

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**INISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE DE M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**

**MIMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE**  
**MASTER EN GENIE ELECTRIQUE**

**SPECIALITE:RESEAUX ELECTRIQUES**

**THEME**

**"Etude et modélisation des courants de court-circuit**  
**dans les réseaux MT/BT"**

**Proposé et encadré par :**

**Mr. BELKHIRI Salah**

**Présenté par :**

**LAMINE Miloud**

**N° d'ordre :REs\_170**

**Année 2015/2016**

**Remerciement :**

*Au nom de ALLAH, le tout miséricordieux, le très miséricordieux, Par de divinité à part lui, le vivant, celui qui subsiste par lui même.*

*Je remercie avant tous ALLAH pour son aide, ses*

*Innombrables dons, ALLAH qui m'a donné la force, la volonté et Le moral pour accomplir mes études en master en électrotechnique. je remercie mon encadreur Mr : BELKHIRI Salah.*

*Je remercie vont aussi au président du jury et aux membres du Jury examinateurs qui nous fait l'honneur de participer au jury de ce Travail.*

**Dédicace :**

*Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de  
m' avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce*

*Travail malgré toutes les difficultés rencontrées.*

*Je dédie ce modeste travail : A ma mère  
et mon père*

*A mes très chers frères et mes sœurs.*

*A toute ma famille*

*A mes chers amis*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*A tous ceux qui connaissent **lamine miloud.***

*A tous les amis d'études surtout ceux D'électrotechnique Promotion*

**2015/2016**

Remerciements.....	2
Dédicace.....	3
Sommaire.....	4
Table des figures.....	8
Notations et symboles.....	11
Introduction Générale.....	12
<b><u>Chapitre I : Généralité sur les réseaux électriques.</u></b>	
I.1. Introduction.....	13
I.2. Généralités.....	13
I.3. Les niveaux de tensions des réseaux .....	14
I.4. Structure générale d'un réseau électrique .....	15
I.5. description des réseaux électriques .....	15
I.5.1. la production.....	15
I.5.2.le transport et la répartition.....	17
I.5.3.la distribution et l'utilisation.....	17
I.5.4. les postes de transformation.....	17
I.5.4.1. poste au niveau de centrale de production.....	18
I.5.4.2.poste au niveau de la distribution.....	19
I.6.appareillages d'un poste de transformation .....	22
I.7.composants des lignes aériennes.....	23
I.7.1.Les pylônes.....	23
I.7.2.les câbles conducteurs .....	23
I.7.2.1.câbles de garde .....	24
I.7. 3.les isolateurs.....	24
I.7.4. les parafoudres .....	24
I.7.4.1.éclateurs à cornes.....	25
I.8.mise à la terre des pylônes.....	25
I.9.le centre de contrôle ou dispatching.....	26

I.10.Conclusion.....	27
<b><u>Chapitre II : protection des réseaux électriques.</u></b>	
II.1.introduction.....	28
II.2.définition.....	28
II.3. Objectifs.....	28
II.4.zones de protecion.....	29
II.5. Les Appareils de mesures.....	29
II.5.1. Transformateur de mesure.....	29
II.5.1.1.Les transformateurs de courants « TC » de mesure.....	30
II.5.1.2. Les transformateurs de tension (TT ou TP).....	30
II.6. Les appareils de protection.....	31
II.6.1. Les relais.....	31
II.6.1.1. Les types de relais.....	31
II.6.2. Disjoncteurs.....	31
II.7. Les appareils de coupure.....	32
II.7.1. Le disjoncteur à réenclenchement automatique (recloser).....	32
II.7.2. Interrupteur.....	32
II.7.3. Sectionneurs.....	32
II.7.3.1. Sectionneurs de mise à la terre.....	32
II.8. Qualités principales d'un système de protection.....	33
II.8.1. Rapidité.....	33
II.8.2. Sélectivité.....	33
II.8.2.1. Sélectivité ampère métrique.....	33
II.8.2.2. Sélectivité chronométrique.....	36
II.8.2.3.Sélectivité logique.....	36
II.8.3. Sensibilité.....	36
II.8.4. Fiabilité.....	36
II.9.Cinq modes de liaison à la terre du neutre.....	37
II.9.1.Neutre isolé.....	38

II.9.2.Mise à la terre par résistance .....	40
II.9.3.Mise à la terre par réactance faible .....	41
II.9.4.Mise à la terre par réactance de compensation .....	42
II.9.5.Neutre direct à la terre .....	44
II.10.Conclusion.....	45

### **chapitre III : calcul des courants de court-circuit.**

III.1. Introduction .....	46
III.2. Définitions .....	46
III.3 Effets des courants de court-circuit .....	46
III.4.Caractéristiques des courts-circuits.....	47
III.5.Calcul des courant de court-circuit à l'aide des composant symétrique.....	47
III.5.1. Théorie des composants symétriques .....	48
III.5.2. Circuit équivalent des séquences .....	49
III.6. Calcul des niveaux de défaut :.....	50
III.6.1.Défaut triphasé symétrique .....	50
III.6.2 Défaut biphasé isolé .....	51
III.6.3. Défaut biphasé terre.....	52
III.6.4.Défaut entre phase et la terre .....	53
III.7.Calcul des $I_{cc}$ par la méthode des impédances .....	54
III.7.1.Court-circuit triphasé.....	54
III.7.2.Court-circuit biphasé isolé.....	55
III.7.3.Court-circuit monophasé isolé .....	55
III.7.4.Court-circuit à la terre (monophasé ou biphasé).....	55
III.8.Relations entre les impédances des différents étages de tension d'une installation.....	55
III.8.1. Impédances fonction de la tension.....	55
III.8.2.Calcul des impédances relatives.....	56
III.9. Conclusion.....	57

**Chapitre IV :simulation et analyse des résultat.**

IV.1.Introduction .....	58
IV.2.Objectifs.....	58
IV.3.Les apports d'une étude.....	58
IV.4. Etude et simulation du défaut.....	58
IV.5.Les résultats de simulation.....	59
IV.5.1. partie MT.....	59
IV.5.2. Partie BT.....	63
IV.6.Interprétation des résultats obtenus.....	67
IV.7. Conclusion.....	67
*Conclusion générale.....	68
*Références bibliographiques.....	69
*Résumé.....	70

**La table de figures:**

Tableau I.1. les niveaux de tension.

Figure. I.1. Schéma du réseau électrique.

Figure. I.2 . Structure générale du réseau électrique.

Figure. I.3. Structure générale du réseau électrique de production.

Figure. I.4. schéma unifilaire de poste de transformation.

Figure. I.5. Poste HT/HTA.

Figure. I.6. Schéma unifilaire de poste de livraison HTA/ BT.

Figure. I.7. Exemple de raccordement d'un poste sur poteau.

Figure. I.8. Schéma général d'un poste ouvert.

Figure. I.9. Schéma unifilaire d'un poste de distribution publique (DP).

Figure. I.10. photo d'une ligne à très haute tension (double terre en faisceau).

Figure. I.11. photo d'un isolateur.

Figure. I.12. Photo d'un parafoudre.

Figure. I.13. Eclateur MT avec tige anti-oiseaux.

Figure. I.14. Mise à la terre des pylônes.

Figure. I.16. Salle de commande d'une centrale électrique.

Figure. II.1. les zones de protection d'un réseau électrique.

Figure. II.2. Exemple de l'utilisation de transformateur de mesure dans une chaîne de protection.

Figure. II.3. Compartiment disjoncteur.

Figure. II.4. Fonctionnement d'une sélectivité ampère métrique.

Figure. II.5. Principe de la sélectivité chronométrique.

Figure. II.6. principe de la sélectivité logique.

Figure. II.7. fonctionnement d'une sélectivité logique.

Figure. II.8. Fiabilité d'une protection.

Figure. II.9. schéma équivalent d'un réseau sur défaut à la terre.

Figure. II.10. courant de défaut capacitif sur réseau isolé.

Figure. II. 11. Réalisations de mise à la terre pour neutre accessible : résistance entre neutre et terre.

Figure. II.12. réalisation de mise à la terre pour neutre accessible.

Figure. II. 13. défaut à la terre dans un réseau avec réactance de compensation à la terre.

Figure. II. 14. défaut à la terre dans un réseau à neutre direct à la terre.

Figure III.1. Système déséquilibré triphasé obtenu en additionnant les trois systèmes équilibrés

Figure.III.2. Circuit équivalent des séquences.

Figure.III.3. représentation d'un court-circuit triphasé.

Figure.III.4. représentation d'un court-circuit biphasé.

Figure.III.5. représentation d'un court-circuit biphasé terre .

Figure.III.6. représentation d'un court-circuit monophasé.

Figure. III.7. le problème : calculer  $I_{cc3}$  et  $I_p$  aux points A, B, C et D.

Figure.III.8. variation du facteur  $\kappa$  en fonction de  $R / X$

Figure.VI.1. Le schéma global de réseau étudié.

Figure.VI.2. Courants de court-circuit monophasé dans la barre 1.

Figure.IV.3. tension de court-circuit monophasé dans la barre1.

Figure.IV.4. puissance de court-circuit monophasé dans la barre1.

Figure.IV.5. Courants de court-circuit biphasé dans la barre 1.

Figure.IV.6. tension de court-circuit biphasé dans la barre1.

Figure.IV.7.puissance de court-circuit biphasé dans la barre1.

Figure.IV.8. Courants de court-circuit triphasé dans la barre 1.

## *Table de figures*

---

Figure.IV.9. tension de court-circuit triphasé dans la barre1.

Figure.IV.10.puissance de court-circuit triphasé dans la barre1.

Figure.VI.11.tensions de court-circuit monophasé.

Figure.VI.12.courants de court-circuit monophasé.

Figure.VI.13.Puissances de court-circuit monophasé.

Figure.VI.14.tensions de court-circuit biphase.

Figure.VI.15.courants de court-circuit biphase.

Figure.VI.16.Puissance de court-circuit biphase.

Figure.VI.17 :tensions de court-circuit triphasé.

Figure.VI.18 :courants de court-circuit triphasé.

Figure.VI.119 :Puissances de court-circuit triphasé.

**Notations et symboles :**

BT		Basse Tension
MT ou HTA		Moyenne Tension
HT		Haute Tension
THT		Très Haute Tension
TGBT		Tableau générale basse tension
PdC		Le pouvoir de coupure des disjoncteurs
$\overline{I}_{cc}$	[A]	Courant de court-circuit
R	[ $\Omega$ ]	Résistance électrique
$I_{\text{ligne}}$	[A]	Courant de ligne
$U_n$	[V]	Tension nominale
$P_{cc}$	[W]	Puissance a court-circuit
$S_n$	[KVA]	Puissance apparent nominale
Z	[ $\Omega$ ]	Impédance
C	[-]	Capacité homopolaire du réseau MT
$U_n$	[V]	Tension entre phase
$V_n$	[V]	Tension entre phase - neutre
$Z_n$	[ $\Omega$ ]	Impédance de neutre

### **Introduction Générale :**

Les réseaux électriques sont considérés comme des infrastructures hautement critiques pour autre société. Ces réseaux sont conçus traditionnellement d'une manière verticale où les transferts de l'énergie suivant le schéma dit « du haut en bas » : Production -Transport- Distribution.

Il n'y a pas de doute qu'un effort considérable est accompli afin de contrecarrer les problèmes de court-circuit et leurs conséquences dans un réseau électrique. Des relais de protection sont conçus pour minimiser les effets de ces défauts quand ils se produisent, ce qui nécessite la connaissance du niveau de courant de court-circuit. La sélection de dispositifs d'interruption (fusibles, disjoncteurs...) dépend aussi des exigences à connaître pour interrompre les courant de court-circuit.

Les études de court-circuit sont les étude des niveaux de courant de court-circuit, les puissance de court-circuit (tension avant court-circuit que multiplie le courant de court-circuit) et les tension après court-circuit sont calculées. D'autres quantités, comme les courants de ligne et les phase de tension pendant le court-circuit, peuvent également être calculées.[1]

Le dimensionnement d'une installation électrique et des matériels à mettre en œuvre, la détermination des protections des personnes et des biens, nécessitent l'étude et le calcul des courants de court-circuit en tout point du réseau.

**Le travail est donc composé de la manière suivante:**

*\*Le premier chapitre* : expose des notions générales sur les réseaux électriques de distribution.

*\*Le deuxième chapitre* : est consacré aux protection des réseaux électriques.

*\*Le troisième chapitre* : porte sur l'étude de calcul de courant de court- circuit dans différents point de réseau électrique par une méthode analytique qui est la méthode des impédances.

*\*Le quatrième chapitre* : expose un exemple d'application de simulation d'un réseau électrique lors d'un court-circuit sous MATLAB/ SIMULINK.

### I.1. Introduction:[1]

Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à produire, transporter, à distribuer l'électricité depuis les centrales de génération jusqu'aux clients (centrales, lignes, postes de transformation, conducteurs, isolateurs, pylônes, parafoudres, transformateurs, équipements de protection,...).

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques... avec les centres de consommation (villes, usines,...).

L'énergie électrique est transportée en haute tension, afin de limiter les pertes joules puis progressivement abaissée au niveau de la tension de l'utilisateur final.

Dans ce chapitre nous allons exposer des généralités sur les réseaux électriques.

### I.2. Généralités:

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus largement répandue car elle est facilement transportable a un rendement élève et un cout raisonnable. Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures dont le but est d'acheminer de l'énergie électrique a partir de centres de production vers les consommateur d'électricité (charge).

Le premier réseau électrique a vu le jour aux états unis en 1882 et a été conçu par thomas Edison. C'était un réseau local à courant continu et servait à assurer de la région de Manhattan. La distribution de

L'énergie était assurée par des câbles souterrains.

Avec l'invention du transformateur par William Stanley en 1885 et celle du moteur à courant alternatif par Nikola tesla en1888 ;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 distance, grâce à des niveaux de tension plus élevés.

La( figure I.1) donne un schémas générale du réseau électrique.

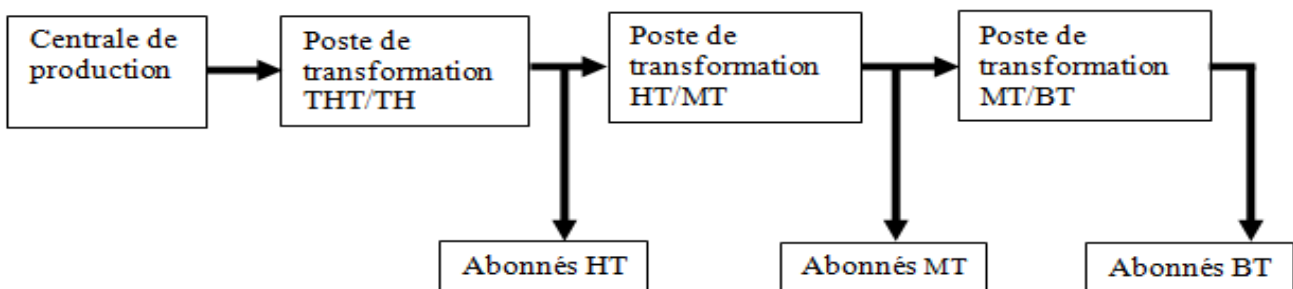


Figure. I.1. schémas générale du réseau électrique. [2]

## Chapitre I :généralité sur les réseaux électriques

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus largement répandue car elle est facilement transportable à un rendement élevé et un cout raisonnable. L'énergie électrique est fournie sous forme de tension constituant un système sinusoïdal triphasé dont les paramètres caractéristiques sont:

- 1- La fréquence (50Hz).
- 2- L'amplitude des trois tensions.
- 3- La forme d'onde qui doit être la plus proche possible d'une sinusoïde.
- 4- la symétrie du système triphasé .

Le réseau électrique doit permettre de livrer aux utilisateurs une énergie adapté à leurs besoins et doit satisfaire les exigences suivantes:

1. Assurer au client la puissance dont il a besoin.
2. Fournir une tension stable dont les variations n'excèdent pas  $\pm 10 \%$  de la tension nominale.
3. Fournir une fréquence stable dont les variations n'excèdent pas  $\pm 0,1$  Hz.
4. Fournir l'énergie à un prix acceptable.
5. Maintenir des normes de sécurité rigoureuses.
6. Veiller à la protection de l'environnement.

### I.3. Les niveaux de tensions des réseaux:

La nouvelle norme en vigueur en Algérie (SONELGAZ) définit les niveaux de tension alternative comme suit:

Domaines de Tension		Valeur de la tension composée nominale (Un en Volts)	
		Tension Alternative	Tension Continue
Très Basse Tension (TBT)		$U_n \leq 50$	$U_n \leq 120$
Basse Tension (BT)	BTB	$50 < U_n \leq 500$	$120 < U_n \leq 750$
	BTB	$500 < U_n \leq 1000$	$750 < U_n \leq 1500$
Haute Tension (HT)	HTA ou MT	$1000 < U_n \leq 50\ 000$	$1500 < U_n \leq 75\ 000$
	HTB	$U_n > 50\ 000$	$U_n > 75\ 000$

Tableau.I.1. les niveaux de tension. [2]

## I.4. Structure générale d'un réseau électrique:

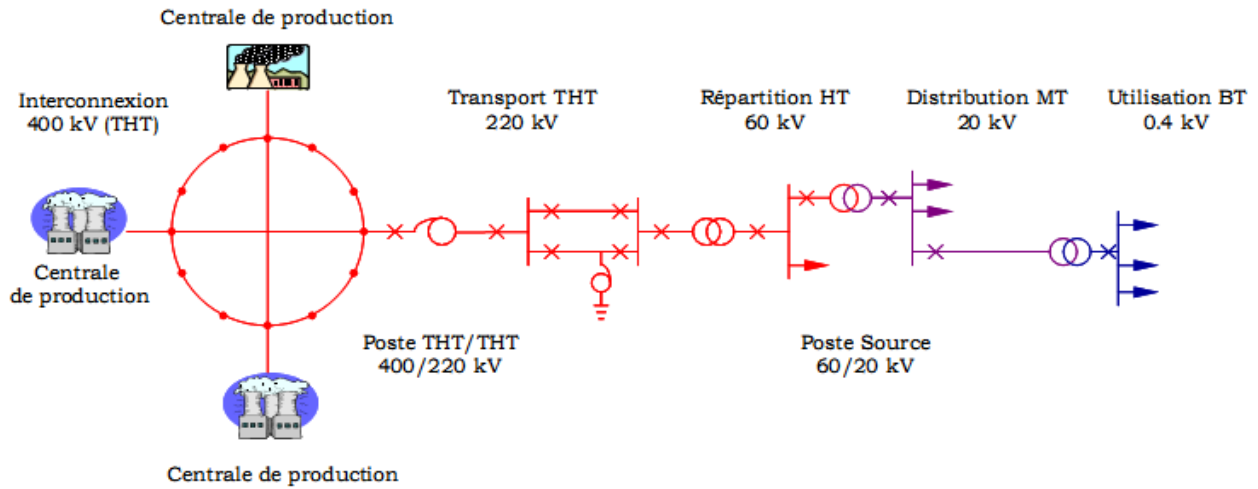


Figure.1.2 . Structure générale du réseau électrique. [3]

## I.5. description des réseaux électriques:

### I.5.1. La production:

La puissance demandée par l'ensemble des clients d'un réseau subit de grandes fluctuations selon l'heure de la journée et selon les saisons .

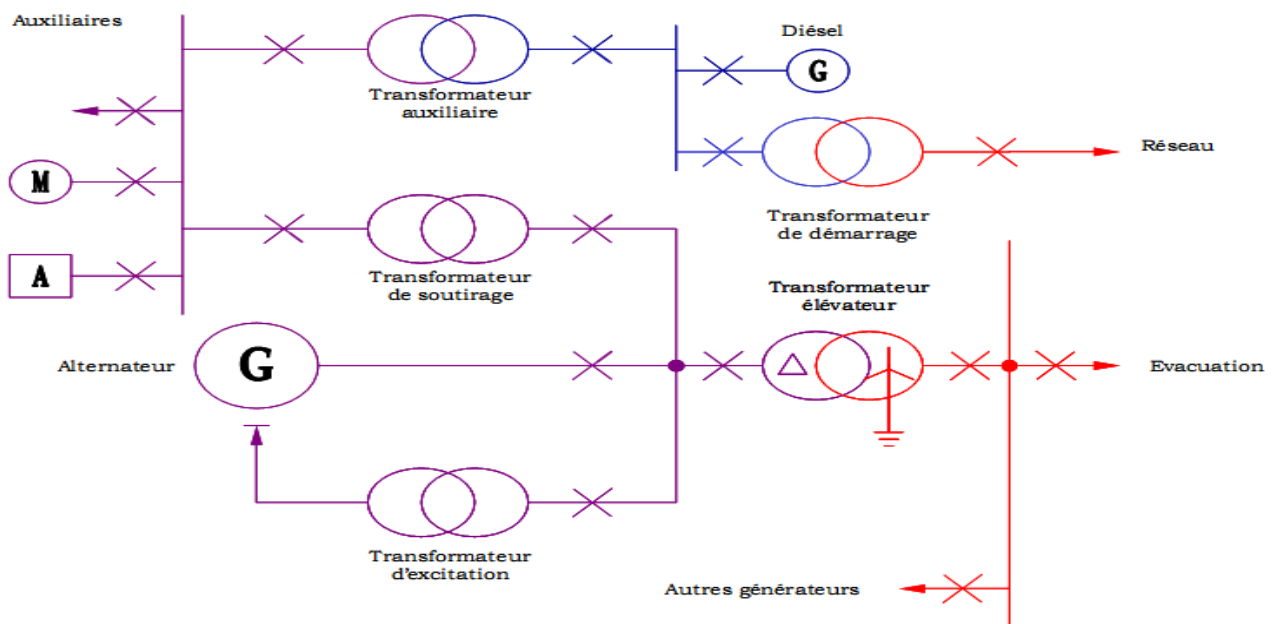


Figure.I.3. Structure générale du réseau électrique de production.[3]

Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

- Les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) dites centrales thermiques classiques.
- Les centrales nucléaires .
- Les centrales hydrauliques.

Les centrales solaires ou photovoltaïques.

- Les centrales éoliennes.

### **I.5.2. Le transport et la répartition:** [4]

Le réseau de transport THT C'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation.

Ces réseaux sont pour la plupart aériens et souterrains dans les villes ou à leur approches. Une attention particulière doit être portée à l'effet couronne qui peut donner lieu en THT, à des pertes très significatives suivant le climat et l'altitude.

Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation, elle est assurée au niveau national par un centre de conduite ou dispatching à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence.

La finalité de ce réseau est avant tout d'acheminer l'électricité du réseau de transport vers les grands centres de consommation qui sont :

- Soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution .
- Soit du domaine privé avec l'accès aux abonnés à grande consommation (supérieure à 10 MVA) livrés directement en HT. Il s'agit essentiellement d'industriels tels la sidérurgie, la cimenterie, la chimie, le transport ferroviaire,...

La structure de ces réseaux est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Les protections sont de même nature que celles utilisées sur les réseaux de transport, les centres de conduite étant régionaux.

### **I.5.3. La distribution et l'utilisation: [4]**

Ils ont pour rôle de fournir aux réseaux d'utilisation la puissance dont ils ont besoin. Ils utilisent deux tensions :

\* Des lignes à moyenne tension (MT ou HTA) alimentées par des postes HT/MT et fournissant de l'énergie électrique, soit directement aux consommateurs importants soit aux différents postes MT/BT.

\* Des lignes à basse tension qui alimentent les usagers soit en monophasé soit en triphasé. les réseaux MT font pratiquement partie, dans leur totalité des réseaux de distribution.

La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de distribution aux points de faible consommation dans le domaine public avec l'accès aux abonnés BT. Il représente le dernier niveau dans une structure électrique.

Ce réseau permet d'alimenter un nombre très élevé de consommateurs correspondant au domaine domestique. Sa structure, de type aérien ou souterrain, est souvent influencée par l'environnement. Ces réseaux sont le plus souvent exploités manuellement.

Le réseau BT permet de distribuer au consommateur :

le 230 V (1 phase + neutre) - 2 fils

Ou le 400 V (3 phases + neutre) - 4 fils

### **I.5.4. les postes de transformation: [4]**

À la sortie des centrales génératrices, des postes de transformation élèvent la moyenne tension (12KV, 24 KV) utilisée pour la génération à la haute tension nécessaire pour assurer un transport économique de l'énergie. La tension élevée utilisée pour le transport doit être de nouveau abaissée dans d'autres postes de transformation situés près des grands centres de consommation.

On distingue, suivant les fonctions qu'ils assurent, plusieurs types de postes :

- Les postes à fonction d'interconnexion, qui comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même tension peuvent être aiguillés.
- Les postes de transformation, dans lesquels il existe au moins deux jeux de barres à des tensions différentes liés par un ou plusieurs transformateurs.
- Les postes mixtes, les plus fréquents, qui assurent une fonction dans le réseau d'interconnexion et qui comportent en outre un ou plusieurs étages de transformation

Les actions élémentaires inhérentes aux fonctions à remplir sont réalisées par l'appareillage installé dans le poste et qui permet :

- D'établir ou d'interrompre le passage du courant, grâce aux disjoncteurs .
- D'assurer la continuité ou l'isolement d'un circuit grâce aux sectionneurs .
- De modifier la tension de l'énergie électrique, grâce aux transformateurs de puissance.

La figure I.4 donne un schéma unifilaire de poste de transformation.

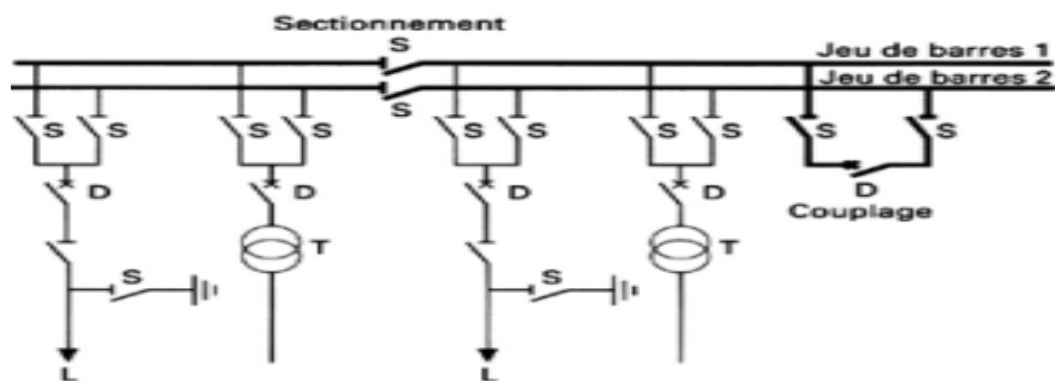


Figure.I.4. schéma unifilaire de poste de transformation. [4]

### I.5.4.1. Les postes de transformation au niveau de centrale de production:

il permet le transfert de puissance avec un rendement élevé d'un niveau de tension vers un autre la puissance transmise au secondaire est a peu près celle du primaire et en conséquence le produit  $vi$  au secondaire est approximativement égal a celui du primaire ainsi ; dans un transformateur élévateur ; toute élévation de tension au secondaire ; s'accompagne d'une diminution dans le même rapport ; du courant du secondaire ; ce qui entraîne la diminution des pertes dans les lignes et rend possible l'acheminement de l'énergie électrique sur de longues distances .

Des contraintes d'isolation ; ainsi que d'autres liées a des problèmes techniques de conception ne permettent pas pour heure de générer au niveau des alternateurs ; des tensions supérieures a 30 k v ,ainsi ; un transformateur élévateur est nécessaire pour pouvoir transport l'énergie électrique , aux extrémités réceptrices des lignes ; un transformateur abaisseur est utilise pour ramener la tension a un niveau acceptable pour la distribution et l'utilisation.

### **I.5.4.2. Les postes de transformation au niveau de la distribution:**

#### **a. Le poste HT/HTA:**

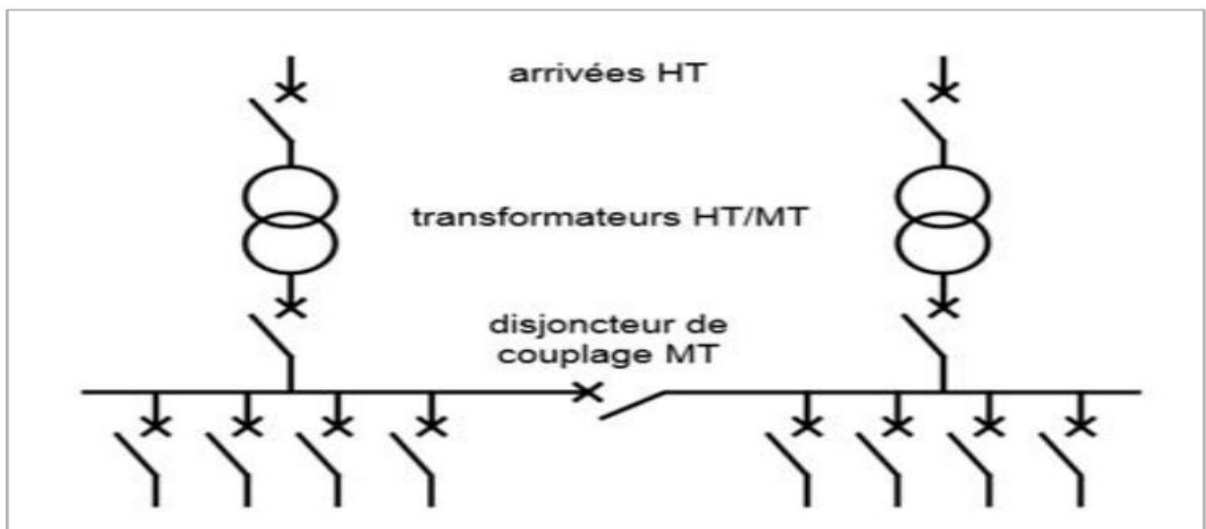
Ces postes de transformations comprennent les parties suivantes :

**\*Etage HT:** se trouvant à l'extérieur il comprend des arrivées HT ; Jeux de barres ;

Transformateurs et Protections (parafoudre, sectionneurs.....).

#### **\*Etage HTA:**

Cellules arrivées : elles assurent la liaison entre le transformateur de puissance HT/HTA qui se trouve à l'extérieur et le jeu de barres HTA 30 qui se trouve à l'intérieur du bâtiment « moyenne tension », la liaison se fait en souterrain. Cellules départs : elles assurent la liaison entre le jeu de barres HTA et le réseau de distribution aérien ou souterrain.



**Figure.I.5. Poste HT/HTA. [4]**

#### **b. Les postes de livraison HTA/ BT:**

Le poste HTA/BT en distribution publique est localisé entre le réseau de distribution HTA et le réseau de distribution BT, cet ouvrage est pour:

\*Assurer le passage de la HTA à la BT. Le schéma type de ce poste est évidemment beaucoup plus simple. [2]

Comparativement au poste HTA/HTA, en particulier, l'appareil de base HTA utilisé est l'interrupteur et non plus le disjoncteur. Ces postes sont constitués de quatre parties :

- L'équipement HTA pour le raccordement au réseau amont .

- Le transformateur de distribution HTA/BT.
- Le tableau des départs BT comme points de raccordement du réseau aval de distribution (enBT)
- Et de plus en plus souvent une enveloppe extérieure préfabriquée (métallique ou de plus en plus souvent en béton) qui contient les éléments précédents [5].

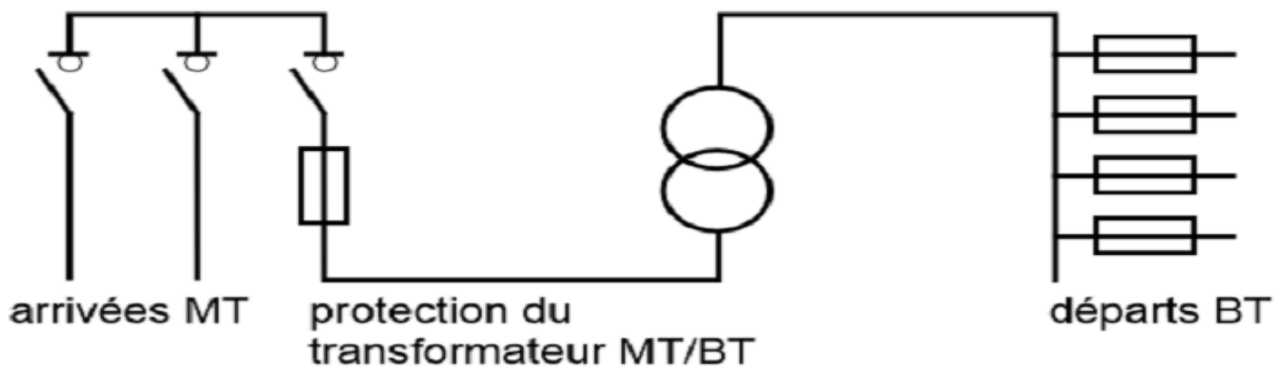


Figure.I.6. Schéma unifilaire de poste de livraison HTA/ BT. [5]

On peut classer les postes HTA/BT en deux catégories.

\* **Les postes d'extérieur :**

\* **Poste sur poteau :**

Puissances 25 – 50 – 100 kVA. Poste économiques, de faible puissance ( $\leq 160\text{kVA}$ ), Comprend un transformateur, un disjoncteur, éclateurs ou parafoudre, sectionneur. Ils sont raccordés en groupe et en aval. Ces postes peuvent être de type distribution publique, de livraison mais rarement mixte .

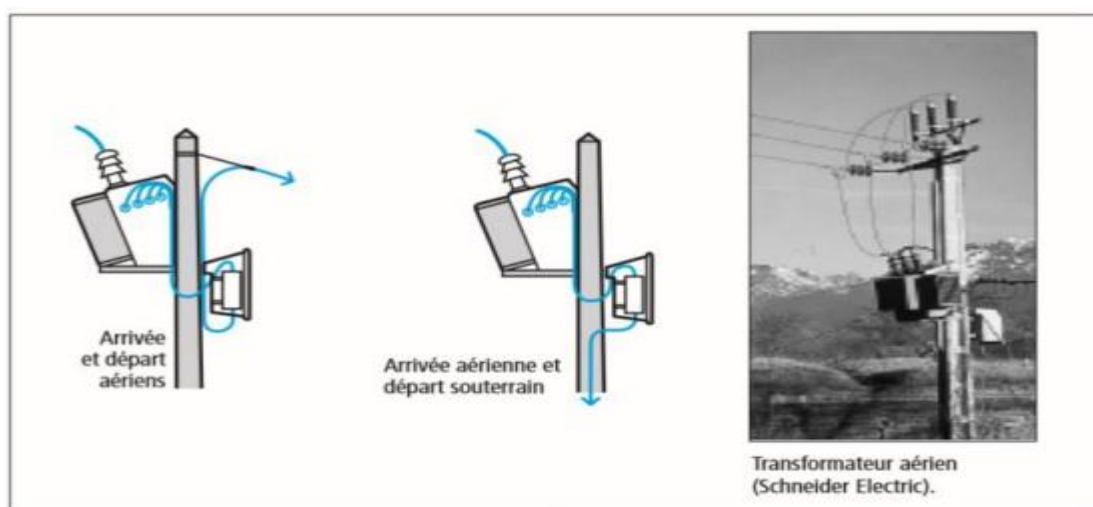


Figure.I.7. Exemple de raccordement d'un poste sur poteau. [6]

### \* Les postes d'intérieur :

- \* Postes ouverts maçonnés ou préfabriqués .
- \* Postes en cellules préfabriquées métalliques.

Les puissances sont comprises entre 100 et 1 250 kVA.

Le comptage BT doit être remplacé par un comptage HT dès que l'installation dépasse 2000 A, ou s'il existe plusieurs transformateurs .

- Postes de livraison HTA à comptage BT .
- Poste de livraison HTA à comptage HTA et sous stations éventuelles HTA/BT .
- Répartition HTA et sous stations HTA/BT ou HTA/HTA .
- Les puissances sont comprises entre 100 et 1 250 kVA.

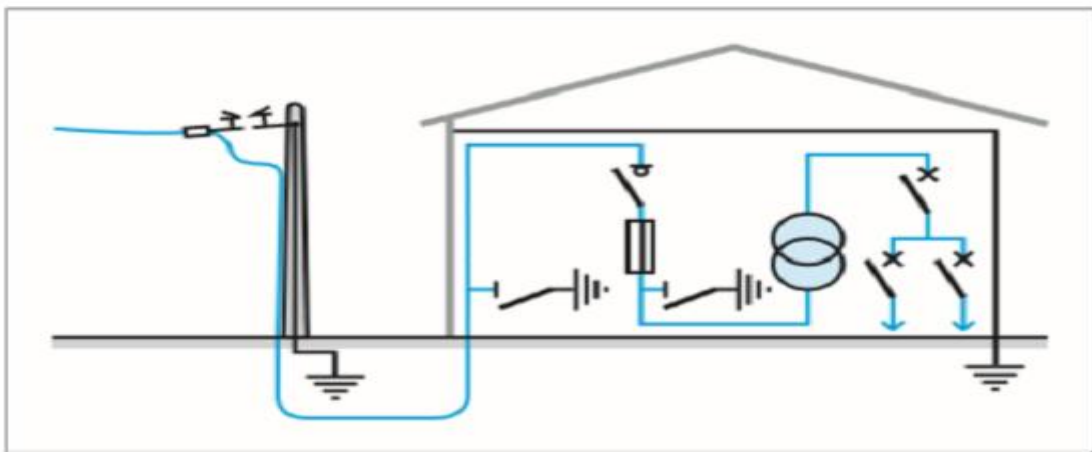


Figure.I.8. Schéma général d'un poste ouvert. [6]

### C. Poste de distribution publique (DP):

Il est au service de plusieurs clients, dont l'énergie est délivrée en basse tension. Il est placé soit dans un bâtiment soit sur un support.

Le schéma unifilaire type de ces postes est donné par la (figure I.9):

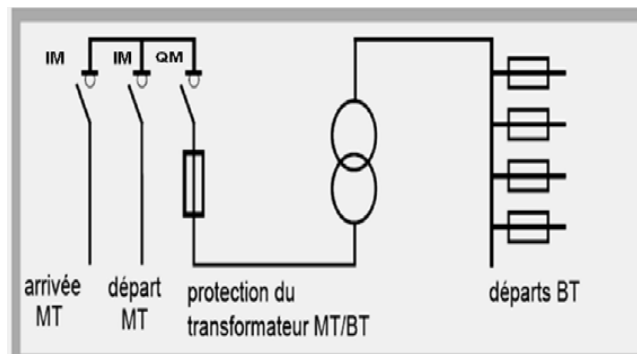


Figure.I.9. Schéma unifilaire d'un poste de distribution publique (DP). [6]

### 1.6. Appareillage d'un poste de transformation:

La plupart des postes de transformation, y compris ceux affectés au réseau de transport, comprennent les appareils principaux suivants:

- disjoncteurs (Le disjoncteur est un appareil qui peut interrompre des courants importants, cc),
- sectionneurs les sectionneurs ne sont doués d'aucun pouvoir de coupure. Ils ne permettent d'ouvrir un circuit qu'en l'absence de tout courant. Ils servent à réparer et à isoler, par exemple, les lignes et les disjoncteurs des autres parties du réseau.
- jeux de barres,- sectionneurs de mise à la terre- transformateurs - isolateurs
- parafoudres (Les parafoudres sont des appareils destinés à limiter les surtensions, la propriété d'offrir une résistance qui varie inversement avec la tension qui lui est appliquée: sa résistance est d'autant plus faible que la tension est plus élevée).
- transformateurs de tension et de courant.
- batterie de condensateur, résistance de mise à la terre.
- les dispositifs de protection et de télécommande.
- les dispositifs de mesure.
- pupitres,...
- services auxiliaires,... [7]

## **I.7. Composants des lignes aériennes:**

Une ligne aérienne est composée de pylônes (supports), de câbles conducteurs et des isolateurs, , des éclateurs ,accessoires.

### **I.7.1. Les pylônes:**

Le rôle des pylônes est de maintenir les câbles à une distance minimale de sécurité du sol et des obstacles environnants, afin d'assurer la sécurité des personnes et des installations situées au voisinage des lignes. Le choix des pylônes se fait en fonction des lignes à réaliser, de leur environnement et des contraintes mécaniques liées au terrain et aux conditions climatiques de la zone. Leur silhouette est caractérisée par la disposition des câbles conducteurs.

- Pour les lignes à très haute tension, on a recours à des pylônes composés d'un treillis en acier. Plus la tension est élevée, plus l'envergure est grande et plus les poteaux sont élevés.



**Figure.I.10. photo d'une ligne à très haute tension (double terne en faisceau). [7]**

### **I.7.2. Les câbles conducteurs:**

Chacune des phases peut utiliser 1conducteur ou, 2, 3 ,4 câbles conducteurs, appelés faisceaux.. Le courant utilisé étant triphasé, il y a trois câbles (ou faisceaux de câbles) conducteurs par circuit. Les lignes sont soit simples (un circuit), soit doubles (deux circuits par file de pylônes).

Les câbles conducteurs sont « nus » c'est-à-dire que leur isolation électrique est assurée par l'air. La distance des conducteurs entre eux et avec le sol garantit la bonne tenue de l'isolement. Cette distance augmente avec le niveau de tension.

Les conducteurs en cuivre sont de moins en moins utilisés. On utilise en général des conducteurs en aluminium, ou en alliage aluminium-acier ; on trouve aussi des conducteurs composés d'une âme centrale en acier sur laquelle sont tressés des brins d'aluminium.

### I.7.2.1. Câbles de garde:

Les câbles de garde ne conduisent pas le courant. Ils sont situés au-dessus des conducteurs. Ils jouent un rôle de paratonnerre au-dessus de la ligne, en attirant les coups de foudre, et en évitant le foudroiement des conducteurs. Ils sont en général réalisés en acier. Au centre du câble d'acier on place parfois un câble fibre optique qui sert à la communication.

### I.7.3. Les isolateurs:

L'isolation entre les conducteurs et les pylônes est assurée par des isolateurs (chaînes d'isolateurs). Ceux-ci sont réalisés en verre, en céramique, ou en matériau synthétique. Les isolateurs verre ou céramique ont en général la forme d'une assiette. On les associe entre eux pour former des chaînes d'isolateurs. Plus la tension de la ligne est élevée, plus le nombre d'isolateurs dans la chaîne est important.



Figure.I.11. photo d'un isolateur. [7]

### I.7.4. Les Parafoudres:

Les parafoudres sont des appareils destinés à limiter les surtensions imposées aux transformateurs, instruments et machines électriques par la foudre et par les manœuvres de commutation. La partie supérieure du parafoudre est reliée à un des fils de la ligne à protéger et la partie inférieure est connectée au sol par une mise à la terre de faible résistance, généralement de moins d'un ohm.



Figure.I.12. Photo d'un parafoudre.[7]

### I.7.4.1. Eclateurs à cornes:

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

La tension d'amorçage de l'éclateur est réglée en agissant sur la distance dans l'air entre les électrodes, de façon à obtenir une marge entre la tenue au choc du matériel à protéger et la tension d'amorçage au choc de l'éclateur (Figure. I.13).

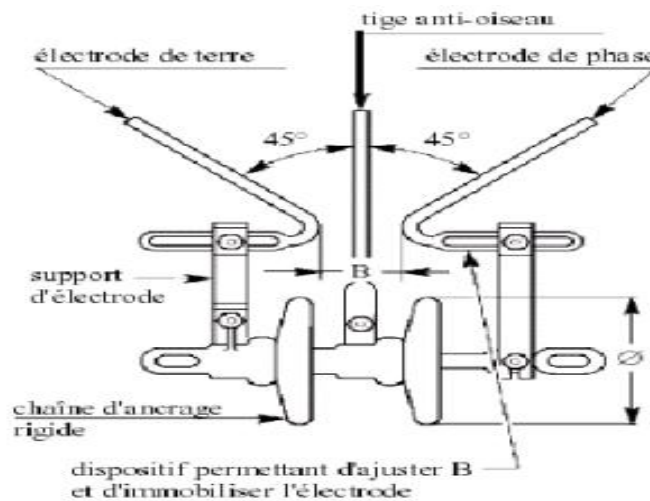


Figure.I.13. Eclateur MT avec tige anti-oiseaux. [7]

### I.8. Mise à la terre des pylônes:

On relie les pylônes des lignes de transport à des prises de terre exécutées avec grande précaution afin de leur assurer une faible résistance . En effet, si la foudre frappe un pylône, il ne faut pas que la chute de tension provoquée par le courant dans la prise de terre dépasse la tension de contournement des isolateurs.

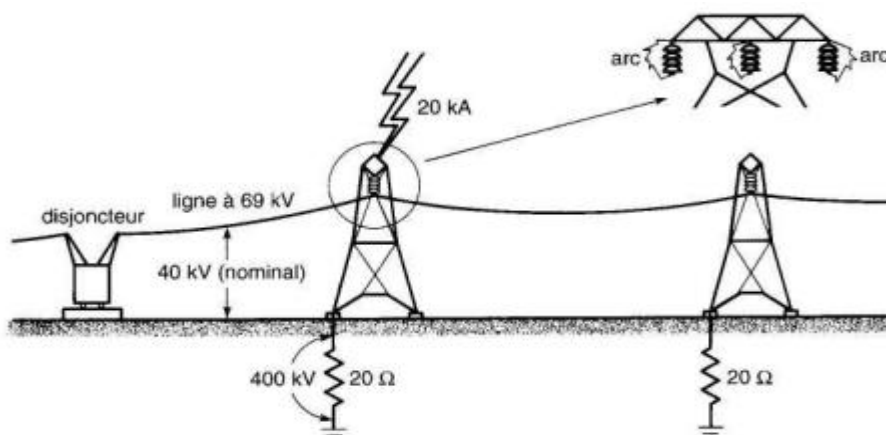


Figure.I.14. Mise à la terre des pylônes. [7]

## **I.9. Le centre de contrôle ou dispatching:**

Pour un fonctionnement fiable et économique d'un réseau d'énergie électrique, est indispensable surveiller, contrôle le réseau, dans sa globalité à partir d'un centre de contrôle ou centre de conduite ou encore dispatching (Figure. I.16) .les dispatching modernes sont dits centres de contrôle de l'énergie.ces dernier sont équipés d'ordinateurs traitants en temps réel les signaux provenant d'un dispositif d'acquisition de donnés. Ces ordinateurs effectuent leurs traitements de données selon une structure hiérarchique permettant de coordonner, et de répondre, aux différentes exigences d'urgence. Ils alertent les opérateurs, dès que toute situation anormale de fonctionnement est décelée, leur permettant ainsi, d'apprécier l'événement, et de prendre les mesures adéquates, en agissant par l'intermédiaire de leurs console sur les éléments du réseau et ainsi remédier à cette situation. Des outils de simulation ainsi qu'un ensemble de logiciels, écrit dans un langage de haut niveau, sont implémentés pour assurer un fonctionnement efficace et un contrôle fiable du réseau. [8]



**Figure.I.16. Salle de commande d'une centrale électrique.[8]**

## **I.10. Conclusion:**

Nous avons exposé dans ce chapitre une étude générale du réseau électrique, avec l'étude de ses différents composants nécessaires à la production, au transport, à la distribution et à la livraison de l'énergie électrique. Le but premier d'un réseau d'énergie est de pouvoir alimenter la demande des consommateurs. Comme on ne peut encore stocker économiquement et en grande quantité l'énergie électrique il faut pouvoir maintenir en permanence l'égalité : **production=consommation+pertes.**

La protection des réseaux électriques contre les défauts de différents égrèssions (origines) a une grande importance pour garantir une meilleure utilisation et consommation de l'énergie électrique. L'étude de cette dernière fera l'objet du chapitre suivant.

### **II.1. introduction:[1]**

L'étude des protections d'un réseau se décompose en deux étapes distinctes :

- \* La définition du système de protection, appelée plan de protection.
- \* La détermination des réglages de chaque unité de protection, appelée coordination des protections ou sélectivité.

Un système de protection, c'est le choix des éléments de protection et de la structure globale de l'ensemble, de façon cohérente et adaptée au réseau. Le système de protection se compose d'une chaîne constituée des éléments suivants :

- \* Les capteurs de mesure (courant et tension) fournissant les informations de mesure nécessaires à la détection des défauts.
- \* Les relais de protection, chargés de la surveillance permanente de l'état électrique du réseau, jusqu'à l'élaboration des ordres d'élimination des parties défectueuses, et leur commande par le circuit de déclenchement.
- \* Les organes de coupure dans leur fonction d'élimination de défaut : disjoncteurs, interrupteurs fusibles. [1]

### **II.2. Définition:**

La Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I) définit la protection comme l'ensemble des dispositions destinées à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs disjoncteurs et, si nécessaire d'élaborer d'autres ordres de signalisations.

### **II.3. Objectifs:**

Un système de protection doit :

- Préserver la sécurité des personnes et des biens.
- Eviter la destruction partielle ou totale des matériels.
- Assurer la meilleure continuité de fourniture possible.

## II.4. Zone de Protection:

En plus des performances que doivent avoir les relais, il faut savoir les placer correctement pour les rendre plus efficaces. Pour atteindre cet objectif, on découpe le réseau industriel en zones délimitées par les positions des organes de coupure. (La figure II.1) montre une disposition caractéristique des zones de protection, correspondant respectivement à des sections de ligne, des jeux de barres, des transformateurs des machines. Ces zones se recouvrent pour ne laisser aucun point de l'installation sans protection. [9]

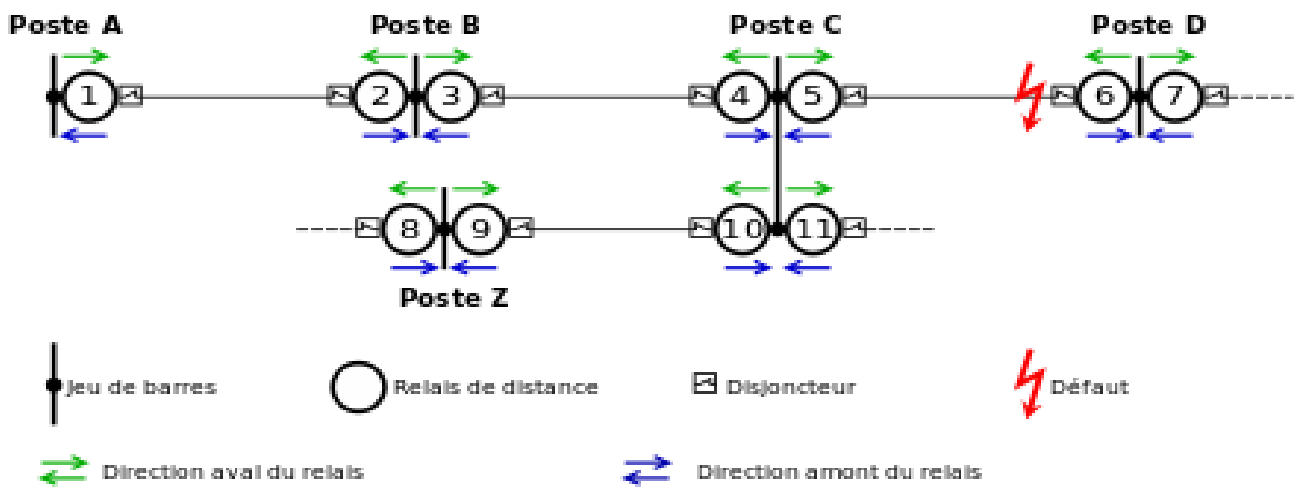


Figure.II.1. les zones de protection d'un réseau électrique. [9]

## II.5. Les Appareils de mesures:

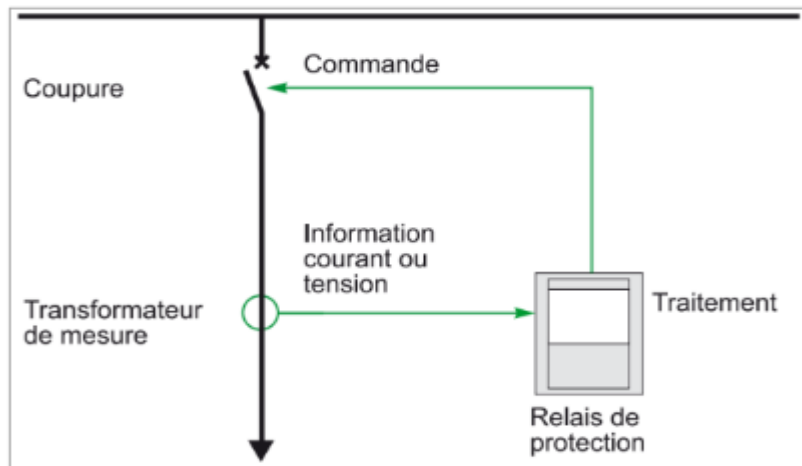
### II.5.1. Transformateur de mesure:

En distribution électrique HTA les valeurs élevées de courant et de tension ne permettent pas leur utilisation directe par les unités de mesure ou protection.

Des transformateurs de mesure sont nécessaires pour fournir des valeurs utilisables par ces dispositifs qui peuvent être :

\* des appareils analogiques, utilisant directement le signal fourni.

\* des unités de traitements numériques à microprocesseur, après conversion analogique/digitale du signal en entrée (ex. : Sepam ou Power Logic System). [10]



**Figure.II.2. Exemple de l'utilisation de transformateur de mesure dans une chaîne de protection. [11]**

### **II.5.1.1. Les transformateurs de courants « TC » de mesure :**

Les transformateurs de courant sont utilisés pour fournir l'information aux «relais» de protection et/ou de mesure et les protéger. Pour cela, ils doivent délivrer un courant secondaire proportionnel au courant primaire qui les traverse. Ils doivent donc être adaptés aux caractéristiques du réseau: tension, fréquence et courant .

#### **a. Constitution et types :**

Un transformateur de courant est constitué d'un circuit primaire et d'un circuit secondaire couplés par un circuit magnétique et d'un enrobage isolant, en époxy-silice dans le cas des transformateurs Schneider Electric.

L'appareil est de type :

- \* bobiné : lorsque le primaire et le secondaire comportent un bobinage enroulé sur le circuit magnétique.
- \* traversant : primaire constitué par un conducteur non isolé de l'installation.
- \* tore : primaire constitué par un câble isolé.

### **II.5.1.2. Les transformateurs de tension (TT ou TP):**

Branchés au primaire sur le réseau HTA, ils délivrent au secondaire une valeur de tension réduite proportionnelle à la tension du réseau sur lequel ils sont installés.

#### **a. Constitution et type :**

Ils sont constitués d'un enroulement primaire, d'un circuit magnétique, d'un ou plusieurs enroulements secondaires, le tout enrobé dans une résine isolante. Ils sont de deux types, selon leur raccordement :

\* phase/phase : primaire raccordé entre deux phases.

\* phase/terre : primaire raccordé entre une phase et la terre . [10]

## **II.6. Les appareils de protection:**

### **II.6.1. Les relais:**

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations (signaux) à caractère analogique (courant, tension, puissance, fréquence, température,...etc.) et les transmettent à un ordre binaire (fermeture ou ouverture d'un circuit de commande) lorsque ces informations reçues atteignent les valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées à l'avance. Donc le rôle des relais de

protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que le court-circuit, variation de tension. ...etc. Un relais de protection détecte l'existence de conditions anormales par la surveillance continue, et détermine quels disjoncteurs à ouvrir et alimente les circuits de

déclenchement.

#### **II.6.1.1. Les types de relais :**

Les relais de protection électrique sont classés en 4 types :

\* Les relais électromécaniques.

\* Les relais statique.

\* Les relais thermique.

\* Les relais numériques.

### **II.6.2. Disjoncteurs:**

L'auxiliaire basse tension et l'unité de contrôle sont dans un compartiment séparé de la partie HTA.

Le disjoncteur, dont la fonction principale est la protection, assure également la fonction commande, et suivant son type d'installation le sectionnement (déblocable). Les disjoncteurs HTA sont presque toujours montés dans une cellule HTA, et selon la définition de la Commission électrotechnique internationale (C.E.I), un disjoncteur à HTA est destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège) à la fois: [12]

\* Dans des conditions normales de service, par exemple pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique.

\* Dans des conditions anormales spécifiées, en particulier pour éliminer un court-circuit.



Figure.II. 3. Compartiment disjoncteur. [12]

## II.7. Les appareils de coupure:

### II.7.1. Le disjoncteur à ré enclenchement automatique (recloser):

Ce dispositif ouvre le circuit lors de l'apparition d'un défaut et le referme après un délai compris entre une fraction de seconde et quelques secondes, deux ou trois fois selon l'ajustement des dispositifs de commande interne. Si le défaut ne disparaît pas après ces tentatives, le disjoncteur ouvre le circuit en permanence et une équipe de réparation doit aller sur les lieux pour le réarmer.

### II.7.2. Interrupteur :

Appareils qui peuvent couper les faibles courants capacitifs des lignes de transport ou les courants d'excitation des transformateurs, mais qui ne peuvent pas interrompre les courants de charges normaux.

### II.7.3. Sectionneurs:

Appareils qui n'ont aucun pouvoir de coupure, ils ne permettent d'ouvrir un circuit qu'en l'absence de tout courant. Ils sont utilisés pour isoler un ensemble de circuit, un appareil, une machine, une section de ligne aérienne ou de câble, afin de permettre au personnel d'exploitation d'y accéder sans danger.

#### II.7.3.1. Sectionneurs de mise à la terre:

Interrupteurs de sécurité qui isolent un circuit et qui, grâce à leur mise à la terre, empêche l'apparition de toute tension sur une ligne pendant les réparations.

## **II.8. Qualités principales d'un système de protection: [12]**

### **II.8.1. Rapidité:**

Les courts-circuits sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement et des performances prioritaires.

Le temps d'élimination des courts-circuits comprend deux composantes principales :

\* Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).

\* Le temps d'ouverture des disjoncteurs, avec les disjoncteurs modernes (SF6 ou à vide), ces derniers sont compris entre 1 et 3 périodes. [12]

### **II.8.2. Sélectivité:**

La sélectivité est une capacité d'un ensemble de protections à faire la distinction entre les conditions pour lesquelles une protection doit fonctionner de celles où elle ne doit pas fonctionner.

Les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne sélectivité dans la protection d'un réseau électrique, les plus importants sont les trois types suivants:

- Sélectivité ampère métrique par les courants.
- Sélectivité chronométrique par le temps.
- Sélectivité par échange d'informations, dite sélectivité logique.

#### **II.8.2.1. Sélectivité ampère métrique:**

Une protection ampère métrique (Figure. II.4) est disposée au départ de chaque tronçon : son seuil est réglé à une valeur inférieure à la valeur de défaut minimal provoqué par un court-circuit sur la section surveillée, et supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un court-circuit situé en aval (au-delà de la zone surveillée).

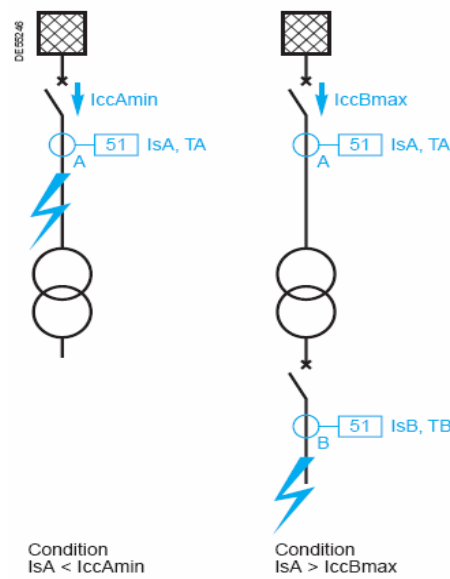


Figure.II.4. Fonctionnement d'une sélectivité ampère métrique. [12]

Ainsi réglée, chaque protection ne fonctionne que pour les courts-circuits situés immédiatement en aval de sa position, à l'intérieur de la zone surveillée, elle est insensible aux courts-circuits apparaissant au-delà.

### II.8.2.2. Sélectivité chronométrique:

Sélectivité dans laquelle les protections sollicitées sont organisées pour fonctionner de manière décalée dans le temps. La protection la plus proche de la source a la temporisation la plus longue.

Ainsi, sur le schéma (Figure. II.5), le court-circuit 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 court-circuit, les protections A, B, C qui ne sont plus sollicitées, reviennent à leur position de veille.

La différence des temps de fonctionnement  $\Delta T$  entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité.

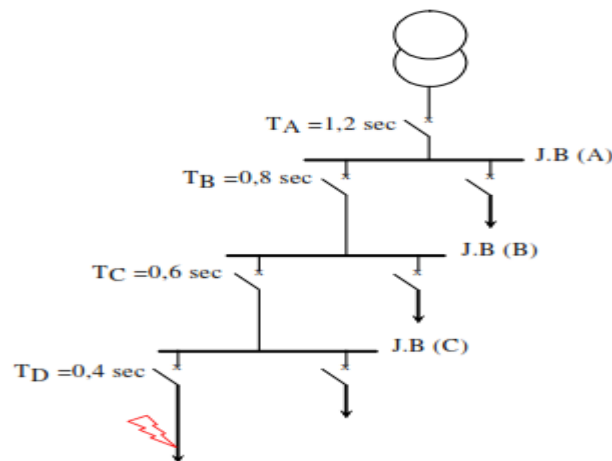


Figure.II.5. Principe de la sélectivité chronométrique. [12]

### II.8.2.3. Sélectivité logique :

Ce système a été développé pour remédier aux inconvénients de la sélectivité chronométrique.

Ce principe est utilisé lorsque l'on souhaite obtenir un temps court d'élimination de défaut (Figure. II.6).

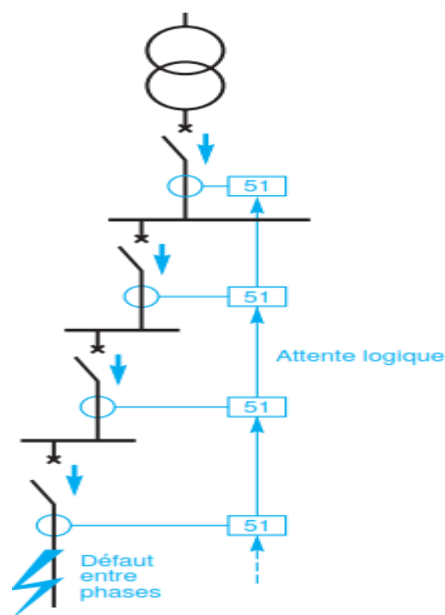


Figure.II.6. principe de la sélectivité logique. [12]

Le principe de fonctionnement est illustré sur la (figure. II.7):

\* à l'apparition d'un défaut à l'aval de B, la protection en B bloque la protection en A.

- \* seule la protection en B provoque le déclenchement après TB, si toutefois elle n'a pas reçu d'ordre d'attente.
- \* la durée de l'ordre d'attente pour la protection en A est limitée à  $TB + T3$ , avec  $T3$  = au temps d'ouverture et de coupure d'arc du disjoncteur B (typiquement 200 ms),
- \* ainsi en cas de non déclenchement du disjoncteur B défailant, la protection A donne l'ordre de déclenchement en  $TB + T3$ ,
- \* à l'apparition d'un défaut entre A et B, la protection A déclenche après TA.

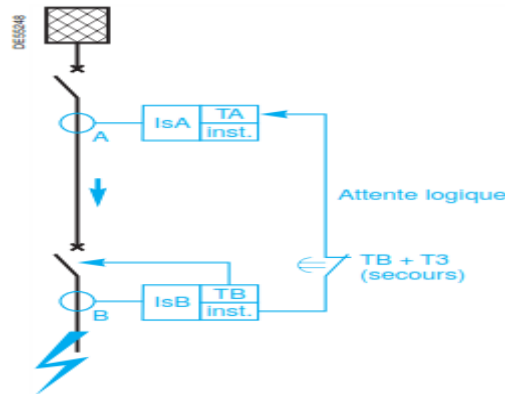


Figure.II.7.fonctionnement d'une sélectivité logique. [12]

### II.8.3. Sensibilité:

La protection doit fonctionner dans un domaine très étendu de courants de courts-circuits entre :

- \* Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations et est donc parfaitement connu.
- \* Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit se produisant dans des conditions souvent exceptionnelles.

La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner.

### II.8.4. Fiabilité:

Les définitions et les termes proposés ici, sont dans la pratique, largement utilisés au plan international.

- \* Une protection a un fonctionnement correct lorsqu'elle émet une réponse à un court-circuit sur le réseau en tout point conforme à ce qui est attendu.
- \* A l'inverse, pour un fonctionnement incorrect, elle comporte deux aspects :

- Le défaut de fonctionnement ou non-fonctionnement lorsqu'une protection, qui aurait dû fonctionner, n'a pas fonctionné.

- Le fonctionnement intempestif, qui est un fonctionnement non justifié, soit en l'absence de défaut, soit en présence d'un défaut pour laquelle la protection n'aurait pas dû fonctionner.

\* La fiabilité d'une protection, qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement incorrect (éviter les déclenchements intempestifs), est la combinaison de :

- **La sûreté:** qui est la probabilité de ne pas avoir de défaut de fonctionnement.

- **La sécurité:** qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement intempestif.

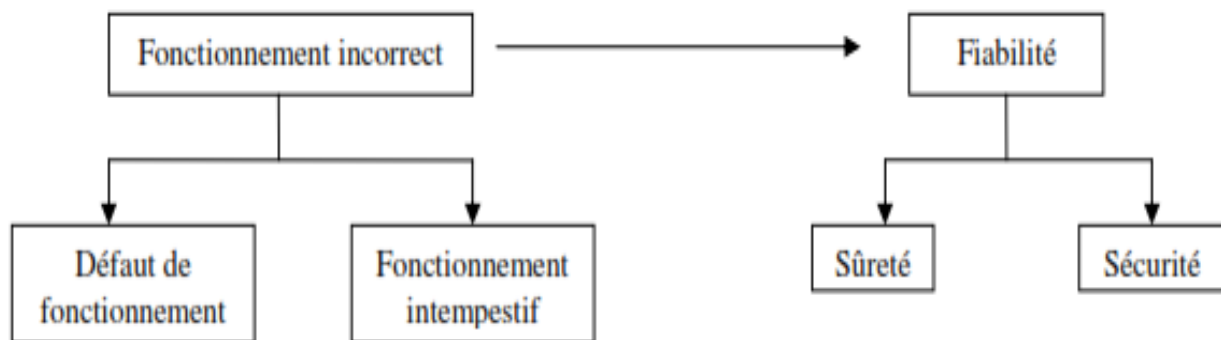


Figure.II.8. Fiabilité d'une protection. [12]

### II.9. Cinq modes de liaison à la terre du neutre : [13]

Le potentiel du neutre peut être fixé par rapport à la terre par cinq méthodes différenciées par la nature (capacité, résistance, inductance), et la valeur (zéro à l'infini) de l'impédance  $Z_N$  de liaison que l'on connectera entre neutre et terre :

\*  $Z_N = \infty$  : neutre isolé, pas de liaison intentionnelle.

\*  $Z_N$  est une résistance de valeur plus ou moins élevée.

\*  $Z_N$  est une réactance, de valeur faible en général.

\*  $Z_N$  est une réactance de compensation, destinée à compenser la capacité du réseau.

\*  $Z_N = 0$  : le neutre est relié directement à la terre. [13]

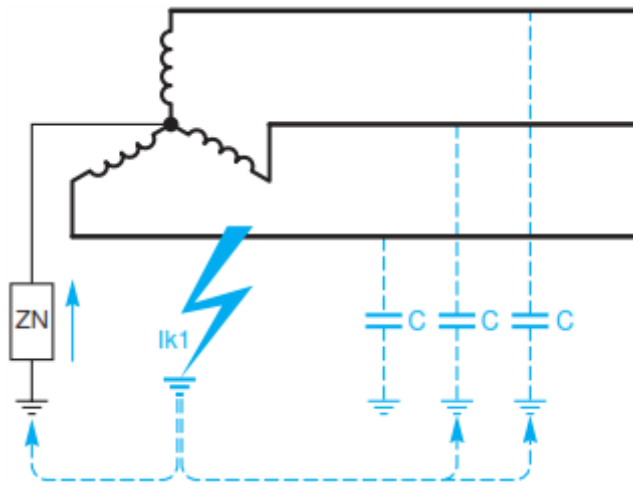


Figure.II.9. schéma équivalent d'un réseau sur défaut à la terre. [13]

### II.9.1. Neutre isolé :

Il n'existe aucune liaison électrique intentionnelle entre le point neutre et la terre, à l'exception des appareils de mesure ou de protection.

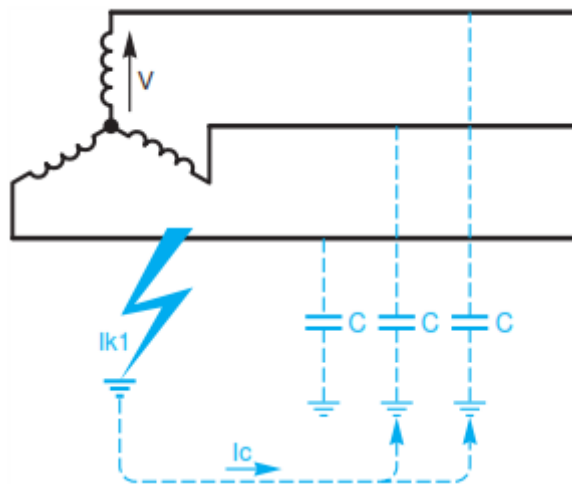


Figure.II.10. courant de défaut capacitif sur réseau isolé. [13]

Dans un tel réseau, un défaut phase-terre ne provoque qu'un faible courant par l'intermédiaire des capacités phase-terre des phases saines (Figure. II.9).

On démontre que  $I_{k1} = 3 \cdot C \cdot \omega \cdot V$

\*  $V$  étant la tension simple.

\*  $C$  la capacité d'une phase par rapport à la terre.

\*  $\omega$  la pulsation du réseau avec  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ .

## **Chapitre II : protection des réseaux électriques**

---

Le courant de défaut  $I_{k1}$  peut subsister longtemps en principe sans dommages car il ne dépasse pas quelques ampères (2 A par km environ pour un câble unipolaire 6 kV de 150 mm<sup>2</sup> de section isolé au PRC dont la capacité est de 0,63 μF/km). Il n'est donc pas nécessaire d'intervenir pour éliminer ce premier défaut, ce qui confère à cette solution l'avantage essentiel de maintenir la continuité de service.

Mais ceci entraîne des conséquences :

- \* l'isolement doit être surveillé en permanence, et un défaut non encore éliminé doit être obligatoirement signalé par un contrôleur permanent d'isolement (CPI) ou par une protection à maximum de tension résiduelle (ANSI 59N).
- \* la recherche ultérieure du défaut exige d'une part un appareillage d'autant plus complexe qu'il est automatique, pour permettre une identification rapide du départ en défaut, et d'autre part un service entretien qualifié pour l'exploiter.
- \* au cas où le premier défaut n'est pas éliminé, un deuxième défaut survenant sur une autre phase va provoquer un véritable court-circuit biphasé par la terre, lequel sera éliminé par les protections de phase.

### **a. Avantage:**

L'avantage essentiel est la continuité de service du départ en défaut parce que le courant de défaut très faible permet de ne pas déclencher automatiquement au premier défaut ; c'est un deuxième défaut qui nécessitera une coupure.

### **b. Inconvénients:**

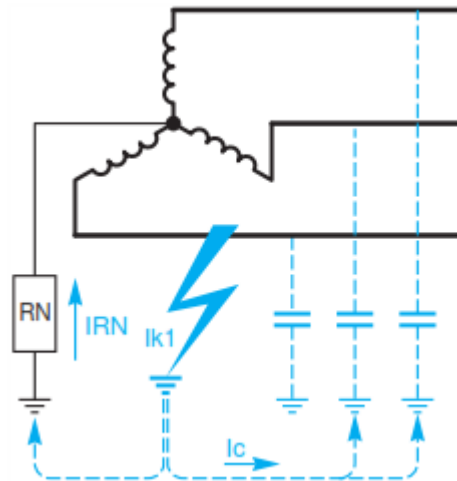
- \* La non-élimination des surtensions transitoires par écoulement à la terre est un handicap majeur si elles sont élevées.
- \* De plus, en cas de mise à la terre d'une phase, les autres se trouvent portées à la tension composée à fréquence industrielle ( $U = 3 \cdot V$ ) par rapport à la terre, ce qui renforce la probabilité d'un second défaut. Le coût d'isolement est plus élevé car la tension composée reste appliquée entre phase et terre pendant une durée qui peut être longue puisqu'il n'y a pas de déclenchement automatique.
- \* La surveillance de l'isolement est obligatoire, avec signalisation du premier défaut.
- \* Un service entretien équipé du matériel adéquat pour la recherche rapide du premier défaut d'isolement est nécessaire.
- \* La mise en œuvre de protections sélectives au premier défaut est délicate.
- \* Il y a des risques de surtensions créées par ferrorésonance.

### c. Applications:

C'est une solution souvent utilisée pour les réseaux industriels (= 15 kV) nécessitant la continuité de service. En distribution publique.

### II.9.2. Mise à la terre par résistance:

Une résistance est connectée volontairement entre le point neutre et la terre.



**Figure.II.11. Réalisations de mise à la terre pour neutre accessible : résistance entre neutre et terre. [13]**

Dans ce type de schéma, l'impédance résistive limite le courant de défaut à la terre  $I_{k1}$ , tout en permettant un bon écoulement des surtensions. Mais par conséquent, des protections doivent intervenir automatiquement pour éliminer le premier défaut. Dans les réseaux alimentant des machines tournantes, la valeur de la résistance est déterminée pour obtenir un courant  $I_{k1}$  de 15 à 50 A. Mais il faut que ce courant faible soit néanmoins  $I_{RN} = 2 I_c$  (avec  $I_c$  : courant capacitif total du réseau) pour réduire les surtensions de manœuvre et permettre une détection simple.

Dans les réseaux de distribution, on adopte des valeurs plus élevées (100 A à 300 A) plus faciles à détecter et permettant l'écoulement des impulsions de foudre.

### a. Avantages:

\* Ce schéma est un bon compromis entre un courant de défaut faible et des surtensions bien écoulées.

\* Il n'exige pas l'emploi de matériels ayant un niveau d'isolement entre phase et terre dimensionné pour la tension composée.

\* Les protections sont simples, sélectives et le courant est limité.

### b. Inconvénients:

\* La continuité de service du départ en défaut est dégradée ; en effet, en cas de défaut terre, celui-ci doit être éliminé aussitôt (coupure au premier défaut).

\* Le coût de la résistance de mise à la terre croît avec la tension et le courant limité.

### c. Applications:

Réseaux MT de distribution publique et industrielle.

## II.9.3. Mise à la terre par réactance faible:

Une réactance est intercalée volontairement entre le point neutre et la terre. Pour les réseaux de tension supérieure à 40 kV, on préfère utiliser une réactance plutôt qu'une résistance pour des raisons de difficulté de réalisation dues au dégagement de chaleur en cas de défaut (Figure. II.11).

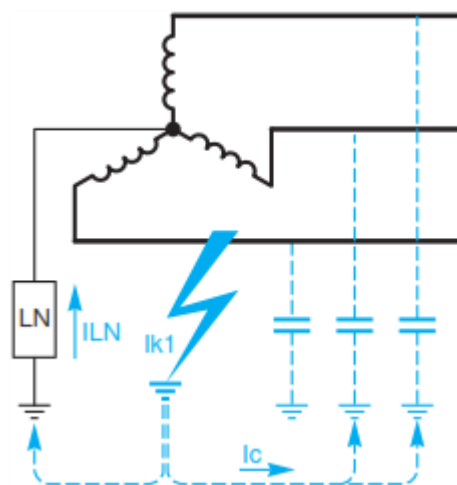


Figure.II.12. réalisation de mise à la terre pour neutre accessible. [13]

Dans ce type de schéma, l'impédance selfique limite le courant de défaut à la terre  $I_{k1}$ , tout en permettant un bon écoulement des surtensions. Mais par conséquent, des protections doivent intervenir automatiquement pour éliminer le premier défaut. Pour réduire les surtensions de manœuvre et permettre une détection simple, il faut que le courant  $I_L$  soit très supérieur au courant capacif total du réseau  $I_c$ .

Dans les réseaux de distribution, on adopte des valeurs élevées (300 à 1000 A), faciles à détecter et permettant l'écoulement des surtensions de foudre. [13]

### a. Avantages:

- \* Ce schéma permet de limiter l'amplitude des courants de défaut.
- \* Il permet la mise en œuvre de protections sélectives simples si le courant.
- \* La limitation est très supérieure au courant capacitif du réseau.
- \* La bobine, de faible résistance, n'a pas à dissiper une puissance thermique élevée, ce qui réduit son dimensionnement.
- \* En haute tension, le coût de cette solution est plus avantageux qu'avec une résistance.

### b. Inconvénients:

- \* La continuité de service du départ en défaut est dégradée : en cas de défaut terre, celui-ci doit être éliminé aussitôt (coupure au premier défaut).
- \* Lors de l'élimination des défauts terre, des surtensions importantes peuvent apparaître, dues à des résonances entre la réactance et la capacité du réseau.

### c. Applications:

Réseaux MT de distribution publique (courants de plusieurs centaines d'ampères).

## II.9.4. Mise à la terre par réactance de compensation:

Une réactance accordée sur la capacité phase-terre totale du réseau est intercalée entre le point neutre et la terre de sorte qu'en présence d'un défaut à la terre, le courant dans le défaut est voisin de zéro (Figure. II. 13)

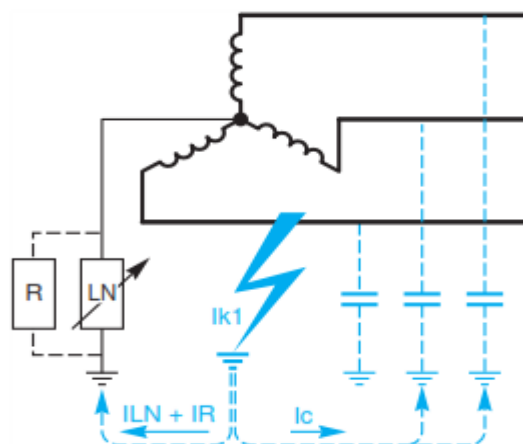


Figure.II.13. défaut à la terre dans un réseau avec réactance de compensation à la terre. [13]

## **Chapitre II : protection des réseaux électriques**

---

Ce système permet de compenser le courant capacitif du réseau.

En effet, le courant de défaut est la somme des courants qui parcourent les circuits suivants:

- \* la mise à la terre par réactance.
- \* les capacités des phases saines par rapport à la terre. Ces courants se compensent puisque:
- \* l'un est selfique (dans la mise à la terre).
- \* l'autre est capacitif (dans les capacités des phases saines). Ils s'ajoutent donc en opposition de phase.

En pratique, la faible résistance de la bobine fait circuler un petit courant résistif de quelques ampères

### **a. Avantages:**

- \* Ce système permet de diminuer les courants de défaut même si la capacité phase-terre est grande : extinction spontanée des défauts à la terre non permanents.
- \* A l'endroit du défaut, les tensions de contact sont limitées.
- \* Le maintien en service de l'installation est assuré malgré un défaut permanent.
- \* Le signalement du premier défaut est donné par la détection du passage du courant dans la bobine.

### **b. Inconvénients:**

- \* Le coût de la réactance de mise à la terre peut être élevé en raison de la nécessité de modifier la valeur de la réactance pour adapter la compensation.
- \* Pendant la durée du défaut, il faut s'assurer que le courant résiduel circulant ne présente pas de danger pour les personnes et les biens.
- \* Les risques de surtension transitoire sur le réseau sont importants.
- \* La présence d'un personnel de surveillance est nécessaire.
- \* La mise en œuvre de protections sélectives au premier défaut est délicate.

### **c. Application:**

Réseaux de distribution MT avec une valeur de  $I_c$  élevée.

### II.9.5. Neutre direct à la terre:

Une liaison électrique d'impédance nulle est réalisée intentionnellement entre le point neutre et la terre.

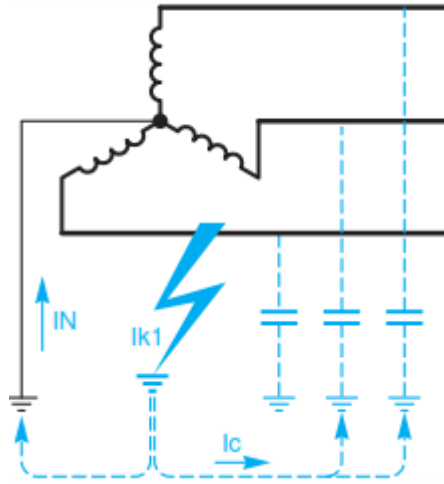


Figure.II.14. défaut à la terre dans un réseau à neutre direct à la terre. [13]

Le neutre étant mis à la terre sans impédance de limitation, le courant de défaut  $I_{k1}$  entre phase et terre est pratiquement un court-circuit phase neutre, donc de valeur élevée (Figure. II. 14).

La coupure se fait au premier défaut d'isolement.

#### a. Avantages:

- \* Ce schéma est idéal pour l'écoulement des surtensions.
- \* Il permet l'emploi de matériels ayant un niveau d'isolement dimensionné pour la tension simple.
- \* Il n'y a pas de protections spécifiques : les protections normales de surintensités de phases peuvent être sollicitées pour éliminer les défauts phase-terre francs.

#### b. Inconvénients:

- \* Ce schéma entraîne tous les inconvénients et dangers d'un fort courant de défaut terre : dégâts et perturbations sont maximaux.
- \* Il n'y a pas de continuité de service du départ en défaut.
- \* Le danger pour le personnel est important pendant la durée du défaut car les tensions de contact qui se développent sont élevées.

### **c. Applications:**

\* Ce type de schéma n'est pas utilisé dans les réseaux MT européens aériens ou souterrains, mais par contre généralisé dans les réseaux de distribution nord-américains. Dans ces réseaux (aériens), d'autres particularités interviennent pour justifier ce choix :

- existence d'un conducteur neutre distribué.
- distribution 3 phases ou 2 phases et neutre ou phase et neutre.
- utilisation du conducteur neutre comme conducteur de protection avec mise à la terre systématique à chaque poteau.

\* Ce type de schéma peut être utilisé quand la puissance de court-circuit de la source est faible.

### **II.10. Conclusion:**

Les protections doivent être conçus pour protéger non seulement les ouvrage mais aussi tout le système électrique dont l'équilibre est fragile.

On a donc besoin de protection individuelles dont les performances en rapidité, fiabilité et sélectivité sont fixées par les besoins des réseaux qu'il faut aussi combiner pour former un véritable plan de protection de l'ensemble du système.

Dans le chapitre suivant on va exposer une étude sur le calcul des courants de courts-circuits.

### III.1. Introduction:

Toute installation électrique doit être protégée contre les courts-circuits et ceci, sauf exception chaque fois qu'il y a une discontinuité électrique, ce qui correspond le plus généralement à un changement de section des conducteurs. L'intensité du courant de court-circuit est à calculer aux différents étages de l'installation ceci pour pouvoir déterminer les caractéristiques du matériel qui doit supporter ou couper ce courant de défaut.

### III.2. Définitions:

- \* Un court-circuit est une liaison accidentelle entre conducteurs à impédance nulle (Court-circuit franc) ou non (court-circuit impédant).
- \* Un court-circuit peut être interne s'il est localisé au niveau d'un équipement, ou Externe s'il se produit dans les liaisons.
- \* La durée d'un court-circuit est variable : auto extincteur si le défaut est trop court Pour déclencher la protection; fugitif lorsque éliminé après déclenchement et réenclenchèrent de la protection ; permanent s'il ne disparaît pas après déclenchement de la protection.
- \* Les causes de court-circuit sont d'origines mécaniques (coup de pelle, branche Électrique), (dégradation d'isolant, surtension), humaine (erreur de l'exploitant). [14]

### III.3. Effets des courants de court-circuit: [15]

Les conséquences des courts-circuits sont souvent graves sinon dramatiques :

- \*Le court-circuit perturbe l'environnement du réseau autour du point de défaut par le creux de tension brutal qu'il entraîne.
- \*Il contraint à mettre hors service, par le jeu des protections appropriées, une partie souvent importante du réseau.
- \*Tous les matériels et liaisons (câbles, lignes) traversés par le court-circuit subissent une forte contrainte mécanique (efforts électrodynamiques) qui peut entraîner des ruptures, une contrainte thermique pouvant entraîner la fusion des conducteurs et la destruction des isolants.
- \*Au point de défaut se manifeste le plus souvent un arc électrique de forte énergie, dont les effets destructeurs sont très importants, et qui peut se propager très rapidement. Malgré la probabilité

de plus en plus faible d'apparition d'un court-circuit dans les installations modernes, bien conçues et bien exploitées, les conséquences graves qui peuvent en résulter incitent à tout mettre en œuvre pour détecter et éliminer très rapidement tout court-circuit.

La connaissance de la valeur du courant de court-circuit en différents points du réseau est une donnée indispensable pour définir les câbles, jeux de barres et tous matériels

d'interruption et de protection ainsi que leurs réglages. [15]

#### III.4. Caractéristiques des courts-circuits:

Ils sont principalement caractérisés par :

**\*Leurs durées:** auto-extincteur, fugitif ou permanent.

**\*leurs origines:**

- Mécaniques (rupture de conducteurs, liaison électrique accidentelle entre deux conducteurs par un corps étranger conducteur tel que outils ou animaux).
- surtensions électriques d'origine interne ou atmosphérique.
- ou à la suite d'une dégradation de l'isolement, consécutive à la chaleur, l'humidité ou une ambiance corrosive.
- **\*leurs localisations:** interne ou externe à une machine ou à un tableau électrique.

Outre ces caractéristiques, les courts-circuits peuvent être :

**\*monophasés:** 80 % des cas.

**\*biphasés:** 15 % des cas. Ces défauts dégénèrent souvent en défauts triphasés.

**\*triphases:** 5 % seulement dès l'origine.

#### III.5. Calcul des courant de court-circuit à l'aide des composant symétrique:

Le calcul à l'aide des composant symétrique est particulièrement utile lorsque un réseau triphasé est déséquilibré(un système tension, courant est non symétrique).

### III.5.1. Théorie des composants symétriques: [9]

La définition des composantes symétriques repose sur l'équivalence entre un système triphasé déséquilibré, et la somme de trois systèmes triphasés équilibrés : direct, indirect et homopolaire (Figure III.1). [9]

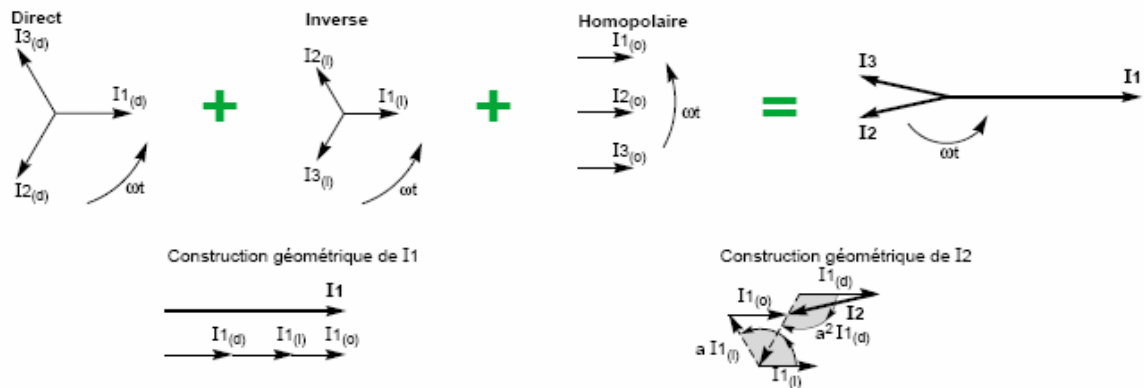


Figure.III.1. Système déséquilibré triphasé obtenu en additionnant les trois systèmes équilibrés.[9]

**\*a) Le système Direct (Positif ou de séquence d'ordre 1):** consiste en trois vecteurs de même module déphasé de  $120^\circ$  et ayant la même séquence que le système d'origine.

En prenant le vecteur  $V_a$  comme référence et sachant que l'opérateur

$$a = -0.5 + j 0.866 = 1 + 120^\circ$$

il vient alors :

$$V_{a1} = V_1$$

$$V_{b1} = V_{1L} 240^\circ = a^2 \cdot V_1$$

$$V_{c1} = V_{1L} 120^\circ = a \cdot V_1$$

**\*b) Le système Inverse (Négatif ou de séquence d'ordre 2):** consiste en trois vecteurs de même module déphasé de  $120^\circ$  mais de séquence opposée au système d'origine

$$V_{a2} = V_2$$

$$V_{b2} = V_2 \angle 120^\circ = a \cdot V_2$$

$$V_{c2} = V_2 \angle 240^\circ = a^2 \cdot V_2$$

**\*c) Le système homopolaire (Zéro ou de séquence d'ordre 0):**

ce système est formé de trois vecteurs ayant la même amplitude et le même angle de phase, ils tournent aussi dans le même sens et à la même vitesse que les vecteurs du système original, on leur attribue l'indice « 0 ».

$$V_{a0} = V_{b0} = V_{c0} = V_0$$

Autrement dit un système triphasé déséquilibré constitué de trois vecteurs  $V_a, V_b, V_c$  peut s'écrire en fonction des trois systèmes direct, inverse, homopolaire selon :

$$V_a = V_1 + V_2 + V_0$$

$$V_b = a^2 V_1 + a V_2 + V_0$$

$$V_c = a V_1 + a^2 V_2 + V_0$$

Pour déterminer  $V_1, V_2$  et  $V_0$  en fonction de  $V_a, V_b$  et  $V_c$  on a deux méthodes

**\*1<sup>er</sup> méthode:** utiliser la matrice inverse  $[T]^{-1}$

**\*2<sup>ème</sup> méthode:** utiliser  $1 + a + a^2 = 0$

on aura :

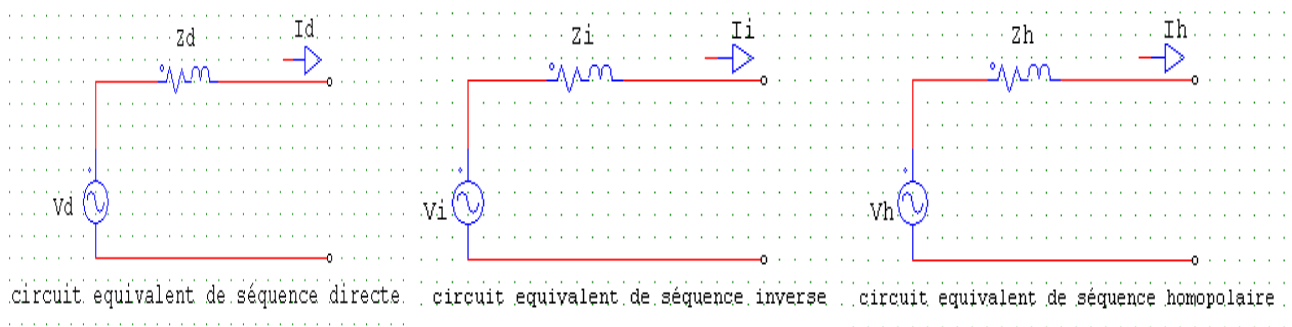
$$V_1 = \frac{1}{3} [ V_a + a V_b + a^2 V_c ]$$

$$V_2 = \frac{1}{3} [ V_a + a^2 V_b + a V_c ]$$

$$V_0 = \frac{1}{3} [ V_a + V_b + V_c ]$$

**III.5.2. Circuit équivalent des séquences:**

Figure III.2 - Circuit équivalent des séquences



**Figure.III.2. Circuit équivalent des séquences.**

$$V_d = V_d^p - Z_d \cdot I_d$$

$$V_i = 0 - Z_i \cdot I_i \dots \dots \dots (III-1)$$

$$V_h = 0 - Z_h \cdot I_h$$

\* $V^p_d$  la tension préexistante au point de défaut

\*  $Z_d, Z_i, Z_h$  les impédances équivalents au réseau dans les trois systèmes.

### III.6. Calcul des niveaux de défaut:

#### III.6.1. Défaut triphasé symétrique: (Figure.III.3 )

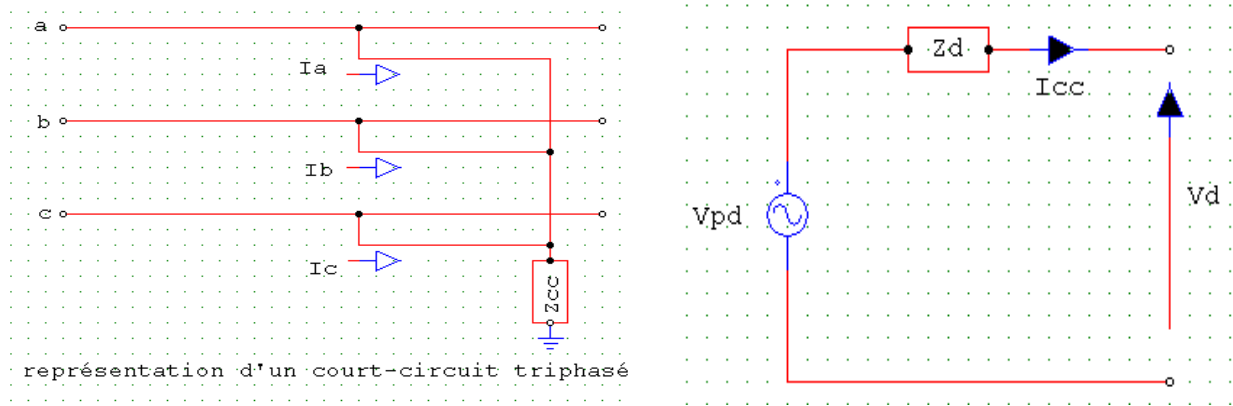


Figure.III.3. représentation d'un court-circuit triphasé.

\*Expression du défaut :

$$V_a = V_b = V_c = 0 \text{ (Phases en défaut)}$$

Traduction en grandeurs symétriques

$$V_d = V_i = V_h = 0$$

$$I_d = \frac{V_d^p}{Z_d}$$

$$I_i = I_h = 0$$

\*Valeur du courant de défaut triphasé:

$$I_{mcc} = I_{3fcc} = I_d =$$

Retour aux grandeurs de phase

$$V_d = V_h = V_c = 0$$

$$I_a = \frac{V}{7}$$

$$I_i = I_h = 0$$

\* Valeur du courant de défaut triphasé:

$$I_{mcc} = I_{3fcc} = I_d = \frac{VP}{Z}$$

\* Retour aux grandeurs de phase

$$V_a = V_b = V_c = 0$$

$$I_a = \frac{V}{Z}$$

III.6.2. Défaut biphasé isolé: (Figure III.4)

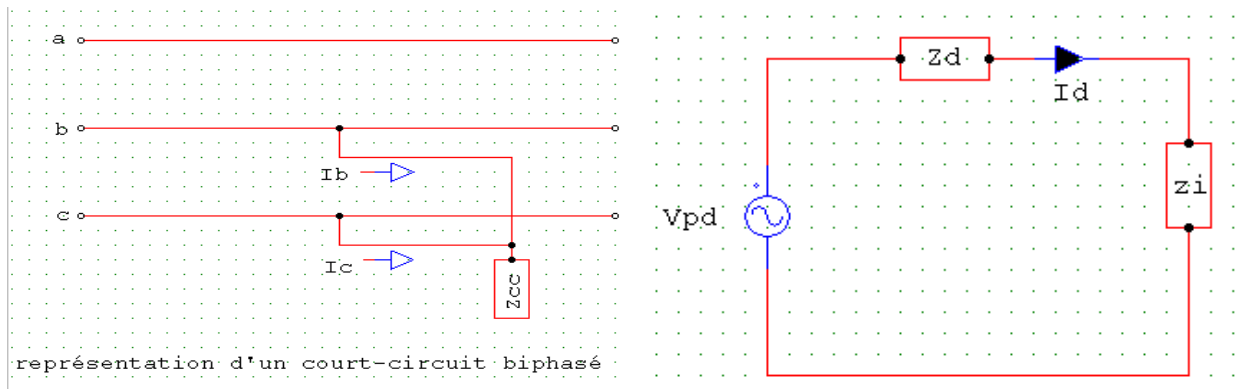


Figure.III.4. représentation d'un court-circuit biphasé.

\*Expression du défaut

$$V_b = V_c \quad V_{bc} = 0 \quad I_b = -I_c \text{ (phases en défaut)}$$

$$I_a = 0 \text{ (phase saine)}$$

\*Traduction en grandeurs symétriques :

$$V_{bc} = V_{nc} = (a^2 \cdot V_d + a \cdot V_i + V_h)$$

$$-(a \cdot V_d + a^2 \cdot V_i + V_h) = 0$$

$$V_{bc} = V_d (a^2 - a) + V_i (a - a^2) + V_h (1 - 1) = 0$$

$$\Rightarrow V_d (a^2 - a) = V_i (a^2 - a) \Rightarrow V_d = V_i$$

Implique que:  $V_d - Z_d \cdot I_d = -Z_i \cdot I_i$

$$I_d = \frac{1}{3} (I_a + a \cdot I_b + a^2 \cdot I_c) = \frac{1}{3} (a - a^2) \cdot I_b = j \frac{1}{\sqrt{3}} I_b$$

$$I_i = \frac{1}{3} (I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c) = -\frac{1}{3} (a - a^2) \cdot I_b = -j \frac{1}{\sqrt{3}} I_b$$

$$I_h = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = 0$$

Donc:  $I_d = -I_i$

\* Soit d'après (III-1)

$$V_d^p - Z_d \cdot I_d = -Z_i \cdot I_i \Rightarrow I_d = \frac{V_d^p}{Z_d + Z_i}$$

Retour aux grandeurs de phase:

$$I_a = 0$$

$$I_b = -j\sqrt{3} \frac{V_d^p}{Z_d + Z_i}$$

$$I_c = j\sqrt{3} \frac{V_d^p}{Z_d + Z_i}$$

### III.6.3. Défaut biphasé terre: (Figure III.5)

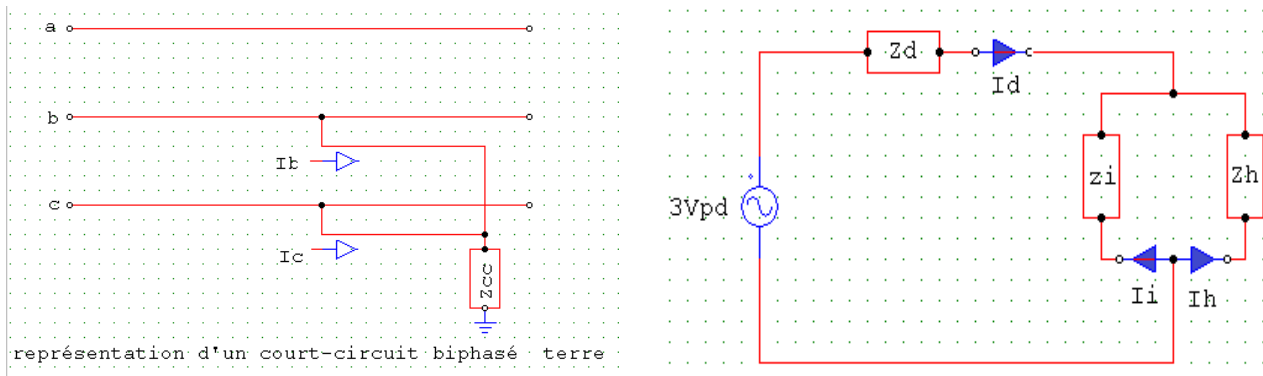


Figure.III.5. représentation d'un court-circuit biphasé terre .

$$V_b = V_c = 0$$

$$I_b = -I_c \quad (\text{phases en défaut})$$

$$I_a = 0 \quad (\text{phase saine})$$

\* Traduction en grandeurs symétriques:

$$\begin{cases} V_d = \frac{1}{3} (V_a + a.V_b + a^2.V_c) = \frac{1}{3} V_a \\ V_i = \frac{1}{3} (V_a + a^2.V_b + a.V_c) = \frac{1}{3} V_a \\ V_h = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) = \frac{1}{3} V_a \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_d = V_i = V_h$$

Soit d'après (III-1)

$$\Rightarrow I_i = -\frac{V_i}{Z_i} = -\frac{V_d}{Z_d} = -\frac{V_h}{Z_h}$$

$$I_h = \frac{V_h}{Z_h} = -\frac{V_d}{Z_d} = -\frac{V_i}{Z_i}$$

$$\text{Donc : } I_i = -\frac{(V_d^p - Z_d.I_d)}{Z_i}$$

$$I_h = -\frac{(V_d^p - Z_d.I_d)}{Z_h}$$

$$I_a = I_d + I_i + I_h = 0$$

$$\Rightarrow I_a = I_d - \frac{(V_d^p - Z_d.I_d)}{Z_i} - \frac{(V_d^p - Z_d.I_d)}{Z_h} = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_d = \frac{V_d^p (Z_i + Z_h)}{Z_d \cdot Z_i + Z_d \cdot Z_h + Z_i \cdot Z_h} \\ I_i = \frac{V_d^p \cdot Z_h}{Z_d \cdot Z_i + Z_d \cdot Z_h + Z_i \cdot Z_h} \\ I_h = \frac{V_d^p \cdot Z_i}{Z_d \cdot Z_i + Z_d \cdot Z_h + Z_i \cdot Z_h} \end{cases}$$

\*Retour aux grandeurs de phase:

$$I_c = aI_d + a^2 I_i + I_0 \Rightarrow I_c = \frac{\sqrt{3}V_d^p (Z_h^{<-90^\circ} + Z_i^{<-150^\circ})}{Z_d \cdot Z_i + Z_d \cdot Z_h + Z_i \cdot Z_h}$$

$$I_b = a^2 I_d + a I_i + I_0 \Rightarrow I_b = \frac{\sqrt{3}V_d^p (Z_h^{<-90^\circ} + Z_i^{<-150^\circ})}{Z_d \cdot Z_i + Z_d \cdot Z_h + Z_i \cdot Z_h}$$

Le courant dans le neutre est:  $I_n = I_b + I_c = \left| \frac{3 \cdot V_d^p}{Z_d \cdot Z_i + Z_d \cdot Z_h + Z_i \cdot Z_h} \right|$

### III.6.4. Défaut entre phase et la terre: (Figure III.6)

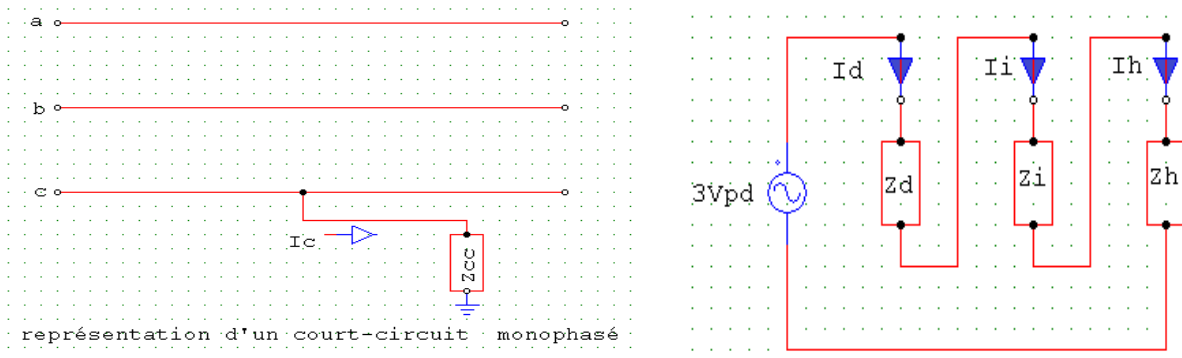


Figure.III.6. représentation d'un court-circuit monophasé.

\* Expression du défaut:

$$V_a = 0 \quad (\text{phase en défaut})$$

$$I_a = I_b = 0 \quad (\text{phases saines})$$

- Traduction en grandeurs symétriques

$$V_d + V_i + V_h = 0 \quad I_d = I_i = I_h$$

Soit d'après (III-1)

$$I_d = I_i = I_h = \frac{V_d^p}{Z_d + Z_i + Z_h}$$

$$V_d = \frac{Z_i + Z_h}{Z_d + Z_i + Z_h} \times V_p^d$$

$$V_i = - \frac{Z_i}{Z_d + Z_i + Z_h} \times V_p^d$$

$$V_h = - \frac{Z_h}{Z_d + Z_i + Z_h} \times V_p^d$$

\*Retour aux grandeurs de phase:

$$V_a = 0$$

$$V_b = \frac{(a^2 - a)Z_i + (a^2 - 1)Z_h}{Z_d + Z_i + Z_h} \times V_d^p$$

$$V_c = \frac{(a - a^2)Z_i + (a - 1)Z_h}{Z_d + Z_i + Z_h} \times V_d^p$$

$$I_a = -\frac{3 \cdot V_d^p}{Z_d + Z_i + Z_h} \quad I_b = I_c = 0$$

### **III.7. Calcul des $I_{cc}$ par la méthode des impédances: [15]**

#### **III.7.1. Court-circuit triphasé:**

C'est le défaut qui correspond à la réunion des trois phases. L'intensité de court-circuit  $I_{cc}$  est :

$$I_{cc} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{cc}} \quad \dots \dots \dots \quad \text{(III.2)}$$

Avec U (tension composée entre phases) correspondant à la tension à vide du transformateur, laquelle est supérieure de 3 à 5% à la tension aux bornes en charge.

**\*Exemple:** dans les réseaux 390 V, la tension composée adoptée est U = 410 V, avec comme tension simple U / 3 = 237 V.

Le calcul de l'intensité de court-circuit se résume alors au calcul de l'impédance  $Z_{cc}$ , impédance équivalente à toutes les impédances parcourues par l' $I_{cc}$  du générateur jusqu'au point de défaut de la source et des lignes. C'est en fait l'impédance «directe» par phase :

$$Z_{cc} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} \quad \dots \dots \dots \quad \text{(III.3)}$$

Avec :  $\sum R$  = somme des résistances en série.

$\sum X$  = somme des réactances en série.

Le défaut triphasé est généralement considéré comme celui provoquant les courants de défaut les plus élevés. En effet, le courant de défaut dans le schéma équivalent d'un système polyphasé, n'est limité que par l'impédance d'une phase sous la tension simple du réseau. Le calcul d' $I_{cc}$  est donc indispensable pour choisir les matériels (intensités et contraintes électrodynamiques maximales à supporter). [15]

### III.7.2. Court-circuit biphasé isolé:

Il correspond à un défaut entre deux phases, alimenté sous une tension composée  $U$ . L'intensité  $I_{cc}$  débitée est alors inférieure à celle du défaut triphasé:

$$I_{cc} = \frac{U}{2 \cdot Z_{cc}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{cc\ 3\sim} = 0.86 \cdot I_{cc\ 3\sim} \dots\dots\dots (III.4)$$

### III.7.3. Court-circuit monophasé isolé:

Il correspond à un défaut entre une phase et le neutre, alimenté sous une tension simple  $V = \frac{U}{\sqrt{3}}$

L'intensité  $I_{cc}$  débitée est alors :

$$I_{cc} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{cc} + Z_{Ln}} \dots\dots\dots (III.5)$$

Dans certains cas particuliers de défaut monophasé l'impédance homopolaire de la source est plus faible que  $Z_{cc}$  (par exemple aux bornes d'un transformateur à couplage étoile-triangle ou d'un alternateur en régime subtransitoire). L'intensité monophasée peut être alors plus élevée que celle du défaut triphasé.

### III.7.4. Court-circuit à la terre (monophasé ou biphasé):

Ce type de défaut fait intervenir l'impédance homopolaire  $Z_0$ . Sauf en présence de machines tournantes où l'impédance homopolaire se trouve réduite, l'intensité  $I_{cc}$  débitée est alors inférieure à celle du défaut triphasé. Son calcul peut être nécessaire, selon le régime du neutre (schéma de liaison à la terre), pour le choix des seuils de réglage des dispositifs de protection homopolaire (HT) ou différentielle (BT).

## III.8. Relations entre les impédances des différents étages de tension d'une installation:

### III.8.1. Impédances fonction de la tension:

La puissance de court-circuit  $S_{cc}$  en un point déterminé du réseau est définie par :

$$S_{cc} = I \cdot U \cdot \sqrt{3} = \frac{U^2}{Z_{cc}} \dots\dots\dots (III.6)$$

### Chapitre III : calcul des courants de court-circuit

---

Cette expression de la puissance de court-circuit implique par définition que  $S_{cc}$  est invariable en un point donné du réseau, quelle que soit la tension.

Et l'expression :

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{cc}} \dots\dots\dots (III.7)$$

Implique que toutes les impédances doivent être calculées en les rapportant à la tension du point de défaut, d'où une certaine complication, source d'erreurs dans les calculs concernant des réseaux à deux ou plusieurs niveaux de tension. Ainsi, l'impédance d'une ligne HT doit être multiplié par le carré de l'inverse du rapport de transformation, pour le calcul d'un défaut côté BT du transformateur :

$$Z_{BT} = Z_{HT} \cdot \left(\frac{U_{BT}}{U_{HT}}\right)^2 \dots\dots\dots (III.8)$$

#### III.8.2. Calcul des impédances relatives:

Il s'agit d'une méthode de calcul permettant d'établir une relation entre les impédances des différents étages de tension d'une installation électrique.

Cette méthode repose sur la convention suivante : les impédances (en ohms) sont divisées par le carré de la tension composée (en volts) à laquelle est porté le réseau au point où elles sont en service ; elles deviennent des impédances relatives (ZR).

**\*Pour les lignes et les câbles:** les résistances et les réactances relatives sont :

$$R_{CR} = \frac{R}{U^2} \text{ et } X_{CR} = \frac{X}{U^2} \dots\dots\dots (III.9)$$

Avec : R et X en ohms et U en volts.

**\*Pour les transformateurs:** l'impédance s'exprime à partir de leurs tensions de court-circuit  $U_{cc}$  et de leurs puissances nominales  $S_n$  :

$$Z_{TR} = \frac{1}{S_n} \cdot \frac{U_{cc}}{100} \dots\dots\dots (III.10)$$

**\*Pour les machines tournantes:** la formule est identique, X représente l'impédance exprimée en % :

$$Z_{MR} = \frac{1}{S_n} \cdot \frac{X}{100} \dots\dots\dots (III.11)$$

\*Pour l'ensemble, après avoir composé toutes les impédances relatives, la puissance de court-circuit s'établit d'après :

$$S_{cc} = \frac{1}{\sum Z_R} \dots\dots\dots (III.12)$$

D'où l'on déduit l'intensité de défaut  $I_{cc}$  au point de tension U :

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3}.U} = \frac{1}{\sqrt{3}.U.\sum Z_R} \dots\dots\dots (III.13)$$

$\sum Z_R$  : représente la composition (et non pas la somme) de toutes les impédances relatives des éléments en amont du défaut.

Donc  $\sum Z_R$  est l'impédance relative du réseau amont vue du point de tension U.

Ainsi,  $S_{cc}$  est la puissance de court-circuit en VA au point de tension U.

### **III.9. Conclusion:**

Pour le calcul du courant de court-circuit il ya plusieurs méthodes qu'ont été conçues de telle sorte que le courant de court-circuit puisse être calculé à la main ou à l'aide d'un moyen informatique.

Nous avons présenté dans ce troisième chapitre, les différents types de défauts, leurs causes et leurs conséquences Nous avons présenté également les formules concernant le calcul des courants de court-circuit des différents types de défauts.

Compte tenu de cette complexité, les études de réseaux ont recours aux outils informatiques qui permettent d'aider les responsables de la planification, de la gestion et de la conduite des réseaux à prendre les meilleurs décisions pour eu améliorer la fiabilité.

Le prochain chapitre à pour but d'exposer les résultats de simulation et l'impact des principaux types de courant de défaut (court-circuit) sur les réseaux électriques en utilisant le logiciel MATLAB/SIMULINK avec ce dernier on peut calculer les courants de courts-circuits dans n'importe quel point du réseau.

## **IV.1. Introduction:**

La méthode analytique est une méthode relative mais nécessite un temps de calcul important. L'utilisation de la simulation sous MATLAB/SIMULINK à l'avantage d'être rapide de configurer les défauts de court-circuit.

Dans cette partie nous allons utiliser le logiciel de simulation MATLAB/SIMULINK pour étudier l'influence de court-circuit sur les formes d'ondes et les amplitudes de courants, tension et de puissance, au niveau d'un nœud quelconque dans un réseau électrique MT/BT.

## **IV.2. Objectifs:**

L'étude du comportement d'un réseau en régime de court-circuit a pour but :

\* d'identifier les situations à risque, origines possible de :

- danger pour les personnes.
- destructions de matériel par contraintes électrodynamiques, sur échauffements et sur tensions.
- dysfonctionnements de l'exploitation pouvant aller jusqu'à la perte totale du réseau à cause des creux de tension et des coupures d'alimentation.

\* aider à faire des choix de base de conception pour limiter les effets néfastes des défauts, en ce qui concerne :

- les systèmes de liaisons à la terre des installations,
- le dimensionnement approprié des matériels.
- le réglage des protections, déterminé à partir du calcul des courants de défaut.

## **IV.3. Les apports d'une étude:**

Une telle étude vise à prévoir les contraintes inhérentes à l'apparition de défauts :

- calcul des courants et des tensions.
- pour les différents types de défauts.
- pour les configurations d'exploitation donnant les valeurs maximales et minimales.

Ces résultats permettent ensuite de définir si le disjoncteur de protection aura la capacité de couper le courant de court-circuit ?

## **IV.4. Etude et simulation du défaut:**

Le réseau à simuler est représenté par bloc fonctionnel (figure IV.1). Les caractéristiques de ce réseau sont :

- Un générateur.
- Un transformateur.
- Deux lignes  $L_1$  et  $L_2$ .

- Deux charge CH<sub>1</sub> et CH<sub>2</sub>.
- Trois jeu de barres B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> et B<sub>3</sub>.
- temps de simulation = 0,1s .
- durée de court-circuit = 0,03s (de 0,03s a 0,06s).

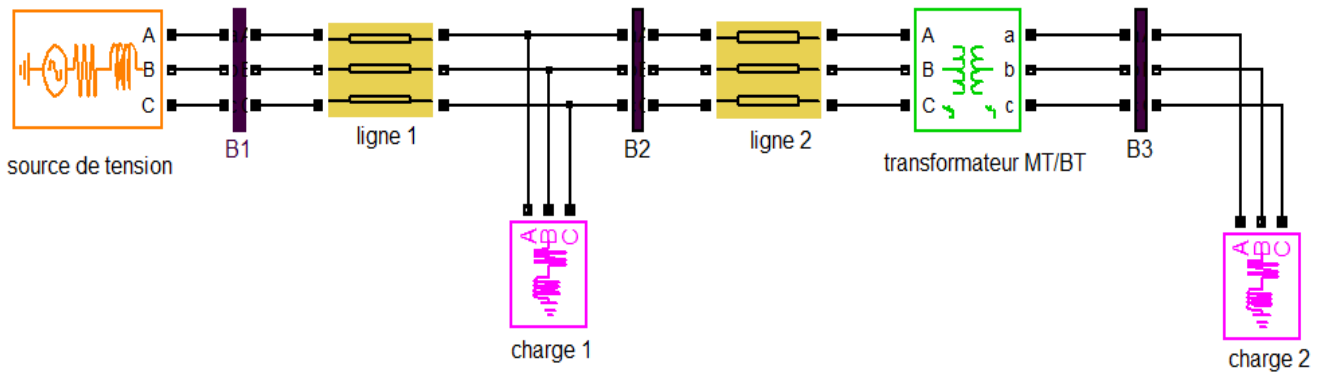


Figure.VI.1. Le schéma global de réseau étudié.

## IV.5. Les résultats de simulation:

### IV.5.1. partie MT:

#### a) Court-circuit monophasé:

On simule un court-circuit monophasé aux niveau de la phase (a).

le court-circuit débute à  $t = 0.03s$  jusqu'à  $0.06s$ .

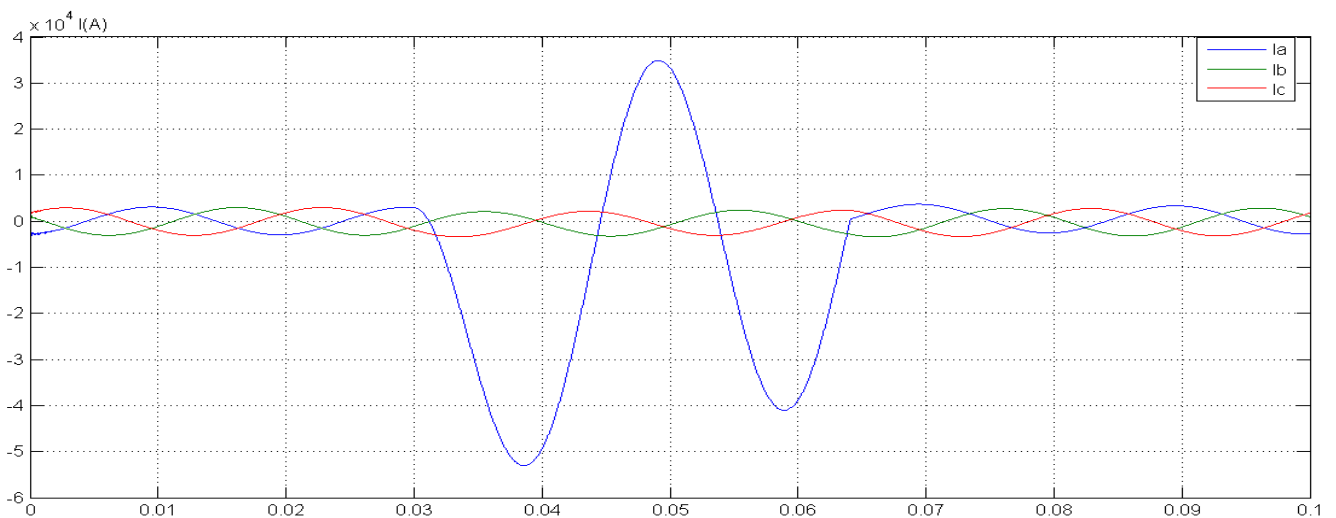


Figure.VI.2. Courants dans la barre 1.

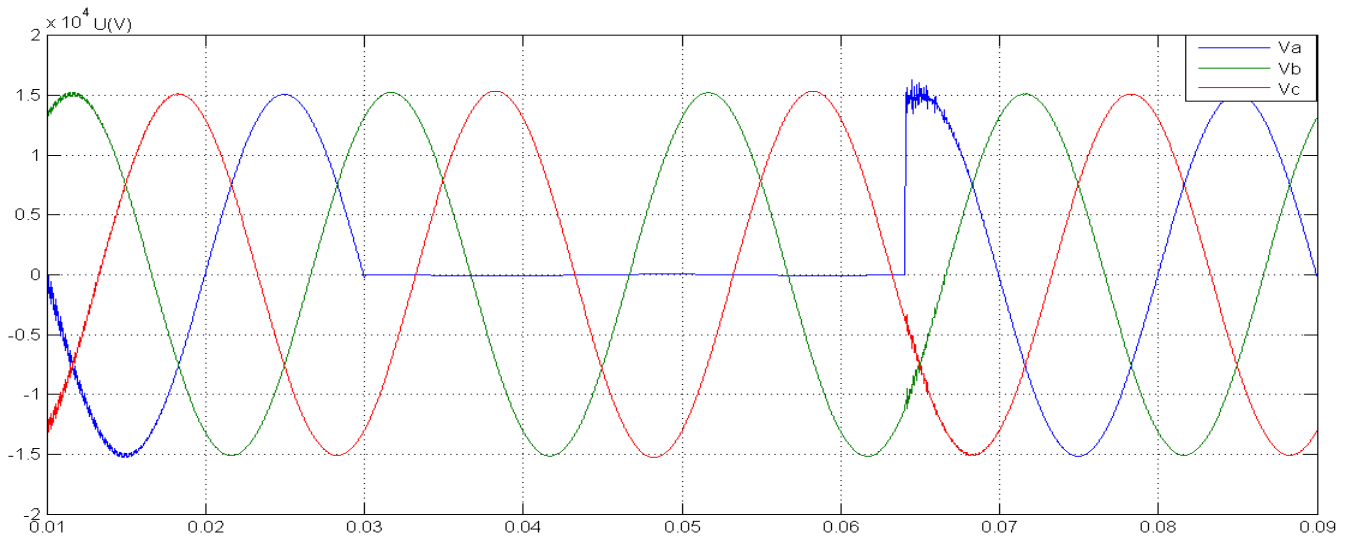


Figure.VI.3. Tension dans la barre 1.

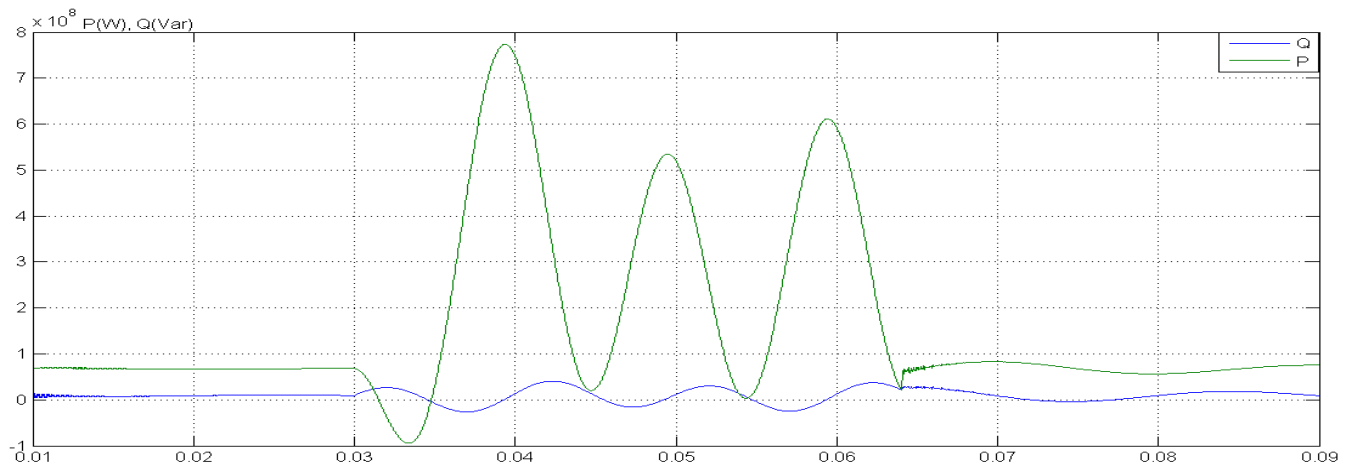


Figure.VI.4. Puissance dans la barre 1.

le court-circuit a lieu pratiquement au maximum de la tension.

Avant le court-circuit, la tension aux bornes de la charge est égale à la tension du réseau d'alimentation. Après l'apparition du court-circuit, la tension de la phase en court-circuit devient nulle.

Le courant de court-circuit est très élevé (plus de 30 kA).

la courbe de la figure VI.4 illustre l'évolution des puissances active et réactive avant, durant période de défaut et après l'application de c-c triphasé.

### b) Court-circuit biphasé (a) et (b):

On étudie  $I_{cc}$  lors d'un court-circuit entre 2 phases (phase a-phase b).

le court-circuit débute à  $t = 0.03s$  jusqu'à  $0.06s$ .

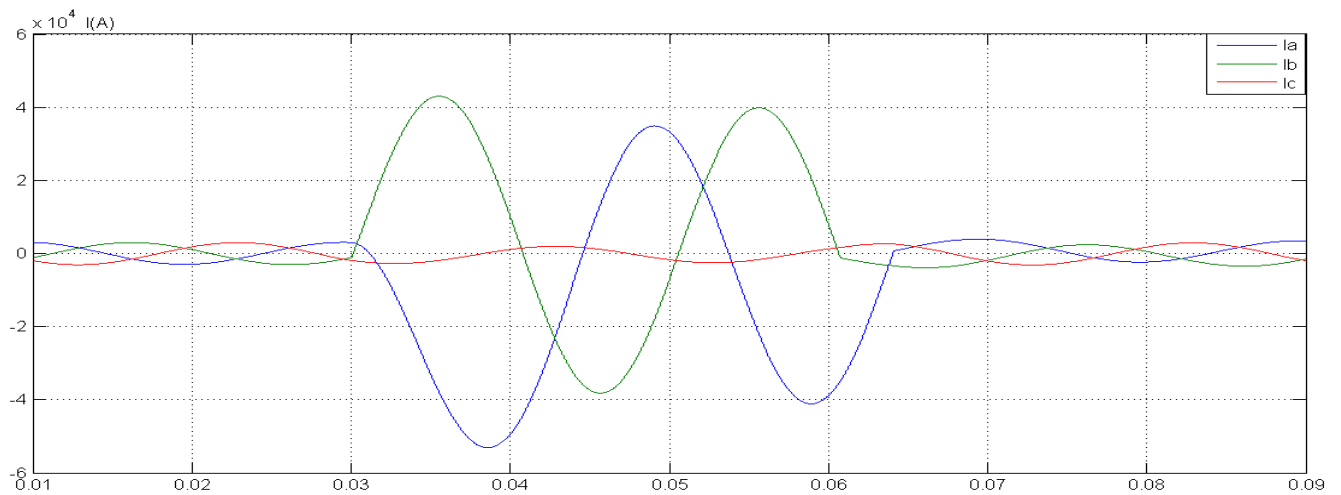


Figure.VI.5. Courante dans la barre 1.

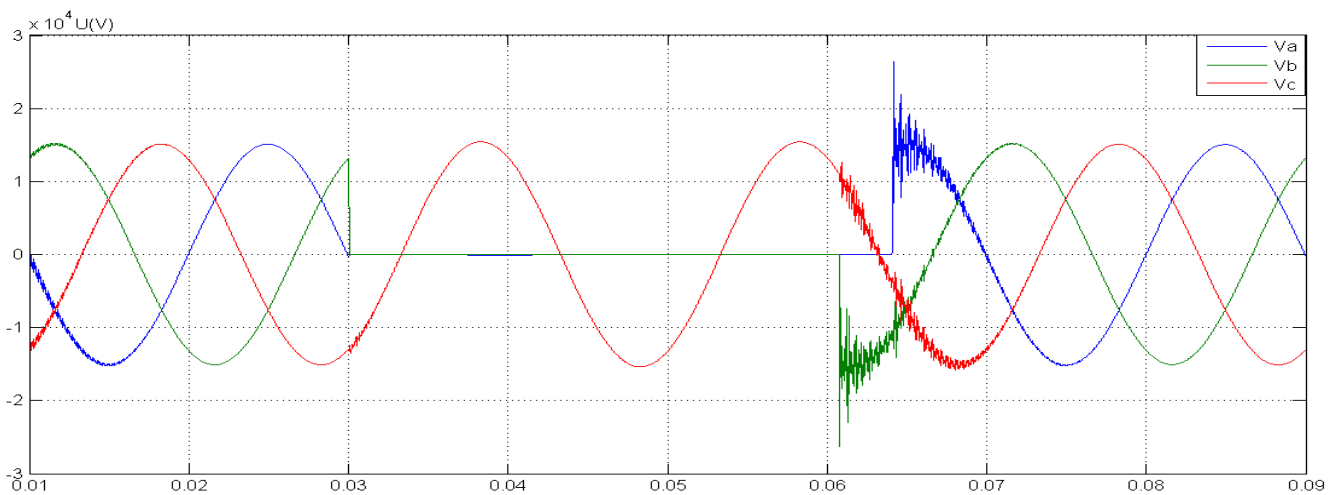


Figure.VI.6. tension dans la barre 1.

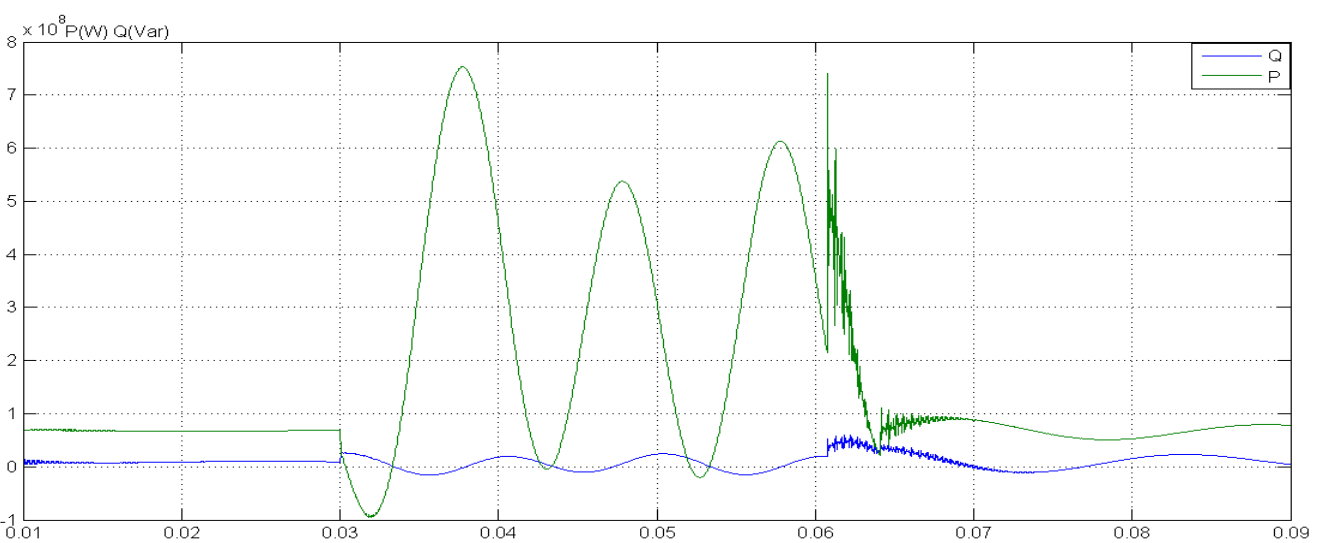


Figure.VI.7. Puissance active et réactive dans la barre 1.

le court-circuit a lieu pratiquement au maximum de la tension.

Après l'apparition du court-circuit, la tension dans la phase (a) et (b) devient nulle.

Le courant de court-circuit est très élevé plus que le courant de court-circuit monophasé (plus de 42 kA).

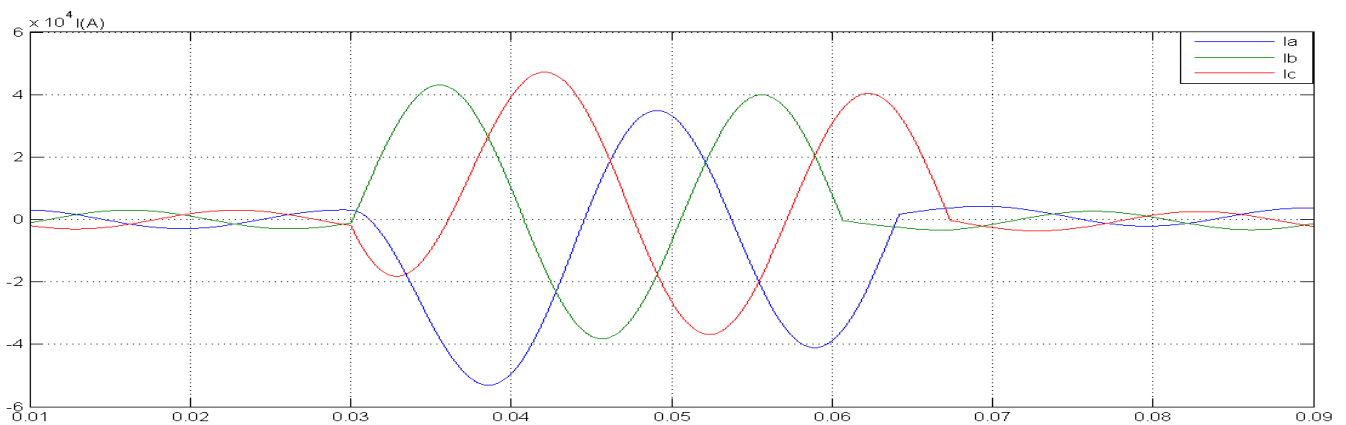
La phase (c) n'est pas affectée par le court-circuit. Les courants de court-circuit  $I_{cca}$  et  $I_{ccb}$  sont en opposition de phase. Le court-circuit est asymétrique ; la valeur crête du courant pour la 1<sup>ère</sup> alternance est d'environ 42kA.

la courbe de la figure VI.7 illustre l'évolution des puissances active et réactive avant, durant période de défaut et après l'application de c-c triphasé.

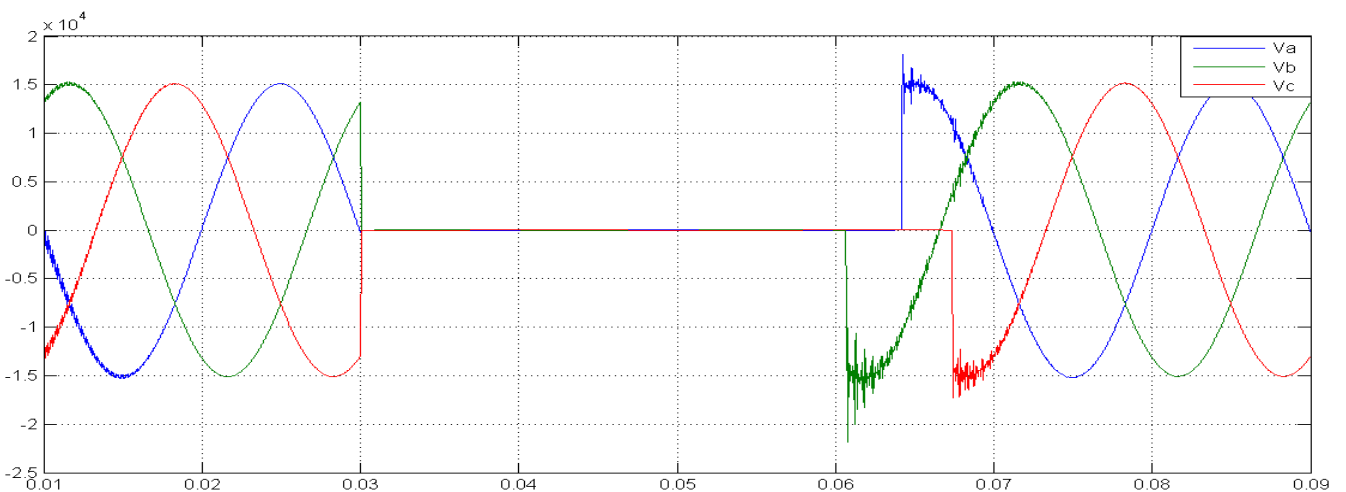
**c).Court-circuit triphasé (a) (b) et (c) :**

On simule un court-circuit triphasé aux borne de la phase (a) , (b) et (c).

le court-circuit débute à  $t = 0.03s$  jusqu'à  $0.06s$ .



**Figure.VI.8. Courants dans la barre 1.**



**Figure.VI.9. Tensions dans la barre 1.**

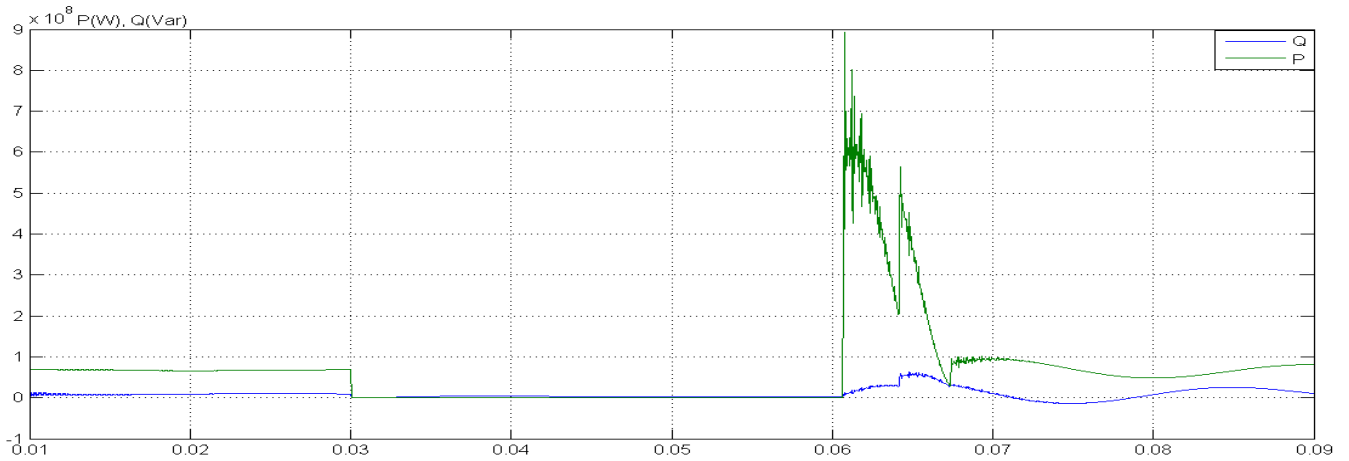


Figure.VI.10. Puissances dans la barre 1.

Les 3 phases sont affectées par le court-circuit. Après l'apparition du court-circuit, la tension dans les phases (a) , (b) et (c) devient nulle.

la valeur crête du courant pour la première alternance est d'environ 45 kA.

la courbe de la (figure VI.10) illustre l'évolution des puissances active et réactive avant, durant période de défaut et après l'application de c-c triphasé.

### IV.5.2. Partie BT:

#### a) Court-circuit monophasé:

On simule un court-circuit monophasé aux niveau de la phase (a)

le court-circuit débute à  $t = 0.03s$  jusqu'à  $0.06s$ .

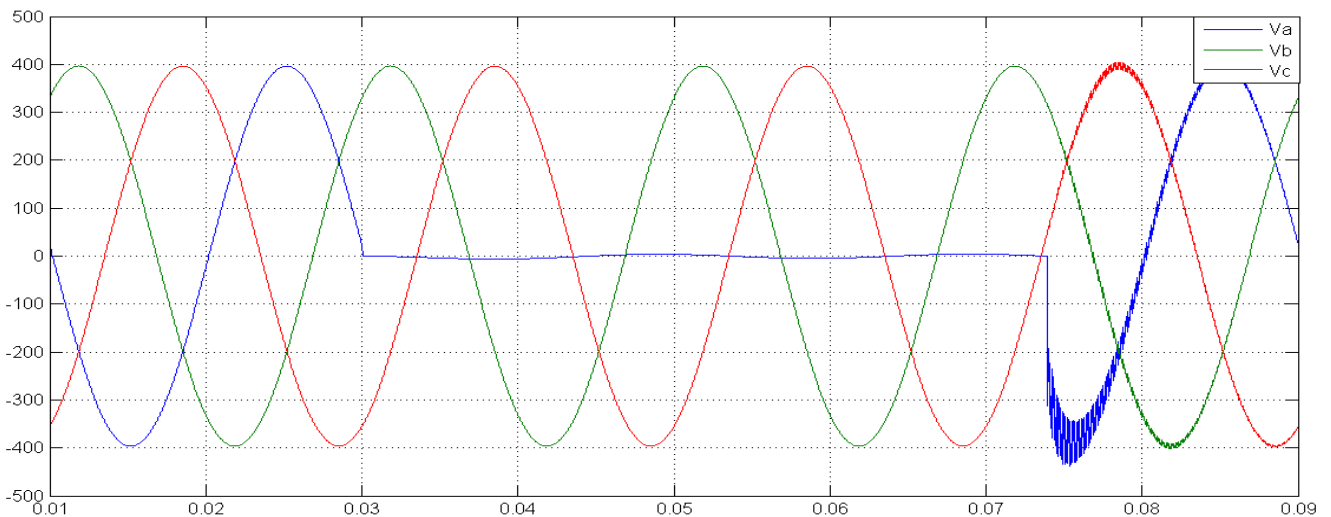


Figure.VI.11. tensions de court-circuit monophasé.

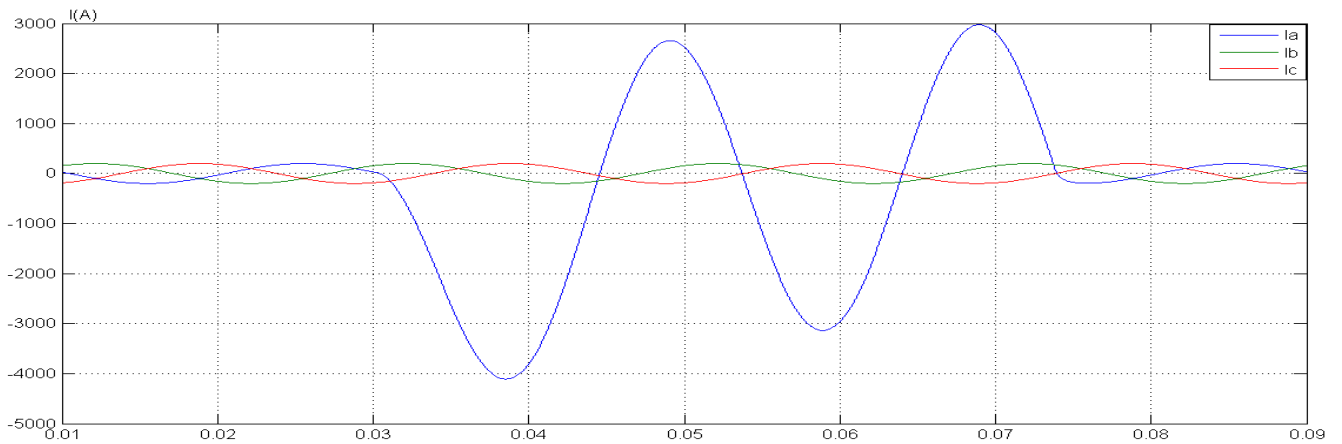


Figure.VI.12.courants de court-circuit monophasé.

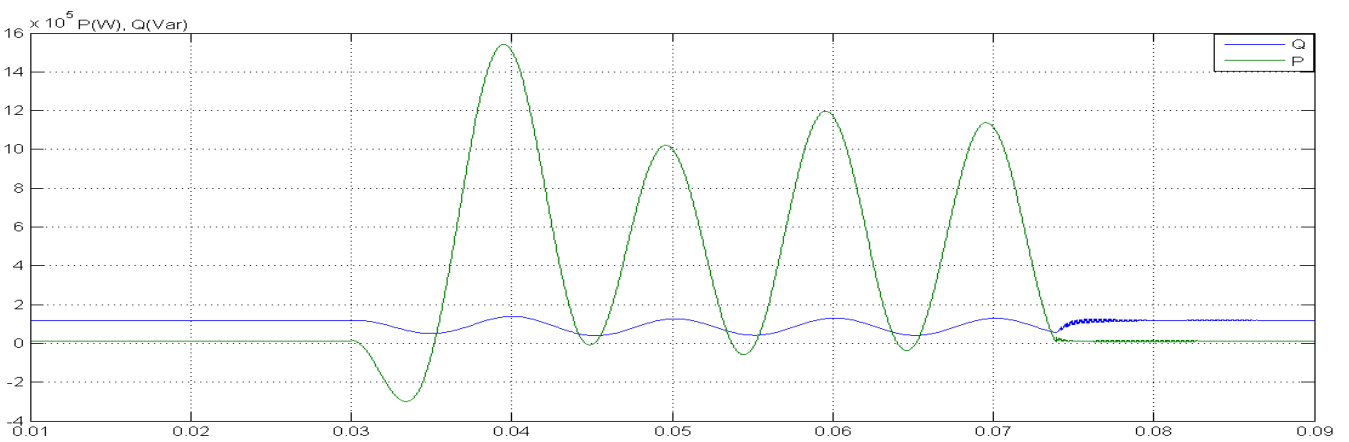


Figure.VI.13. Puissances de court-circuit monophasé.

Avant le court-circuit, la tension aux bornes de la charge est égale à la tension du réseau d'alimentation (400V). Après l'apparition du court-circuit, la tension de la phase en court-circuit devient nulle. Le courant de court-circuit est très élevé (il est de l'ordre de 2.8KA ou plus).

la courbe de la figure VI.13 illustre l'évolution des puissances active et réactive avant, durant période de défaut et après l'application de c-c triphasé.

**b) Court-circuit biphasé (a) et (b):**

On étudie  $I_{cc}$  lors d'un court-circuit entre 2 phases (phase a-phase b).

le court-circuit débute à  $t = 0.03s$  jusqu'à  $0.06s$ .

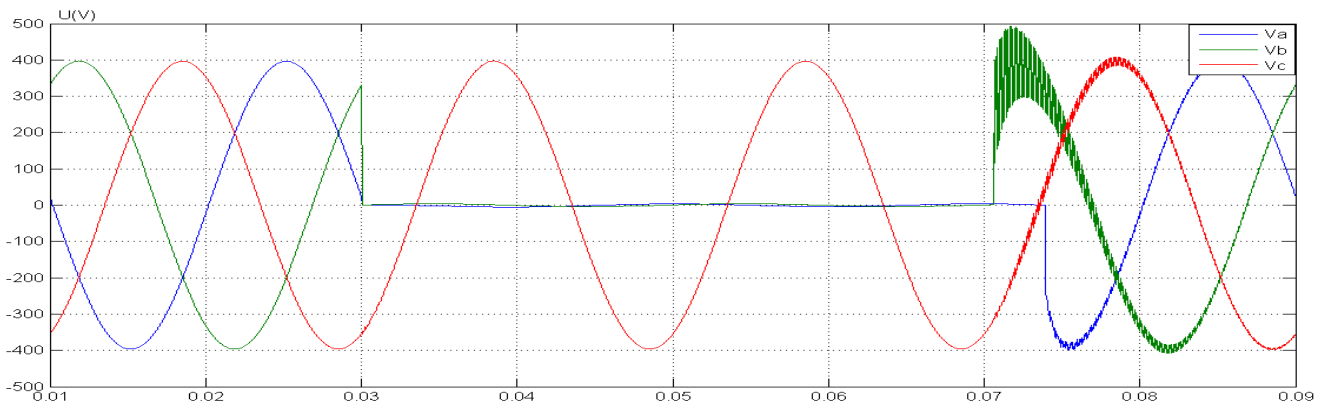


Figure.VI.14. tensions de court-circuit biphasé.

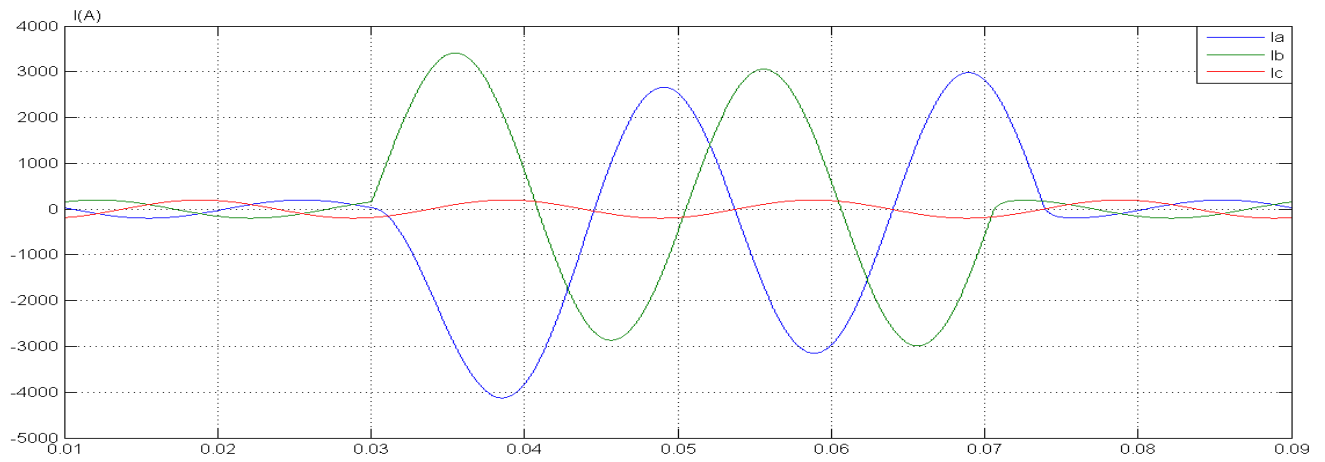


Figure.VI.15. courants de court-circuit biphasé.

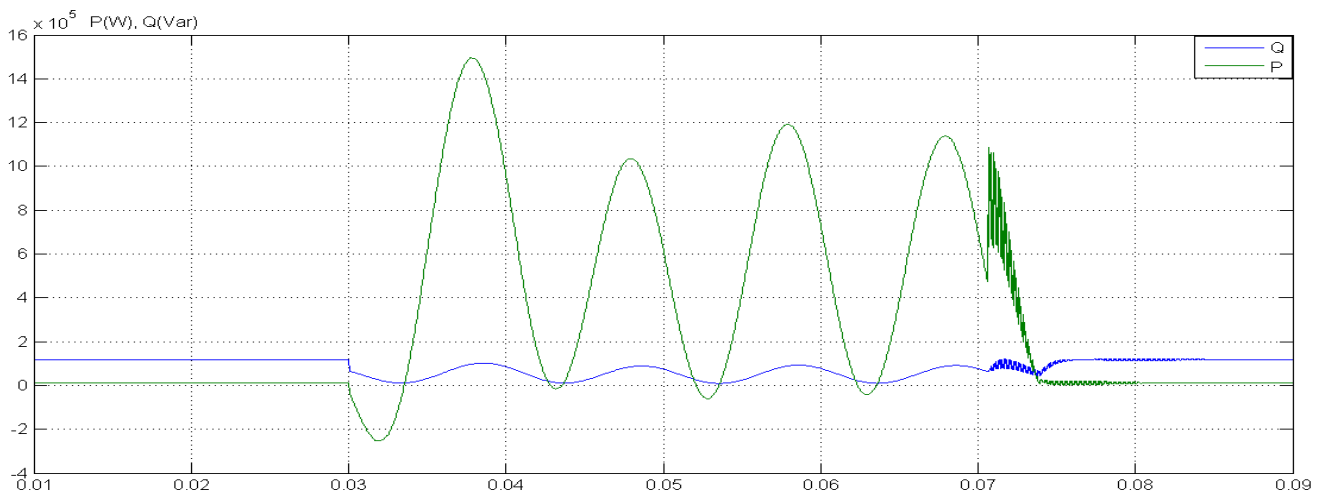


Figure.VI.16. Puissance de court-circuit biphasé.

Après l'apparition du court-circuit, la tension dans la phase (a) et (b) devient nulle.

Le courant de court-circuit est très élevé plus que le courant de court-circuit monophasé (il est de l'ordre de 3.4KA ou plus).

la courbe de la figure VI.16 illustre l'évolution des puissances active et réactive avant, durant période de défaut et après l'application de c-c triphasé.

c) Court-circuit triphasé:

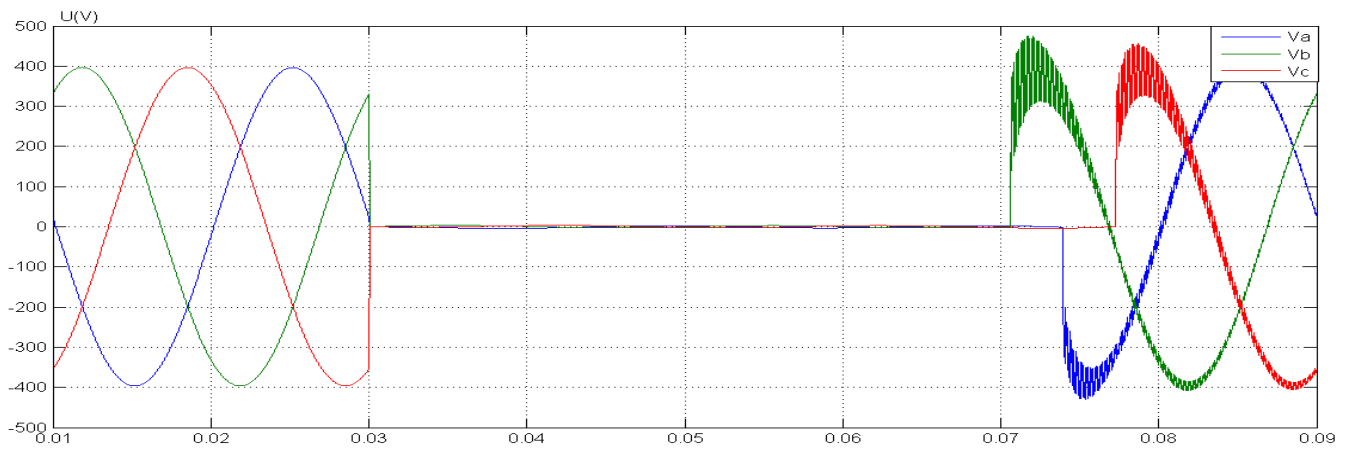


Figure.VI.17. tensions de court-circuit triphasé.

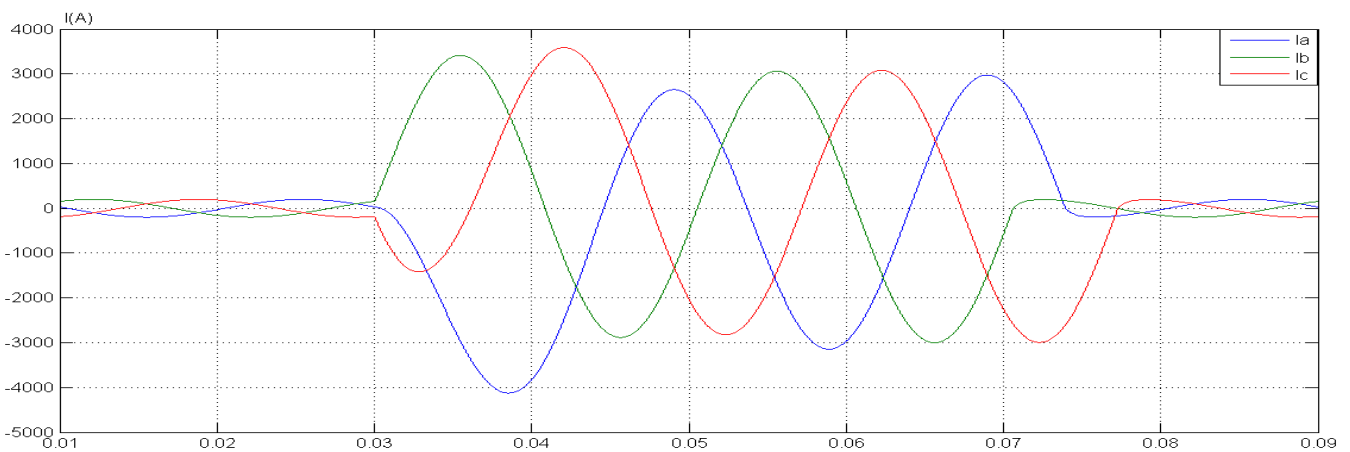


Figure.VI.18. courants de court-circuit triphasé.

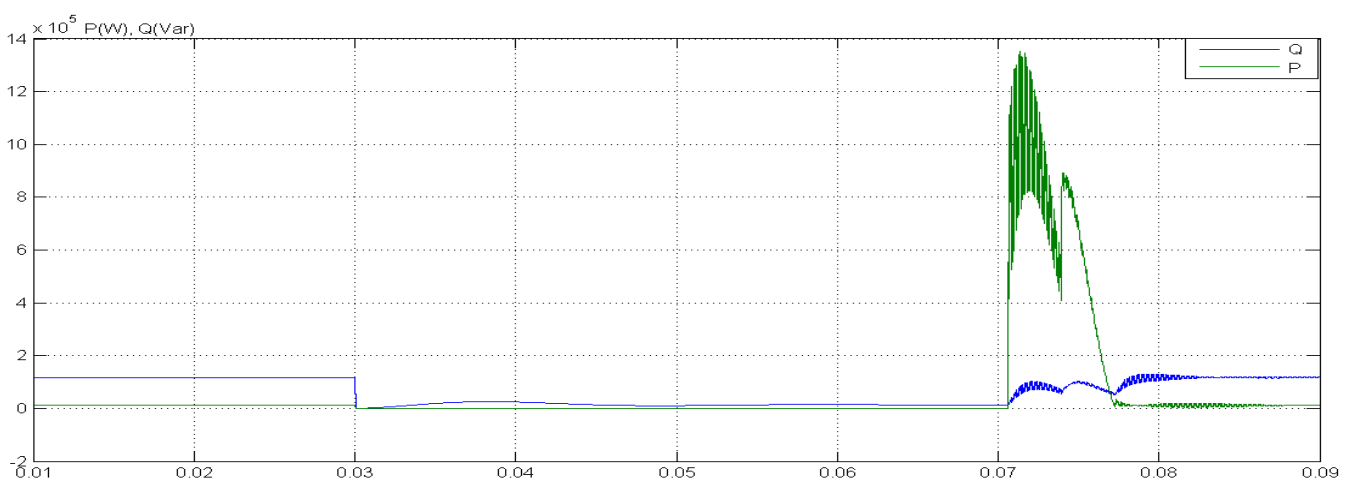


Figure.VI.19. Puissances de court-circuit triphasé.

Les 3 phases sont affectées par le court-circuit. Après l'apparition du court-circuit, la tension dans les phases (a) , (b) et (c) devient nulle.

la valeur crête du courant pour la première alternance est d'environ 3.6 kA.

la courbe de la figure VI.19 illustre l'évolution des puissances active et réactive avant, durant période de défaut et après l'application de c-c triphasé.

### IV.6. Interprétation des résultats obtenus:

#### \*Pour la première partie (MT):

Pour le cas d'un court-circuit monophasé on a trouvé:  $I_{CC} = 40 \text{ kA}$  ;

Dans le cas d'un court-circuit phase-phase :  $I_{CC} = 45 \text{ kA}$  ;

Dans le cas d'un court-circuit triphasé :  $I_{cc} = 50 \text{ kA}$  ;

Donc, après tous ces résultats de simulation, on a constaté que le court-circuit triphasé ( $I_{cc \text{ tri}}$ ) est le défaut plus fréquent et intense que les autres types de courts-circuits; phase-phase ( $I_{cc \text{ ph-ph}}$ ) et monophasé ( $I_{cc \text{ ph}}$ ). Il faut donc choisir le pouvoir de coupure de l'organe de protection (disjoncteur) en fonction de  $I_{cc \text{ tri}}$  :  $I_{cu} > I_{cctri}$

#### \*Pour la deuxième partie (BT):

Pour le cas d'un court-circuit monophasé on a trouvé:  $I_{CC} = 2.8 \text{ A}$  ;

Dans le cas d'un court-circuit phase-phase :  $I_{CC} = 3.4 \text{ kA}$  ;

Dans le cas d'un court-circuit triphasé :  $I_{CC} = 3.6 \text{ kA}$  ;

On voit clairement que ce dernier provoque des petites perturbations sur l'allure des tensions, cela est dû à l'appel important et fréquent de courant de défaut (le système se stabilise après certains temps de régime permanent).

### IV.7. Conclusion:

Tout fonctionnement d'un réseau électrique peut être sujet à l'apparition de défauts se manifestant souvent par des courants élevés de « court-circuit », avec de lourdes conséquences qu'il est nécessaire de savoir gérer au mieux.

Pour le calcul du courant de court-circuit il ya plusieurs méthodes qu'ont été conçues de telle sorte que le courant de court-circuit puisse être calculé à la main ou à l'aide d'un moyen informatique.

La méthode analytique est une méthode relative mais nécessite un temps de calcul important. L'utilisation de la méthode de simulation sous MATLAB/SIMULINK à l'avantage d'être rapide de configurer les défauts de court-circuit.

### **Conclusion générale:**

Le dimensionnement d'une installation électrique et des matériels à mettre en œuvre, la détermination des protections des personnes et des biens, nécessitent le calcul des courants de court-circuit en tout point du réseau. L'objectif poursuivi est de bien faire connaître les méthodes de calcul pour déterminer en toute connaissance de cause les courants de court-circuit, même en cas d'utilisation de moyens informatiques.

Les effets néfastes des courts-circuits sont surtout à redouter sur les réseaux électrique sur lesquels débitent des groupes générateurs de forte puissance .

Les courts-circuits , surtout lorsqu'ils sont polyphasés et proches des centrales, entraînent une rupture de l'équilibre entre celui-ci et le couple moteur ; s'ils ne sont pas éliminés rapidement , ils peuvent conduire à la perte de stabilité de groupes générateurs et à des fonctionnements hors synchronisme préjudiciables aux matériels .

Des temps d'élimination des courts- circuits de l'ordre de 100 à 150 ms sont en général considérés comme des valeurs à ne pas dépasser sur les réseaux électrique.

Les courts- circuits provoquent des surintensités violentes qui, dans le cas de défauts triphasés, peuvent dépasser 20 à 30 fois le courant de service normal.

Les protections contrôlent en permanence l'état électrique du réseau en surveillant un certain nombre de grandeurs électriques caractéristiques (courts, tensions, fréquence.) ou des combinaisons de ces grandeurs (puissances, impédances ,etc.) ; elles peuvent également surveiller la pression d'un fluide ou une température.

L'objectif principal de ce travail est l'étude et le calcul des courants de courts-circuits pour choisir le pouvoir de coupure de l'organe de protection (disjoncteur) en fonction de courant de court-circuit. Et pour pouvoir déterminer les caractéristiques du matériel qui doit supporter ou couper ce courant de court-circuit.

Pour le continuité de ce travail, on propose comme perspective de faire une étude bien détaillée sur l'implantation des limiteurs de courants de défauts dans les réseaux électriques et de voir leurs importance pour limiter l'appel du courant de défaut.

## ***Références bibliographiques***

- [1] M.Boudour ;A.Hellal « *Réseaux électrique ,fondamentaux et concepts de base*»2010
- [2] H. Benchikh El Hocine, « *Les étages Moyenne Tension* », Institut de Formation en Electricité et Gaz (IFEG), Centre Ain M'lila, Groupe SONELGAZ, Avril 2004.
- [3] C. Puret, « *les réseaux de distribution publique MT dans le monde* », Cahier Technique Merlin Gerin 155, septembre1991.
- [4] Merlin Gerin, « *Protection des réseaux électriques* », PozzoGrosMonti – Italie 2003.
- [5] H. BENCHIKH EL HOCINE, « *Protection des réseaux HTA* », Institut de Formation en Electricité et Gaz (IFEG), Centre Ain M'lila, Groupe SONELGAZ, janvier 2011.
- [6] Schneider Electric, «*Posts HTA/BT*», <http://www.iufmrese.cict.fr/liste/Doclidie/poste.pdf>.
- [7] Introduction aux réseaux électriques « *Chapitre I ,Cours Réseaux*».
- [8] Le système de télé conduite du réseau, Groupe SONELGAZ.
- [9] Schneider Electric, «*Protection des réseaux électriques*», janvier 2008.
- [10] Merlin Gerin, « *Protection des réseaux électriques* », PozzoGrosMonti – Italie 2003.
- [11] Schneider Electric, «*Protection des réseaux électriques* », cg 0021fr, Guide de la protection, 2008.
- [12] Schneider Electric, «*distribution moyenne tension* », septembre1999.
- [13] Schneider Electric, « *Les architectures de réseaux* ».
- [14] Schneider Electric, «*Protection des réseaux électriques* », cg 0021fr, Guide de la protection, 2008.
- [15] METZ-NOBLAT, Frédéric DUMAS, Christophe POULAIN, «*Calcul des courants de court-circuit*», CT 158 édition N°158, Cahier Technique Schneider Electric, septembre 2005.
- [16] Cahier Technique Schneider Electric «*Les calculs sur les réseaux électriques BT et HT*»

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DE  
DIPÔLME DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE**

**SPECIALITE :  
RESEAUX ELECTRIQUES**

**Proposé et dirigé par : Mr .BELKHIRI. Salah**

**Présenté par: LAMINE. Miloud**

**Thème:**

**Etude et modélisation des courants de court-circuit dans les réseaux MT/BT**

**Résumé :**

Les réseaux de distribution électriques est une partie essentielle pour l'alimentation en énergie électrique pour les différents consommateurs MT et BT, sont considérés comme des infrastructures hautement critiques pour le développement industriel et économique de pays, mais il y a plusieurs anomalies (chute de tension, court-circuit ...etc.), Les bonnes études des systèmes de protection au réseau de distribution électrique contre les courts-circuits assure à la fois une bonne sécurité des personnes contre les électrisations et des biens contre les effets des tructifs des courants forts sur les câbles, lignes, et transformateur ... etc., ainsi qu'une bonne continuité de service globale du réseau de distribution.

**Mots clés :** Distribution électrique, Moyenne tension , Court-circuit, réseau électrique.

**N° d'ordre :RE 167**

