur Fixés à un plafond Sur chemin de câbles ou tablettes non perforées	C
Câbles multiconducteurs	Sur chemin de câbles ou tablettes non perforées Sur des corbeaux. Sur des échelles à câbles	E.F
Câbles mono ou Multiconducteurs	Dans des conduits ou dans des conduits profilés enterrés Enterré	D

II.6.1.1. Facteur correcteur en fonction de la température " f_1 " :

Pour un câble suspendu à l'air libre une correction est nécessaire pour les températures différentes de 30 °C.

Tableau II-6 Facteur de correction température ambiante f_1

Température ambiante °C	Isolation		
	Caoutchouc	PPVC	PR_EPR
T			
10	1,29	10,22	1,15
15	1,22	10,17	1,12
20	1,15	10,12	1,08
25	1,07	10,06	1,04
30	1	01	1
35	0,93	00,94	0,96
40	0,82	00,87	0,91
45	0,71	00,79	0,87
50	0,58	00,71	0,82
55	-	00,61	0,76
60	-	00,5	0,71
65	-	-	0,65
70	-	-	0,58
75	-	-	0,5
80	-	-	0,41

Le courant admissible des câbles enterrés est défini pour une température dans le sol de 20 °C. Pour les autres températures, les facteurs de correction sont indiqués dans le tableau pour des isolants en PVC, en EPR et XLPE.

Tableau II-7 Facteurs de correction pour des températures du sol différentes de 20 °C

Température du sol °C	Isolation	
	PVC	PR / EPR et XLPE
T		
10	1,1	1,07
15	1,05	1,04
20	1	1
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,8
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65

II.6.1.2. Correction due au groupement des circuits et des câbles :

La norme C.E.I.60364-5-52 propose les valeurs du facteur de correction pour le groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multiconducteurs. Le tableau 29 présente les valeurs du facteur de correction pour différentes configurations des câbles ou conducteurs non enterrés, pour des groupements en plusieurs circuits.

Tableau II-8 Facteur de groupement

Nombre de conducteurs chargés S(mm ²)								
S (mm ²)	1	2	3	4	5	6	7	8
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
35	110	119	126	138	147	158	169	185
50	134	144	153	168	179	192	207	225
70	171	184	196	213	229	246	268	289
95	207	223	238	258	278	298	328	352
120	239	259	276	299	322	346	382	410
Aluminium								
Nombre de conducteurs chargés								
S (mm ²)	1	2	3	4	5	6	7	8
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
35	86	90	96	103	112	120	126	135
50	104	110	117	125	136	146	154	164
70	133	140	150	160	174	187	198	211
95	161	170	183	195	211	227	241	257
120	186	197	212	226	245	263	280	300

II.6.1.3. Mode de pose :

Suivant le mode de pose un facteur minore l'intensité de courant, ce facteur f_3 est donné par le tableau 30. La figure 86 donne un exemple 1 : Détermination du nombre de circuits :

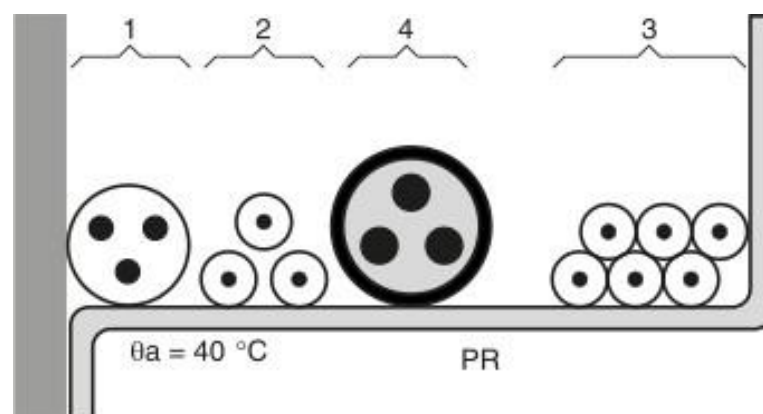


Figure II-1 Détermination du nombre de circuit

- 1- Circuit d'un câble triphasé
- 2- Circuit constitué de trois câbles unipolaires
- 3- Circuit composé de six câbles unipolaires, ce qui est équivalent à deux circuits triphasés.

4- Le câble en étude. Ce circuit est équivalent à cinq groupements triphasés. [25]

Tableau II-9 Facteur correcteur suivant le mode de pose " f_3 "

Lettre de sélection	Type d'installation	f_3
B	Câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,7
B	Conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
B	Câbles multiconducteurs	0,9
B	Vides de construction et caniveaux	0,95
C	Pose sous plafond	0,95
D	Câble mono-conducteur ou multi conducteurs enterrés avec ou sans protection mécanique complémentaire.	0,8
B, C, E, F	Autres cas	1

II.7. CHOIX DU DISPOSITIF DE PROTECTION

Le dispositif de protection doit assurer la protection totale du câble, la protection est faite soit par un fusible ou un disjoncteur. Ce qui nécessite une bonne coordination entre le câble et le dispositif de protection choisie [25]

II.7.1. PROTECTION PAR FUSIBLE:

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

CARACTERISTIQUES :

- COURANT NOMINAL OU CALIBRE D'UNE CARTOUCHE FUSIBLE I_n : C'est le calibre du fusible.
- TENSION NOMINALE D'UNE CARTOUCHE FUSIBLE V_n : c'est la tension maximale pour laquelle le fusible peut être utilisé (250, 400, 500 ou 600V).
- COURANT DE FUSION I_f : c'est la valeur spécifiée du courant qui provoque la fusion de la cartouche avant la fin du temps conventionnel.
- COURANT DE NON FUSION I_{nf} : c'est la valeur du courant qui peut être supporté par le fusible pendant un temps conventionnel sans fondre.
- POUVOIR DE COUPURE D'UNE CARTOUCHE FUSIBLE PDC : C'est le courant maximal qu'un fusible peut couper sans que la tension de

rétablissement ne provoque un réamorçage de l'arc. Les fusibles possèdent de très hauts pouvoirs de coupure (de 80 à 170 kA) [36].

II.7.2. PROTECTION PAR DISJONCTEUR :

Un disjoncteur est un appareil de connexion électrique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, ainsi que d'établir, de supporter pendant une durée spécifiée et d'interrompre des courants dans des conditions anormales spécifiées telles que celles du court-circuit ou de la surcharge.

Caractéristiques de disjoncteur

1) *TENSION ASSIGNEE D'EMPLOI* U_N : C'est la tension pour laquelle le disjoncteur a été conçu pour fonctionner dans des conditions normales de performances.

2) *COURANT D'EMPLOI* I_B : C'est la valeur maximale de courant qu'un disjoncteur équipé d'un déclencheur de protection contre les surintensités spécifié peut conduire indéfiniment pour une température ambiante spécifiée par le constructeur, sans avoir un échauffement excessif (hors de limites spécifiées) des parties conductrices.

3) *COURANTS NOMINAUX OU DE REGLAGE* I_N : Les disjoncteurs de type industriel sont équipés de déclencheurs interchangeables. De plus, afin d'adapter un disjoncteur aux caractéristiques du circuit qu'il protège, et d'éviter le surdimensionnement des conducteurs, le déclencheur est généralement réglable.

4) *COURANT DE DECLANCHEMENT* I_2 : Le rôle des déclencheurs de court-circuit est de provoquer l'ouverture rapide du disjoncteur pour les fortes surintensités. Leur seuil de fonctionnement [36]. Le rôle de la protection électrique est d'éviter ou de limiter les conséquences destructives et dangereuses des surintensités ou des défauts d'isolement, et pour assurer cette protection on doit protéger l'installation contre :

- *Les courants de surcharge : Cela correspond à un courant excessif circulant dans une installation saine (sans défaut).*

- Les courants de court-circuit, dus, par exemple, à la rupture d'un isolant entre phases ou entre phase et neutre.
- La protection dans ces deux cas est assurée par un disjoncteur ou un appareillage à fusible installé en amont dans le tableau de distribution [13].

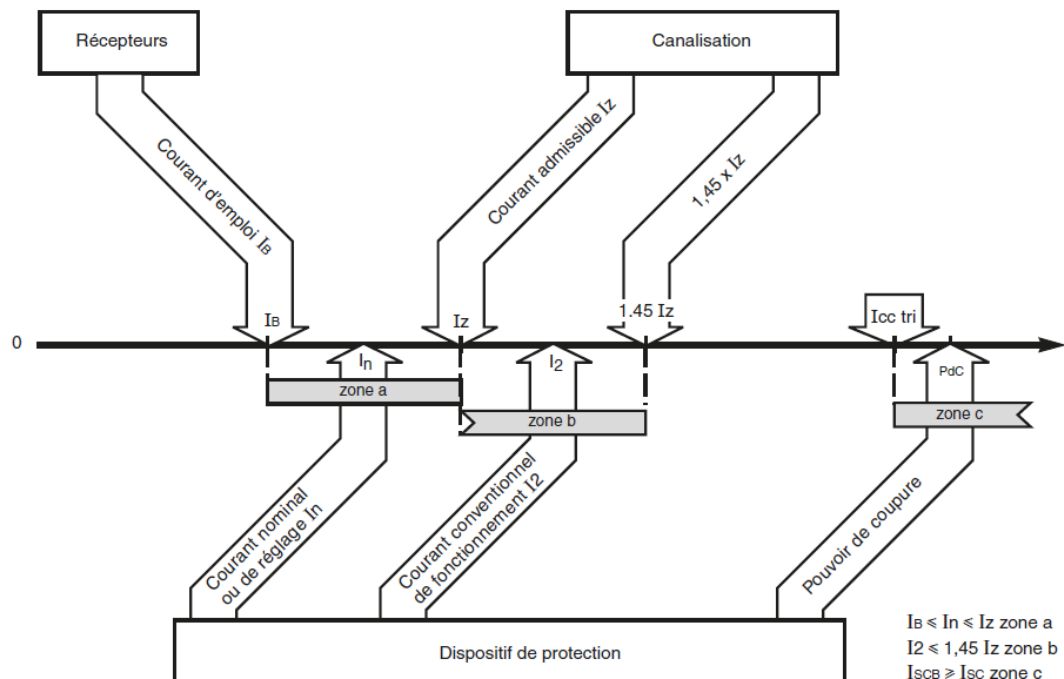


Figure II-2 Compare les différents courants de (charge, canalisation et dispositif de protection) [37]

II.11. COORDINATION ENTRE LES SECTIONS DES CONDUCTEURS ET LES DISPOSITIFS DE PROTECTION CONTRE LES SURCHARGES :

Après détermination du courant d'emploi et le courant admissible, il faut que le dispositif choisi pour la protection de la canalisation doive être en concordance, de façon qu'il interrompe le courant de surcharge dès que les contraintes thermiques admissibles sont atteintes. En outre, pour le courant assigné et le courant de fonctionnement du dispositif de protection. Pour les surcharges, il faut que le dispositif de protection assure les conditions citées dans le Tableau 10. [25]

On note :

$$K_2 = \frac{I_2}{I_n} \quad \text{et} \quad K_3 = \frac{I_2}{1,45 \cdot I_n} = \frac{K_2}{1,45} \quad \text{II.8)}$$

I_N : Courant assigné du dispositif de protection.

I_2 : Courant de fonctionnement du dispositif de protection dans le temps conventionnel.

K_2 : Rapport entre le courant I_2 et I_n .

- Pour les canalisations protégées contre les surcharges par les petits disjoncteurs, on prend $k3I_n \cong I_n$ et pour les disjoncteurs réglables on admis que $k3I_n \cong I_r$.

Tableau II-10 Coordination du dispositif de protection avec la section UTE C 15-105

Protection par	conditions	k_3	
Fusible gG	$I_B \leq I_n \leq I_z$ et $I_2 < 1,45 \cdot I_z$	$I_n \leq 10A$	1,31
		$10A \leq I_n \leq 25A$	1,21
		$I_n > 25A$	1,1
Disjoncteur	$I_B \leq I_n \leq I_z$		

Tableau II-11 Courant assigné des cartouches gG

$I_n(A)$	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	
$k_3 I_n$	13.1	19.4	24.2	30.3	35.2	44	55	69.3	88	110	138	
$I_n(A)$		160	200	250		315	400	500	630	800	1000	1250
$k_3 I_n$		176	220	275		347	440	550	693	880	1100	1375

II.12. CHOIX DE LA SECTION DU CONDUCTEUR :

Les sections des conducteurs en fonction du courant admissible pour les modes de pose B, C, D, E et F.

- *PR2 : Polyéthylène réticulé pour deux conducteurs,*
- *PVC2 : Polychlorure de vinyle pour deux conducteurs,*
- *PR3 : Polyéthylène réticulé pour trois conducteurs,*
- *PVC3 : Polychlorure de vinyle pour trois conducteurs.*

Tableau II-12 Section des conducteurs en fonction du courant admissible pour les modes de pose B, C, E, E et F

Mode de Pose	Cuivre	Cuivre	Cuivre	Cuivre	Cuivre	Cuivre	Cuivre	Cuivre
B	PVC3	PVC2		PR3	PR2	PR2		
C		PVC3		PVC2	PR3	PR3		
E			PVC3		PVC2 PR3	PVC2 PR3		PR2
F				PVC3	PVC2	PVC2	PR3	PR2

Tableau II-13 Section et Nombre de conducteurs chargés en fonction de la longueur maximale protégée

Nombre de conducteurs chargés S(mm ²)									
S (mm ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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

Pour les canalisations enterrées (mode de pose D) les sections sont les suivantes.

Tableau II-14 Section des conducteurs enterrés (Mode D)

Section des conducteurs enterrés				
S (mm ²) Cuivre	PVC3	PVC2	PR3	PR2
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	297	387	463
185	367	445	434	518
240	424	514	501	598
300	480	581	565	677
S (mm ²) Aluminium	PVC3	PVC2	PR3	PR2
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

Choix de la section des câbles :

Conducteur isolé : un conducteur isolé est un ensemble constitué :

- Une âme conductrice
- Une enveloppe insolente
- Ses écrans éventuels

Câble : un câble électrique est un ensemble constitué :

- Des conducteurs isolés
- Une protection d'assemblage
- Un ou plusieurs revêtements ou gains de protection [37].

II.13. SECTION DU NEUTRE ET DU CONDUCTEUR DE PROTECTION :

Le tableau suivant expose la correspondance entre le conducteur de phase et le courant du neutre pour le même matériau.

Table.II.14. Conducteurs de la phase et du conducteur du neutre

S-ph conducteurs de phase en mm ²	S<25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
S-neutre minimale du neutre en mm ²	S	(25 conducteur en Cu) et (35 conducteur en Al)	(25 conducteur en Cu) et (35 conducteur en Al)	35	50	70	70	95	120	150

En cas du choix du conducteur de protection la section :

$$S_{\text{protection}} = \frac{S_{\text{phase}}}{2} \quad (\text{II.8})$$

II.14. DETERMINATIONS DES SECTIONS DE CONDUCTEURS :*II.14.1. SECTION DU CONDUCTEUR NEUTRE :*

1. *Le conducteur neutre peut avoir une section inférieure à celle des conducteurs de phase:*

Dans le seul cas de circuits polyphasés dont les conducteurs de phase ont une section supérieure à 16 mm² en cuivre ou 25 mm² en aluminium et si le taux d'harmoniques de rang 3 et multiple de 3 ne dépasse pas 15% dans le conducteur de phase.

2. *Le conducteur neutre doit avoir la même section que les conducteurs de phase :*

Dans les circuits monophasés à 2 conducteurs, quelle que soit la section des conducteurs.

Dans les circuits polyphasés dont les conducteurs de phase ont une section au plus égale à 16 mm² en cuivre ou 25 mm² en aluminium si le taux d'harmoniques de rang 3 et multiple de 3 ne dépasse pas 33% dans le conducteur de phase. Dans ce cas, le conducteur neutre est considéré comme chargé, et un facteur de réduction de 0.84 doit être pris en compte.

Dans les circuits polyphasés dont les conducteurs de phase ont une section supérieure à 16 mm² en cuivre ou 25 mm² en aluminium si le taux d'harmoniques de rang 3 et multiple de 3 est compris entre 15% et 33% dans les conducteurs de phase.

Dans ce cas, le conducteur neutre est considéré comme chargé, et un facteur de réduction de 0.84 doit être pris en compte.

Ces taux d'harmoniques se rencontrent par exemple dans les circuits alimentant des luminaires à lampes à décharge dont les tubes fluorescents.

3. Le conducteur neutre doit avoir une section supérieure à celle des conducteurs de phase :

Dans les circuits polyphasés constitués de câbles multipolaires et lorsque le taux d'harmoniques de rang 3 et multiple de 3 dépasse 33%. Dans ce cas, le conducteur neutre est considéré comme chargé, et un facteur de réduction de 0.84 doit être pris en compte. De plus, la section déterminante est celle du neutre calculée pour un courant d'emploi pris égal à 1.45 fois le courant d'emploi dans la phase. Ces taux d'harmoniques se rencontrent par exemple dans les circuits dédiés à la bureautique et à l'informatique.

II.14.2. SECTIONS DES CONDUCTEURS DE PROTECTION DES MASSES BASSE TENSION (S_{PE}) :

Les conducteurs de protection qui ne font pas partie de la canalisation d'alimentation doivent avoir une section d'au moins [38]:

- *2,5 mm² Cu ou 35 mm² Alu si les conducteurs de protection comportent une protection mécanique.*
- *4 mm² Cu ou 35 mm² Alu si les conducteurs de protection ne comportent pas de protection mécanique [21].*

II.15. CONTROLE DE LA CHUTE DE TENSION:

La chute de tension dans la canalisation peut être calculée soit par la formule de la chute de tension ou en utilisant des tableaux livrés par les constructeurs des câbles.

II.15.1. VERIFICATION DE LA CHUTE DE TENSION PAR LE CALCUL:

L'impédance d'un câble est faible mais non nulle, lorsqu'il est traversé par le courant de service, il y a chute de tension entre son origine et son extrémité [39].

Tableau II-15 Chutes de tension permises dans les installations

Installation basse tension	3%	5%
transformation	6%	8%
Lorsque la conduite principale est supérieure à 100 mètres, la chute de tension est majorée de 0,005% pour chaque mètre dépassant les 100 mètres, sans que cette majoration dépasse les 0,5%.		

La chute de tension entre la source et la charge ne doit pas être supérieure à des valeurs permises, on peut calculer la chute de tension par la relation suivante :

$$\Delta u = 2\left(\rho \frac{l}{s} \cos\varphi + \delta l \sin\varphi\right) IB \text{ [V]} \quad \text{En monophasé} \quad (\text{II.9})$$

$$\Delta u = \left(\rho \frac{l}{s} \cos\varphi + \delta l \sin\varphi\right) IB \text{ [V]} \quad \text{En triphasé} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

$$R = \rho l / s, X = L\omega = \delta l.$$

- Généralement, la chute de tension est représentée par sa valeur relative exprimée en pourcent.

$$\Delta u\% = \frac{100 \cdot \Delta u}{V} \quad (\text{II.11})$$

V : C'est la tension simple en [V].

- ρ : Résistivité des conducteurs en [$\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$] (0.0225 pour le cuivre et 0.036 pour l'aluminium).
- δ : Réactance linéique des conducteurs, valeur moyenne $0.08 \cdot 10^{-3} \Omega / \text{m}$.
- l : Longueur du conducteur en [m].
- Δu : Chute de tension en [V].
- Si on néglige la partie inductive du conducteur, on suppose que ($\cos\varphi = 1$), la chute de tension relative peut réécrite comme suite :
- Formule simplifiée :

$$\Delta u\% = 200\left(\frac{\rho l}{s}\right) \text{ en monophasé} \quad (\text{II.12})$$

$$\Delta u\% = 100\left(\frac{\rho l}{s}\right) \text{ en triphasé} \quad (\text{II.13})$$

II.16. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons dévouez les étapes de calcul de la section des câbles. De plus ; nous avons donnez les équations et les abaqes permettant de déterminer les sections optimales des phases, neutre et du conducteur de protection PE. Et finalement nous avons montré comment faire la concordance entre le dispositif de protection et la longueur du câble choisi.

Dans le chapitre suivant nous allons procéder à la réalisation de notre application utilisant le logiciel Microsoft Excel permettant de réaliser tous les calculs et les choix déjà cités.

Chapitre III. REALISATION, RESULTATS ET COMPARAISON

III.1 INTRODUCTION:

L'objet de ce chapitre consiste en deux parties :

- la première partie à la présentation du logiciel EXCEL.
- la deuxième partie à la présentation des calculs.
- Comparaison des Résultats

III.2. PROGRAMME DE L'EXCEL :

EXCEL est un tableur qui permet aux utilisateurs de stocker, de manipuler et de représenter graphiquement des données, logiciel tableur le plus connu par les utilisateurs des plates-formes de nouvelles technologies, il présente des réels avantages pour tous les utilisateurs, car il est très rapide à mettre en place et très simple d'utilisation. On reconnaît en outre à ce logiciel des caractéristiques particulières qui le démarquent considérablement de la concurrence [47].



Figure III-1: Application de EXCEL.

- Il comporte des facilités en termes de calcul numérique, d'analyse des données, présentation graphique et de programmation.
- Il comprend des formules, permet aux utilisateurs de faire leurs propres formules. Alors que d'autres logiciels peuvent être en mesure de faire des choses similaires.
Liste de quelques fonctions et formules utilisées le projet:

1. FONCTION RECHERCHEV :

Recherche une valeur dans un tableau, du haut vers le bas, afin d'insérer automatiquement les données correspondantes à la valeur cherchée. La valeur cherchée doit toujours être la première colonne du tableau de recherche [47].

Syntaxe : =RECHERCHEV (Ce que vous voulez rechercher, où vous voulez le rechercher, le numéro de colonne dans la plage contenant la valeur à renvoyer, renvoyer une correspondance approximative ou exacte, indiquée comme 1/VRAI ou 0/FAUX).

2. FONCTION RECHERCHEH

On utilise la fonction RECHERCHEH lorsque les valeurs de comparaison sont situées dans une ligne en haut de la table de données, et que vous souhaitez effectuer la recherche n lignes plus bas. Utilisez la fonction RECHERCHEV lorsque les valeurs de comparaison se trouvent dans une colonne située à gauche des données recherchées. La lettre H dans RECHERCHEH est l'abréviation de "Horizontale".

Syntaxe : RECHERCHEH (valeur cherchée, table matrice, no index colonne, [valeur proche]).

3. FONCTION EQUIV

La fonction EQUIV recherche un élément spécifique dans une plage de cellules, puis renvoie la position relative de l'élément dans la plage.

La fonction Excel INDEX utilisée avec la fonction EQUIV permet la recherche de valeur dans un tableau.

Syntaxe : EQUIV (valeur cherchée, matrice recherche, [type])

[Type] : Facultatif. Nombre -1, 0 ou 1. L'argument type indique comment Excel compare l'argument valeur cherchée aux valeurs de l'argument matrice recherche. Valeur par défaut de cet argument : 1.

4. FONCTION INDEX

La fonction INDEX renvoie une valeur ou une référence à une valeur provenant d'un tableau ou d'une plage. Il existe deux façons d'utiliser la fonction INDEX :

Si vous voulez renvoyer la valeur d'une cellule ou d'une matrice de cellules spécifiée, voir *Forme matricielle*.

Syntaxe : INDEX (matrice; no ligne ; [no colonne])

Si vous souhaitez renvoyer une référence à des cellules spécifiées, voir *Forme référentielle*.

Syntaxe : INDEX (référence; no ligne; [no colonne]; [no zone])

5. FONCTION SI :

La fonction SI est l'une des plus répandues dans Excel. Elle permet d'établir des comparaisons logiques entre une valeur et le résultat attendu. Une instruction SI peut donc avoir deux résultats. Le premier résultat est appliqué si la comparaison est vérifiée, sinon le deuxième résultat est appliqué.

Syntaxe simple : Généralement, la fonction SI utilise la syntaxe suivante :

= Si (test logique ;[valeur si vrai] ;[valeur si faux])

6. LISTE DEROULANTE

La liste déroulante ou encore appelée « zone de liste déroulante » ou « menu déroulant », est un outil utilisable pour réaliser des feuilles de calcul dynamiques, efficaces et pratiques.

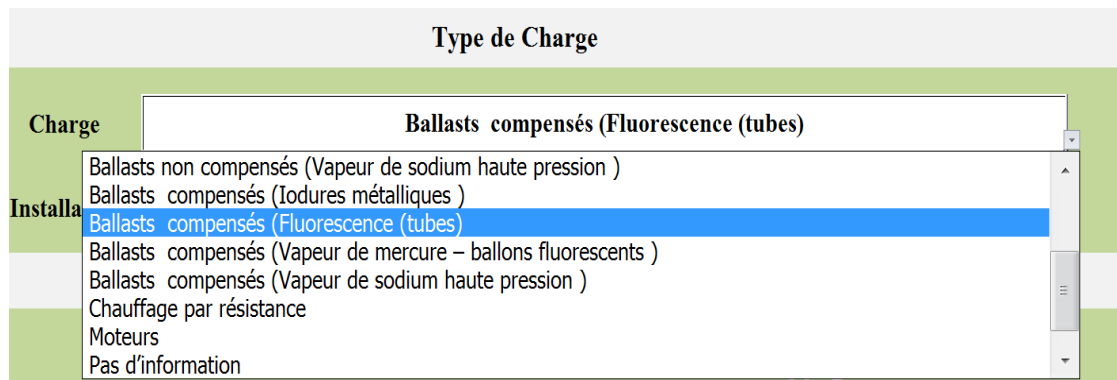


Figure III-2 Exemple d'une liste déroulante

7. LISTE DEROULANTE EN CASCADE :

Une liste en cascade permet de fractionner la saisie des données via des listes déroulantes, grâce au filtrage des données proposées aux niveaux suivants imbriqués. Tableau associé : un tableau associé est un tableau à deux niveaux [xx].

Dans notre cas les températures pour les deux isolants PR et le PVC diffèrent la température du PR peut aller jusqu'à 80 °C par contre le PVC n'excède pas les 60 °C. Pour cette raison on a utilisé la liste déroulante en cascade.

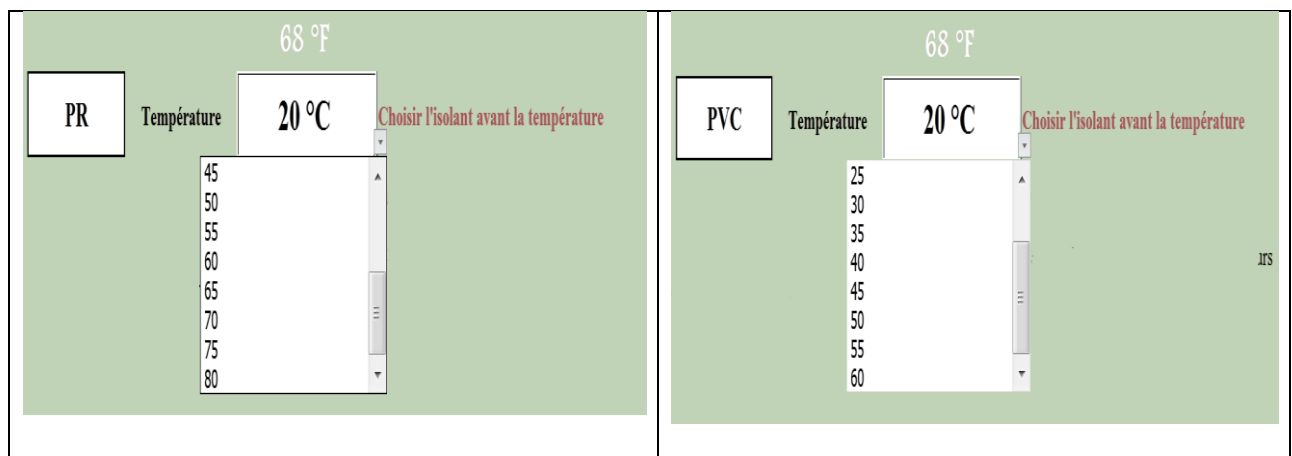


Figure III-3 Exemple d'une liste déroulante en cascade

8. OPERATEUR ARITHMETIQUE :

L'ensemble correspond aux opérations mathématiques élémentaires. Puisqu'il s'agit d'opérateurs arithmétiques, ces derniers ne peuvent être utilisés qu'avec des valeurs numériques. Citons par exemple (l'addition, la soustraction, Puissance...). On utilise ces opérateurs pour le calcul de I_B , I_z , $\Delta u...$

III.2.1. AVANTAGES D'EXCEL :

L'un des avantages d'Excel est l'automatisation des calculs. En effet, l'utilisation de formules et de fonctions peut vous aider à analyser les données contenues dans une feuille de calcul .

- EXCEL est moduler à souhait la forme et le contenu, à travers ses colonnes, lignes, feuilles de calcul qui offrent d'énormes possibilités sens très flexible.
- EXCEL est plus aisé notamment de fusionner les données, effectuer des calculs, déplacer des données d'une colonne vers une autre est sens gestion souple.
- EXCEL est permet de réaliser des opérations, telles que des additions, des multiplications et des comparaisons de valeurs figurant dans une feuille de calcul
- L'EXCEL, n'a pas besoin de changer de page pendant le travail, car toutes les informations nécessaires sont contenues sur la même page, ce qui facilite ainsi son utilisation sens toutes les données sur une seule page.

III.2.2. UTILISATION DU LOGICIEL EXCEL:

Par le bais du logiciel Excel on réalise l'application voulu permettant de d'introduire les paramètres de calcul ainsi que les résultats voulues.

III.2.3. METHODE DE CALCUL :

La méthodologie à suivre lors de la création d'un projet avec «EXCEL» version 2010, est comme suit:

III.2.3.1.Définition des caractéristiques électriques générales de l'installation:

Lors du lancement du logiciel EXCEL, cliquez sur la case « Paramètre du projet », une fenêtre est automatiquement affichée, comme montré dans la figure 1.

- Au début du projet avant d'entamer le dessin du schéma, on doit d'abord saisis les caractéristiques générales de l'installation.
- Cette dernière peut être modifiée en cours de réalisation de notre projet.

The interface is divided into two main sections: input and results.

Input Section (Left):

- Power:** Input field (1), Frequency: 50 Hz (3)
- Voltage:** Input field (2), System: Input field (4)
- Type de Charge:** Charge (input), Installation (input)
- Mode de pose et câble et protection:** Longueur du Câble (input), Isolant du câble (input), Température (32 °F), Type de conducteur (input), Mode de pose (input), Circuits dans un même conduit (input), Nbre de Couches (input), Conducteur (input), Chute de tension permise cas d'un moteur (input), Protection par: (input)

Results Section (Right):

- Courant d'emploi I_L : (input)
- Lettre de Selection: (input)
- Courant admissible I_Z : (input)
- Courant assigné I_n : (input) Protection par (input)
- Courant surcharge kI_n : (input)
- Isolant: (input) Conducteurs Chargés (input)
- S_{phase} : (input) Conducteur en (input)
- S_{neutre} : (input) S_{PE} (input) m (input)
- $\Delta u\%$: (input) Chute permise (0 %) (input)
- Tension en charge: (input)

Table: Longueur maximale protégée

	TT	TN	IT	
Disjoncteur				Neutre distribué
Fusible				Neutre non distribué

Figure III-4: Vue générale de l'interface de l'application

III.2.3.2. Présentation des fonctionnalités de l'application

L'application est divisée en deux parties, une partie pour introduire les données et une deuxième partie pour visualiser les résultats.

Partie I :

Cette partie est constituée de 3 parties qui sont les suivantes :

A- Données du réseau

Permet de d'introduire les données du réseau ainsi que la puissance totale demandée (figure suivante).

Réseau

1 Puissance: 5 kW

2 Tension simple: 220 V

3 Fréquence: 50 Hz

4 Système: Triphasé (dropdown menu)

5 220V/380.6V

Figure III-5 Interface pour l'introduction des données du réseau

- 1- Données de puissance en [kW].
- 2- Valeur de la tension simple entre phase et neutre [V].
- 3- fréquence du réseau fixé à 50 Hz
- 4- liste déroulante pour le choix du système monophasé ou triphasé.

5- Partie n'apparaît que lorsque le système est triphasé.

B- Données de la charge

Cette partie est constituée de deux listes déroulantes, la première pour le choix de la charge (lampe, moteur, résistance...) et la deuxième languette est pour le type d'installation (industrielle, éclairage et chauffage)

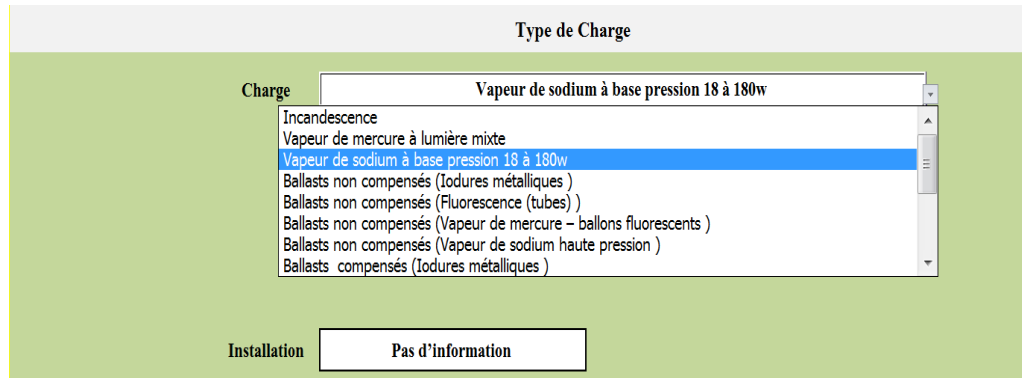


Figure III-6 Interface pour l'introduction des données de la charge

C- Données du mode de pose

Cette partie est constituée de 9 fenêtres pour l'introduction des données qui sont les suivantes (figure) :

1. Longueur du câble disponible [m].
2. Choix de l'isolant du câble (PVC ou PR) par une liste déroulante.
3. Une autre liste déroulante en cascade avec 2 permet le choix de la température en °C, en haut s'affiche la température en fahrenheit.

Figure III-7 Interface pour l'introduction des renseignements du câble

4. Liste déroulante pour le choix du mode de pose du câble.
5. Liste déroulante pour le choix du nombre de circuit posé dans la même conduite entre 1 et 20.
6. Liste déroulante pour le choix du nombre de circuit de couche.
7. Liste déroulante pour le choix du matériau utilisé pour la partie conductrice Cu : pour le cuivre, Al : pour l'aluminium.
8. Fenêtre pour l'introduction de la valeur de la chute de tension permise utilisé dans le cas d'un moteur.
9. Liste déroulante pour le choix de la protection disjoncteur ou fusible

Partie II :

Cette partie essentielle affiche directement les résultats de calcul dans la partie droite et elle est composée de 2 parties qui sont :

A- Résultats du calcul des courants et des sections

Quatre secteurs sont disponibles, le premier secteur destiné pour le calcul des courants (Courant d'emploi, Courant admissible, Courant assigné, Courant surcharge) ainsi que la lettre de sélection est affichée (figure).

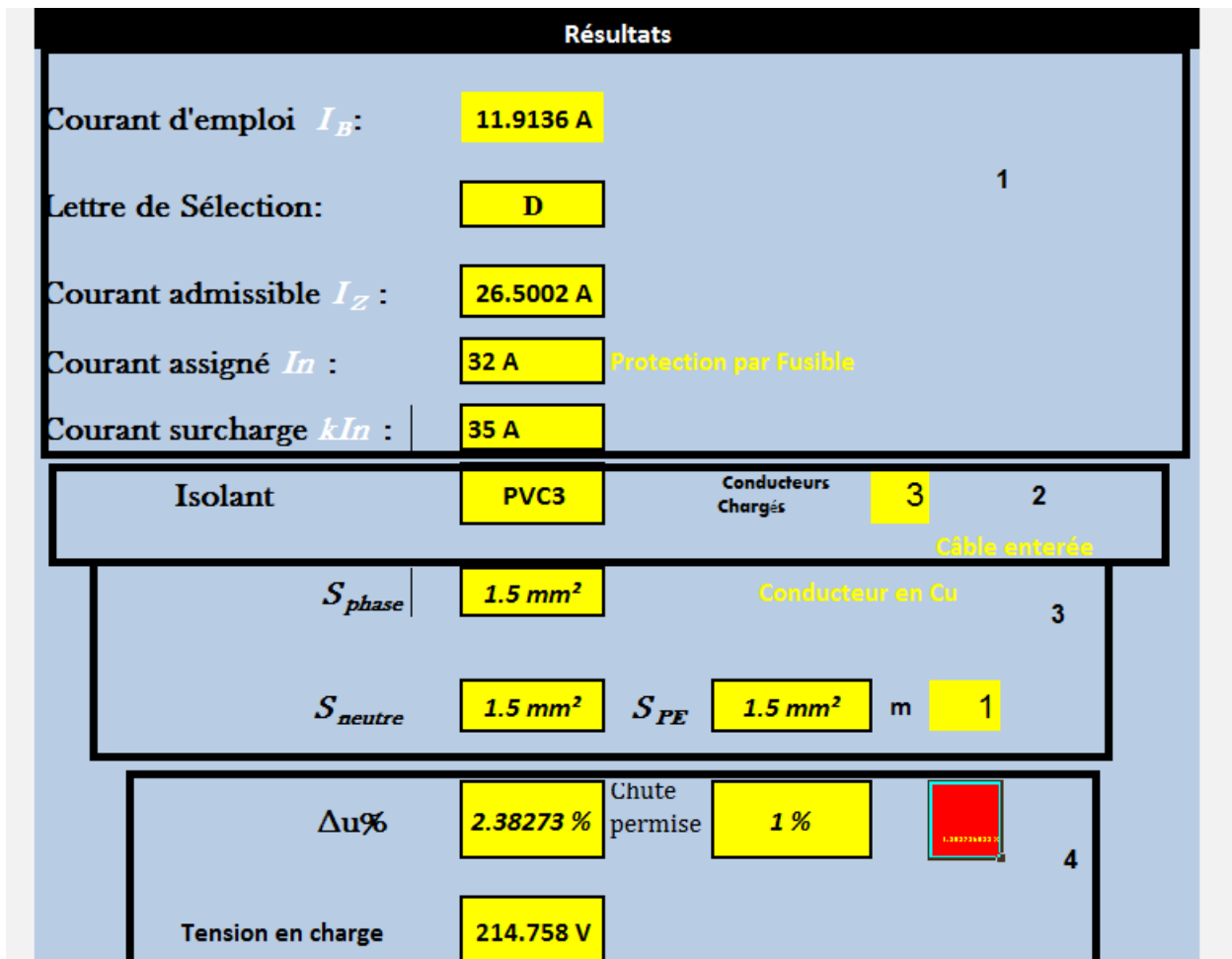


Figure III-8 Interface des résultats

Le deuxième secteur ce n'est que des renseignements concernant le câble, permettant le support pour le calcul. D'autre part, la troisième zone affiche les résultats des sections (phase, neutre et conducteur de protection) ainsi que le rapport $m = S_{ph}/S_{PE}$

Une dernière zone dédiée pour le calcul de la chute de tension, ainsi que la tension aux bornes de la charge. En plus un indicateur tricolore permet de signaler si la chute de tension est dépassée.

B- Calcul de la longueur maximale protégée par le dispositif de protection

Cette partie est destinée aux calculs de la longueur maximale protégée suivant le dispositif de protection fusible, DDR ou disjoncteur magnétothermique et suivant le schéma de liaison à la terre.

Longueur maximale protégée (m)				
	Disjoncteur		DDR	Fusible
	TN	TI	TT	
Neutre Distribué	124	356	Illimité	356
Neutre Non Distribué	307			
Temps de coupure	0.8 s		0.3 s	

Figure III-9 Longueur maximale protégée par le dispositif de protection

D'autre part, suivant le type de disjoncteur, l'application affiche le temps de coupure pour le disjoncteur et dispositifs différentiels résiduels (DDR).

III.4. Comparaison des Résultats :

Après achèvement de l'application, il est nécessaire de le compares à un autre logiciel, on a opté pour un logiciel validé par Google Play intitulé calculs électriques v8.2.5 copyright Egal Net.

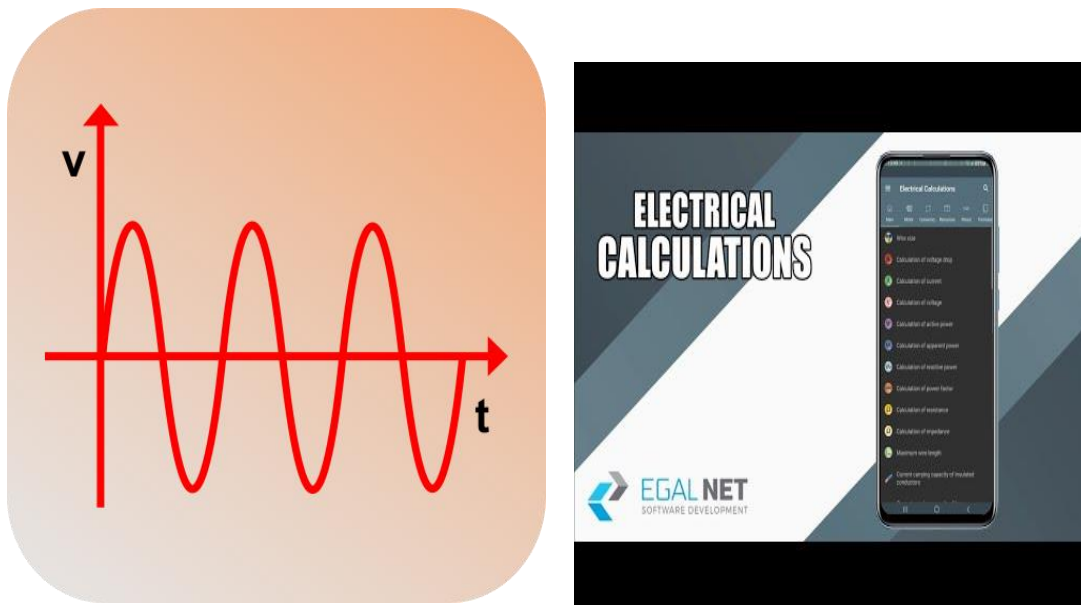


Figure III-10 Sigle du logiciel comparateur

Ce logiciel à plusieurs fonctionnalités (calcul des puissances, des moteurs, les convertisseurs...), nous nous intéressons pour le calcul de la section du câble qui nous intéresse.

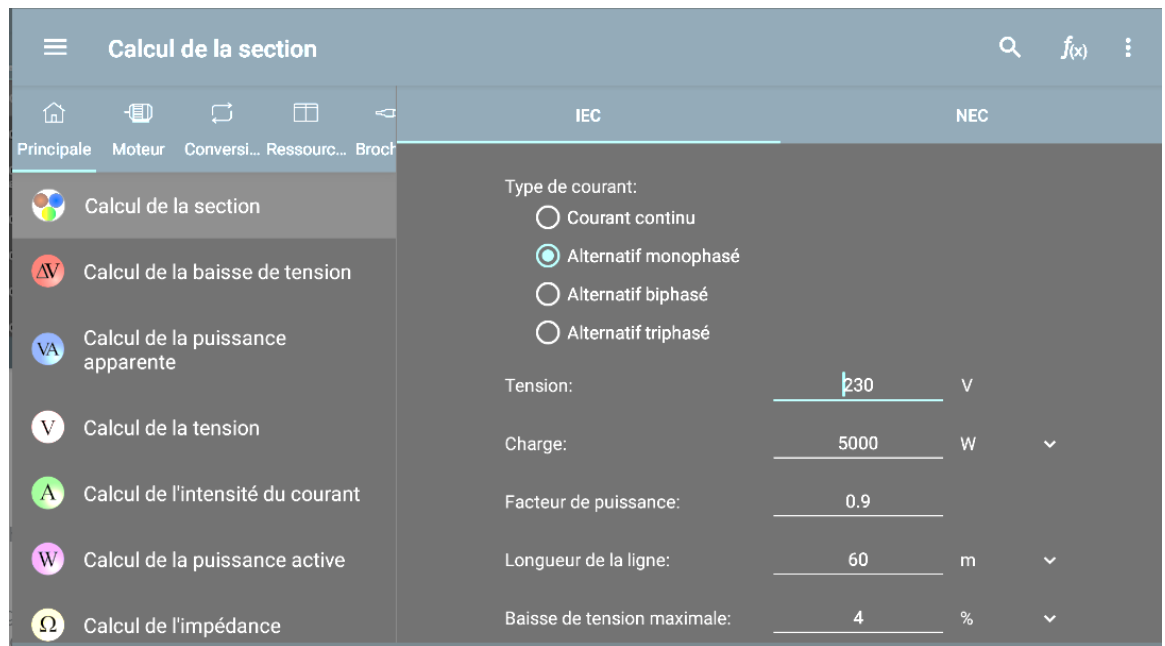


Figure III-11 Partie réservée pour le calcul de la section du câble

Nous avons introduit les mêmes données dans les deux applications et les résultats sont comme suit :

Tableau III-1 Paramètres introduites dans les deux applications

Désignation	Valeurs et choix
Système	Triphasé
Tension (V)	220
Puissance (kW)	5
Cos ϕ	1
Longueur du câble (m)	50
Baisse de tension (V) autorisé (%)	3
Type d'installation	Câbles dans des conduits encastrés directement dans des matériaux thermiques isolants.
Température (°C)	50
Conducteur	Cu
Isolant	PVC
Circuit dans la même conduite	1

Résultats obtenus :

Calcul de la se... $f(x)$		Résultats			
IEC	NEC				
Section de la phase (L):	6.0 mm ²	Courant d'emploi I_B :	13.1216 A		
Section du neutre (N):	6.0 mm ²	Lettre de Selection:	B		
Section de la terre (PE):	6.0 mm ²	Courant admissible I_Z :	37.8945 A		
Courant de fonctionnement:	13.122 A	Courant assigné I_n :	40 A	Protection par Disjoncteur	
Intensité maximale du câble:	14.41 A	Courant surcharge kI_n :	40 A		
Baisse de tension:	2.11 %	Isolant:	PVC3	Conducteurs Chargés:	3
Tension en charge:	215.366 V	S_{phase} :	6 mm ²	Conducteur en Cu	
		S_{neutre} :	6 mm ²	S_{PE} :	6 mm ² m 1
		$\Delta u\%$:	3.2804 %	Chute permise:	3 % 0.3 %
		Tension en charge:	212.7831 V		
		Longueur maximale protégée (m)			
		Disjoncteur		DDR	
		TN	TI	TT	Fusible
Neutre Distribué		293	587	Illimité	587
Neutre Non Distribué		508			
Temps de coupure		0.4 s		0.2 s	

Figure III-12 Résultats obtenus par les deux application

On constate que les résultats se correspondent sauf aux chute de tension, cela s'explique par le faite que nous avons utilisé la formule complète est peut-être ce logiciel utilise la formule approximative.

III.3.1. Deuxième test:

Éléments que nous obtenons grâce au projet :

- Tension simple : $V=220$ V.
- Puissance : $P=15$ KW.
- Système : Triphasé.
- la charge : Moteur.
- Installation : Installation Industrielle.
- Longueur du câble : $L=100$ m.
- Isolant du câble : **PVC**.
- Température : 25°C
- Mode de pose : câble suspendus (Multiconducteurs).
- Circuits dans un même conduit : 1.
- Nombre de couches : 1
- Conducteur : Cuivre.

Nous avons lancé le calcul et nous avons obtenu les résultats suivants :

éléments de sortie	Résulta de logiciel	Résulta de projet
-courant d'emploi.	32 A	31.5975 A
-Lettre de section.	E	E
-courant admissible	40 A	40.7757 A
-courant assigné.	50 A	50 A
-Isolant.	PVC3	PVC3
-courant surcharge.	56 A	55 A
-Section de phase.	10 mm ²	10 mm ²
-Section de neutre.	10 mm ²	10 mm ²
-Section de protection.	10 mm ²	10 mm ²
-Chute de tension permise cas d'un.	20 %	20 %
-Protection par	Fusible	Fusible
-La chute de tension.	29%	28.438%
-Tension en charge.	158 V	157.437 V
-Nombre de conducteurs chargés.	3	3

III.6. Conclusion :

Ce chapitre concerne la simulation en utilisant le logiciel EXCEL, le calcul des dimensions des différentes composantes d'une installation électrique. A savoir, la section des différents câbles, choix des dispositifs de protection, la longueur protégée dans les trois cas du schéma de liaison à la terre et le temps de coupure des disjoncteurs.

CONCLUSION GENERALE

Notre travail a été consacré à l'étude et la réalisation d'une application de dimensionnement des câbles dans des installations monophasées et triphasées.

En utilisant le logiciel EXCEL, qui est un logiciel connu dans le domaine de la bureautique.

Au départ, nous nous sommes basé sur les généralités et les éléments de protection, dans une deuxième partie, nous avons décrit les différentes étapes à suivre pour aboutir au calcul des sections des câbles, en respectant la vérification des contraintes thermiques et les contraintes de la chute de tension.

En fin, la troisième partie on réalise l'application et utilise les fonctionnalités du logiciel Excel.

Les résultats sont satisfaisants respectent les contraintes de la chute de tension et les contraintes thermiques au départ.

Espérons dans les travaux à venir de performer cette application et la tester sur d'autres logiciels plus appropriés. Et de développer d'autres applications qui nous facilitent le calcul tel que le calcul des machines ou les convertisseurs.

BIBLIOGRAPHIES

- 1 LUC.LASEN, « EXERCICE ET PROBLEMES D'ELECTROTECHNIQUE ». PARIS, DUNOD, 2005,256P.
- 2 M PRATAP NAIR, K NITHIYANANTHAN. FEBRUARY 2016. AN EFFECTIVE CABLE SIZING PROCEDURE MODEL FOR INDUSTRIES AND COMMERCIAL BUILDINGS INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING (IJECE).VOL. 6, N°1, P 34-39.
- 3 SUPPORT DE COURS, SCHEMAS ET APPAREILLAGE ELECTRIQUE, DR BENAIRE NOREDDINE, 2014.
- 4 [HTTPS://BLOG.MATERIELECTRIQUE.COM/CABLESELECTRIQUES/](https://blog.materielectrique.com/cableselectriques/)
- 5 PIERRE HAUTEFEUILLE & YVES PROCHERON « LIGNES AERIENNES » TECHNIQUES DE L'INGENIEUR D640A_6_1973.
- 6 [HTTPS://FR.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/FIL_ELECTRIQUE](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fil_electrique)
- 7 M.TALEB « PHENOMENES AUX INTERFACES DES ISOLANTS : MESURE ET SIMULATION » MEMOIRE DE DOCTORAT ; OPTION : GENIE ELECTRIQUE ;L'UNIVERSITE TOULOUSE III-PAUL SABATIER ; (2011).
- 8 D.AUSSEUR ;« POLY (CHLORURE DE VINYLE) » ; TECHNIQUE DE L'INGENIEUR ; AM 3325 ;FRANCE.
- 9 BOUCHEBOUBA CHERIF CHAWKI & BENATTIA HOURIA « ETUDE ET DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE DU NOUVEAU SITE DE LA CABLERIE ALGERIENNE », MEMOIRE MASTER 2 UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM ,2019
- 10 D.AUSSEUR ;« POLY (CHLORURE DE VINYLE) » ; TECHNIQUE DE L'INGENIEUR ; AM 3325 ;FRANCE.
- 11 BOUTAMINE MIMI & RAHAL ABIR « ETUDE MECANIQUE THERMIQUE ET ECONOMIQUE DE QUELQUE MELANGE A BASE DE PVC PROPOSE PAR L'ENICAB DE BISKRA » MEMOIRE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN : GENIE DES PROCEDES 2013.
- 12 Z. MOHAMED ; « ÉTUDE DES PROTECTIONS DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES MT (30 & 10 kV) » MEMOIRE DE MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE OPTION: MODELISATION ET COMMANDE DES MACHINES ELECTRIQUES ; UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE ; ALGERIE(2010).
- 13 J. W. SUMMERS, "A REVIEW OF VINYL TECHNOLOGY", JOURNAL OF VINYL & ADDITIVE TECHNOLOGY, VOL. 3, N° 2, PP. 130-139, JUNE 1997.
- 14 A.MOHAMED NADIA, W. SABAA MAGDY, "THERMAL DEGRADATION BEHAVIOUR OF POLY(VINYL CHLORIDE)-POLY(VINYL BUTYRAL) BLENDS", EUROPEAN POLYMER JOURNAL, VOL. 35, PP. 1731-1737, 1999.
- 15 SUPPORT DE COURS, SCHEMAS ET APPAREILLAGE ELECTRIQUE, DR BENAIRE NOREDDINE, 2014
- 16 M. ADEL KARA « CONTRIBUTION A L'ETUDE D'UN MODELE DYNAMIQUE DE CONTOURNEMENT D'UN ISOLATEUR POLLUE »UNIVERSITE DE SETIFUFAS (ALGERIE) SOUTENU LE 18/12/2013.
- 17 N. LAHAÇANI AOUZELLAG, «CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA FLEXIBILITE DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES LIEE A L'INTEGRATION DES GENERATEURS EOLIENS », THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE A.MIRA DE BEJAÏA, 03 NOVEMBRE 2011.P5
- 18 SIHEMBOURI « OPTIMISATION DE LA PRODUCTION ET DE LA STRUCTURE D'ENERGIE ELECTRIQUE PAR LES COLONIES DE FOURMIS »UNIVERSITE JILALI LIABES - DOCTORAT 2007.
- 19 OLIVIER RICHARDOT,« REGLAGE COORDONNE DE TENSION DANS LES RESEAUX DE DISTRIBUTION A L'AIDE DE LA PRODUCTION DECENTRALISEE », THESE DOCTORAT DE LABORATOIRE D'ELECTROTECHNIQUE DE GRENOBLE, 10 OCTOBRE 2006. P5.
- 20 ADJABI FADIA ET MERGAG BESMA « CONTRIBUTION A L'ETUDE DES SCHEMAS DE LIAISON A LA TERRE ETUDE DU CAS IT », MEMOIRE E FIN E CYCLE MASTER 2, UNIVERSITE 8 MAI 1945 – GUELMA, 2020/2021.P22
- 21 BROCHURE DE BONDONNAI DE SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE AVEC RECHERCHE AUTOMATIQUE DE DEFAULT "SLTXM200", SCHNEIDER ELECTRIC
- 22 MOHAMMED MEKHANET, SCHEMAS ET APPAREILLAGES ELECTRIQUES COURS, TD & TP, UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOAT. 2019
- 23 [HTTPS://WWW.IZYXSYSTEMS.COM/GALERIES/NORMES/PDF2_FR.PDF](https://www.izyxsystems.com/galleries/normes/pdf2_fr.pdf); 18:34;29/05/2022
- 24 BROUST JACQUES MARIE, APPAREILLAGES ET INSTALLATIONS ELECTRIQUES INDUSTRIELS, CONCEPTION, COORDINATION, MISE EN ŒUVRE, MAINTENANCE-DUNOD (2008).
- 25 SUPPORT DE COURS, SCHEMAS ET APPAREILLAGE ELECTRIQUE, DR BENAMEUR AFIF, 2016-1017 ET B.SAINT JEAN, EYROLLES, ELECTROTECHNIQUE ET MACHINES ELECTRIQUES.
- 26 HADDAD LYAZID, HAMI KHODIR, 2015, «CALCUL DES PARAMETRES ET CARACTERISTIQUES DESLIGNES ELECTRIQUES TRIPHASEES » ; MEMOIRE DE FIN DE CYCLE MASTER 2,UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA – BEJAÏA P11
- 27 [WWW.PRYSMIANGROUP.COM](http://www.prysmiangroup.com) (07/05/2022)
- 28 CHABANE FARID, MOUSSAOUI SOFIANE. 2013. ÉTUDE ET DIMENSIONNEMENT DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES DE LA STATION DE POMPAGE MELASSE DE L'UNITE CEVITAL. MEMOIRE DE FIN DE CYCLE MASTER 2, UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA, BEJAÏA, 108 P.

- 29 OUHADJ HAMZA, MOUSSOUNI AMAR. 2018. ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU INDUSTRIEL. MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU, 110 P.
- 30 https://www.izyxsystems.com/galleries/normes/pdf2_fr.pdf; 18:34;29/05/2022
- 31 CH AOUADI. 2019. MATERIAUX ET CONSTRUCTION ELECTRIQUE (MCE). COURS GENIE ELECTRIQUE, UNIVERSITE INTERNATIONAL CASABLANCA,
- 32 KERRACHE NOUARI, HADDAD LOTFI. 2018. ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN TGBT AVEC UTILISATION DU LOGICIEL ECODIAL AU NIVEAU DU COMPLEXE CEVITAL. MEMOIRE DE FIN DE CYCLE MASTER 2 EN ELECTROTECHNIQUE, UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA, BEJAÏA, 137 P.
- 33 BROCHURE DE BONDONNAI DE SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE AVEC RECHERCHE AUTOMATIQUE DE DEFAULT "SLTXM200", SCHNEIDER ELECTRIC
- 34 OUHADJ HAMZA, MOUSSOUNI AMAR. 2018. ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU INDUSTRIEL. MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU,
- 35 BOUBEKRI AYMEN & RETMI MOHAMMED LAMINE ; « DIMENSIONNEMENT D'UN RELAIS DE PROTECTION ELECTRIQUE » MEMOIRE E FIN E CYCLE MASTER 2, UNIVERSITE AMMAR TLEIDJI LAGHOUAT 2020 P7
- 36 M. PAYS, "CABLE DE TRANSPORT D'ENERGIE. TECHNOLOGIE ET CARACTERISTIQUES", TECHNIQUES DE L'INGENIEUR, PUBLICATION D4520, 1996.
- 37 LARBI BOUKEZZI ; » INFLUENCE DU VIEILLISSEMENT THERMIQUE SUR LES PROPRIETES DU POLYETHYLENE RETICULE CHIMIQUEMENT UTILISE DANS L'ISOLATION DES CABLES DE HAUTE TENSION » ; THESE DE DOCTORAT ; 2007.
- 38 K. B. NICOLE, A.H. MARC, "POST-POLYMERIZATION FUNCTIONALIZATION OF POLYOLEFINS", CHEMICAL SOCIETY REVIEWS, VOL. 34, PP. 267-275, 2005.
- 39 D.C. MILES, "TECHNOLOGIE DES POLYMERES", EDITION DUNOD, PARIS, 1968.
- 40 N. C. 15-100, "INSTALLATIONS ELECTRIQUES A BASSE TENSION", NF C 15-100, NORME FRANÇAISE, 2002.
- 41 SCHNEIDER, FONCTIONS DE BASE DE L'APPAREILLAGE ELECTRIQUE, SCHNEIDER, 2012.
- 42 SCHNEIDER, GUIDE DE LA DISTRIBUTION ELECTRIQUE BASSE TENSION ET HTA " DETERMINATION DES SECTIONS DE CABLES", WWW.SCHNEIDER-ELECTRIC.FR, 2009.
- 43 UTE, GUIDE PRATIQUE « DETERMINATION DES SECTIONS DE CONDUCTEURS ET CHOIX DES DISPOSITIFS DE PROTECTION », UNION TECHNIQUE DE L'ELECTRICITE ET DE LA COMMUNICATION, 2003.
- 44 SCHNEIDER ELECTRIC « ARCHITECTEUR DE RESEAU DE DISTRIBUTION » 2007.
- 45 FADI SANAKOUEV. 2016. CONCEPTION DE L'INSTALLATION ELECTRIQUE DE L'HOTEL MAK PALACE. PROJET DE FIN D'ETUDES, UNIVERSITE LIBAN, HAMRA, 156 P.
- 46 [HTTPS://FR.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/FUSIBLE \(%C3%A9LECTRICIT%C3%A9\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fusible_(%C3%A9lectricit%C3%A9)) (27/05/2022 12H).