

M 1621.843

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Electrotechnique
**Spécialité : Protection et Contrôle des Réseaux
Electriques**



**Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Régime de court-circuit : distribution du potentiel

Présenté par :
HADDAD Salim
BOUKHEDENNA Youssef
Sous la direction de :
Pr. BOUNAYA Kamel

Juin 2016

Remerciements

Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à notre Directeur de mémoire Monsieur BOUNAYA K, nous le remercions de nous avoir encadrés, orientés, aidés et conseillés.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et tous les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.

Nous remercions nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous, « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Nous sommes redevables d'une éducation dont nous sommes fiers. Et nous remercions encore tous nos frères.

Enfin, nous remercions tous nos Ami(e)s que nous aimons tant, Elaid, Khaled, Mohamed, Baderdine, Caïd djamel, Amar.....

Pour leur sincère amitié et confiance, et à qui nous devons nos reconnaissances et nos attachement.

À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

A ma très chère mère

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

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

Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A la mémoire de mon Père

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,
l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu
pour vous.*

*Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et
nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as
consentis pour mon éducation et ma formation.*

*A notre cher et dynamique professeur assistant
(BOUNAYA KAMEL)*

*Un remerciement particulier et sincère pour tous vos efforts
fournis. Vous avez toujours été présent.*

*Que ce travail soit un témoignage de ma gratitude et mon profond
respect.*



A mes chères ami(e)s

*Benchirouf boudjemaa, Hamoud khaled, Kamet baderdine, Kaïd
djamel*

A tous les internes et résidents du Cité Habech hamed chérif

A mes chers collègues

*Sebti houssam, Haddad bilel, Bensoudene mohcen, Benlasouad ayoub,
'Dridi khayra*

A toute la promotion de PCRE

*Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous
exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des
frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter.*

*En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de
tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie
ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de*

bonheur.

SOMMAIRE :

| | |
|--|----|
| Introduction générale..... | |
| Chapitre 01 : Traitement bibliographie | |
| I.1. Introduction..... | |
| I.2. Les réseaux électriques..... | 1 |
| ❖ Définition et classification des réseaux électriques..... | 1 |
| ❖ Les différents éléments d'un réseau électrique..... | 3 |
| ❖ La compensation de l'énergie réactive..... | 4 |
| I.3. Le court-circuit..... | 6 |
| ❖ Définition du court-circuit et leurs origines et conséquences..... | 6 |
| ❖ Les objectifs d'une étude d'un court-circuit | 8 |
| I.4-Le régime du neutre | 9 |
| ❖ Introduction | 9 |
| ❖ Classification des régimes de neutre..... | 9 |
| ❖ Caractéristiques des différents régimes de neutre | 12 |
| I.5-la protection des réseaux électrique | 13 |
| ❖ Définition et caractéristiques générales..... | 13 |
| ❖ Principe de base de la protection | 15 |
| ❖ Les organes utilisés pour la protection des réseaux électriques...14 | |
| ❖ La sélectivité..... | 16 |
| ❖ Des exemples sur les protections des réseaux électriques | 19 |
| I.6-Conclusion..... | 21 |
| Chapitre 02 : Principe de base d'analyse d'un réseau électrique | |

| | |
|---|----|
| 2.1. Lois fondamentales des réseaux..... | 22 |
| ❖ Lois D'OHM..... | 22 |
| ❖ 1 ^{ère} Lois de KIRCHHOFF..... | 22 |
| ❖ 2 ^{ème} Lois de KIRCHHOFF..... | 23 |
| 2.2. Méthode des courants de mailles..... | 24 |
| 2.3. Méthode des tensions nodales..... | 26 |
| 2.4. Théorèmes relatifs au réseau et formules de réductions | 27 |
| ❖ Combinaison des branches série..... | 28 |
| ❖ Combinaison des branches parallèle..... | 28 |
| ❖ Transformation étoile triangle | 29 |
| ❖ Transformation triangle étoile (Δ -Y) | 30 |
| ❖ Combinaison de tensions égales..... | 31 |
| ❖ Théorème de Thévenin..... | 31 |
| ❖ Théorème de Norton..... | 32 |
| 2.5. Utilisation des unités relative et les valeurs en pourcent.... | 33 |
| ❖ Les valeurs en unité relative (u.r)..... | 33 |
| ❖ Les valeurs en pourcent..... | 34 |

Chapitre 03 : L'élaboration d'un réseau électrique.

| | |
|---|----|
| 2.1-Introduction | 36 |
| 2.2-Données initiales | 36 |
| ❖ Plan d'implantation..... | 36 |
| ❖ Coordonnées des charges et lieu d'implantation de la source | 37 |
| ❖ Choix du niveau de tension | 38 |
| ❖ Choix du schéma du réseau électrique | 38 |
| ❖ Calcul des puissances de ligne | 39 |

| | |
|--|----|
| ❖ Choix des sections des conducteurs..... | 40 |
| 2.3 -Calcul du réseau..... | 41 |
| ❖ Évaluation des pertes de puissance et du potentielle des nœuds ... | 42 |
| 2.4-Vérification de l'accroissement de la charge | 44 |
| ❖ Comparaison entre les deux cas | 46 |
| 2.5-Calcul des paramètres des lignes pour « n=2 »..... | 46 |
| ❖ Comparaison entre le cas ou « n=1 » et le cas ou « n=2 » | 48 |
| 2.6-Choix des transformateurs | 49 |
| ❖ Paramètre des transformateurs | 50 |
| ❖ Pertes de puissance du transformateur | 50 |

Chapitre 04 : Calcul du court-circuit et distribution du potentiel.

| | |
|---|----|
| 3.1-Modèle du réseau retenu..... | 52 |
| 3.2-Calcul du court-circuit..... | 53 |
| ❖ Schéma équivalent..... | 53 |
| ❖ Calculs des réactances..... | 53 |
| ❖ Courants permanent | 54 |
| 3.3- Courant de crête | 59 |
| 3.4-Calcul du potentiel dans chaque nœud..... | 60 |
| ❖ Graphique du potentiel pour chaque nœud | 64 |
| Conclusion générale..... | |

LISTE DES FIGURES

Chapitre 01 : Traitement bibliographie

| | |
|---|----|
| Figure 01 : Un exemple d'un réseau électrique..... | 2 |
| Figure 02 : Représentation graphique du $\cos \varphi$ | 5 |
| Figure 03 : Forme générale d'un court-circuit..... | 6 |
| Figure 04 : Les différents types d'un court-circuit..... | 7 |
| Figure 05 : Régime TT..... | 10 |
| Figure 06 : Régime IT..... | 10 |
| Figure 07 : Régime TNC..... | 11 |
| Figure 08 : Régime TNS..... | 11 |
| Figure 09 : Principe du déclenchement à temps indépendant..... | 13 |
| Figure 10 : Principe du déclenchement à temps dépendant..... | 14 |
| Figure 11 : Schéma de principe de la protection..... | 14 |
| Figure 12 : Image d'un disjoncteur..... | 15 |
| Figure 13 : Image d'un relais..... | 15 |
| Figure 14 : Image d'un fusible..... | 16 |
| Figure 15 : Image d'un parafoudre..... | 16 |
| Figure 16 : Principe de la sélectivité chronométrique..... | 17 |
| Figure 17 : Décomposition d'un intervalle de sélectivité..... | 18 |
| Figure 18 : Fonctionnement d'une sélectivité ampère métrique..... | 19 |
| Figure 19 : Protection différentielle longitudinale pour un court-circuit au jeu de barre..... | 19 |
| Figure 20 : Protection différentielle longitudinale pour un court-circuit a la zone protégée... | 19 |
| Figure 21 : Protection différentielle transversale | 20 |

Chapitre 02 : Principe de base de l'analyse d'un réseau électrique

| | |
|---|----|
| Figure 01 : Lois d'OHM..... | 22 |
| Figure 02 : 1 ^{ère} Lois de KIRCHHOFF..... | 23 |
| Figure 03 : 2 ^{ème} Lois de KIRCHHOFF..... | 24 |
| Figure 04 : Notion des courants de mailles..... | 24 |

| | |
|---|----|
| Figure 05 : Notion des tensions des nœuds..... | 26 |
| Figure 06 : Combinaison des branches série..... | 28 |
| Figure 07 : Combinaison des branches parallèle..... | 29 |
| Figure 08 : Transformation étoile triangle | 29 |
| Figure 09 : Combinaison des tensions égales | 31 |
| Figure 10 : Illustration du théorème de Thévenin..... | 32 |
| Figure 11 : Illustration du théorème de Norton..... | 33 |

Chapitre 03 : L'élaboration d'un réseau électrique

| | |
|---|----|
| Figure 01 : Le plan d'implantation des charges..... | 36 |
| Figure 02 : Le schéma du réseau électrique..... | 39 |
| Figure 03 : Le réseau $L_{A-2-3-4}$ | 39 |
| Figure 04 : La ligne L_{A-1} | 40 |

Chapitre 04 : Calcul du court-circuit et distribution du potentiel

| | |
|---|----|
| Figure 01 : Modèle du réseau retenu | 52 |
| Figure 02 : Schéma équivalent du modèle du réseau retenu..... | 53 |
| Figure 03 : Schéma équivalent pour le court-circuit K_1 | 54 |
| Figure 04 : Schéma équivalent pour le court-circuit K_2 | 55 |
| Figure 05 : Schéma équivalent pour le court-circuit K_3 | 56 |
| Figure 06 : Schéma équivalent pour le court-circuit K_4 | 57 |
| Figure 07 : Schéma équivalent pour le court-circuit K_5 | 58 |
| Figure 08 : Schéma équivalent pour le calcul du potentiel K_1 | 60 |
| Figure 09 : Schéma équivalent pour le calcul du potentiel K_2 | 61 |
| Figure 10 : Schéma équivalent pour le calcul du potentiel K_3 | 62 |
| Figure 11 : Schéma équivalent pour le calcul du potentiel K_4 | 63 |
| Figure 12 : Graphique du potentiel pour K_1 | 64 |
| Figure 13 : Graphique du potentiel pour K_2 | 65 |

Figure 14 : Graphique du potentiel pour K_366

Figure 15 : Graphique du potentiel pour K_467

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 01 : Traitement bibliographie

| | |
|---|----|
| Tableau 01 : Caractéristiques des différents régimes du neutre..... | 12 |
|---|----|

Chapitre 03 : L'élaboration d'un réseau électrique

| | |
|------------------|----|
| Tableau 01 | 37 |
| Tableau 02 | 38 |
| Tableau 03 | 40 |
| Tableau 04 | 41 |
| Tableau 05 | 42 |
| Tableau 06 | 43 |
| Tableau 07 | 45 |
| Tableau 08 | 46 |
| Tableau 09 | 47 |
| Tableau 10 | 47 |
| Tableau 11 | 48 |
| Tableau 12 | 49 |
| Tableau 13 | 50 |
| Tableau 14 | 51 |

Chapitre 04 : Calcul du court-circuit et distribution du potentiel

| | |
|------------------|----|
| Tableau 01 | 52 |
| Tableau 02 | 59 |
| Tableau 03 | 60 |

INTRODUCTION
GENERALE

Les réseaux électriques sont, depuis longtemps, l'objet d'études dans le but de maintenir leur bon usage pour les processus qu'ils alimentent. Depuis quelques années, l'environnement du monde électrique et ses modes d'organisation changent rapidement avec la libéralisation du marché de l'électricité et la modification des règles économiques, puisque les consommateurs peuvent faire jouer la concurrence et les sociétés de distribution peuvent élargir leurs activités secondaires, telles celles nécessaires au fonctionnement d'un réseau (par exemple : la sous-traitance de la maintenance ou de l'exploitation des installations est donnée à des entreprises de service spécialisées). Par ailleurs, l'évolution des technologies a aussi plusieurs effets. Comme ces technologies rendent les processus plus sensibles à la qualité d'énergie, elles permettent aussi de mieux instrumenter et contrôler les réseaux électriques, et autorisent des actions à distance. L'électricité est considérée maintenant comme un produit à part entière, devenu vital pour la dynamique socio-économique d'un pays. Ceci implique des nécessités de qualité de l'énergie électrique présentée au consommateur et ajustée à son besoin. Les processus ayant des exigences variables en sécurité et en qualité et l'électricité fournie doivent répondre correctement aux impératifs des cahiers des charges.

A tous les niveaux de la chaîne électrique (production, transport, distribution), les fournisseurs d'énergie doivent satisfaire les clients utilisateurs selon des engagements contractuels personnalisés. Toute installation électrique doit être protégée contre les courts-circuits, et ceci est impliqué, chaque fois qu'il y a une discontinuité électrique ; ce qui correspond le plus généralement à un changement de section des conducteurs. L'intensité de courant de court-circuit est calculée aux différents étages de l'installation ; ceci pour pouvoir déterminer les caractéristiques de matériel qui doit supporter ou couper le courant de défaut.

CHAPITRE 01 :
RECHERCHE
BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Introduction :

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus largement répandue car elle est facilement transportable à un rendement élevé et un coût raisonnable. Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures dont le but est d'acheminer de l'énergie électrique à partir de centres de production vers les consommateurs d'électricité (charge). Le premier réseau électrique conçu était à courant continu et servait à assurer l'éclairage local. La distribution de l'énergie était alors assurée par des câbles souterrains.

Avec l'invention du transformateur et celle du moteur à courant alternatif, les réseaux à courant alternatif commencèrent à prendre le pas sur les réseaux à courant continu du fait qu'il était devenu possible d'acheminer plus de puissance sur de plus grandes distances grâce à des niveaux de tension plus élevés

1.2. Les réseaux électriques :

❖ Définition et classification des réseaux électriques:

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

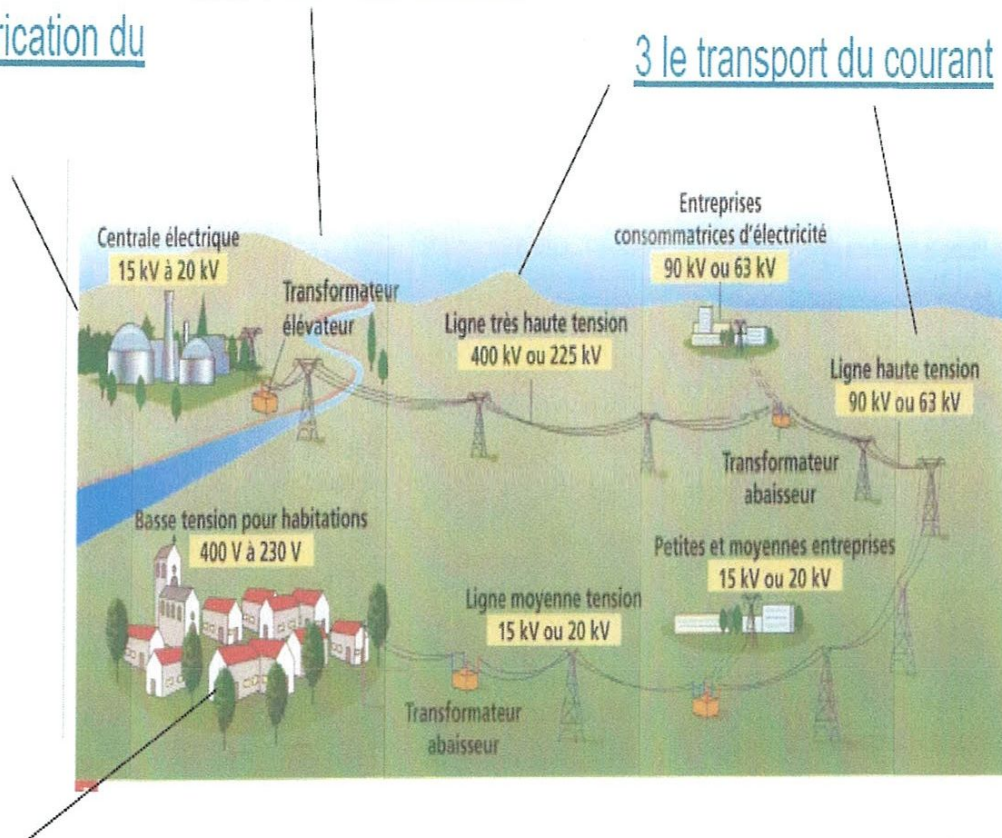
Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

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

2 Les transformateurs

1 la fabrication du courant

3 le transport du courant



4 le courant est-il bien adapté à nos besoins?

Activer Windows
Accédez aux paramètres de votre ordinateur

Figure 01

Les réseaux électriques sont classés :

- ✓ Selon la configuration du réseau :
 - Réseau maillé (bouclé).
 - Réseau magistral (ligne).
 - Réseau radial (ligne radial).
 - Réseau mixte
- ✓ Selon la nature du conducteur :
 - Souterrain.

- Aérien
- ✓ Selon la tension nominale du réseau :
 - De 220v a 1kv : basse tension.
 - De 1kv a 60kv : moyenne tension.
 - De 60kv a 120kv : haute tension.
 - De 120kv a 1500kv : très haute tension.
- ✓ Selon la fonction du réseau :
 - Transport ; Alimentation ; Distribution.

❖ Les différents éléments d'un réseau électrique :

Les réseaux électriques sont composés de plusieurs éléments:

- ✓ Les lignes électriques :

Les lignes électriques assurent la fonction « transport de l'énergie » sur les longues distances. Elles sont constituées de 3 phases, et chaque phase peut être constituée d'un faisceau de plusieurs conducteurs (de 1 à 4) espacés de façon à limiter l'effet couronne qui entraîne des pertes en lignes différentes des pertes Joule. L'ensemble de ces 3 phases électriques constitue un terme.

- ✓ Les postes électriques :

Les postes électriques sont les nœuds du réseau électrique. Ce sont les points de connexion des lignes électriques. Les postes des réseaux électriques peuvent avoir 2 finalités :

- L'interconnexion entre les lignes de même niveau de tension : cela permet de répartir l'énergie sur les différentes lignes issues du poste.
 - La transformation de l'énergie : les transformateurs permettent de passer d'un niveau de tension à un autre.
- ✓ Matériel de conduite et de surveillance :

La conduite s'effectue depuis des centres de conduite régionaux (dispatchings) ou nationaux. Ceux-ci disposent d'instruments de télé conduite comprenant des dispositifs permettant :

- de commander les organes de coupure (disjoncteurs, sectionneurs),
- de connaître la position de ces organes,
- de mesurer un certain nombre de grandeurs (tension, intensité, fréquence),
- de signaler des dysfonctionnements (alarmes).

❖ **La compensation de l'énergie réactive:**

Le transport de la puissance réactive par les lignes électriques cause des pertes, une diminution de la stabilité du réseau et une chute de tension à son extrémité. Afin d'éviter cela, la compensation de puissance réactive, série ou shunt selon les cas, est utilisée pour limiter le transport de puissance réactive. Différents appareils électriques peuvent servir à réaliser cette compensation : machines synchrones, batteries de condensateurs, inductance ou FACTS.

✓ **L'énergie réactive**

Les réseaux électriques à courant alternatif fournissent l'énergie apparente qui correspond à la puissance apparente (ou puissance appelée). Cette énergie se décompose en deux formes d'énergie :

- l'énergie active, transformée en énergie mécanique (travail) et en chaleur (pertes),
- l'énergie réactive, utilisée pour créer des champs magnétiques

Les consommateurs d'énergie réactive sont les moteurs asynchrones, les transformateurs, les inductances (ballasts de tubes fluorescents) et les convertisseurs statiques (redresseurs).

✓ **Le facteur de puissance :**

C'est le quotient de la puissance active consommée et de la puissance apparente fournie.

$$F = P(w) / S (va) = \cos \varphi$$

Le $\cos \varphi$ est le facteur de puissance du fondamental qui ne prend pas en compte la puissance véhiculée par les harmoniques. Un facteur de puissance proche de "1" indique une faible consommation d'énergie réactive et optimise le fonctionnement d'une installation.

✓ **Les représentations Graphiques :**

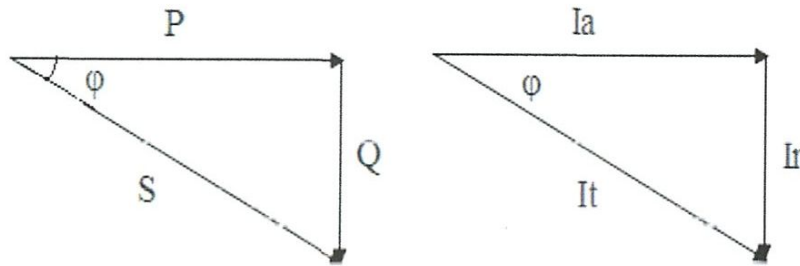


Figure 02

Certaines factures d'électricité (abonnés tarif vert) indiquent la valeur de $\tan \varphi$ qui correspond à l'énergie réactive que le distributeur doit livrer pour fournir une puissance active donnée.

$$\tan \varphi = \frac{\text{énergie réactive}}{\text{énergie active}} = \frac{Q \text{ (var)}}{P \text{ (w)}}$$

✓ **L'amélioration du facteur de puissance :**

Pour améliorer le facteur de puissance, il faut installer des condensateurs (source d'énergie réactive). Cette opération est appelée "compensation". En préalable à la compensation, il faut éviter le surdimensionnement des moteurs asynchrones et leur marche à vide (le facteur de puissance d'un moteur asynchrone est d'autant plus faible que le moteur fonctionne en sa puissance nominale).

Cette amélioration présente de nombreux avantages :

- Diminution de la section des câbles.
- Diminution des pertes en ligne.
- Diminution de la facture d'électricité en évitant la consommation d'énergie réactive.
- Réduction de la puissance souscrite pour les abonnés au tarif jaune.
- Réduction de la chute de tension.
- Augmentation de la puissance disponible du transformateur.

✓ Les différents types de compensation :

La compensation d'énergie réactive peut se faire :

- Par condensateurs fixes (si la puissance des condensateurs est inférieure à 15% de la puissance du transformateur).
- Par batteries de condensateurs à régulation automatique (si la puissance des condensateurs est supérieure à 15% de la puissance du transformateur),
- Globalement : en tête d'installation.
- Partiellement: par secteur au niveau du tableau de distribution.
- Localement : aux bornes de chaque récepteur inductif.

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

- Le réseau électrique peut avoir plusieurs défauts. L'un de ces défauts est le court_circuit :

1.3. Le court-circuit :

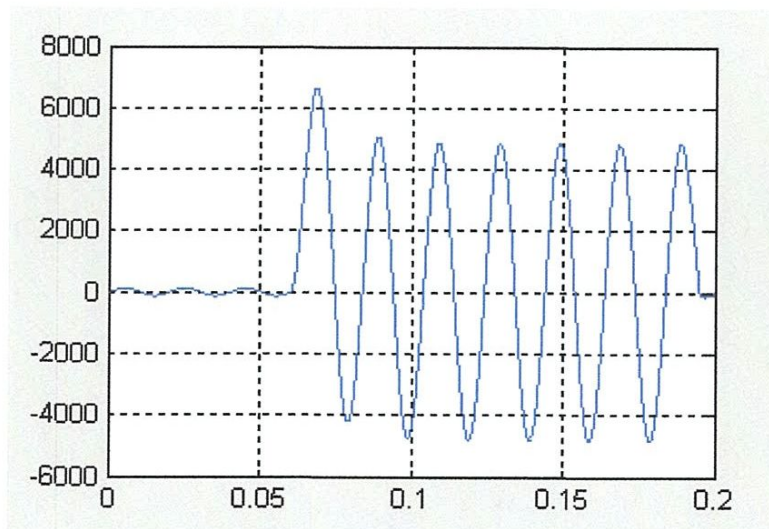


Figure 03

❖ Définition d'un court-circuit (ses origines et ses conséquences):

Un court-circuit est une liaison accidentelle entre conducteurs. Le courant de court-circuit peut approximativement être considéré comme la somme de deux termes :

- Composante transitoire apériodique qui décroît rapidement de la forme :

$$I\sqrt{2}.e^{-\frac{t}{T}}.\cos(\beta), \text{ où } \beta \text{ l'instant du court-circuit}$$

- Composante sinusoïdal $f=50\text{hz}$ correspondant au régime établi de la forme :

$$I\sqrt{2}.\cos(\omega.t+\beta).$$

Le court-circuit est précisé par :

- ✓ **Son type** : qui définit les éléments incriminés :
 - Monophasé (80 % des cas), où une phase et le neutre ou la terre sont reliés ensemble.
 - triphasés (5 % des cas), où les trois phases sont reliées ensemble.
 - biphasés (15 % des cas), où deux phases sont raccordées ensemble.
 - biphasés-terre (ou *bi-terre*), où deux phases et la terre sont reliées ensemble.

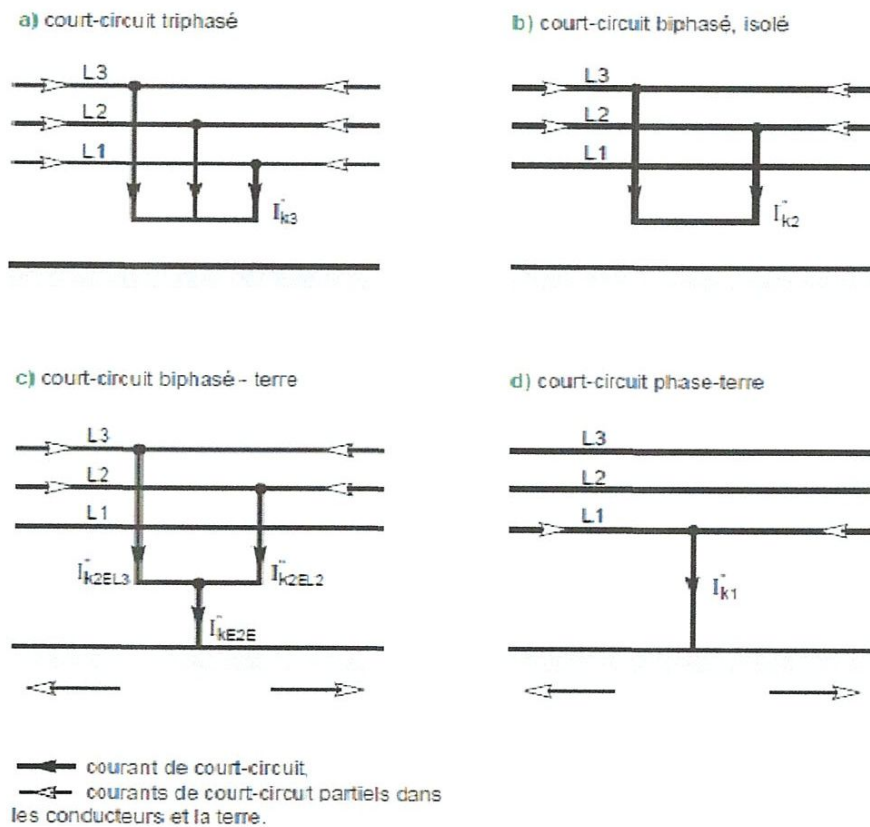


Figure 04

- ✓ **Son régime d'établissement** : évolution de la forme de son courant dans le temps.
- ✓ **Son intensité** : les valeurs maximales et minimales.
- ✓ **Sa durée variable** : car le défaut peut être fugitif ou permanent.
- ✓ **Son origine** : interne au niveau d'un équipement ou externe entre liaison.

Un court-circuit peut avoir différentes causes :

- Origine mécanique : erreur de câblage, rupture de conducteur, présence d'une branche ou d'un animal, etc.
- Origine climatique : foudre.
- Origine interne : surtension de manœuvre.
- Isolation dégradée par l'usure, la chaleur, l'humidité ou des produits corrosifs

Comme le court-circuit peut avoir plusieurs sortes de conséquences :

- Efforts électrodynamiques.
- Echauffement.
- Explosion du disjoncteur.
- Chute de tension.
- Perturbation dans les lignes de télécommunication.

Pour éviter ces risques, il est impératif de mettre en place des protections adaptées comme fusibles, disjoncteur, etc.

Si le défaut est de durée très brève et disparaît de lui-même, le court-circuit ne provoquera pas obligatoirement le déclenchement des organes de protection.

En cas de problème plus durable, la remise en service nécessitera une intervention humaine.

❖ **Les objectifs d'une étude d'un court-circuit:**

L'étude du comportement d'un réseau électrique en régime de court-circuit vise les buts suivants:

- ✓ Identifier les situations à risque, origines possible de :
 - Danger pour les personnes.
 - Destruction de matériel par contraintes.
- ✓ Aider à faire des bases de conception pour limiter les effets néfastes des défauts, qui concernent :
 - les systèmes de liaison de l'installation.
 - Le dimensionnement approprié des matériels.
 - Le réglage des protections, déterminé à partir du calcul des courants de défaut.

I.4. Le régime du neutre :

❖ Introduction :

L'utilisation de l'énergie électrique présente des risques tant pour les personnes que pour les matériels.

Pour des raisons de sécurité, ces masses sont reliées par un conducteur de protection lui-même relié à une prise de terre.

La distribution de l'énergie électrique en courant alternatif triphasé, avec neutre, permet, selon les types d'installation, des combinaisons neutre-masse, qui optimisent la protection.

❖ Classification des régimes de neutre :

Le Comité Electrotechnique International (CEI) a classé officiellement trois normes.

✓ Régime TT :

Le neutre de la source d'énergie est mis à la terre, et la masse de l'installation électrique est mise à son tour à la terre, c'est le cas le plus simple.

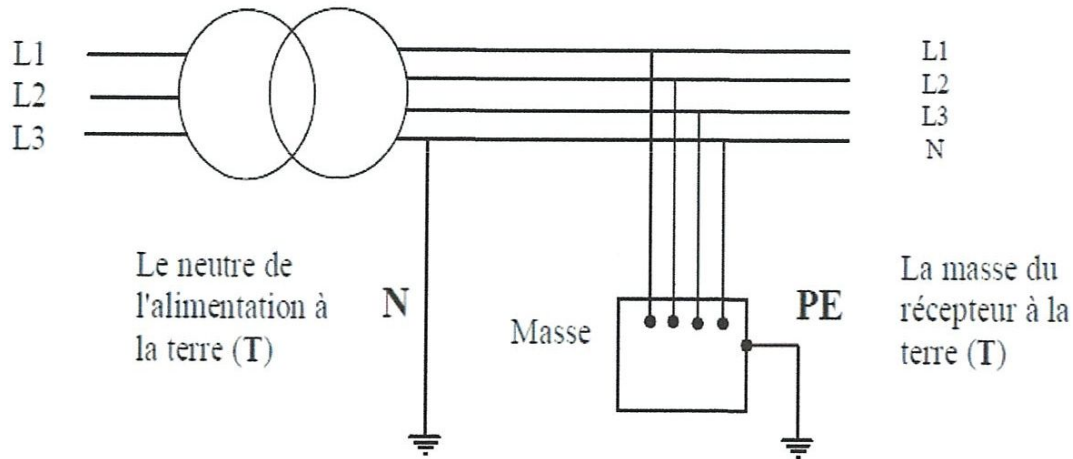


Figure 05

✓ **Régime IT :**

Le neutre de la source de tension est isolé ou relié à la terre par une forte impédance, les masses d'installation sont reliées à la terre comme l'indique la figure suivante.

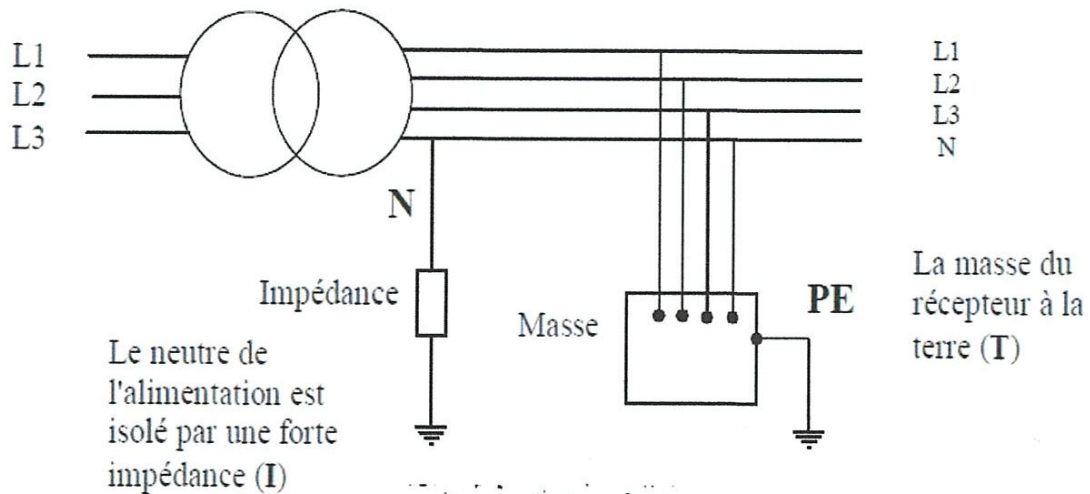


Figure 06

✓ **Régime TN :**

Dans ce régime le neutre est mis à la terre et les masses sont reliées au neutre par un conducteur de protection. Deux cas qui se présentent :

1-Régime TNC :

Le conducteur de protection de PE et le conducteur N de l'alimentation peuvent être confondus en un seul conducteur PEN.

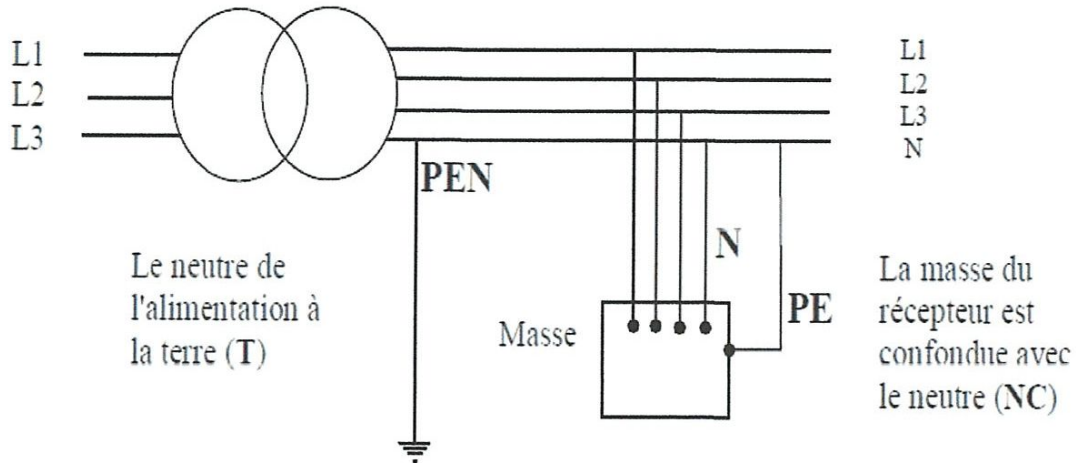


Figure 07

2-Régime TNS :

Le conducteur de protection PE et le conducteur N du côté de l'alimentation peuvent être séparés

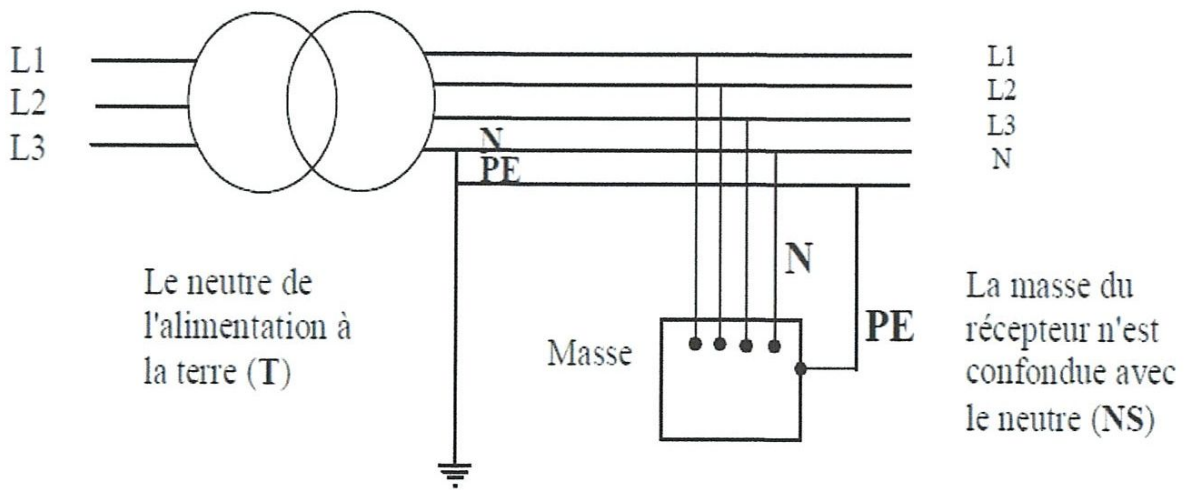


Figure 08

❖ **Caractéristiques des différents régimes de neutre :**

Le tableau suivant récapitule, selon la norme CEI, les montages de chaque régime de neutre ainsi que les précautions pour assurer la protection des appareils et personnes.

| Régime | Techniques s'exploitation | Techniques de protection des personnes | Principales caractéristiques |
|-----------|--|--|--|
| TT | -Coupure au premier défaut d'isolement | -Mise à la terre des masses associées à l'emploi obligatoire de dispositifs différentiels | -La présence de différentiels permet la prévention des risques d'incendie pour une sensibilité égale ou supérieure à 300mA -Chaque défaut d'isolement entraîne une coupure du circuit protégé. |
| TN | -Coupure au premier défaut d'isolement | -Interconnexion et mise à la terre des masses et du neutre obligatoires. -Coupure par protection contre les surintensités par fusibles ou disjoncteurs. | -Il nécessite un personnel d'entretien très compétent. -Les risques d'incendie sont accentués du fait de l'importance des courants de défaut. -Le schéma TNS est obligatoire pour les sections de conducteurs inférieures à 10 mm ² . |
| IT | -Signalisation du défaut simple d'isolement ; -Recherche et élimination obligatoire du défaut; -Coupure en cas de défaut double. | -Interconnexion et mise à la terre des masses. -Coupure par protection de surintensité (fusibles-disjoncteur) en cas de défaut double | -Il nécessite un personnel pour la surveillance. - Il nécessite un bon niveau d'isolement des réseaux. |

Tableau 01

I.5. la protection des réseaux électriques :

❖ Définition et caractéristiques générales :

La protection est un ensemble d'organes destinés à protéger les personnes ou les équipements électriques. et elle se caractérise par :

- **Le seuil de déclenchement :** il fixe la limite de la grandeur observée déterminant l'action de la protection.
- **Le temps de déclenchement :**
 - Temporisation à temps indépendant, ou temps constant (DT : Definite Time).

L'exemple de la figure 09, appliqué à un relais de courant, fait apparaître que le temps de déclenchement de la protection est constant (réglage de la temporisation T) au-delà du seuil de courant I_s ,

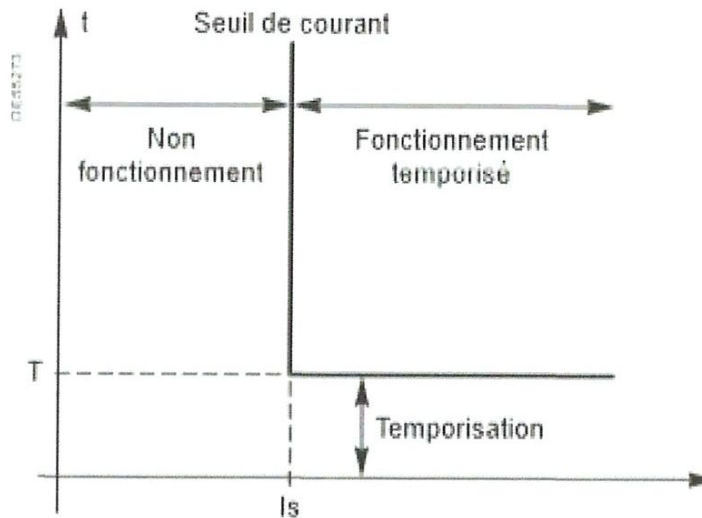


Figure 09

- Temporisation à temps dépendant (IDMT: Inverse Definite Minimum Time).
L'exemple de la figure 10, appliqué à un relais de courant, fait apparaître que le temps de déclenchement de la protection est d'autant plus court que le courant est élevé au-delà du seuil de courant I_s

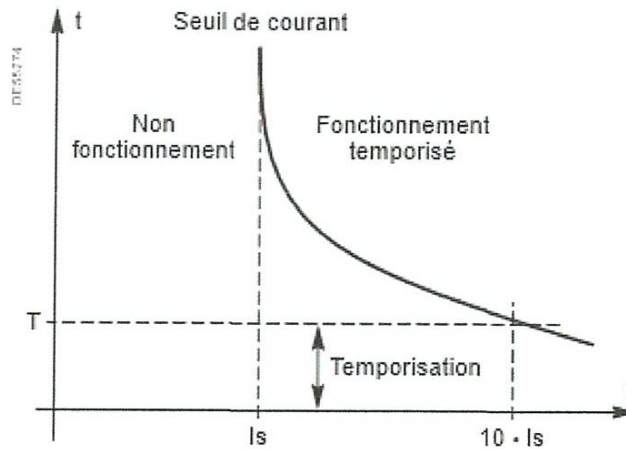


Figure 10

- **Le temps de maintien** : temps de retour réglable.
- **Le retenue** : blocage du déclenchement en fonction du taux d'harmonique 2.
- **Les constantes de temps** (exemple image thermique ANSI 49RMS).
- **L'angle caractéristique** (exemple directionnelle de courant ANSI 67).

❖ **Principe de base de la protection :**

Un système de protection est constitué :

- d'un organe de détection et décision : par exemple le relais.
- d'un organe d'intervention : par exemple le disjoncteur.

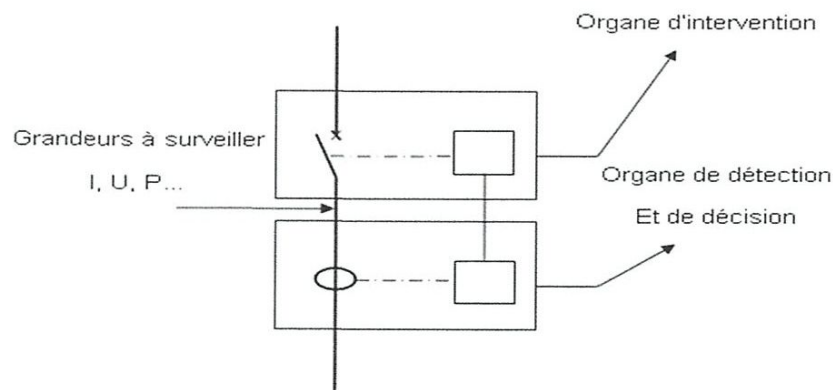


Figure 11

❖ Les organes utilisés pour la protection des réseaux électriques :

Parmi les organes de protection on a :

✓ Le disjoncteur :

C'est un appareil de protection, il permet d'assurer la protection d'un récepteur, d'une installation ou bien d'un réseau électrique contre les surintensités que ce soit le court-circuit ou les surcharges prolongées et aussi contre les défauts d'isolement par une ouverture rapide et automatique du circuit du défaut. Il permet aussi d'assurer la fonction d'interruption et de sectionnement.



Figure 12

✓ Le relais :

Le relais est un appareil de surveillance de l'état électrique d'un réseau électrique. Il est destiné à donner des ordres de mise hors tension d'un circuit de ce réseau lorsque l'une des grandeurs électriques atteint une valeur prédéterminée.



Figure 13

✓ Le fusible :

Le 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 dangereuse.



Figure 14

✓ Le parafoudre :

Selon le vocabulaire électrotechnique international, un parafoudre est un appareil destiné à protéger le matériel électrique contre les surtensions transitoires élevées et à limiter la durée et souvent l'amplitude du courant de suite.



Figure 15

Comme il existe d'autres organes de protection : les transformateurs de tension et les transformateurs des courants.

❖ La sélectivité :**❖ Sélectivité chronométrique :****✓ Principe :**

Il consiste à donner des temporisations différentes aux protections à maximum de courant échelonnées le long du réseau. Ces temporisations sont d'autant plus longues que le relais est plus proche de la source

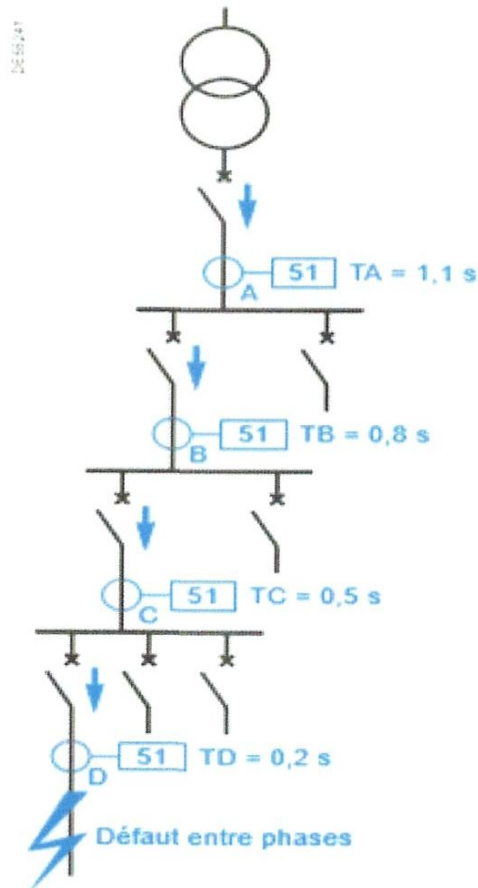


Figure 16

✓ **Mode de fonctionnement :**

Ainsi, sur le schéma (figure 16), le défaut représenté est vu par toutes les protections (En A, B, C, et D). La protection temporisée D ferme ses contacts plus rapidement que celle installée en C, elle-même plus rapide que celle installée en B...

Après l'ouverture du disjoncteur D et la disparition du courant de défaut, les protections A, B, C qui ne sont plus sollicitées, reviennent à leur position de veille.

La différence des temps de fonctionnement DT entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité. Il doit tenir compte (figure 17) :

- Du temps de coupure T_c du disjoncteur, en aval, qui inclut le temps de réponse de l'appareil à l'ouverture et le temps d'arc,
- Des tolérances de temporisation : dT ,
- Du temps de dépassement de la protection en amont : tr ,
- D'une marge de sécurité : m .
- DT doit donc satisfaire à la relation : $DT \geq T_c + tr + 2dT + m$

Compte tenu des performances actuelles de l'appareillage et des relais, on adopte pour DT une valeur de 0,3 s.

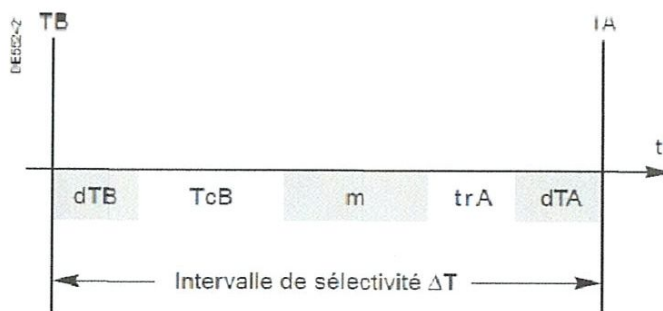


Figure 17

❖ Sélectivité ampérométrique :

✓ Principe :

Il est basé sur le fait que dans un réseau le courant de défaut est d'autant plus faible que le défaut est plus éloigné de la source.

✓ Mode de fonctionnement :

Une protection ampérométrique est disposée au départ de chaque tronçon.

Son seuil est réglé à une valeur inférieure à la valeur de court-circuit minimal provoqué par un défaut sur la section surveillée, et supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un défaut situé en aval (au-delà de la zone surveillée).

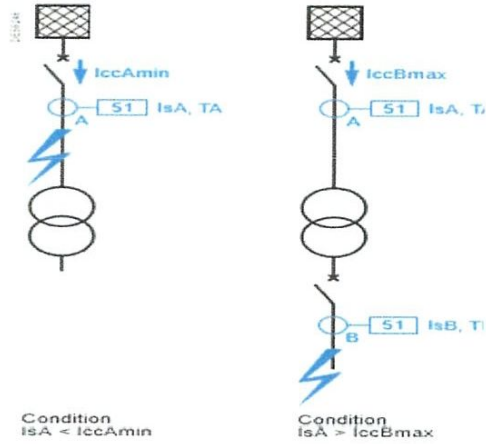


Figure 18

❖ Des exemples sur la protection du réseau électrique :

Parmi les protections utilisées pour les réseaux électriques :

✓ Protection différentielle longitudinale :

Cette protection est réalisée pour les lignes très courtes (entre 10 et 20 km).

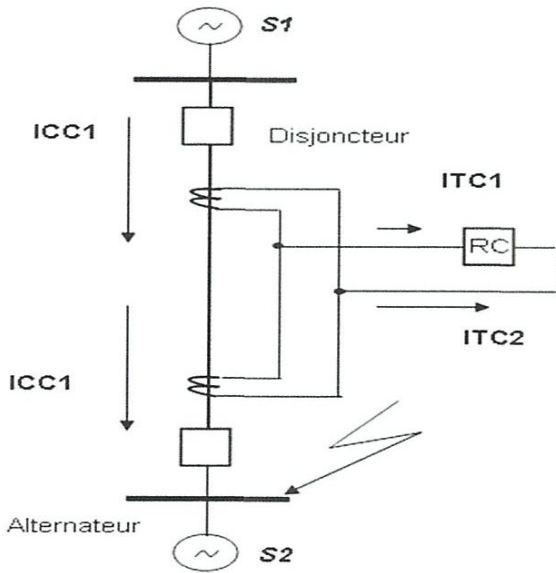


Figure 19

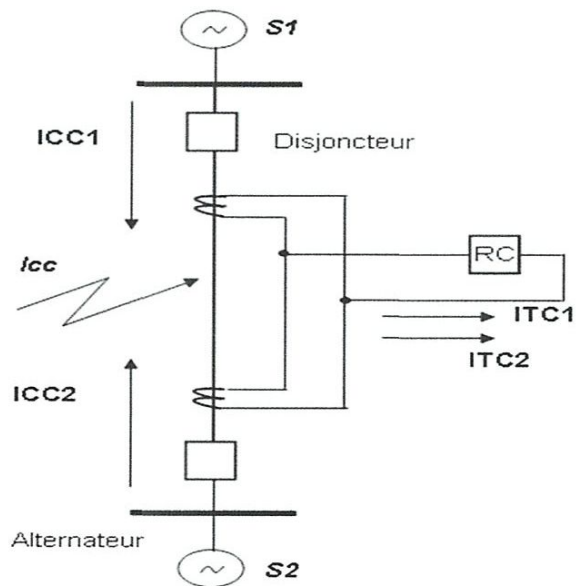


Figure 20

Sur la figure 19 le court-circuit est sur le jeu de barres de l'alternateur S2, les courants secondaires à la sortie des transformateurs de courant sont en opposition de phase, ce qui

fait que le courant de fonctionnement du relais de courant RC est nul ($I(f)_{RC}=0$). La protection différentielle reste aveugle c.-à-d. ne fonctionne pas.

Sur la figure 20 la protection différentielle fonctionne car le défaut se trouve dans la zone de protection, et le courant de fonctionnement du relais de courant égal à la somme des courants secondaires des transformateurs de courant ($I(f)_{RC} = I_{TC1} + I_{TC2}$).

$$I_f(R) = K_{séc} I_{némax}$$

Avec

$K_{séc}$: (de 1.3 à 1.4) Coefficient de sécurité ;

$I_{némax}$: Courant non équilibré maximal

$$I_{némax} = K_t \frac{f_i}{100} \frac{I_{ccmax}}{\eta_{TC}}$$

Avec

K_t : (de 0.5 à 1) Coefficient qui tient compte des TC

f_i : (0.1) Classe de précision des TC

η_{TC} : Rapport de transformation des TC

I_{ccmax} : Courant de court-circuit maximal

✓ **Protection différentielle transversale :**

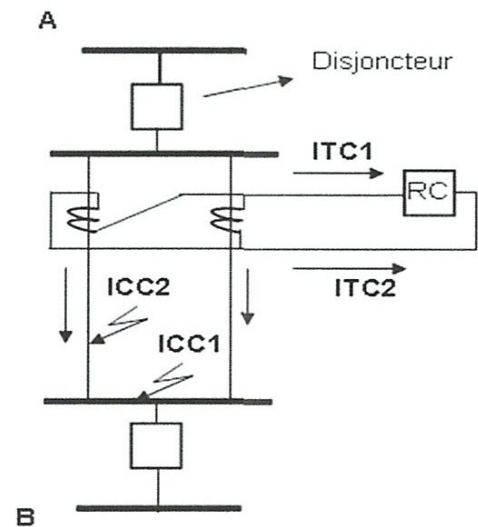


Figure 21

$$I_f(R) = K_{séc} I_{néc}$$

Avec

$$K_{séc} = 1.3 \div 1.4$$

$$I_{néc} = K_t \frac{f_i}{100} \frac{I_{cc \max}}{2\eta_{TC}}$$

- Au point de court-circuit N°1, le courant de fonctionnement des relais est nul.
- Au point de court-circuit N°2, le courant de fonctionnement des relais est différent de zéro parce que la distance au point de court-circuit n'est pas égale.

I.6. Conclusion

A la fin de ce chapitre, nous concluons que l'on a atteint les objectifs souhaités :

- ✓ Définition et classification des réseaux électriques.
- ✓ Compensation de l'énergie électrique.
- ✓ Définition de court-circuit et citation de ses types.
- ✓ Donner les causes et les conséquences d'un court-circuit et sa méthode de calcul.
- ✓ Définition de la protection électrique et explication de son principe de fonctionnement.
- ✓ Parler de quelques organes de protection et de la sélectivité de protection.
- ✓ Citer quelques types de protection d'un réseau électrique.

CHAPITRE 02 :
PRINCIPE
D'ANALYSE DANS
LES RESEAUX
ELECTRIQUES

Ce chapitre aborde dans les principes de base dans l'analyse des réseaux électriques et expose l'une après l'autre leurs méthodes de calcul.

2.1. Lois fondamentales des réseaux :

La relation entre les courants, tensions et impédances pour n'importe quel réseau linéaire est gouvernée par trois lois de base, qui sont la loi d'OHM et les deux lois de KIRCHHOFF.

❖ Loi D'OHM :

Le vecteur de la chute de tension V produit par le passage d'un vecteur de courant I à travers mie impédance complexe Z est donné par la relation vectorielle suivante :

$$V = I \cdot Z$$

Ou par la forme :

$$I = V \cdot Y$$

Avec Y est l'inverse de Z appelée admittance complexe.

La loi est illustrée par la figure 01 dans laquelle on note que le sens de la chute de tension V est opposite à celle du courant I .

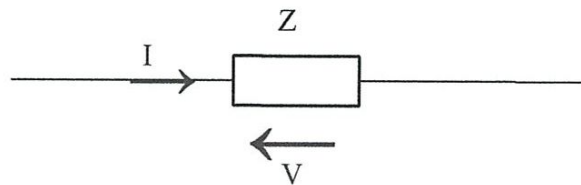


Figure 01

❖ 1^{ère} Loi de KIRCHHOFF :

La somme des vecteurs courants entrant dans un nœud de réseau égale zéro, comme le montre l'équation suivante :

$$\sum_e I_e = 0$$

Où I_e est le vecteur courant du branche c , entrant dans le nœud.

La loi, connue aussi par la loi de jonction est illustré par la figure 02.

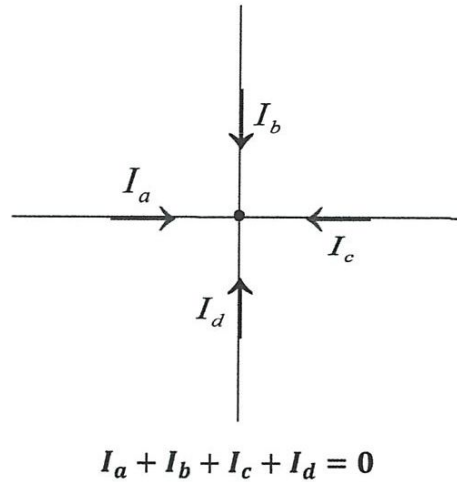


Figure 02

❖ **2^{ème} Loi de KIRCHHOFF :**

La somme vectorielle des tensions aux bornes des impédances de la maille est égale à la somme vectorielle des sources de tension de la maille.

Les différents branches du circuit : on équation comme le montre la relation suivante :

$$\sum_e E_e = \sum_e I_e Z_e$$

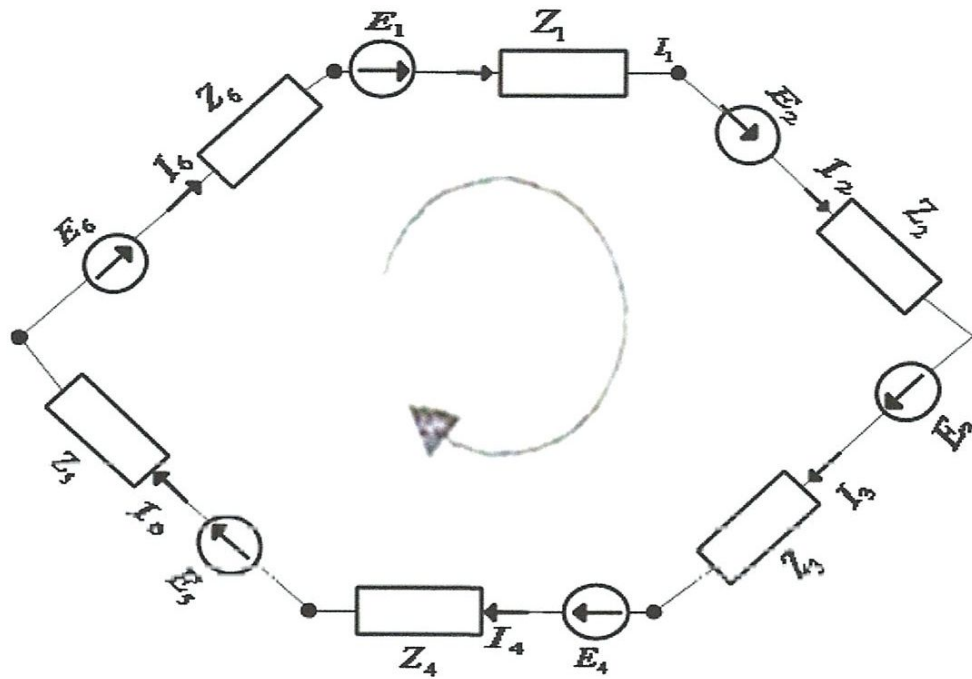
Ou :

E_e : est la tension de la source de la branche.

I_e : Le vecteur courant.

Z_e : Impédance complexe de la même branche.

La loi est illustrée par la figure 03.



$$E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 = I_1 Z_1 + I_2 Z_2 + I_3 Z_3 + I_4 Z_4 + I_5 Z_5 + I_6 Z_6$$

Figure 03

2.2. Méthode des courants de mailles :

On peut comprendre cette méthode d'analyse on considère un réseau simple représenté par la figure 04 afin d'appliquer la méthode des mailles à un réseau, on choisit des boucles fermées où circulent des courants appelés courants des mailles (I_1, I_2, I_3 dans la fig. 04)

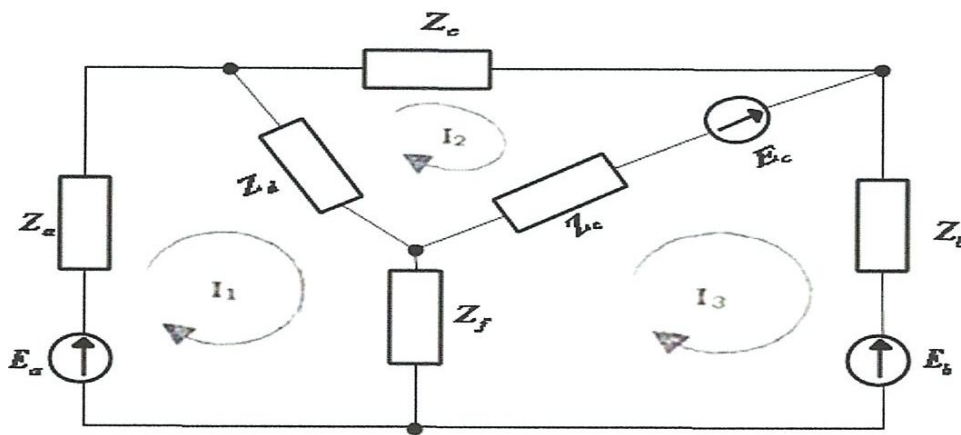


Figure04.

Nous écrivons ensuite et on résolvons le système de trois équations comportant les inconnues I_1 , I_2 et I_3 .

Le courant dans chaque branche est alors obtenu soit directement par le courant de maille soit par une combinaison de ces courants.

Pour le réseau considéré, le courant dans Z_1 est I_1 et le courant dans Z_d est en supposant une direction positive du courant dans cette impédance, de haut en bas.

Nous pouvons calculer les courants dans chaque branche du réseau de manière similaire, la tension aux bornes de chaque élément du circuit est donnée par le produit du courant dans l'élément et de l'impédance complexe de celui-ci:

Pour obtenir l'ensemble des trois équations, nous appliquons la loi de Kirchhoff à chaque maille, nous aurons le système suivant :

$$\begin{pmatrix} Z_a I_1 + Z_d(I_1 - I_2) + Z_f(I_1 - I_3) = E_a \\ Z_a(I_2 - I_1) + Z_e I_2 + Z_c(I_2 - I_3) = -E_c \\ Z_f(I_3 - I_1) + Z_c(I_3 - I_2) + Z_b I_3 = E_c - E_b \end{pmatrix}$$

En réarrangeant les termes ceci donne :

$$\begin{pmatrix} Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 + Z_{13} I_3 = E_1 \\ Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 + Z_{23} I_3 = -E_2 \\ Z_{31} I_1 + Z_{32} I_2 + Z_{33} I_3 = E_3 \end{pmatrix}$$

Avec :

$$\begin{pmatrix} Z_{11} = Z_a + Z_d + Z_f \\ Z_{22} = Z_c + Z_d + Z_e \\ Z_{33} = Z_b + Z_e + Z_f \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Z_{12} = Z_{21} = -Z_d \\ Z_{23} = Z_{32} = -Z_e \\ Z_{31} = Z_{13} = -Z_f \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} E_1 = E_a \\ E_2 = -E_c \\ E_3 = E_c - E_b \end{pmatrix}$$

La résolution du système d'équation obtenue par plusieurs méthodes, nous permet de calculer les courants des mailles I_1 , I_2 et I_3 à partir de ces derniers nous déterminons les différents courants de branches.

2.3 Méthode des tensions noeudales :

Cette méthode d'analyse est basée sur la 1^{ère} loi de Kirchhoff relative au courant appelée aussi méthode des nœuds.

- Un nœud est la partir d'un réseau commun à 2 ou plusieurs éléments de circuit.

Lorsque trois éléments où plus à un point commun ; le nœud qui en résulte est nœud principale ou jonction.

- En appliquant la 1^{ère} loi de Kirchhoff sur le réseau de figure 05 pour les nœuds 1, 2,3 nous aurons le système d'équation suivant :

$$\begin{pmatrix} (0 + E_a - V_1)Y_a + (V_2 - V_1)Y_e + (V_3 - V_1)Y_d = 0 \\ (0 + E_b - V_2)Y_b + (V_1 - V_2)Y_e + (V_3 + E_c - V_2)Y_c = 0 \\ (0 - V_3)Y_f + (V_1 - V_3)Y_d + (V_2 - E_c - V_3)Y_c = 0 \end{pmatrix}$$

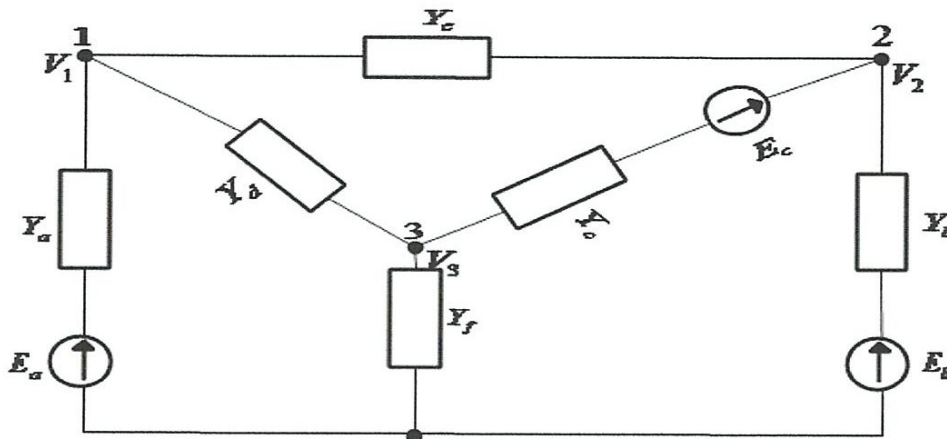


Figure 05

En réarrangeant les termes nous obtenons :

$$\begin{pmatrix} Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 = I_1 \\ Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 = I_2 \\ Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 = I_3 \end{pmatrix}$$

Ou

$$\begin{pmatrix} Y_{11} = Y_a + Y_c + Y_d \\ Y_{22} = Y_b + Y_c + Y_e \\ Y_{33} = Y_d + Y_e + Y_f \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Y_{12} = Y_{21} = -Y_e \\ Y_{23} = Y_{32} = -Y_c \\ Y_{31} = Y_{13} = -Y_d \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} I_1 = E_a Y_a \\ I_2 = E_b Y_b + E_c Y_c \\ I_3 = -E_c Y_e \end{pmatrix}$$

Nous remarquons que l'impédance Y_{ii} est la somme des admittances liées au nœud i :

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -(\text{admittance reliant les nœuds } i \text{ et } j)$$

Le système d'équations est un système de 3 équations à trois inconnues (les tensions des nœuds V_1 , V_2 et V_3).

La résolution de ce système nous permet de déterminer ces tensions à partir desquelles nous pouvons déterminer les courants dans chaque branche.

2-4. Théorèmes relatifs au réseau et formules de réductions :

La méthode des mailles et la méthode des nœuds permettent de résoudre pratiquement tous les problèmes relatifs aux circuits.

La solution de ces problèmes peut être obtenue par d'autres méthodes, /qui dans la plupart du temps sont simples et plus directes. Parmi ces méthodes, la méthode de réduction du schéma, qui dépend de la réduction du schéma à sa plus simple forme ; cette méthode est en particulier utilisée quand nous voulons donner la solution des courants de branches pour un nombre limité des branches.

La réduction du réseau est le processus de combinaison des branches du réseau, afin de réduire le réseau donné à un réseau équivalent avec un nombre réduit de branches, et qui donne une solution simple et directe.

Les théorèmes des réseaux et les formules de réductions généralement utilisés sont:

❖ Combinaison des branches série :

Prenant par exemple plusieurs branches branchées en série, chaque branche (i) comprend une source de tension E_i et une impédance série Z_i , la branche équivalente comprend la tension équivalente E_{eq} en série avec l'impédance Z_{eq} avec :

$$E_{eq} = \sum_i E_i = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

Et

$$Z_{eq} = \sum_i Z_i = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$$

Où n est le nombre de branche, la figure 06 illustre cette combinaison.

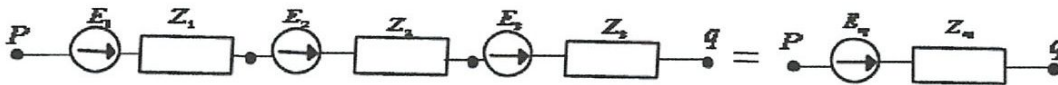


Figure 06

❖ Combinaison de la branche parallèle :

Prenant par exemple plusieurs branches branchées en parallèles, chaque branche (i) est donnée par la source de tension E_i en série avec l'admittance Y_i , la branche équivalente comprend la source de tension équivalente E_{eq} . Comme le montre la figure 07.

$$E_{eq} = \left(\frac{1}{Y_{eq}} \right) \sum_i E_i Y_i = \left(\frac{1}{Y_{eq}} \right) (E_1 Y_1 + E_2 Y_2 + \dots + E_n Y_n)$$

Et

$$Y_{eq} = \sum_i Y_i = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n$$

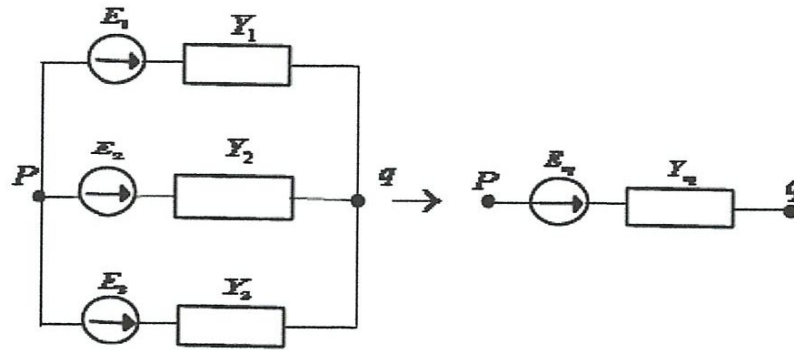


Figure 07

❖ Transformation étoile triangle :

La transformation étoile triangle permet de transformer trois branches d'impédances branchées en étoile en trois branches branchées en triangle. Prenant le circuit de la figure 08 où chaque branche en étoile comprend une source de tension et une impédance série ; la relation entre paramètres du schéma en triangle en fonction de celui en étoile sera :

$$\begin{pmatrix} E_{ab} = E_a - E_b + IZ_{ab} \\ E_{cb} = E_b - E_c + IZ_{bc} \\ E_{ca} = E_c - E_a + IZ_{ca} \end{pmatrix}$$

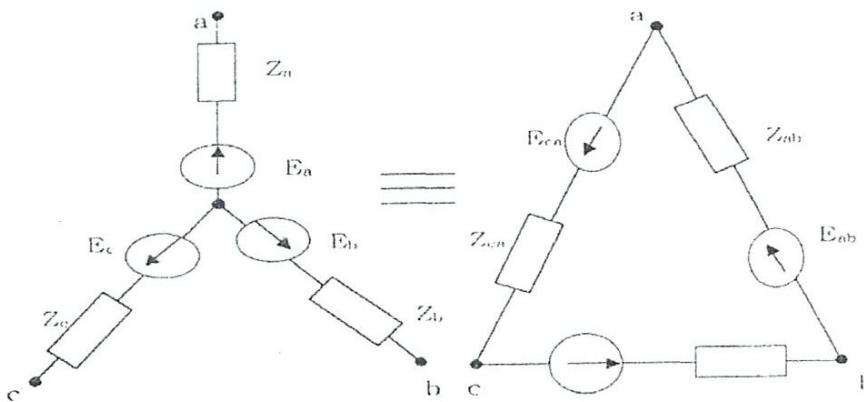


Figure 08

Et

Dans le cas particulier ou $E_{ab} + E_{cb} + E_{ca} = 0$ qui donne $I = 0$ les tensions du schéma Y deviennent :

$$\begin{pmatrix} E_a = 1/3 (E_{ab} - E_{ca}) \\ E_b = 1/3 (E_{bc} - E_{ab}) \\ E_c = 1/3 (E_{ca} - E_{bc}) \end{pmatrix}$$

❖ **Combinaison de tensions égales :**

Si deux ou plusieurs branches ont le même nœud commun et des tensions égales, la tension individuelle de chaque branche peut être remplacée par une seule branche contenant une seule source de tension qui à la même valeur que les autres tensions comme le montre la figure 09.

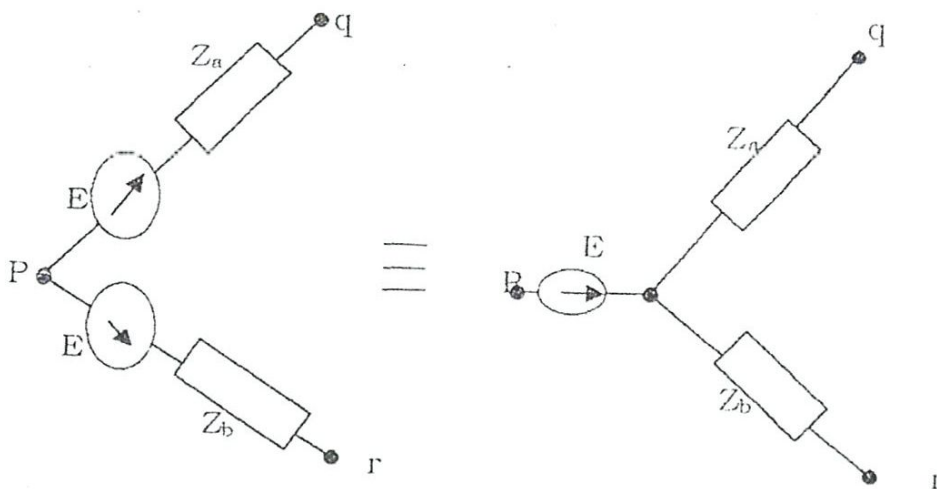


Figure 09

Ce théorème est utilisé dans les réseaux électriques pour la réduction de plusieurs sources en une seule source équivalente.

❖ **Théorème de Thévenin :**

Le théorème de thévenin s'énonce ainsi : « tout réseau linéaire actif présentant des connexions de sortie p.q., peut se remplacer par une source de tension unique V' en série avec une impédance unique Z' », comme le montre la figure 10.

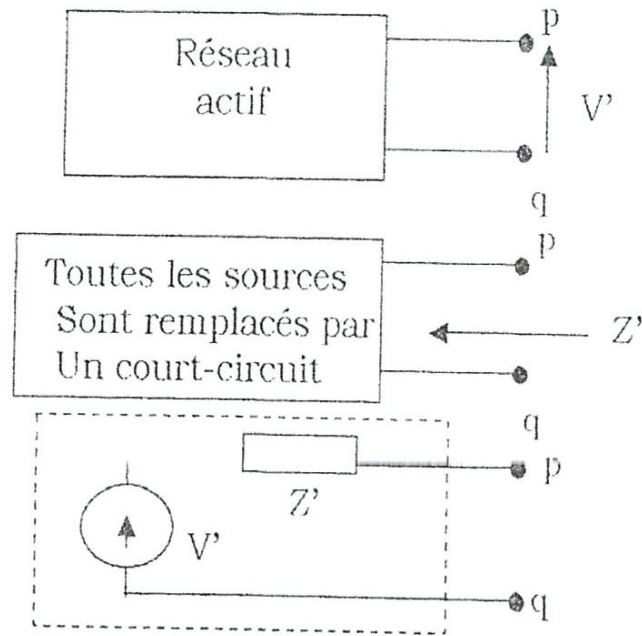


Figure 10

La tension équivalente de Thévenin v' correspond à la tension mesurée entre les bornes p et q du circuit non chargé.

L'impédance équivalente Z' correspond à l'impédance d'entrée du réseau mesurée entre les bornes p et q, lorsque toutes les sources internes délivrant des tensions nulles.

❖ **Théorème de Norton :**

Le théorème de thévenin s'énonce ainsi : « tout réseau linéaire actif présentant des connexions de sortie p,q, peut se remplacer par une source de courant unique I' branchée en parallèle avec une impédance unique Z' », comme le montre la figure 11.

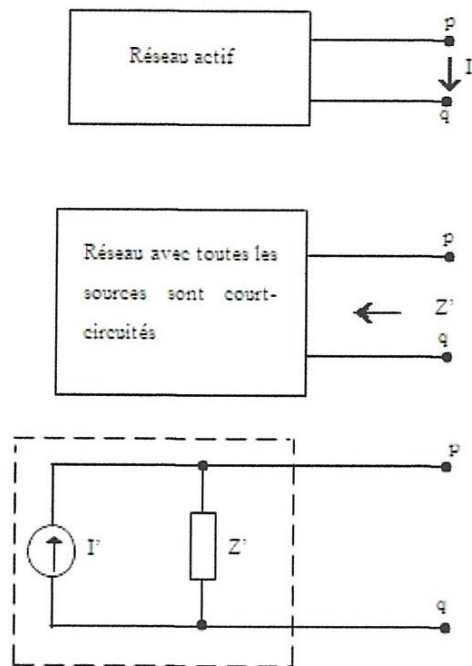


Figure 11

La source de courant équivalente de Norton I' est le courant mesuré à la sortie du réseau actif lorsque cette dernière est court-circuitée. (p relié à q).

L'impédance équivalente Z' correspond à l'impédance mesurée entre les bornes p et q, lorsque toutes les sources internes délivrant une tension nulle, on constate ainsi que pour un réseau linéaire actif.

L'impédance équivalente Z' des circuits équivalents de Norton et de Thévenin sont identiques.

Le courant traversant l'impédance connectée au circuit équivalent de Norton doit être dirigé dans le même sens que celui traversant la même impédance connectée au réseau actif initial.

2-5. Utilisation des unités relative et les valeurs en pourcentage :

❖ Les valeurs en unité relative (u.r) :

On peut comprendre le principe de base de la méthode des unités relatives, en se basant. Sur l'application de la loi d'OHM sur une impédance Z , la tension V produite au passage d'un courant I à travers l'impédance est donnée par :

$$V = I \cdot Z$$

On a V et I sont les valeurs des vecteurs et Z l'impédance complexe, tous les valeurs sont exprimées en nombre complexes.

Soit. V_{base} , et I_{base} des valeurs réelles de tension en volt et de courant en ampère.

La dernière équation peut être écrite :

$$\frac{V}{V_{base}} = \left[\frac{IZ}{I_{base}} \right] \left[\frac{I}{I_{base}} \right] = \left[\frac{I}{I_{base}} \right] \left[\frac{I_{base} \cdot Z}{V_{base}} \right]$$

Qui en unité relative (u.r) s'écrit :

$$V(u.r) = I(u.r) \cdot Z(u.r)$$

Les valeurs en unité relative de la tension, le courant et l'impédance sont données par :

$$V_{(ur)} = \frac{V}{V_{base}}$$

$$I_{(ur)} = \frac{I}{I_{base}}$$

Avec

$$Z_{base} = \frac{Z}{Z_{base}} = \left(\frac{I_{base}}{V_{base}} \right) \cdot Z$$

Où l'impédance de base est donnée par :

$$Z_{base} = \frac{V_{base}}{I_{base}}$$

On note que les valeurs de base de tension, courant et impédance sont des valeurs réelles, et les valeurs en unité relative de tension V_{ur} de courant I_{ur} et impédance Z_{ur} sont des nombres complexes qui ont la même argument que V , I et Z .

❖ les valeurs en pourcentage :

Dans l'analyse des réseaux électriques on exprime, parfois les valeurs d'impédance en plus en unité relative en pourcentage. Pour la loi **d'OHM**, on peut l'exprimer en pourcentage comme suit :

$$V\% = \frac{Z\% I\%}{100}$$

L'utilisation des valeurs en unités relatives et pourcentage des tensions, courants et impédances dans l'analyse des réseaux électriques doivent être exprimés par rapport à une valeur commune de puissance de base

(S_{base} en MVA par exemple).

L'expérience de l'impédance en unité relative ou en pourcentage est par la formule

Suivante :

$$Z_{ur} \text{ Ou } Z\% = \frac{S_{base}}{S_n} Z_{ur} \text{ ou } Z\%$$

On générale en prend des valeurs des valeurs standards de S_{base} comme :

100 MVA, 500 MVA ou 1000 MVA.

A la fin de ce chapitre nous pouvons conclure que nous avons un aperçu sur les principes de base d'analyse d'un réseau électrique et les méthodes de calcul qui nous permettrons de commencer l'analyse du réseau.

CHAPITRE 03 :
ELABORATION D'UN
RESEAU ELECTRIQUE

3.1. Introduction :

Dans ce chapitre, le travail consiste à déterminer le schéma le plus adéquat pour l'alimentation des quatre charges à partir d'une source donnée. Les conditions du choix de ce schéma doivent se conformer à des critères techno-économiques. Le lieu d'implantation de la source d'énergie donnée peut ne pas répondre à ces critères. Dans ce cas, il peut être nécessaire d'installer un poste local dans le lieu le plus adéquat, défini comme centre des charges. Ce lieu est déterminé à partir de l'équation d'équilibre des moments électriques de toutes les charges (puissances). La procédure consiste à représenter les charges par leurs coordonnées dans un repère orthogonal à partir d'un plan d'implantation réel des charges comme montré sur la figure 1.

Sur cette figure la source S_A doit être déterminée. Pour plus de possibilités, il est nécessaire de considérer le cas d'installation d'un poste local dans le centre des charges.

3.2. Données initiales :

❖ Plan d'implantation :

Le réseau à élaborer doit alimenter quatre charges de puissance S_1, S_2, S_3, S_4 dans un plan d'implantation bien déterminé. Pour la détermination des coordonnées de la source figure 1. Nous utilisons un repère orthogonal d'échelle déterminée.

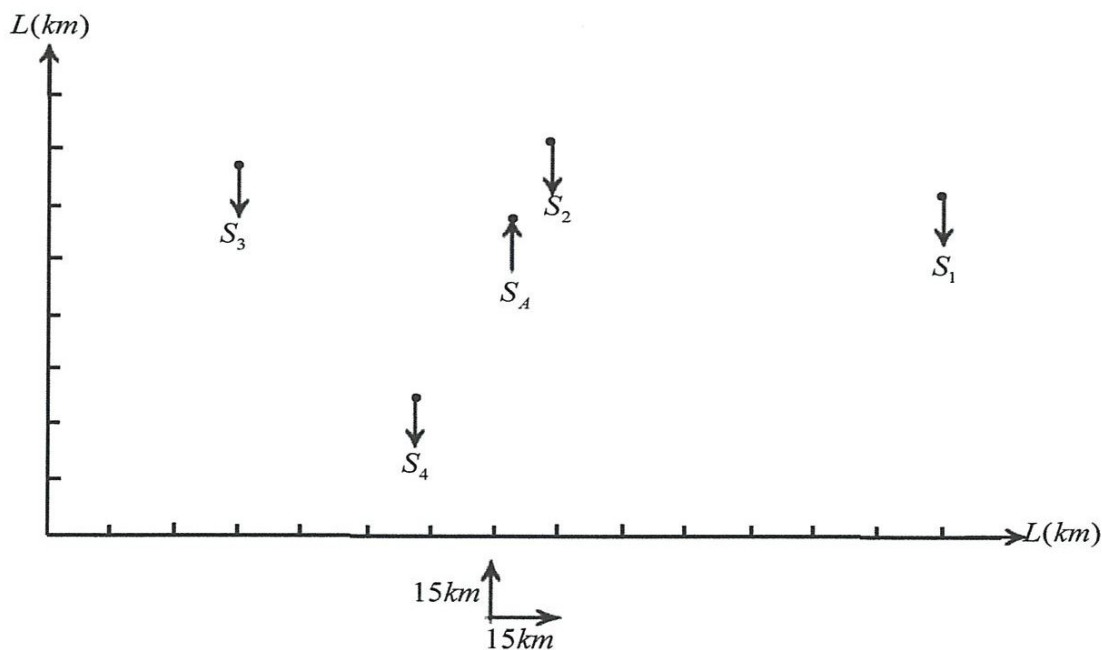


Figure 01

❖ **Coordonnées des charges et lieu d'implantation de la source :**

Le tableau suivant représente chaque charge et leurs coordonnées dans le plan d'implantation :

| S_i | $P_i(\text{MW})$ | $Q_i(\text{MVAR})$ | $X_i(\text{KM})$ | $Y_i(\text{KM})$ |
|-------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
| S_1 | 60 | 40 | 210 | 93 |
| S_2 | 80 | 70 | 115.5 | 108 |
| S_3 | 80 | 80 | 45 | 97.5 |
| S_4 | 60 | 50 | 87 | 37.5 |

Tableau 01

La source doit être implantée dans le centre des charges électriques. Les coordonnées de ce centre peuvent être déterminées à l'aide des moments électriques.

$$\triangleright \sum P_i \times X_s = \sum P_i \times X_i$$

$$\triangleright \sum P_i \times Y_s = \sum P_i \times Y_i$$

Donc :

$$\triangleright X_s = \frac{P_1 \times X_1 + P_2 \times X_2 + P_3 \times X_3 + P_4 \times X_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4} = 109.5 \text{ KM}$$

$$\triangleright Y_s = \frac{P_1 \times Y_1 + P_2 \times Y_2 + P_3 \times Y_3 + P_4 \times Y_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4} = 86.68 \text{ KM}$$

Les coordonnées obtenues définissent le lieu du centre des charges actives où on doit installer éventuellement la source d'alimentation du réseau.

Si une source d'énergie est disponible dans le voisinage du territoire considéré, comme c'est le cas en règle générale (système. Centrale...) on doit dans ce cas, étudier et comparer les deux possibilités essentielles de configuration du réseau à élaborer. Nous pouvons dans ce cas alimenter

Le réseau directement à partir de la source existante ou bien installer dans le centre défini un poste local d'alimentation, lequel sera alimenté à partir de la source existante.

Pour choisir le niveau nominal de la tension on doit tenir compte des distances (longueur de ligne) entre nœuds et la source et des puissances transférées.

Les longueurs des lignes éventuelles sont calculées et insérées dans le tableau suivant :

| Ligne | L _{A1} | L _{A2} | L _{A3} | L _{A4} | L ₁₂ | L ₂₃ | L ₂₄ | L ₃₄ |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| L(KM) | 102 | 21 | 64.5 | 55.5 | 97.5 | 70.5 | 75 | 75 |

Tableau 02

❖ **Choix du niveau de tension :**

Sachant la relation entre la tension la puissance et la longueur de ligne ;

Soit : pour $L \leq 250$ KM :

$$\text{➤ } U = 4.34 \sqrt{L(KM) + 0.016P(KW)}$$

On détermine donc pour $L_{A1} = 102$ KM et On a $P_{A1} = 60$ MW.

Alors :

$$\text{➤ } U = 4.34 \sqrt{102 + 0.016 \times 60 \times 1000} = 141.43 \text{KV}$$

On choisit alors la tension nominale juste supérieure à la première valeur ; C'est-à-dire : $U_n = 220$ KV

❖ **Choix du schéma du réseau électrique :**

Dans cette partie du travail on ne considère qu'une seule variante ;

Soit la variante suivante :

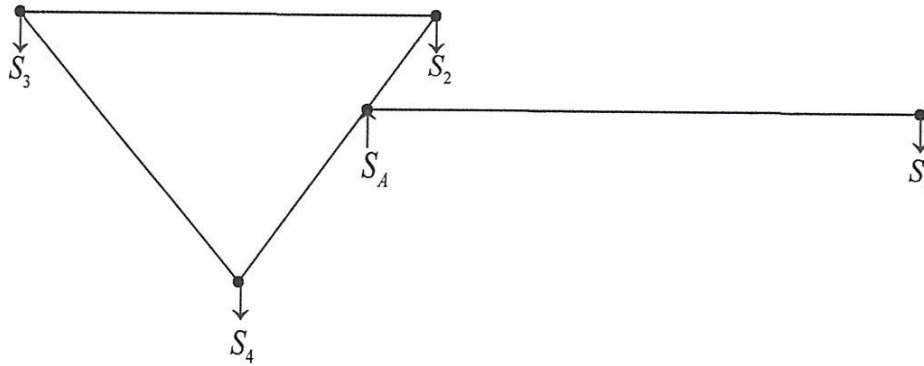


Figure 02

Cette variante se compose d'un réseau magistral ($S_A S_1$) simple et un autre réseau bouclé ($S_A-S_2-S_3-S_4-S_A$).

Ce dernier peut être présenté sous forme d'une ligne magistrale alimentée de deux côtes. Comme le montre la figure suivante.

Pour calculer ce schéma, on utilise les équations des moments électriques par rapport à un point donné (par exemple A-A')

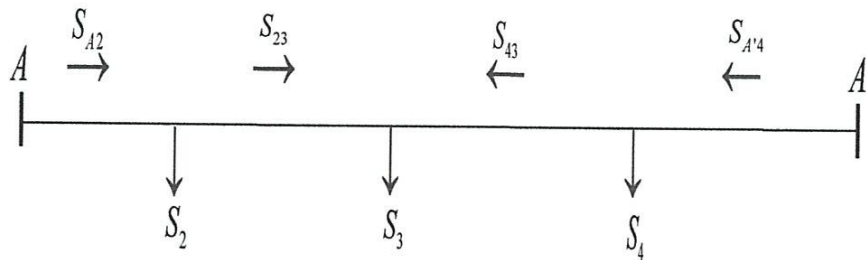


Figure 03

❖ **Calcul des puissances de ligne :**

✓ **Le réseau $L_{(A-2-3-4)}$:**

D'une manière générale l'équation d'équilibre des moments par rapport au nœud A s'exprime :

$$S_{Ai} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times Z_{iA'}}{Z_{AA'}} + U_n \frac{(U_A - U_{A'})}{2}$$

En supposant que :

✓ Chute de tension admissible (réseau de distribution)

Pour les cas pratiques, on peut utiliser directement la formule :

$$F = \frac{I_{\max}}{j_{\text{éco}}}$$

Ou : $J_{\text{éco}}$: densité économique

I_{\max} courant en régime maximal de charge, définie par :

$$I_{\max} = \frac{S_{\max}}{U_N \times \sqrt{3}}$$

La densité économique est normalisée en fonction du temps de pertes maximale)

Soit : $J_{\text{éco}} : 1 \times (\text{A}/\text{mm}^2)$

3.3. Calcul du réseau:

Les résultats de calcul des courants et des sections, ainsi que les valeurs choisies de cette dernière sont saisis dans le tableau suivant :

| Ligne | S(MVA) | S(MVA) | I(A) | F (mm ²) | Type |
|-----------------|---------------|--------|--------|----------------------|-------|
| L _{A1} | 60+j40 | 72.11 | 189.24 | 189.24 | AC240 |
| L _{A2} | 134.46+j122.9 | 182.3 | 478.41 | 478.41 | AC500 |
| L ₂₃ | 54.46+j52.9 | 75.92 | 199.24 | 199.24 | AC240 |
| L ₃₄ | 25.54+j27.1 | 37.24 | 97.73 | 97.73 | AC240 |
| L _{A4} | 85.54+j77.1 | 115.15 | 302.19 | 302.19 | AC400 |

Tableau 04

Les valeurs des sections choisies déterminent les paramètres linéiques correspondants. Ces derniers sont saisis dans le tableau suivant :

| Ligne | L(Km) | F (mm ²) | ro (Ω/Km) | Xo (Ω/Km) | bo.10 ⁻⁶ (Ω ⁻¹ / Km) | r(Ω) | x(Ω) | bo.10 ⁻⁶ Ω ⁻¹ |
|-------|-------|----------------------|-----------|-----------|--|-------|-------|-------------------------------------|
| LA1 | 102 | 240 | 0.13 | 0.43 | 2.66 | 13.26 | 43.86 | 271.32 |
| LA2 | 21 | 500 | 0.065 | 0.41 | 2.79 | 1.365 | 8.61 | 58.59 |
| L23 | 70.5 | 240 | 0.13 | 0.43 | 2.66 | 9.165 | 30.32 | 187.53 |
| L34 | 75 | 240 | 0.13 | 0.43 | 2.66 | 9.75 | 32.25 | 199.5 |
| LA4 | 55.5 | 400 | 0.08 | 0.414 | 2.73 | 4.44 | 22.98 | 151.515 |

Tableau 05

❖ **Evaluation des pertes de puissance et du potentielle des nœuds :**

Les pertes de puissance s'expriment par :

$$\Delta P = \frac{S^2}{(U_N)^2} \cdot r \quad (\text{MW})$$

$$\Delta Q = \frac{S^2}{(U_N)^2} \cdot X \quad (\text{MVAR})$$

Les résultats sont présentés sur le tableau ci-dessous :

| Ligne | L(KM) | S(MVA) | r (Ω) | x (Ω) | ΔP (MW) | ΔQ (MVAR) | ΔS (MVA) |
|--------|-------|--------|-------|-------|---------|-----------|-------------|
| LA1 | 102 | 72.11 | 13.26 | 43.86 | 1.42 | 4.71 | 1.42+J4.71 |
| LA2 | 21 | 182.3 | 1.37 | 8.61 | 0.93 | 5.91 | 0.93+J5.91 |
| L23 | 70.5 | 75.92 | 9.17 | 30.32 | 1.09 | 3.61 | 1.09+J3.61 |
| L34 | 75 | 37.24 | 9.75 | 32.25 | 0.28 | 0.92 | 0.28+J0.92 |
| LA4 | 55.5 | 115.15 | 4.44 | 22.98 | 1.22 | 6.30 | 1.22+J6.30 |
| Totale | 324 | 482.72 | | | 4.94 | 21.45 | 4.94+J21.45 |

Tableau 06

Pour une lecture plus significative on représente les pertes en pourcent de la consommation totale :

$$\text{On a : } \frac{\Delta P}{P_{\Sigma}} 100\% = \frac{4.94 \times 100}{360} = 1.37\%$$

$$\frac{\Delta Q}{Q_{\Sigma}} 100\% = \frac{21.45 \times 100}{320} = 6.70\%$$

$$\frac{\Delta S}{S_{\Sigma}} 100\% = \frac{22.01 \times 100}{482.72} = 4.56\%$$

Pour une évaluation approximative du potentiel des nœuds, on peut utiliser l'expression :

$$\Delta U_{Ai} = \frac{P_{Ai} \cdot r_{Ai} + Q_{Ai} \cdot x_{Ai}}{U_n}$$

Qui donne, respectivement :

$$\checkmark \Delta U_{A1} = \frac{P_{A1}.r_{A1} + Q_{A1}.x_{A1}}{U_n} = \frac{(60 \times 13.26) + (40 \times 43.86)}{220} = 11.59 \text{ KV}$$

$$\text{➤ } U_1 = U_A - \Delta U_{A1} = 220 - 11.59 = 208.41 \text{ KV}$$

$$\text{➤ } \Delta U_{A1}\% = \frac{11.59}{220} \times 100 = 5.27\%$$

$$\checkmark \Delta U_{A2} = \frac{P_{A2}.r_{A2} + Q_{A2}.x_{A2}}{U_n} = \frac{(134.46 \times 1.365) + (122.9 \times 8.61)}{220} = 5.64 \text{ KV}$$

$$\text{➤ } U_2 = U_A - \Delta U_{A2} = 220 - 5.64 = 214.36 \text{ KV}$$

$$\text{➤ } \Delta U_{A2}\% = \frac{5.64}{220} \times 100 = 2.56\%$$

$$\checkmark \Delta U_{A4} = \frac{P_{A4}.r_{A4} + Q_{A4}.x_{A4}}{U_n} = \frac{(85.54 \times 4.44) + (77.9 \times 22.98)}{220} = 9.82 \text{ KV}$$

$$\text{➤ } U_4 = U_A - \Delta U_{A4} = 220 - 9.82 = 210.18 \text{ KV}$$

$$\text{➤ } \Delta U_{A4}\% = \frac{9.82}{220} \times 100 = 4.46\%$$

3.4. Vérification de l'accroissement de la charge :

L'expérience dans l'exploitation des réseaux électriques montre que chaque dix (10) ans la charge des réseaux installées croit de 1.5 fois celle initiale. Il est nécessaire dans ce cas de vérifier la tenue des paramètres requis admissibles du régime pré-prévoir, en cas de besoin, les mesures adéquates à prendre pour maintenir les régimes admissibles.

Cette vérification permet de prévoir, également, d'éventuelles extensions du réseau électrique pour couvrir le besoin des nouveaux consommateurs installés dans le voisinage

Les résultats de calcul des pertes avec les nouvelles charges sont saisis dans le tableau ci-dessous :

| Ligne | S(MVA) | ΔP (MW) | ΔQ (MVAR) | ΔS (MVA) |
|--------|---------|-----------------|-------------------|------------------|
| LA1 | 108.165 | 3.21 | 10.60 | 3.21+J10.6 |
| LA2 | 273.45 | 2.11 | 13.30 | 2.11+J13.30 |
| L23 | 113.88 | 2.45 | 8.12 | 2.45+J8.12 |
| L34 | 55.86 | 0.62 | 2.08 | 0.62+J2.08 |
| LA4 | 172.725 | 2.74 | 14.16 | 2.74+J14.16 |
| Totale | 724.08 | 11.13 | 48.26 | 11.13+J48.26 |

Tableau 07

Les nouvelles pertes représentent ainsi :

$$\triangleright \frac{\Delta S}{S_{\Sigma}} 100\% = \frac{49.53 * 100}{724.08} = 6.84.\%$$

Les nouveaux potentiels peuvent être calculés comme précédemment :

$$\checkmark \Delta U_{A1} = \frac{P_{A1}.r_{A1} + Q_{A1}.x_{A1}}{U_n} = \frac{(90 \times 13.26) + (60 \times 43.86)}{220} = 17.39 \text{ KV}$$

$$\triangleright U_1 = U_A - \Delta U_{A1} = 220 - 17.39 = 202.61 \text{ KV}$$

$$\triangleright \Delta U_{A1}\% = \frac{17.39}{220} 100 = 7.90\%$$

$$\checkmark \Delta U_{A2} = \frac{P_{A2}.r_{A2} + Q_{A2}.x_{A2}}{U_n} = \frac{(201.69 \times 1.365) + (184.35 \times 8.61)}{220} = 8.47 \text{ KV}$$

$$\triangleright U_2 = U_A - \Delta U_{A2} = 220 - 8.47 = 211.53 \text{ KV}$$

$$\triangleright \Delta U_{A2}\% = \frac{8.47}{220} 100 = 3.85 \%$$

$$\checkmark \Delta U_{A4} = \frac{P_{A4}.r_{A4} + Q_{A4}.x_{A4}}{U_n} = \frac{(128.31 \times 4.44) + (115.65 \times 22.98)}{220} = 14.67$$

KV

$$\triangleright U_4 = U_A - \Delta U_{A4} = 220 - 14.67 = 205.33 \text{ KV}$$

$$\triangleright \Delta U_{A4}\% = \frac{14.67}{220} \times 100 = 6.69\%$$

❖ **Comparaison entre les deux cas :**

La comparaison entre les deux cas est donnée par le tableau suivant :

| | 1 cas | 2 cas |
|-------------------|-------|-------|
| $\Delta S\%$ | 4.56% | 6.84% |
| $\Delta U_{A1}\%$ | 5.27% | 7.90% |
| $\Delta U_{A2}\%$ | 2.56% | 3.86% |
| $\Delta U_{A4}\%$ | 4.46% | 6.69% |

(Tableau 08)

D'après les résultats obtenus on remarque que les pourcentages des pertes de puissances et le potentiel des nœuds sont un peu élevés et surtout pour la deuxième cas.

Donc pour résoudre ce problème on introduit un faisceau avec deux conducteurs (n=2) et on refaire les mêmes calculs.

3.5. Calcul des paramètres des lignes pour « n=2 » :

Pour le ou n=2 la différence réside dans les valeurs de r_0 , x_0 et b_0 :

| Ligne | L(KM) | F (mm ²) | r ₀ (Ω/KM) | x ₀ (Ω/KM) | b ₀ .10 ⁻⁶ (Ω ⁻¹ /Km) | r(Ω) | x(Ω) | b ₀ .10 ⁻⁶ Ω ⁻¹ |
|-------|-------|----------------------|--------------------------|--------------------------|--|-------|-------|--|
| LA1 | 102 | 240 | 0.065 | 0.309 | 3.64 | 6.63 | 31.52 | 371.28 |
| LA2 | 21 | 500 | 0.0325 | 0.305 | 3.7 | 0.68 | 6.41 | 77.7 |
| L23 | 70.5 | 240 | 0.065 | 0.309 | 3.64 | 4.58 | 21.78 | 256.62 |
| L34 | 75 | 240 | 0.065 | 0.309 | 3.64 | 4.875 | 23.18 | 273 |
| LA4 | 55.5 | 400 | 0.04 | 0.301 | 3.76 | 2.22 | 16.71 | 207.58 |

Tableau 09

La variation des paramètres de système implique celle des pertes. En évaluant les pertes par les formules suivantes, on peut remplir le tableau ci-dessous :

$$\triangleright \Delta P = \frac{S^2}{(U_N)^2} \cdot r \quad (\text{MW}); \Delta Q = \frac{S^2}{(U_N)^2} \cdot X \quad (\text{MVAR})$$

| Ligne | L(KM) | S(MVA) | r(Ω) | x(Ω) | ΔP(MW) | ΔQ(MVAR) | ΔS(MVA) |
|--------|-------|---------|-------|-------|--------|----------|-------------|
| LA1 | 102 | 108.165 | 6.63 | 31.52 | 1.6 | 7.62 | 1.6+J7.62 |
| LA2 | 21 | 273.45 | 0.68 | 6.41 | 1.05 | 9.90 | 1.05+J9.90 |
| L23 | 70.5 | 113.88 | 4.58 | 21.78 | 1.23 | 5.83 | 1.23+J5.83 |
| L34 | 75 | 55.86 | 4.875 | 23.18 | 0.31 | 1.49 | 0.31+J1.49 |
| LA4 | 55.5 | 172.725 | 2.22 | 16.71 | 1.36 | 10.30 | 1.36+J10.30 |
| Totale | 324 | 724.08 | | | 5.55 | 35.14 | 5.55+J35.14 |

Tableau : 10

Les pertes pour (n=2) seront :

$$\triangleright \frac{\Delta S}{S_{\Sigma}} 100\% = \frac{35.57 \times 100}{724.08} = 4.90\%$$

Le potentiel pour (n=2) peut être calculé comme suit :

$$\checkmark \Delta U_{A1} = \frac{P_{A1} \cdot r_{A1} + Q_{A1} \cdot x_{A1}}{U_n} = \frac{(90 \times 6.63) + (60 \times 31.52)}{220} = 11.31 \text{ KV}$$

$$\triangleright U_1 = U_A - \Delta U_{A1} = 220 - 11.31 = 208.69 \text{ KV}$$

$$\triangleright \Delta U_{A1}\% = \frac{11.31}{220} 100 = 5.14\%$$

$$\checkmark \Delta U_{A2} = \frac{P_{A2} \cdot r_{A2} + Q_{A2} \cdot x_{A2}}{U_n} = \frac{(201.69 \times 0.68) + (184.35 \times 6.41)}{220} = 5.99 \text{ KV}$$

$$\triangleright U_2 = U_A - \Delta U_{A2} = 220 - 5.99 = 214.01 \text{ KV}$$

$$\triangleright \Delta U_{A2}\% = \frac{5.99}{220} 100 = 2.72\%$$

$$\checkmark \Delta U_{A4} = \frac{P_{A4} \cdot r_{A4} + Q_{A4} \cdot x_{A4}}{U_n} = \frac{(128.31 \times 2.22) + (115.65 \times 16.71)}{220} = 10.07 \text{ KV}$$

$$\triangleright U_4 = U_A - \Delta U_{A4} = 220 - 10.07 = 209.93 \text{ KV}$$

$$\triangleright \Delta U_{A4}\% = \frac{10.07}{220} 100 = 4.57\% \text{ KV}$$

❖ **Comparaison entre le cas ou « n=1 » et le cas ou « n=2 » :**

A partir du tableau de comparaison on remarque que le cas ou (n=2) donne une nette amélioration.

| | n=1 | n=2 |
|-------------------|-------|-------|
| $\Delta S\%$ | 6.84% | 4.90% |
| $\Delta U_{A1}\%$ | 7.90% | 5.14% |
| $\Delta U_{A2}\%$ | 3.86% | 2.72% |
| $\Delta U_{A4}\%$ | 6.69% | 4.57% |

Tableau : 11

En effet, à partir du tableau de comparaison on remarque que le pourcentage des pertes des puissances et le potentiel des nœuds pour le cas où « n=2 » sont inférieurs et acceptables par rapport au cas où « n=1 ». Ce qu'est très avantageux.

3.6. Choix des transformateurs :

On installe dans les postes de transformation du réseau électrique à haute tension, d'habitude, deux transformateurs puisque tous les consommateurs sont de première catégorie. La puissance de chacun deux (S_N) est choisie d'après la formule suivante :

$$S_N = (0.65 \div 0.7) S_{Max}$$

Ou :

S_N : La puissance nominale du transformateur.

S_{Max} : La puissance maximale du poste.

| Poste | Nombre des transformateurs | $S_N = 0.7 S_{max}$ (MVA) | S_N Du transformateur (MVA) |
|-------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 01 | 02 | $0.7 \sqrt{(60)^2 + (40)^2} = 50.74$ | 63 |
| 02 | 02 | $0.7 \sqrt{(80)^2 + (70)^2} = 70.41$ | 80 |
| 03 | 02 | $0.7 \sqrt{(80)^2 + (80)^2} = 79.19$ | 80 |
| 04 | 02 | $0.7 \sqrt{(60)^2 + (50)^2} = 54.67$ | 63 |

Tableau : 12

❖ Paramètres des transformateurs :

A partir de la puissance de chaque transformateur on choisit leurs paramètres (Tableau : 13)

| Poste | S_N (MVA) du transformateur | $\Delta U_{cc}\%$ | $\Delta P_{cc}\%$ | $\Delta P_o\%$ | $I_o\%$ |
|-------|-------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------|
| 01 | 63 | 12 | 300 | 82 | 0.8 |
| 02 | 80 | 11 | 320 | 105 | 0.6 |
| 03 | 80 | 11 | 320 | 105 | 0.6 |
| 04 | 63 | 12 | 300 | 82 | 0.8 |

Tableau 13

❖ Pertes de puissance du transformateur :

Pour calculer les pertes de puissance des transformateurs on utilise les deux expressions suivantes :

$$\Delta P_{\tau} = n \Delta P_o + \frac{\Delta P_{cc}}{n} \beta^2$$

$$\Delta Q_{\tau} = (n I_o\% + \frac{\Delta U_{cc}}{n} \beta^2) S_N$$

Ou :

n : Le nombre des transformateurs pour chaque poste.

$$\beta : \frac{S_{ch}}{S_n}$$

Les résultats du calcul sont donnés dans le tableau 14.

| Poste | ΔPT (MVA) | ΔQT (MVQ) |
|-------|-------------------|-------------------|
| 01 | 0.36 | 5.92 |
| 02 | 0.49 | 8.75 |
| 03 | 0.52 | 9.72 |
| 04 | 0.4 | 6.82 |

Tableau 14

A la fin de cette partie du travail nous pouvons dire que nous nous sommes familiarisés avec les principes de l'élaboration d'un réseau électrique en ayant considéré essentiellement les points suivants :

- ✓ Le plan d'implantation des charges.
- ✓ La détermination des coordonnées de la source et le choix de la tension nominale.
- ✓ Le calcul des puissances des lignes.
- ✓ Le choix des paramètres des lignes.
- ✓ L'évaluation des pertes des puissances et de la tension
- ✓ Les procédures utilisées pour minimiser les pertes.
- ✓ Le choix des transformateurs et leurs paramètres.
- ✓ Le calcul des pertes dans les transformateurs.

CHAPITRE 04 :
CALCUL DU COURT-
CIRCUIT ET
DISTRIBUTION DU
POTENTIEL

4.1. Modèle et données:

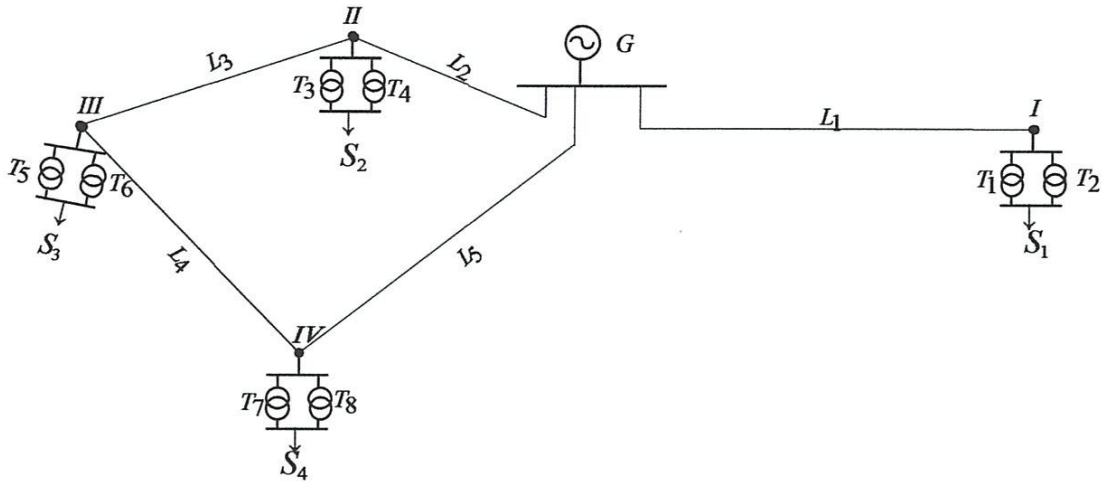


Figure 01

En supposant que l'on doit disposer d'une réserve de puissance d'au moins de 50% au

niveau de la source, on peut écrire : $S_{N,G} = 2 \sum_{i=1}^4 S_{chi} = 2 \times 482.72 = 965.44 MVA$

Soit approximativement, pour l'application $S_{N,G} = 1000 MVA$.

Les données caractéristiques pour le Calcul des courants de court-circuit sont saisies dans le tableau suivant :

| | G | T (1.2) | T (3.4) | T (5.6) | T (7.8) | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 |
|--------------------|------|---------|---------|---------|---------|------|------|------|------|-------|
| $S_N (MVA)$ | 1000 | 63 | 80 | 80 | 63 | | | | | |
| $U_N (KV)$ | 220 | | | | | | | | | |
| $X^* (N)$ | 0.2 | | | | | | | | | |
| $\Delta U_{cc} \%$ | | 12 | 11 | 11 | 12 | | | | | |
| $X_o (\Omega)$ | | | | | | 0.43 | 0.41 | 0.43 | 0.43 | 0.414 |
| $L (KM)$ | | | | | | 102 | 21 | 70.5 | 75 | 55.5 |

Tableau 01

4.2. Calcul du court-circuit :

❖ Schéma équivalent :

Pour le calcul et l'analyse du régime de court-circuit, le modèle étudié peut être simplifié au schéma équivalent de calcul. Dans ce schéma, tous les éléments du modèle sont représentés, respectivement, par leur réactance. Généralement pendant le traitement du court-circuit on néglige les résistances actives ; surtout pour les réseaux de haute tension, de même qu'on néglige les admittances des lignes puisqu'elles sont shuntées par le court-circuit.

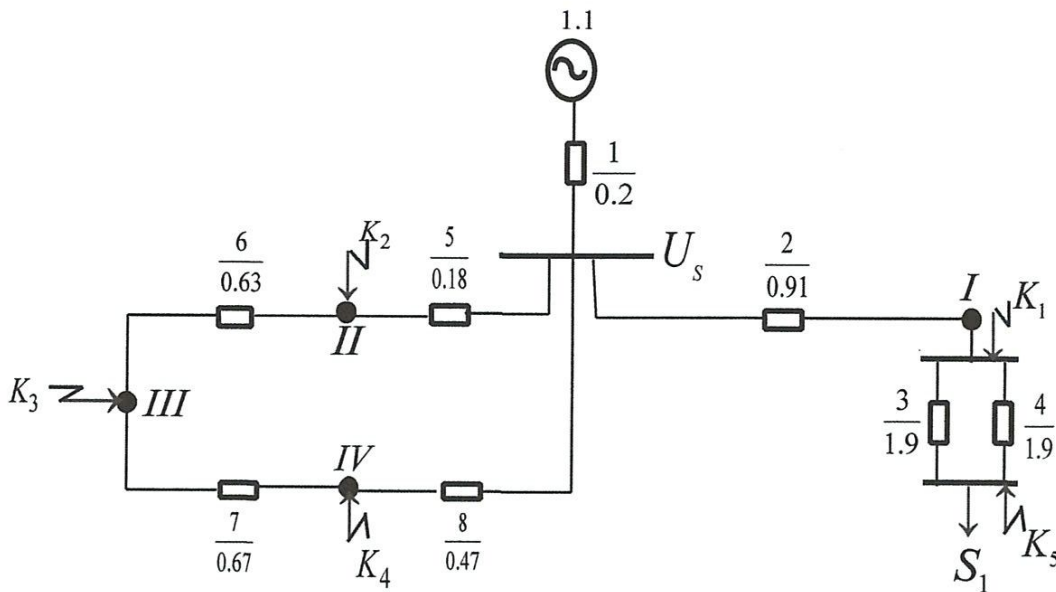


Figure 02

❖ Calculs des réactances :

En choisissant $S_N = 1000$ MVA, on peut réaliser le calcul en unité relative des paramètres conformément aux désignations du schéma équivalent comme suit ;

$$x_1 = x^*(N) \times \frac{S_b}{S_N} = \frac{1000}{1000} = 0.2$$

$$x_2 = x_0 \times L_1 \times \frac{S_b}{(Um)^2} = 0.43 \times 102 \times \frac{1000}{(220)^2} = 0.91$$

$$x_3 = \Delta U_{cc} \times \frac{S_b}{S_N} = 0.12 \times \frac{1000}{63} = 1.90.$$

$$x_4 = x_3 = \Delta U_{cc} \times \frac{S_b}{S_N} = 0.12 \times \frac{1000}{63} = 1.90$$

$$x_5 = x_0 \times L_2 \times \frac{S_b}{(Um)^2} = 0.41 \times 21 \times \frac{1000}{(220)^2} = 0.18$$

$$x_6 = x_0 \times L_3 \times \frac{S_b}{(Um)^2} = 0.43 \times 70.5 \times \frac{1000}{(220)^2} = 0.63$$

$$x_7 = x_0 \times L_4 \times \frac{S_b}{(Um)^2} = 0.43 \times 75 \times \frac{1000}{(220)^2} = 0.67$$

$$x_8 = x_0 \times L_5 \times \frac{S_b}{(Um)^2} = 0.414 \times 55.5 \times \frac{1000}{(220)^2} = 0.47$$

❖ **Courants permanent :**

✓ Court-circuit k_1 :

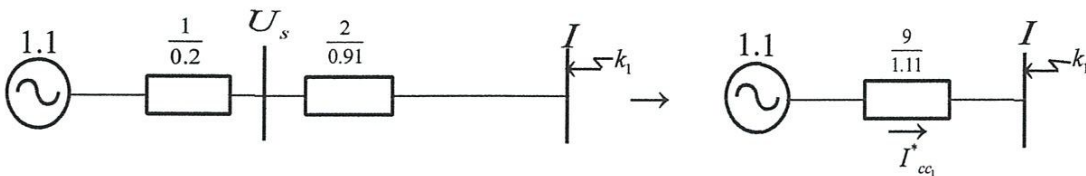


Figure 03

$$x_9 = x_1 + x_2 = 0.2 + 0.91 = 1.11$$

$$I^*_{cc1} = \frac{E^*}{x_9} = \frac{1.1}{1.11} = 0.99$$

$$I_{b1} = \frac{S_b}{\sqrt{3} \times U_b} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 220} = 2.62 \text{ KA}$$

$$I_{cc1} = I_{b1} \times I^*_{cc1} = 2.62 \times 0.99 = 2.59 \text{ KA}$$

✓ Court-circuit k_2 :

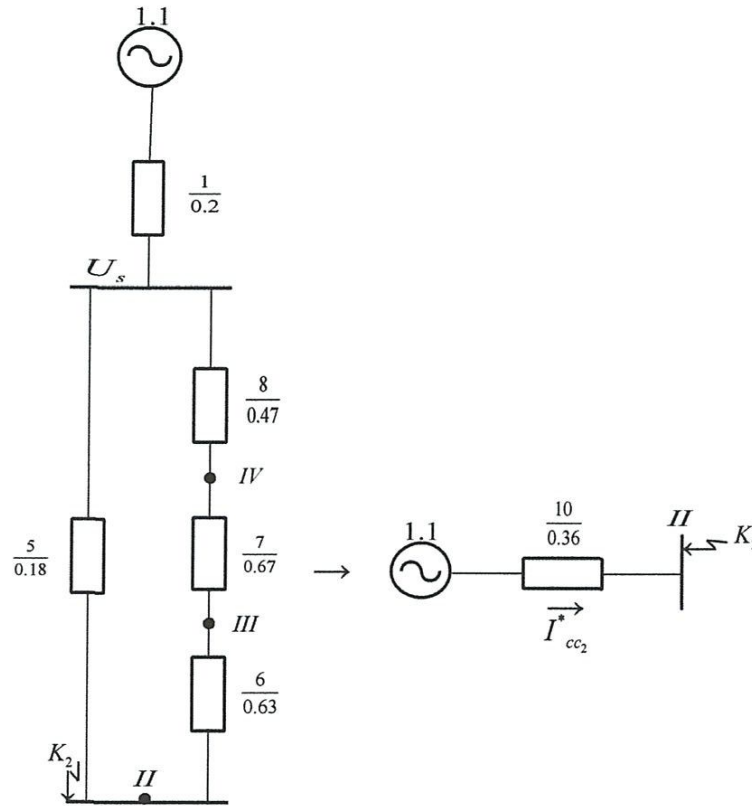


Figure 04

$$x_{10} = x_1 + \left(\frac{x_5 \times (x_6 + x_7 + x_8)}{x_5 + x_6 + x_7 + x_8} \right) = 0.2 + \left(\frac{0.18 \times (0.63 + 0.67 + 0.47)}{0.18 + 0.63 + 0.67 + 0.47} \right) = 0.36$$

$$I^*_{cc_2} = \frac{E^*}{x_{10}} = \frac{1.1}{0.36} = 3.06$$

$$I_{b1} = I_{b2}$$

$$I_{cc_2} = I_{b2} \times I_{cc_2} = 2.62 \times 3.06 = 8.02 \text{ KA}$$

✓ Court-circuit k_3 :

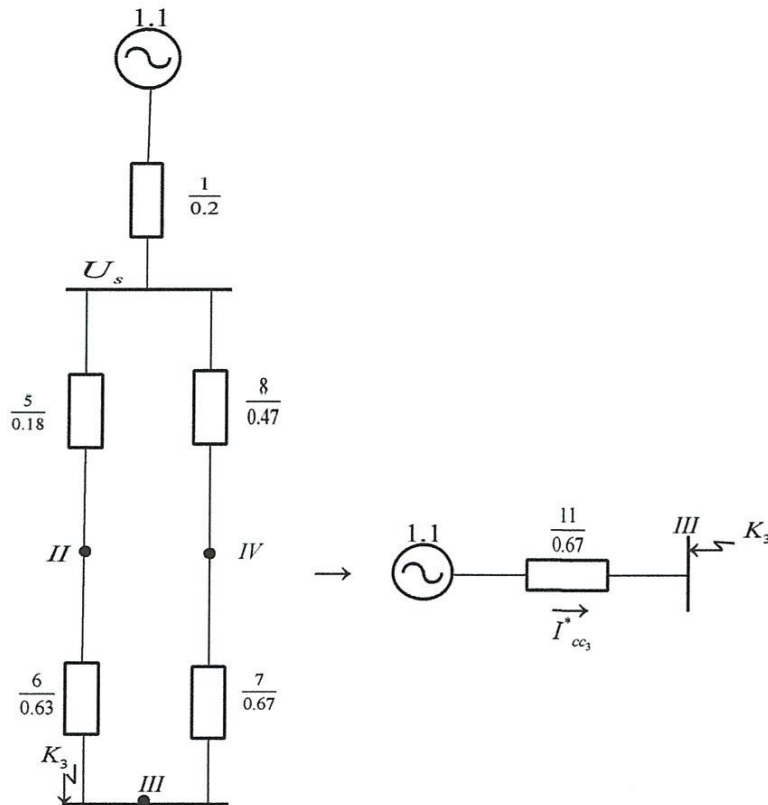


Figure 05

$$x_{11} = x_1 + \left(\frac{(x_5 + x_6) \times (x_7 + x_8)}{x_5 + x_6 + x_7 + x_8} \right) = 0.2 + \left(\frac{(0.18 + 0.63) \times (0.67 + 0.47)}{0.18 + 0.63 + 0.67 + 0.47} \right) = 0.67$$

$$I^*_{cc_3} = \frac{E^*}{x_{11}} = \frac{1.1}{0.67} = 1.64$$

$$I_{b1} = I_{b3}$$

$$I_{cc_3} = I_{b3} \times I^*_{cc_3} = 2.62 \times 1.64 = 4.30 \text{ KA}$$

✓ Court-circuit k_4 :

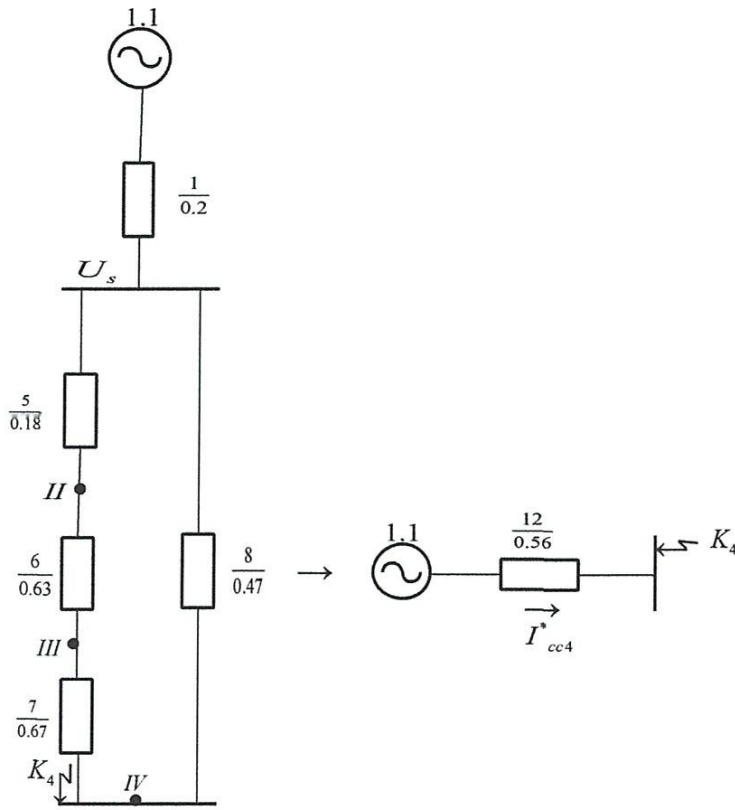


Figure 06

$$x_{12} = x_1 + \left(\frac{(x_5 + x_6 + x_7) \times (x_8)}{x_5 + x_6 + x_7 + x_8} \right) = 0.2 + \left(\frac{(0.18 + 0.63 + 0.67) \times (0.47)}{0.18 + 0.63 + 0.67 + 0.47} \right) = 0.56$$

$$I_{cc4}^* = \frac{E^*}{x_{12}} = \frac{1.1}{0.56} = 1.96$$

$$I_{b1} = I_{b4}$$

$$I_{cc4} = I_{b4} \times I_{cc4}^* = 2.62 \times 1.96 = 5.14 \text{ KA}$$

✓ Court-circuit k_5 :

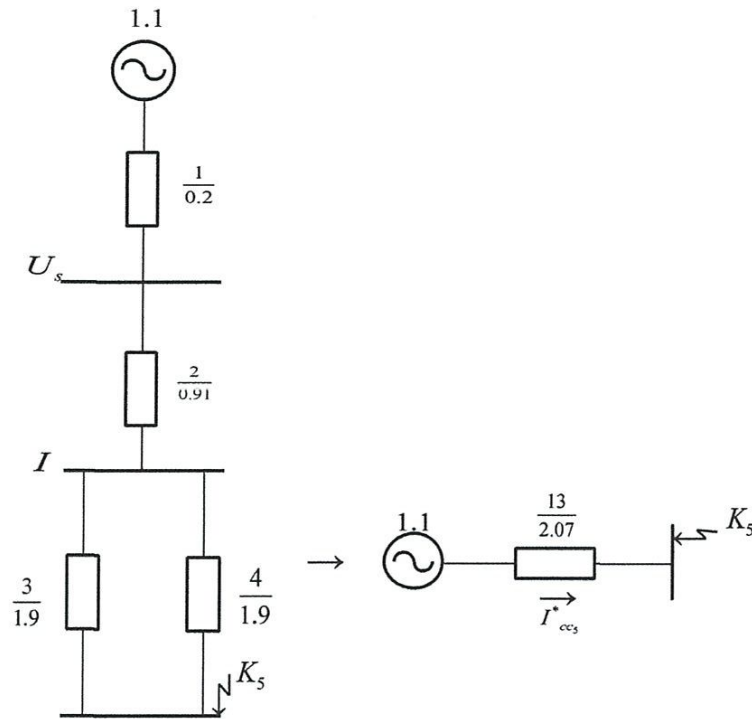


Figure 07

$$x_{13} = x_1 + x_2 + \frac{(x_3 \times x_4)}{(x_3 + x_4)} = 0.2 + 0.91 + \frac{1.9}{2} = 2.06$$

$$I^*_{cc_5} = \frac{E^*}{x_{13}} = \frac{1.1}{2.06} = 0.53$$

$$I_{b_5} = \frac{S_b}{\sqrt{3} \times U_b} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 10} = 57.74 \text{ KA}$$

$$I_{cc_5} = I_{b_5} \times I^*_{cc_5} = 57.74 \times 0.53 = 30.60 \text{ KA}$$

4.3. Courant de crête :

$$I_{cr} = \sqrt{2}I_p(1 + ae^{\frac{T}{Ta}}) = \sqrt{2}I_p(1 + e^{\frac{-0.01}{Ta}})$$

$$\frac{T}{2} = \frac{1}{2 \times 50} = \frac{1}{100} = 0.01s$$

$$Ta = \frac{X_{cc}}{W \times r_{cc}}$$

✓ 1^{er} Cas : $r_{cc} = 5\%X_{cc}$

$$\text{➤ } Ta = \frac{1}{0.05 \times 2 \times \pi \times f} = \frac{1}{0.05 \times 2 \times 3.14 \times 50} = 0.063s$$

$$\text{➤ } k_{cr1} = 1 + e^{\frac{0.01}{0.063}} = 1.853$$

| | Courant permanent (KA) | Courant de crête (KA) |
|----------------|------------------------|--|
| K ₁ | 2.59 | $2.59 \times 1.853 \times \sqrt{2} = 6.79$ |
| K ₂ | 8.02 | $8.02 \times 1.853 \times \sqrt{2} = 21.02$ |
| K ₃ | 4.30 | $4.30 \times 1.853 \times \sqrt{2} = 11.26$ |
| K ₄ | 5.14 | $5.14 \times 1.853 \times \sqrt{2} = 13.46$ |
| K ₅ | 30.60 | $30.60 \times 1.853 \times \sqrt{2} = 80.19$ |

Tableau 02

✓ 2^{eme} cas : $r_{cc} = 10\%X_{cc} = 0.1X_{cc}$

$$\text{➤ } Ta = \frac{1}{0.1 \times 2 \times \pi \times f} = \frac{1}{0.1 \times 2 \times 3.14 \times 50} = 0.0315s$$

$$\text{➤ } k_{cr2} = 1 + e^{\frac{0.01}{0.0315}} = 1.727$$

| | Courant permanent (KA) | Courant de crête (KA) |
|----------------|------------------------|--|
| K ₁ | 2.59 | $2.59 \times 1.727 \times \sqrt{2} = 6.32$ |
| K ₂ | 8.02 | $8.02 \times 1.727 \times \sqrt{2} = 19.59$ |
| K ₃ | 4.30 | $4.30 \times 1.727 \times \sqrt{2} = 10.50$ |
| K ₄ | 5.14 | $5.14 \times 1.727 \times \sqrt{2} = 12.55$ |
| K ₅ | 30.60 | $30.60 \times 1.727 \times \sqrt{2} = 74.73$ |

Tableau 03

Remarque :

- Le courant de court-circuit permet la vérification des équipements aux contraintes suivants :
 - Tenue électrodynamique par I_{cr} .
 - Tenue thermique par I_p .
- L'évaluation des courants de court-circuit et leur analyse permettent une meilleure gestion du système de protection.

4.4. Calcul du potentiel dans chaque nœud:

✓ Pour k_1 :

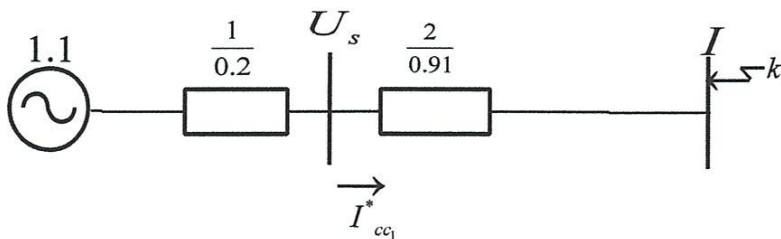


Figure 08

$$U_I = 0 \text{ (Puisque le nœud } I \text{ est le nœud du court-circuit)}$$

$$U_s = U_I + I^* cc_1 \times x_2 = 0 + 0.99 \times 0.91 = 0.90$$

$$U_{II} = U_s \text{ (Puis que pas de circulation du courant dans la maille } II, III, IV \text{)}$$

$$U_{III} = U_s \text{ (Puis que pas de circulation du courant dans la maille } II, III, IV \text{)}$$

$$U_{IV} = U_s \text{ (Puis que pas de circulation du courant dans la maille } II, III, IV \text{)}$$

✓ Pour k_7 :

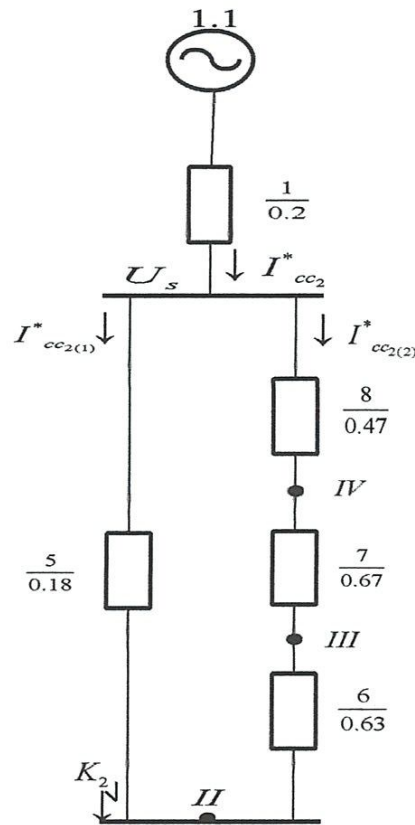


Figure 09

$$I^*_{cc_2(2)} = \frac{x_5}{x_5 + x_6 + x_7 + x_8} \times I^*_{cc_2} = \frac{0.18}{0.18 + 0.63 + 0.67 + 0.47} \times 3.06 = 0.28$$

$$I^*_{cc_2(1)} = I^*_{cc_2} - I^*_{cc_2(2)} = 3.06 - 0.28 = 2.78$$

$$U_{II} = 0.$$

$$U_{III} = U_{II} + I^* cc_{2(2)} \times x_6 = 0 + 0.28 \times 0.63 = 0.18$$

$$U_{IV} = U_{III} + I^* cc_{2(2)} \times x_7 = 0.18 + 0.28 \times 0.67 = 0.37$$

$$U_S = U_{IV} + I^* cc_{2(2)} \times x_8 = 0.37 + 0.28 \times 0.47 = 0.50$$

$$U_I = U_S \text{ (Pas de circulation du courant dans la branche } U_I = U_S \text{)}$$

✓ Pour k_3 :

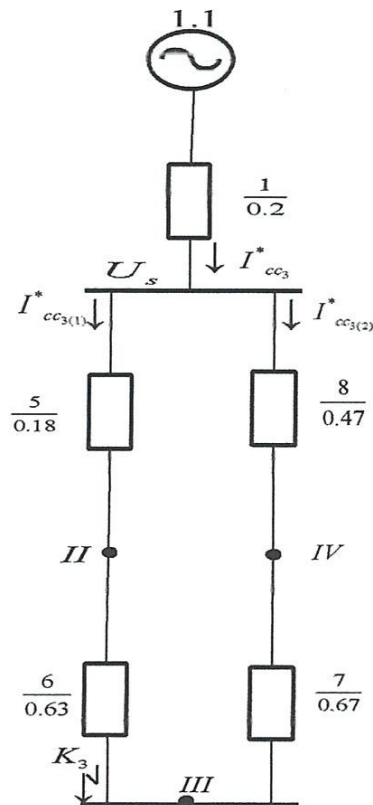


Figure 10

$$I^* cc_{3(2)} = \frac{x_5 + x_6}{x_5 + x_6 + x_7 + x_8} \times I^* cc_3 = \frac{0.18 + 0.63}{0.18 + 0.63 + 0.67 + 0.47} \times 1.64 = 0.68$$

$$I^* cc_{3(0)} = I^* cc_3 - I^* cc_{3(2)} = 1.64 - 0.68 = 0.96$$

$$U_{III} = 0.$$

$$U_{II} = U_{III} + I^* cc_{3(0)} \times x_6 = 0 + 0.96 \times 0.63 = 0.60$$

$$U_{IV} = U_{III} + I^* cc_{3(2)} \times x_7 = 0 + 0.68 \times 0.67 = 0.46$$

$$U_S = U_{II} + I^* cc_{3(1)} \times X_5 = U_{IV} + I^* cc_{3(2)} \times x_8 = 0.46 + 0.96 \times 0.18 = 0.46 + 0.68 \times 0.47 = 0.77$$

$$U_I = U_S \text{ (Pas de circulation du courant dans la branche } U_I = U_S \text{)}$$

✓ Pour k_4 :

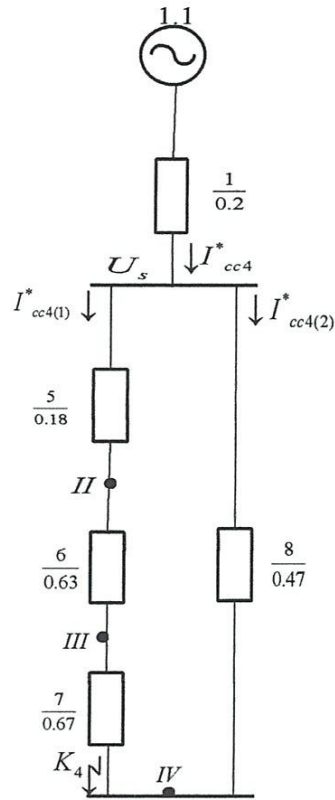


Figure 11

$$I^* cc_{4(2)} = \frac{x_5 + x_6 + x_7}{x_5 + x_6 + x_7 + x_8} \times I^* cc_4 = \frac{0.18 + 0.63 + 0.67}{0.18 + 0.63 + 0.67 + 0.47} \times 1.96 = 1.49$$

$$I^* cc_{4(1)} = I^* cc_4 - I^* cc_{4(2)} = 1.96 - 1.49 = 0.47$$

$$U_{IV} = 0.$$

$$U_{III} = U_{IV} + I^* cc_{4(1)} \times x_7 = 0 + 0.47 \times 0.67 = 0.31$$

$$U_{II} = U_{III} + I^* cc_{4(1)} \times x_6 = 0.31 + 0.47 \times 0.63 = 0.61$$

$$U_s = U_n + I^* cc_{4^{(1)}} \times x_5 = I^* cc_{4^{(2)}} \times x_8 = 0.61 + 0.47 \times 0.18 = 1.49 \times 0.47 = 0.70$$

$U_I = U_S$ (Pas de circulation du courant dans la branche $U_I = U_S$)

❖ **Graphique du potentiel :**

Chaque cas de distribution du potentiel est représenté par un graphique comme suit :

✓ Pour k_1 :

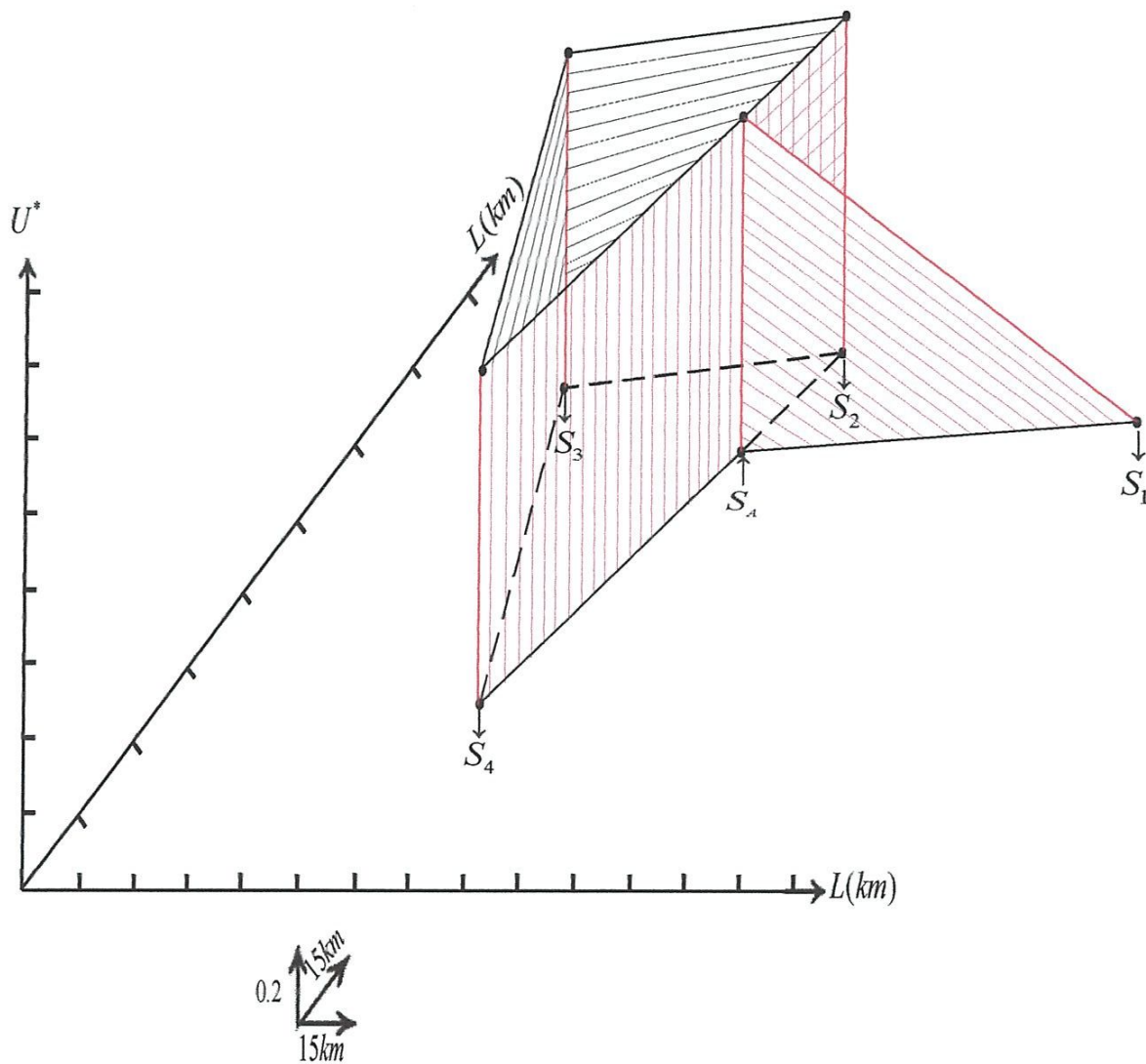


Figure : 12

✓ Pour k_2 :

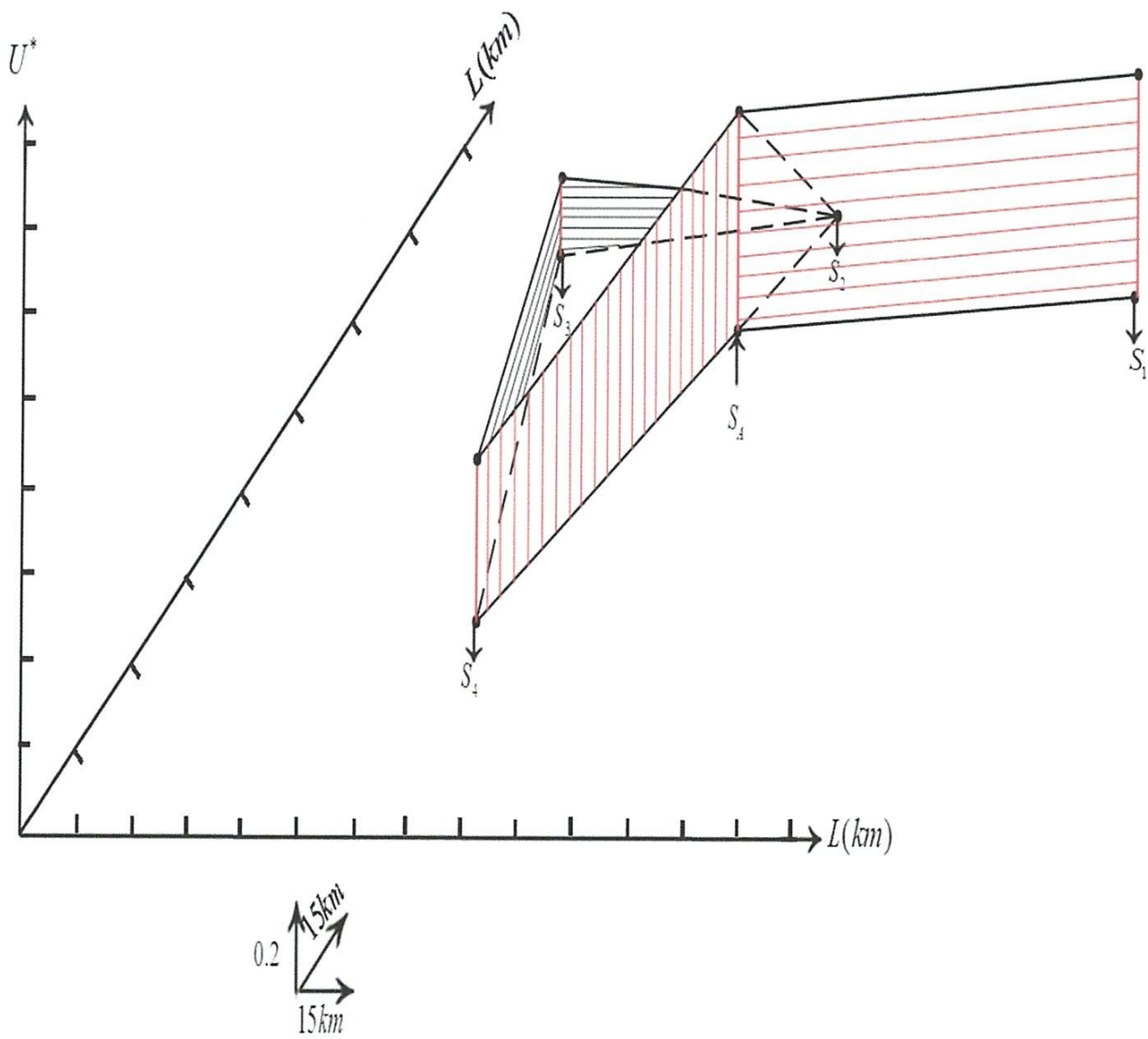


Figure : 13

✓ Pour k_3 :

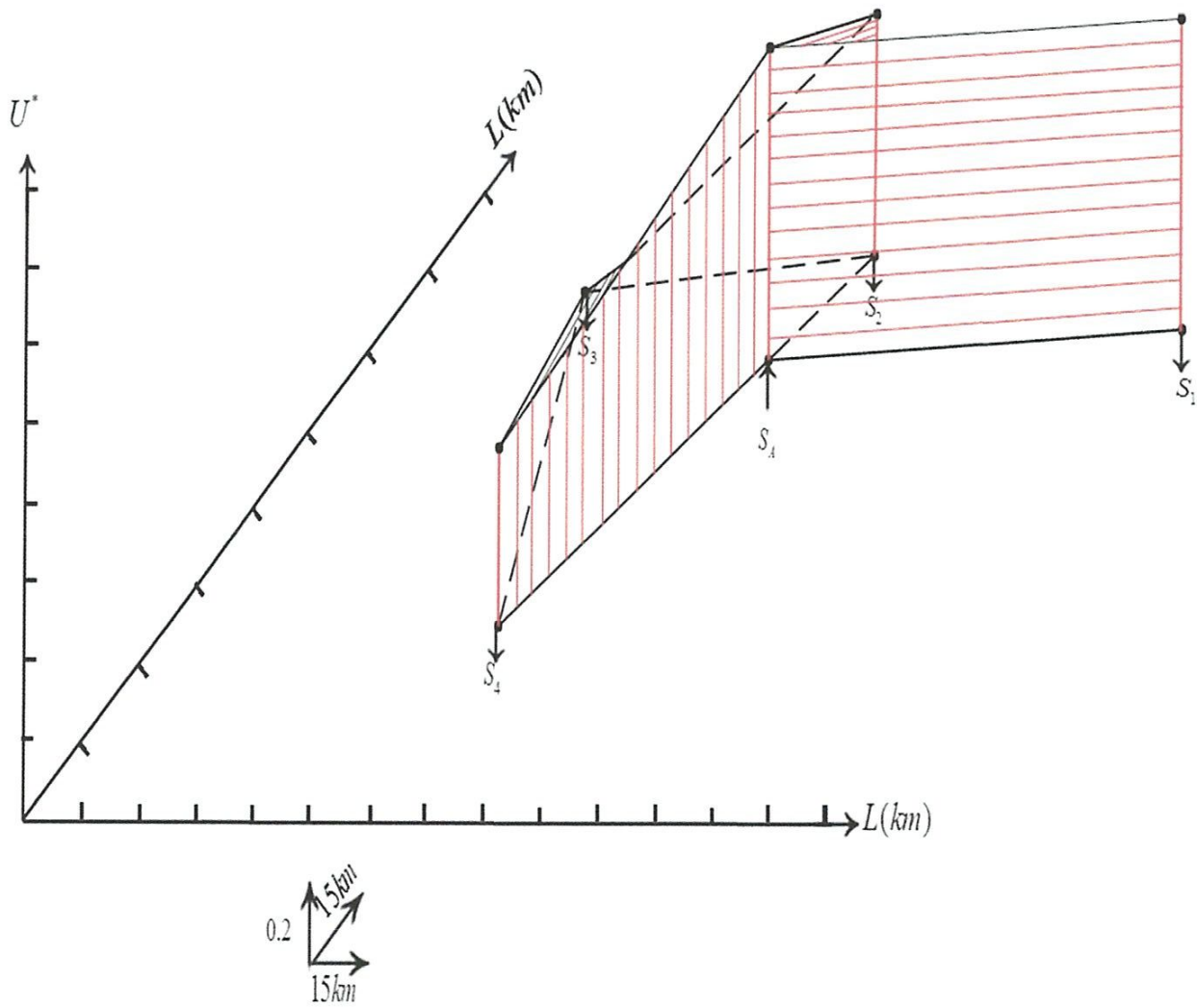


Figure : 14

✓ Pour k_4 :

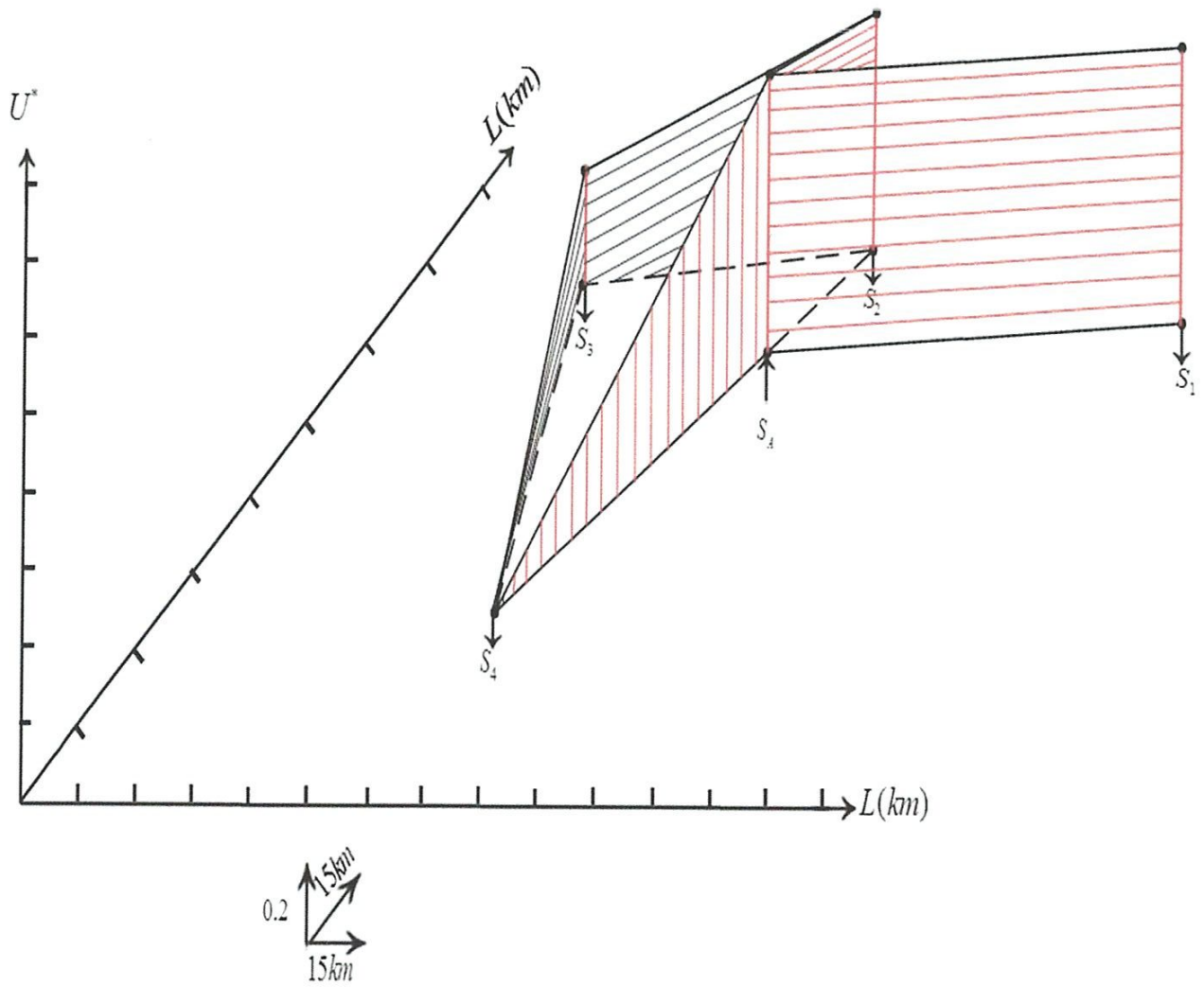


Figure : 15

Le court-circuit dans un nœud quelconque entraîne un changement de la distribution du potentiel du réseau électrique. En effet en raison de la circulation des courants de court circuits et la tension des nœuds de réseau chutés et particulièrement, de manière intensive, dans le voisinage immédiat du lieu de défaut, le potentiel du point de défaut atteint la valeur nulle.

Les calculs réalisés sur ce modèle étudié montrent effectivement l'impact des courts circuits traités sur le plan du potentiel du réseau.

Les chutes considérables du potentiel posent de sérieux problèmes pour les consommateurs avoisinants du défaut (freinage des moteurs asynchrones à cause de la diminution du couple accélérateur provoquée par l'abaissement de la tension) et pour les soutiens synchrones en les entraînant dans un risque d'instabilité. L'analyse et l'évaluation de plan du potentiel de réseau suite à des courts circuits, sont nécessaires en prévoyance du contrôle, dans un sens général et pour définir les zones inadmissibles affectées à délester éventuellement.

*CONCLUSION
GENERALE*

Nous pouvons dire que cette étude permet d'approfondir les connaissances dans le domaine des réseaux électriques.

Comme nous pouvons avancer que nous avons atteint les objectifs soulignés au départ de ce travail est qui sont :

- L'élaboration d'un réseau électrique et ça par le passage des points suivants :
 - ✓ Le plan d'implantation des charges.
 - ✓ La détermination des coordonnées de la source et le choix de la tension nominale.
 - ✓ Le calcul des puissances des lignes.
 - ✓ Le choix des paramètres des lignes.
 - ✓ L'évaluation des pertes des puissances et de la tension
 - ✓ Les procédures utilisées pour minimiser les pertes.
 - ✓ Comment choisir les transformateurs et leurs paramètres.
 - ✓ Le calcul des pertes dans les transformateurs.

- A partir du réseau élaboré nous avons fait le calcul du court-circuit et la distribution du potentiel à fin de voir les impacts de court-circuit sur le réseau électrique et surtout sur le plan du potentiel du réseau.

Et nous avons adopté dans notre travail d'une manière générale :

- La recherche bibliographique.
- Les principes de base d'analyse d'un réseau électrique.

Enfin, nous souhaitons que ce travail puisse être agréé et que nous étions au niveau requis.

On a classé les références bibliographiques en 3 types :

1-Internet :

- ✓ Cahier technique n° 158. Calcul des courants de court-circuit. B. de Metz-Noblat. F. Dumas. C. Poulain. Collection Technique. Building a New Electric World * ...
- ✓ Protection des Réseaux Electriques - GEEA.ORG

19 janv. 2007 - Cours sur la *protection des réseaux électriques*/TS et Ingénieurs.

Plan du ... Chapitre III : Protection des éléments du réseau électrique

- ✓ Guide de la protection - Schneider Electric België 2003
- ✓ Cahier Technique Merlin Gerin n° 155

2- Les travaux passés sur le sujet (thèses, articles et mémoires) :

- ✓ Mémoire 2 année Master : Elaboration d'un réseau électrique et compensation 2014, Réalisée sous la direction de Mr : Bounaya kamel.
- ✓ Mémoire 2 année Master : Impact du court-circuit sur les tensions nodales 2014, Réalisée sous la direction de Mr : Bounaya kamel.
- ✓ -Traitement bibliographie de mémoire 2 année Master : Problème de court-circuit 2011, Réalisée sous la direction de Mr : Bounaya kamel.
- ✓ -Traitement bibliographie de mémoire 2 année Master : l'élaboration d'un réseau électrique 2011, Réalisée sous la direction de Mr : Bounaya kamel.

3- Les bibliothèques Universitaires (notamment celle de notre université)

- ✓ -Livre : Les réseaux électriques. Première partie : Eléments de description et d'analyse de base 2010. Réalisé par Mr : Bounaya Kamel