

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur**  
**et de la Recherche Scientifique**



**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté de Génie Electrique**  
**Département de L'Electrotechnique**



# **Mémoire de fin d'études**

*En vue de l'obtention d'un diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique*  
*Option : Réseaux Electriques*

**THEME**

*Etude des défauts dans un reseau moyenne tension*

**Proposé par:**

**M<sup>r</sup> HOUASSINE .H**

**Présenté par:**

**M<sup>r</sup> Nacer TOUATi.**

**M<sup>r</sup> Tarik AIT RAHMANE**

**M<sup>r</sup> Samir BERKANI**

**PROMOTION : 2008/2009**

# Remerciement

Nous remercions en premier lieu notre dieu de nous donner la santé et la patience pour avoir terminé ce travail.

Nous remercions en particulier notre promoteur Haouacine pour nous avoir suivi et soutenu pour réaliser ce travail. Nous lui exprimons notre gratitude pour sa disponibilité ses précieux conseils et pour le soutien qu'il nous est apportés tout au long de la préparation de ce mémoire.

Nous vifs remerciements vont a monsieur le président, pour l »honneur qu'il nous fait et aux membres de jury pour avoir accepté de corriger et d'évaluer ce travail.

Nous tenons également à remercier a tous qui ont participés de prés ou de loin à l'abortion de ce travail .

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :  
Mes chers parents qui m'ont encouragé et  
veillaient à ce que je réussisse.*

*Mes frères et sœurs chacun par son nom  
Mes grands parents à qui je souhaite une  
longue vie.*

*Mes collègues avec lesquels j'ai partagé ce  
travail (Nacer, Samir).*

*Mes amis en particulier Ali, Karim, M'ha,  
Yassine, Salah, Rabah...*

*À mes amis de la promotion 2008 / 2009*

Tarik

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*Mes chers parents, mes frères, ma sœur et  
toute la famille.*

*Papa -mouloud et Mama-ourida.*

*Mes collègues avec lesquels j'ai partagé ce  
travail (Nacer, Tarik).*

*Mes amis en particulier Tariq, Rachid, et  
Ghania.*

*Cheikh Belik et La troupe de chaabi de la  
maison de la culture Tizi-Ouzou.*

*À mes amis de la promotion 2008 /2009*

*Samir*

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*  
*Mes chers parents qui m'ont encouragé et*  
*veillaient à ce que je réussisse.*

*Mes frères et sœurs chacun par son nom*  
*Mes grands parents à qui je souhaite une*  
*longue vie.*

*Mes collègues avec lesquels j'ai partagé ce*  
*travail (Nacer, Samir).*

*Mes amis en particulier Asif, Karim, M'ha,*  
*Yassine, Salah, Rabah...*

*À mes amis de la promotion 2008 / 2009*

*Nacer*

# Sommaire

INTRODUCTION GENERALE .....	1
CHAPITRE I : ETUDE DE LA STRUCTURE DE RESEAU ELECTRIQUE .....	2
I.1 Introduction .....	2
I.2 La ligne de transport d'énergie .....	2
I.2.1 Les conducteurs .....	2
I.2.2 Les isolateurs .....	2
I.2.3 Les pylônes .....	2
a-Pylônes d'alignement .....	2
b-Pylônes d'ancrage .....	3
c-Pylônes d'angle .....	3
I.2.4 Fil de garde .....	4
I.2.5 Transformateur .....	4
I.2.5.1 Définition d'un transformateur .....	4
I.2.5.2 Le rôle des transformateurs de puissance .....	4
I.2.5.3 Domaine d'utilisation des transformateurs de puissance .....	5
I.2.5.4 Construction générale d'un transformateur .....	5
I.2.5.4.1 Les enroulements .....	5
I.2.5.4.2 Le noyau .....	6
I.2.5.4.3 La cuve .....	6
I.2.5.4.4 Le couvercle de la cuve et isolateur de sortie .....	6
I.2.5.5 Le refroidissement d'un transformateur .....	7
I.2.5.5.1 Le refroidissement à ventilation forcée .....	7
I.2.5.5.2 Le refroidissement à circulation forcée de l'huile .....	7
I.2.5.6 Les défauts dans les transformateurs .....	7
a- Electrique .....	7
b- Diélectrique .....	7
c- Electrodynamique .....	7
d- Thermique .....	7
e- Mécanique .....	7
I.2.5.7 Entretien des transformateurs .....	8
I.3 Conclusion .....	8
CHAPITRE II : LES DISJONCTEURS .....	9
Introduction .....	9
II.1 Définition .....	9
II.2 Composition du disjoncteur .....	9
➤ des pièces enveloppes .....	9
➤ des pièces spécifiques .....	9
➤ d'ensembles variables .....	10
➤ de pièces de finition .....	10

II.3 Fonctions assurées par le disjoncteur .....	10
II.3.1. Protection contre les surcharges .....	10
II.3.2. Protection contre les courts-circuits .....	11
II.4 Caractéristiques principales d'un disjoncteur .....	12
II.4.1 La tension assignée ( $U_e$ ).....	12
II.4.2. Le courant de réglage ( $I_n$ ) .....	12
II.4.3 Le courant de réglage ( $I_r$ ) .....	12
II.4.4 Le courant de fonctionnement ( $I_m$ ) .....	12
II.4.5 Le pouvoir de coupure ( $P_{dc}$ ) .....	13
II.5 Courbe de déclenchement .....	13
II.5.1. Courbe de déclenchement du relais thermique .....	13
II.5.2. Courbe de déclenchement du relais magnétique .....	13
II.5.3. Courbe de déclenchement complète .....	14
II.6 Choix des disjoncteurs .....	14
II.7 Différents types des disjoncteurs .....	14
II.7.1 Disjoncteurs SF6 .....	14
II.7.1.1 Disjoncteur auto-pneumatique .....	15
II.7.1.1.1 Principe des disjoncteurs auto-pneumatiques.....	15
II.7.1.2 Caractéristiques des disjoncteurs SF6 .....	16
II.7.2 Disjoncteur à air comprimé .....	16
II.7.3 Disjoncteur à l'huile .....	17
II. 8 Conclusion .....	18
CHAPITRE III : METHODES DES COMPOSANTES SYMETRIQUES .....	19
III.1 Introduction .....	19
III.2 Méthode de calcul .....	19
a- Système direct .....	19
b- Système inverse .....	19
c- Système homopolaire .....	19
III.3 Calcul des réseaux ayant des charges asymétriques .....	24
III.3.1 L'asymétrie transversale .....	24
III.3.2 L'asymétrie longitudinale .....	24
1- asymétrie transversale .....	24
2- Asymétrie longitudinale .....	29
III.4 Calcul des courts-circuits monophasé mis à la terre .....	32
III.4.1 construction du diagramme vectoriel .....	34
III.5 Calcul des courants des courts-circuits biphasés ayant contacte avec la terre .....	34
III.5.1 Construction du diagramme vectoriel .....	36
III.6 Calcul des courants de court-circuit sans contact avec la terre.....	36
III.6.1 Construction du diagramme vectoriel .....	38
III.7 Calcul (des courants dans le cas d'une ligne est coupée) d'un régime asymétrique longitudinal .....	38
III.8 Généralisation du calcul de court-circuit .....	40
a) monophasée.....	40
b) biphasée sans contact avec la terre.....	40

c) biphasée ayant un contact avec la terre .....	40
d) dans le cas court circuit triphasé .....	40
III.9 Les impédances homopolaires dans des éléments du réseau électrique.....	41
III.10 Impédance homopolaire des alternateurs .....	41
III.11 Conclusion.....	42
CHAPITRE IV : APPLICATION ET DISCUSSION DE RESULTATS .....	43
IV.1 Introduction .....	43
IV.2 La discrétion du réseau à étudier .....	43
IV.3 Méthodes de calculs .....	44
IV.3.1 Simulation sous le logiciel MATLAB/Simulink .....	44
IV.3.1.1 Essai à vide.....	45
IV.3.1.1.1 Courant et tension de défaut biphasé de la première ligne .....	46
IV.3.1.1.2 Influence du défaut biphasé de la première ligne sur la deuxième et troisième ligne .....	47
IV.3.1.1.3 Courant et tension de défaut triphasé de la première ligne .....	49
IV.3.1.1.4 Influence de défaut triphasé de la première ligne sur la deuxième et la troisième ligne .....	50
IV.3.1.2.1 courant et tension de défaut biphasé de la deuxième ligne .....	52
IV.3.1.2.2 Influence du défaut biphasé de la deuxième ligne sur la première et troisième ligne .....	53
IV.3.1.2.3 Courant et tension de défaut triphasé de la deuxième ligne.....	55
IV.3.1.2.4 Influence de défaut triphasé de la deuxième ligne sur la première et troisième ligne .....	56
IV.3.1.3.1 Courant et tension de défaut biphasé de la troisième ligne.....	58
IV.3.1.3.2 Influence du défaut biphasé de la troisième ligne sur la première et deuxième ligne.....	59
IV.3.1.3.3 Courant et tension de défaut triphasé de la troisième ligne .....	61
IV.3.1.3.4 Influence de défaut triphasé de la troisième ligne sur la première et la deuxième ligne.....	62
IV.3.1.2 Essai en charge.....	65
IV.3.1.2.1 Courant et tension de défaut biphasé de la première ligne .....	66
IV.3.1.2.1.2 Influence du défaut biphasé de la première ligne sur la deuxième et troisième ligne.....	67
IV.3.1.2.1.3 Courant et tension de défaut triphasé de la première ligne.....	69
IV.3.1.2.1.4 Influence de défaut triphasé de la première ligne sur la deuxième et la troisième ligne .....	70
IV.3.1.2.2.1 courant et tension de défaut biphasé de la deuxième ligne .....	72
IV.3.1.2.2.2 Influence du défaut biphasé de la deuxième ligne sur la première et troisième ligne .....	73
IV.3.1.2.2.3 Courant et tension de défaut triphasé de la deuxième ligne.....	75
IV.3.1.2.2.4 Influence de défaut triphasé de la deuxième ligne sur la première et troisième ligne .....	76
IV.3.1.2.3.1 Courant et tension de défaut biphasé de la troisième ligne.....	78
IV.3.1.2.3.2 Influence du défaut biphasé de la troisième ligne sur la première et deuxième ligne.....	79
IV.3.1.2.3.3 Courant et tension de défaut triphasé de la troisième ligne .....	81
IV.3.1.2.3.4 Influence de défaut triphasé de la troisième ligne sur la première et la deuxième ligne.....	82
IV. 3.2 Méthode Analytique.....	85

IV.3.3 Comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes.....	87
IV.3.4 Comparaison des résultats.....	92
IV.4 Conclusion .....	92
CONCLUSION GENERALE .....	93

*INTRODUCTION*  
*GÉNÉRALE*

## INTRODUCTIN GENERAL

L'énergie électrique, occupe une place fondamentale dans la vie quotidienne, et joue un rôle primordiale pour le bien être de l'humanité .Il suffit d'appuyer sur un interrupteur et l'énergie et là instantanément, prévenant d'une centrale de production située peut être à plusieurs centaines de Kilomètre.

La fonction principale d'un réseau électrique est d'acheminer l'énergie des centres de production jusqu'aux consommateurs. La fourniture d'électricité, en ce qui concerne la sûreté et la disponibilité, constitue un point clef de la gestion des réseaux électriques. Ceci est particulièrement vrai pour les réseaux de distribution, lien entre les réseaux de transport et de répartition et les consommateurs.

Le réseau électrique est un ensemble d'équipement qui sont fréquemment exposés à des risques de différentes natures, telles que la surtension et la surintensité, qui peuvent causées des grandes pertes et des perturbations sur le réseau.

La surintensité est l'un des problèmes qui influe négativement sur les réseaux en soumettant à un comportement transitoire néfaste, pour cela, on doit prévenir une protection plut fiable.

Dans les réseaux électriques, il existe plusieurs types de défauts (polyphasés ou monophasés). Lors de l'occurrence de ces défauts, les exploitants doivent avoir connaissance de l'existence du défaut, l'isoler et le réparer le plus rapidement possible pour réalimenter les clients.

Pour ce faire on a repartie notre travail comme suit :

Le premier chapitre, traite les généralités sur les réseaux électriques qui assure le lien entre les sites de productions et les différents points de consommations, en exposant les différents éléments constituant ces réseaux ; les lignes, les conducteurs, les pylônes ...

Le deuxième chapitre est réservé à la définition des disjoncteurs, leurs principes de fonctionnement et les différents types des disjoncteurs.

Le troisième chapitre est consacré à la description de la méthode des composantes symétriques pour calculer les différents types de défauts.

Dans le dernier chapitre portera sur l'analyse, discussions et la comparaison entre les résultats de la méthode analytique à celle de la méthode de simulink.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus et les perspectives pour les travaux ultérieurs.



# *CHAPITRE I*

## **I.1 Introduction :**

Le rôle des réseaux électriques est d'assurer de façon permanente une liaison entre les centrales de productions et les lieux de consommation.

Ces réseaux électriques sont constitués de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tensions connectées entre elles dans des postes électriques, dans ce qui suit nous présentons des différents éléments constituant la structure d'un réseau électrique.

## **I.2 La ligne de transport d'énergie :**

### **I. 2.1 Les conducteurs : [1]**

Les lignes de transport d'énergie possèdent trois conducteurs pour les trois phases .afin de limiter les pertes de puissances par effet couronne, pour une phase on peut trouver un faisceau de deux à trois conducteurs à la place d'un conducteur simple. Les conducteurs utilisés sont en Aluminium ou en Alliage Aluminium acier.

### **I.2.2 Les isolateurs : [1]**

Les conducteurs des lignes aériennes doivent être fixés au support par l'intermédiaire des isolateurs qui sont réalisés en verre ou en porcelaine. Généralement, les isolateurs ont la forme d'une assiette. Ces derniers sont associés entre eux pour former une chaîne d'isolateurs.

Les isolateurs doivent présenter une rigidité diélectrique suffisante pour tenir la tension de service sans qu'ils produisent ni percement de l'isolation ni arc de contournement.

### **I.2.3 Les pylônes :**

Un pylône électrique est un support vertical portant les conducteurs d'une ligne de transport d'énergie, qui sont tendus dans les deux portées adjacentes de pylône. [2]  
On distingue plusieurs catégories de pylônes :

#### **a- Pylônes d'alignement :**

Ce sont des pylônes placés successivement au long de la ligne, sur lesquels les conducteurs sont suspendus (les conducteurs ne sont pas fixes).

### **b- Pylônes d'ancrage : [2]**

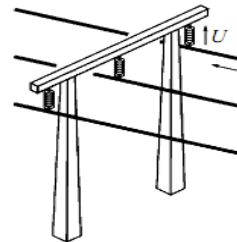
En cas de rupture d'un ou plusieurs conducteurs d'une portée, les pylônes successifs pourraient s'incliner (ou même se renverser) de proche en proche. Il faudrait donc prévoir de distance en distance des pylônes d'ancrage, sur lesquels les conducteurs sont fixes. C'est pour cette raison que ce type de pylône a une grande rigidité, capable de supporter la tension mécanique de tous les conducteurs d'une portée.

### **c- Pylônes d'angle : [1]**

Les pylônes d'angle doivent posséder une rigidité suffisante, surtout dans le sens bissectrice des deux directions prise par les conducteurs.



**Figure-I-1 Pylône d'ancrage**



**Figure-I-2 : Pylône d'alignement**

On utilise trois matériaux pour la constitution des pylônes de lignes aériennes : le bois, le béton et l'acier. Actuellement, l'acier est le matériau le plus utilisé. On distingue deux catégories de pylônes fabriqués à base de ce dernier. La première ayant des conducteurs disposés en même niveau, la seconde ayant des conducteurs étagés.

Dans la première catégorie on trouve les types suivants : [1]

- pylônes à nappe horizontale
- pylônes de type chat

Dans la deuxième catégorie on a :

- pylône triangle
- pylône drapeau
- pylône double triangle

#### **I.2.4 Fil de garde : [3]**

Les câbles de garde sont destinés pour la protection des lignes contre les coups de foudres. Ce sont des conducteurs en acier, de faible section, situés au dessus des conducteurs de phases et reliés à la terre par l'intermédiaire des pylônes. Ils constituent une protection efficace contre le foudroiement des lignes aériennes, leur mission est de capter les coups de foudres.

#### **I.2.5 Transformateur :**

Le transformateur de puissance est l'un des plus importants éléments constituant les centrales et les postes électriques. Il joue un rôle fondamental dans le transport et la distribution de l'énergie électrique.



**Figure -I- 3 : Transformateur**

##### **I.2.5.1 Définition :**

Un transformateur est un quadripôle formé de deux enroulements enlaçant un circuit magnétique commun. C'est une machine statique permettant, en alternatif, la modification de certaines grandeurs (tension, courant) sans changer leur fréquence.

### **I.2.5.2 Le rôle des transformateurs de puissance :**

C'est l'existence des transformateurs statiques qui est à la base de la généralisation planétaire de la distribution de l'électricité sous forme de courant alternatif. Ils permettent en effet, très économiquement, de minimiser les pertes en ligne, en assurant le transport de l'énergie à longue distance sous tension élevée, puis d'abaisser ensuite cette tension, étape par étape, pour alimenter les réseaux de distribution régionale et locale, jusqu'à la tension d'alimentation qui est de 220 V entre phase et neutre (380 V entre phases).

### **I.2.5.3 Domaine d'utilisation des transformateurs de puissance :**

On utilise un transformateur de puissance dans les cas suivants :

- Liaison entre les gros alternateurs des centrales thermiques ou hydrauliques et les réseaux de haute tension sur lesquels ils débitent.
- Alimentation des services auxiliaires des centrales thermiques ou hydrauliques.
- Liaison entre les réseaux HT, MT et BT.
- Dans les postes de distributions pour alimenter des charges. [4]

### **I.2.5.4 Construction générale d'un transformateur :**

Un transformateur se compose des parties principales suivantes

- les enroulements.
- le noyau.
- la cuve
- le couvercle de la cuve et l'isolement de sortie.

#### **I.2.5.4.1 Les enroulements : [5]**

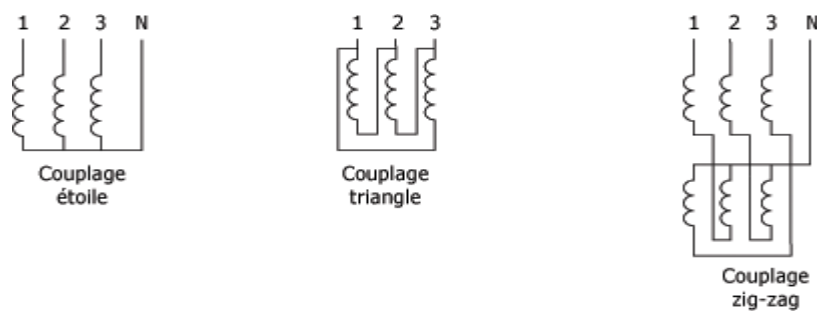
Les enroulements sont distincts, leurs nombres de spires sont différents, l'enroulement qui comporte le plus de spires est pour la haute tension, l'autre est pour la basse tension avec

des sections de fil différentes, ces enroulements doivent satisfaire plusieurs exigences par la C.I.E dont les plus importantes sont :

- l'enroulement doit être économique.
- le régime thermique de l'enroulement doit correspondre aux exigences de la norme. L'enroulement doit présenter une rigidité diélectrique nécessaire pour supporter les surtensions.

- l'enroulement doit résister aux contraintes naissant lors d'un court-circuit (électrodynamique).

Les enroulements d'un transformateur triphasé peuvent être connectés en étoile avec le neutre isolé ou mis à la terre, ou bien en triangle.



**Figure -I- 4 : couplage des enroulements de transformateur**

#### I.2.5.4.2 Le noyau : [5]

Le noyau du transformateur est constitué d'un matériau magnétique, utilisé sous forme de tôles mince isolées les unes des autres faisant un circuit magnétique fermé.

Ces tôles sont souvent des alliages fer-silicium<sup>3</sup> avec une teneur en silicium qui peut aller jusqu'à 3%.

Le circuit magnétique d'un transformateur est constitué d'un empilage des couches d'acier de 0.35 à 0.5mm d'épaisseur isolées entre elles par de papier ou de vernis. En générale, les transformateurs de grandes puissances (plus de 100kVA), leurs tôles est de 0.5mm d'épaisseur.

Dans les transformateurs triphasés à très grandes puissance, le noyau à trois colonnes principales sur lesquelles sont placés les enroulements et de deux colonnes supplémentaires

sans enroulement sont situées latéralement pour assurer la symétrie du noyau entre trois phases.

#### **I.2.5.4.3 La cuve : [4]**

La construction de la cuve est liée au calcul thermique du transformateur, en générale, la cuve du transformateur de puissance est de forme ovale, installée sur un chariot avec galets prévu pour supporter le poids total de transformateur.

#### **I.2.5.4.4 Le couvercle de la cuve et isolateur de sortie : [4]**

Le couvercle est un élément important où sont placées plusieurs pièces telles que :

- Les isolateurs de sortie des phases des enroulements.
- Le réservoir d'huile
- Le tube d'évacuation.

#### **I.2.5.5 Le refroidissement d'un transformateur : [6]**

Lors de son fonctionnement, un transformateur est le siège de perte d'énergie, dont la plus grande partie est localisée dans deux éléments principaux.

- Le circuit magnétique ou elles sont causées par la variation du flux alternatif dans les tôles magnétiques, et dépendent de l'induction, c'est-à-dire de la tension appliquée.

- Les enroulements ou elles sont dues en grande partie à l'effet Joule, mais aussi au courant de Foucault, et dépendent du courant, c'est-à-dire de la charge.

Pour les transformateurs à basse et moyenne tension, on utilise le refroidissement naturel (l'air). La circulation de l'air est libre, ou bien activée par des ventilations.

Pour les transformateurs à puissance élevée la chaleur dégagée doit être dissipée par un transfert au milieu ambiant nécessitant la mise en œuvre des moyens de refroidissements.

##### **I.2.5.5.1 Le refroidissement à ventilation forcée : [6]**

L'échange de chaleur est activé par la mise en œuvre des ventilations qui soufflent l'air frais sur les parois de la cuve.

### **I.2.5.5.2 Le refroidissement à circulation forcée de l'huile :**

La circulation d'huile diminue la viscosité de l'huile et augmente sa vitesse dans les radiateurs.

### **I.2.5.6 Les défauts dans les transformateurs :**

Ils peuvent être de natures différentes :

- a-** Electrique : mauvaise contacte dans les connections et les changeurs de prise.
- b-** Diélectrique : amorçage et décharge partielle entre les enroulements des phases, entre les différentes parties d'un enroulement, ou bien entre l'enroulement et la masse.
- c-** Electrodynamique : effort dû à un court-circuit interne ou externe.
- d-** Thermique : échauffement anormal, vieillissement des isolations, pollution de l'huile.
- e-** Mécanique : vibrations, fuites, fonctionnement défectueux du changeur de prise.

### **I.2.5.7 Entretien des transformateurs**

- a. Nettoyage des isolateurs.
- b. Nettoyage des réfrigérateurs.
- c. Vérification du niveau d'huile dans le réservoir.
- d. Mesure du niveau de bruit.

## **I.3. Conclusion**

D'après ce qui a été évoqué dans ce chapitre, on constate que le maillon fort de la chaîne reliant les sources de production et de consommation est le transformateur. Etant donné que le réseau est sujet de beaucoup de perturbations entre autre les courts-circuits donc il est indispensable de mettre en œuvre des appareils de protection contre ces défauts afin de protéger les différents organes des réseaux électriques (transformateur...), la présentation des différents types de disjoncteurs utilisés dans les réseaux moyenne Tension, feront l'objet du prochain chapitre.

# *CHAPITRE II*

## Introduction :

Les lignes de transport d'énergie électrique constituent une partie essentielle d'un réseau électrique qui doit assurer la continuité de l'alimentation en électricité aux consommateurs. Ce qui n'est pas toujours le cas, car ces lignes de transport sont souvent exposés à des incidents ou défauts qui peuvent interrompre ce service et engendrer des pertes financières importantes pour les industriels et des désagréments pour les consommateurs.

Avant d'aborder les différentes méthodes utilisées dans l'analyse des défauts qui apparaissent sur les lignes de transport d'énergie électrique, nous allons présenter les différents types de disjoncteurs.

### II.1 Définition : [7]

Le disjoncteur est un appareil électromagnétique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales, mais surtout dans celles dites «anormales » c'est-à-dire :

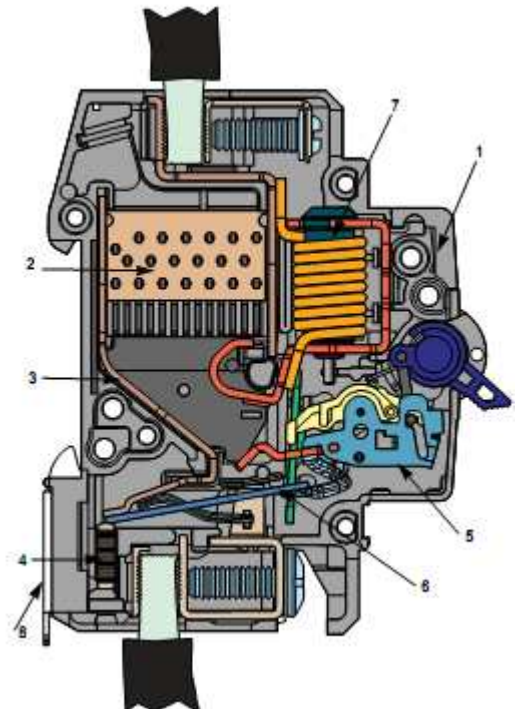
- surcharge
- court-circuit

Il s'ouvre automatiquement. Après élimination du défaut, il suffit de le réarmer par une action manuelle sur la manette.

### II.2 Composition du disjoncteur. [8]

Il est constitué :

- des pièces « enveloppes » :
  - coquille (1)
  - couvercle
- des pièces spécifiques :
  - chambre de coupure (2)
  - tôle d'arc (3)
  - vis de réglage (4)
  - sous-ensemble serrure (5)



- d'ensembles variables :
  - sous-ensemble thermique (6)
  - sous-ensemble magnétique (7)
- de pièces de finition :
  - clip de marquage
  - ressort et loquet bistable(8)

La position bistable du loquet facilite le montage et démontage du disjoncteur sur le rail.

### II.3. Fonctions assurées par le disjoncteur

#### II.3.1. Protection contre les surcharges. [8]

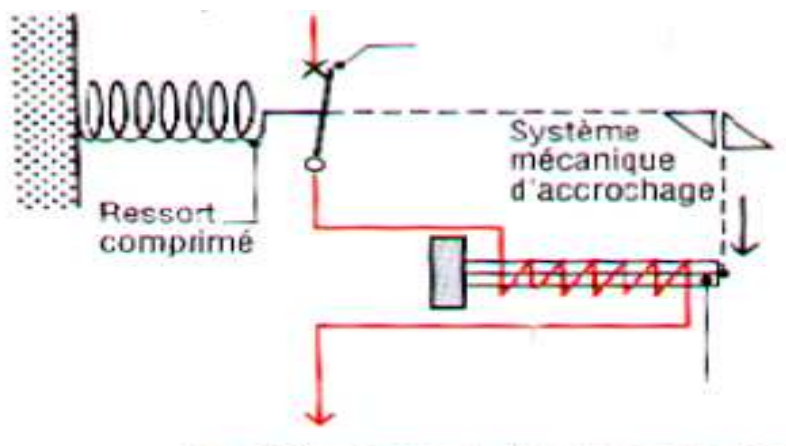
La protection contre les surcharges est assurée par la coupure du circuit qui doit intervenir avant un échauffement anormal de la canalisation.

C'est le rôle des déclencheurs thermique qui peuvent détecter de faibles surcharges.

Le principe de fonctionnement est analogue à celui du relais thermique.

La protection contre les surcharges est assurée par le déclencheur thermique, dont le principe de fonctionnement est basé sur la différence de dilatation de deux lames de métal. L'une ayant un coefficient de dilatation petit et l'autre très élevé.

**Disjoncteurs :**

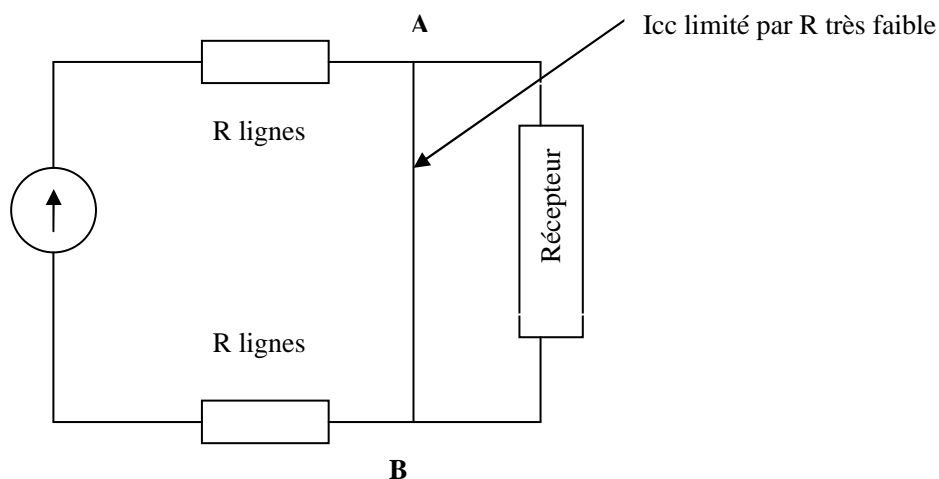


**Fig.II.1 : Fonctionnement de la protection contre les surcharges**

En cas de surcharge, le bilame se déforme et entraîne dans le sens de la flèche le système d'accrochage qui libère la partie pôle de coupure. Le ressort qui était comprimé se détend et provoque une coupure brusque du circuit électrique. La coupure n'est pas instantanée.

### II.3.2. Protection contre les courts-circuits. [9]

C'est le rôle des déclencheurs électromagnétique. Ceux-ci interviennent au-delà des courants de surcharge et jusqu'à l'intensité maximale du courant de court-circuit. Un court-circuit est une surintensité très importante. Le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) n'est limité que par l'impédance de la ligne.



**Fig. II .2 : court-circuit aux bornes d'un récepteur**

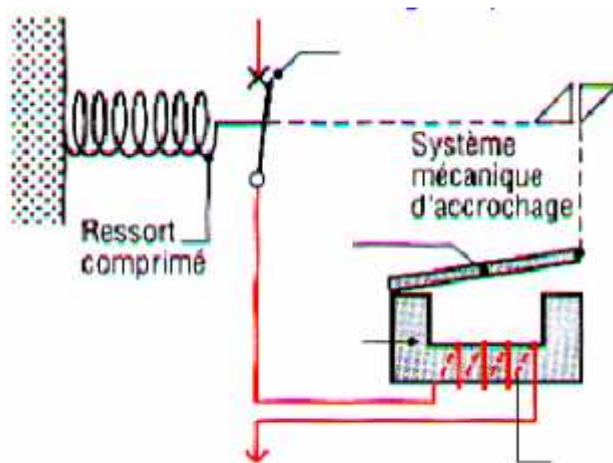
Un courant de court-circuit peut atteindre des milliers d'ampères. Il est impératif que le disjoncteur coupe rapidement le circuit afin d'éviter toute détérioration.

Dans tous les cas le temps de coupure doit être très court afin de limiter les effets néfastes de  $I_{cc}$  sur le matériel. La coupure est quasi-instantanée.

La protection contre les courts-circuits est assurée par un déclencheur magnétique.

Ce déclencheur est basé sur la création d'un champ magnétique lors du passage d'un courant. Le système comporte un circuit magnétique ayant une partie mobile, une bobine parcourue par un courant.

L'association du circuit magnétique et de la bobine donne un électro-aimant.



**Fig.II.3 : Protection contre les courts-circuits.**

En cas de court-circuit, l'armature mobile est attirée par la partie de l'électro-aimant. Elle entraîne le système d'accrochage. Le contact est repoussé par le ressort qui était comprimé. Le fonctionnement est instantané.

#### **II.4 Caractéristiques principales d'un disjoncteur.**

Les caractéristiques principales d'un disjoncteur sont :

##### **II.4.1. La tension assignée ( $U_e$ ).**

C'est la tension du réseau sur lequel l'appareil peut être connecté.

##### **II.4.2. Le courant de réglage ( $I_n$ ).**

C'est le courant que peut supporter indéfiniment le disjoncteur sans subir un échauffement anormal. C'est aussi le calibre du disjoncteur.

##### **II.4.3. Le courant de réglage ( $I_r$ ).**

C'est le courant maximal que peut supporter le disjoncteur sans déclenchement.

Ce courant est lié au réglage du déclencheur magnétique (on peut en général, le régler, quand il est réglable, entre  $0.7 I_n$  et  $1 I_n$ ).

#### II.4.4 Le courant de fonctionnement ( $I_m$ ).

C'est le courant de fonctionnement du déclencheur magnétique en cas de court-circuit.  $I_m$  est compris entre  $2.8 I_n$  et  $15 I_n$ .

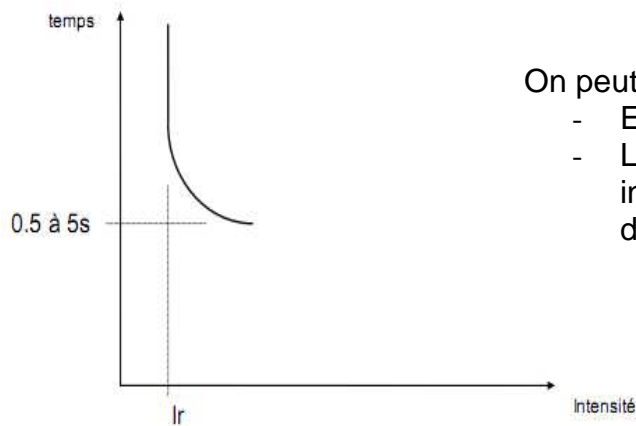
#### II.4.5. Le pouvoir de coupure ( $P_{dc}$ ).

C'est la plus grande intensité de court-circuit que peut interrompre le disjoncteur. Il est indiqué pour une tension donnée. Il s'exprime en kA.

### II.5. Courbe de déclenchement.

Elles donnent l'intensité de déclenchement en fonction de la durée de la surintensité.

#### II.5.1. Courbe de déclenchement du relais thermique.

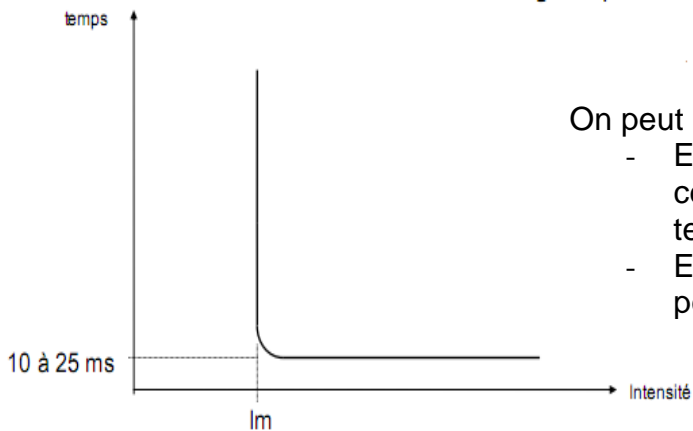


On peut remarquer plusieurs particularités :

- Elle dépend énormément du temps
- Le disjoncteur ne peut déclencher instantanément, il lui faut un certain laps de temps pour s'ouvrir.

**Fig.II.4 : Courbe de déclenchement du relais thermique**

### II.5.2. Courbe de déclenchement du relais magnétique.



On peut remarquer plusieurs particularités :

- Elle dépend peu de temps : au delà d'une certaine intensité  $I_m$  et quel que soit le temps, on a le déclenchement
- Elle permet de ne pas laisser passer des pointes de courant (plusieurs fois  $I_n$ ).

Fig.II.5 : Courbe de déclenchement du relais magnétique

### II.5.3. Courbe de déclenchement complète.

On regroupe les deux courbes précédentes pour obtenir la courbe complète de déclenchement du disjoncteur. Elle indique que si on se trouve à droite et/ou au dessus de la courbe, en aura déclenchement.

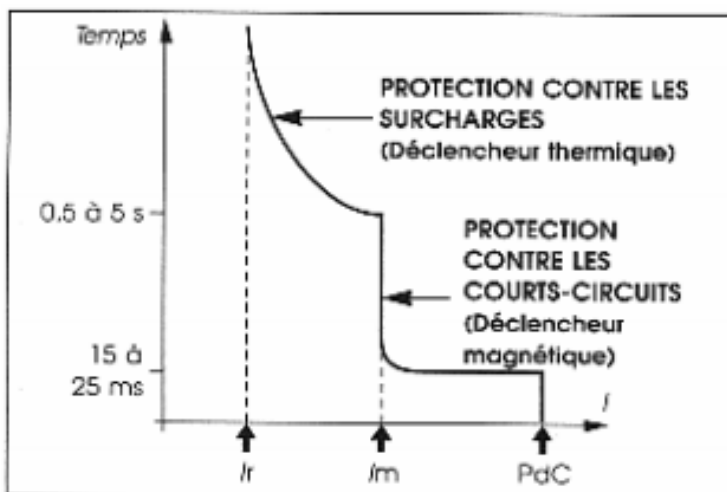


Fig.II.6 : la courbe de déclenchement complète

## II.6. Choix des disjoncteurs [10]

Le choix d'un disjoncteur s'effectue en fonction :

-De la norme d'installation (type de récepteur - intensité d'emploi – courbe de fonctionnement).

-Des normes produites.

-Des caractéristiques du réseau (tension, fréquence).

-De l'environnement (type de local, température, section et nature des câbles en aval).

## II.7. Différents types des disjoncteurs

### II.7.1 Disjoncteurs SF6 [8]

Le disjoncteur SF6 est de type soufflant, conçu pour des tensions de réseau de 75.5 à 800 KV pour des pouvoirs de coupure jusqu'à 63 kA. La conception de l'élément de coupure est basée sur l'expérience acquise des techniques de soufflage de conceptions antérieures.

Les disjoncteurs avec un élément de coupure par pôle peuvent être équipés d'un mécanisme de commande tripolaire. Tous les disjoncteurs peuvent être équipés d'un mécanisme par pôle.

#### II.7.11. Disjoncteur auto-pneumatique [7]

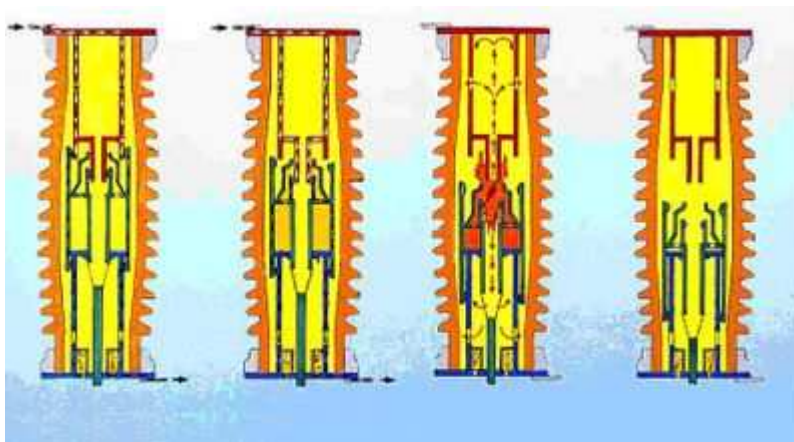
##### a- Principe des disjoncteurs auto-pneumatiques

Le principe du soufflage auto-pneumatique s'est développé au cours des années 1970 et au début des années 1980 pour répondre aux spécifications les plus exigeantes et développer des appareils de plus en plus performants.

La figure ci-dessus rappelle de manière schématique le principe de fonctionnement de ces appareils.

Lorsque le disjoncteur est en position "fermé", le courant transite par des contacts dits "permanents" qui sont situés sur le diamètre extérieur de la partie active. Lors d'un déclenchement du disjoncteur, la partie mobile se déplace vers le bas, entraînant la séparation des contacts permanents. Le courant passe alors par une autre série de contacts, appelés "contacts d'arc". Quand la partie mobile a fait une course suffisante, les contacts d'arc se

séparent, ce qui provoque l'amorçage d'un arc entre ces contacts. Les contacts d'arc sont réalisés avec des matériaux à base de tungstène de manière à pouvoir supporter sans dommage les effets de l'arc électrique. Pendant la manœuvre d'ouverture, le disjoncteur produit lui-même la compression du gaz nécessaire au soufflage de l'arc. Le déplacement relatif du cylindre de soufflage par rapport au piston fixe crée une surpression dans le cylindre qui s'évacue à l'intérieur de la buse et refroidit l'arc, permettant ainsi son extinction.



**Fig.II.7 : Disjoncteur auto-pneumatique**

### **II.7.1.2. Caractéristiques des disjoncteurs SF6 [9]**

Sur le plan technique, plusieurs caractéristiques des disjoncteurs SF6 peuvent expliquer leurs succès :

- La simplicité de la chambre de coupure qui ne nécessite pas de chambre auxiliaire pour la coupure.
- L'autonomie des appareils apportée par la technique auto-pneumatique (sans compresseur de gaz).
- La possibilité d'obtenir les performances les plus élevées, jusqu'à 63 KV, avec un nombre réduit de chambres de coupure : une seule chambre est nécessaire en 245 KV.
- Une durée d'élimination de défaut courte.
- Une grande endurance électrique qui permet de garantir une durée d'au moins 52ans.
- Un faible niveau de bruit.

### II.7.2 Disjoncteur à air comprimé

Ce type de disjoncteur se présente sous forme d'une colonne, et constitué des parties suivantes :

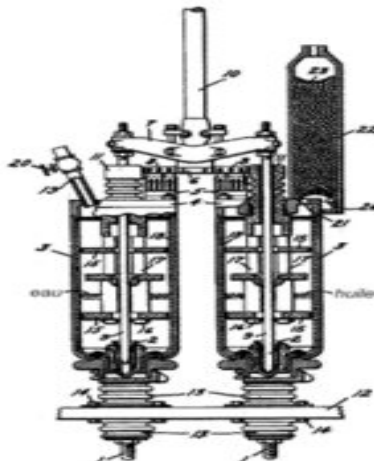
- Un contact fixe lié généralement à l'une des bornes du sectionneur accouplé au disjoncteur.
- Un contact mobile.
- Une chambre inférieure, par laquelle arrive de l'air comprimé quand il faut que l'appareil déclenche.
- Une chambre supérieure, dite chambre d'extinction par laquelle l'air comprimé pourra s'échapper dans l'atmosphère.
- Une surface de contact qui sépare la colonne en deux chambres.



Fig.II.8 : Disjoncteur à air comprimé

### II.7.3 Disjoncteur à l'huile

Fig.II.9 : Disjoncteur à eau et huile



La coupure dans l'huile s'est ensuite imposée en haute tension après avoir été utilisée en moyenne tension. Sous l'action de l'arc électrique, l'huile est décomposée, plusieurs types de gaz sont produits (essentiellement de l'hydrogène et de l'acétylène) lors de cette décomposition. L'énergie de l'arc est utilisée pour décomposer et évaporer l'huile, ceci permet de refroidir le milieu entre les contacts et par suite d'interrompre le courant à son passage par zéro. Ce type disjoncteur actuellement peu utilisé, il est constitué :

- Une pièce métallique appelée contact fixe.
- Mâchoires fixes appelée contact mobile.
- Une tige de commande appelée Bielle de manœuvre.

## **II. 8 Conclusion**

Ce qu'on peut noter est que disjoncteurs jouent un rôle important dans la protection des matériels et du personnel. De ce fait son dimensionnement nécessite la connaissance parfaite de la structure à protéger d'une part, et les conditions de fonctionnement de cette dernière, dans le chapitre suivant nous présenterons la méthode analytique de calcul des courants de court-circuit permettant un dimensionnement assurant une protection fiable.

# *CHAPITRE III*

### III.1 Introduction

Les réseaux électriques polyphasés possèdent généralement une constitution symétrique, les mêmes éléments identiques se répètent pour chacune des phases, l'étude du fonctionnement normale de ce réseau se ramène à celle d'un réseau monophasé, mais ce réseau peut devenir le siège de défaut (court-circuit entre la phase et la terre, entre deux phases, la coupure d'une ou deux phases...), dans ce cas les vecteurs représentatifs des courants et des tensions ne sont plus égaux et les décalages entre eux ne sont pas aussi égaux, les calculs de ces régime à l'aide des lois de Kirchhoff deviennent plus compliqués.

La méthode des composantes symétriques facilite beaucoup ces calculs, cette méthode conduit à considérer un système triphasé à la superposition de trois systèmes équilibrés.

### III.2 Méthode de calcul [11]

Considérons cette méthode pour un système triphasé :

#### a- Système direct :

Trois vecteurs forment un système symétrique, si ces vecteurs sont décalés d'un angle de  $\frac{2\pi}{3}$  ce qu'on appelle un système directe, et on les écrit comme suit :

$$\dot{A}_{d1}, \dot{A}_{d2}, \dot{A}_{d3} \text{ Ou bien } \dot{A}_d, a\dot{A}_d, a^2\dot{A}_d \text{ avec } a = e^{j120} = -0,5 + j0,866$$

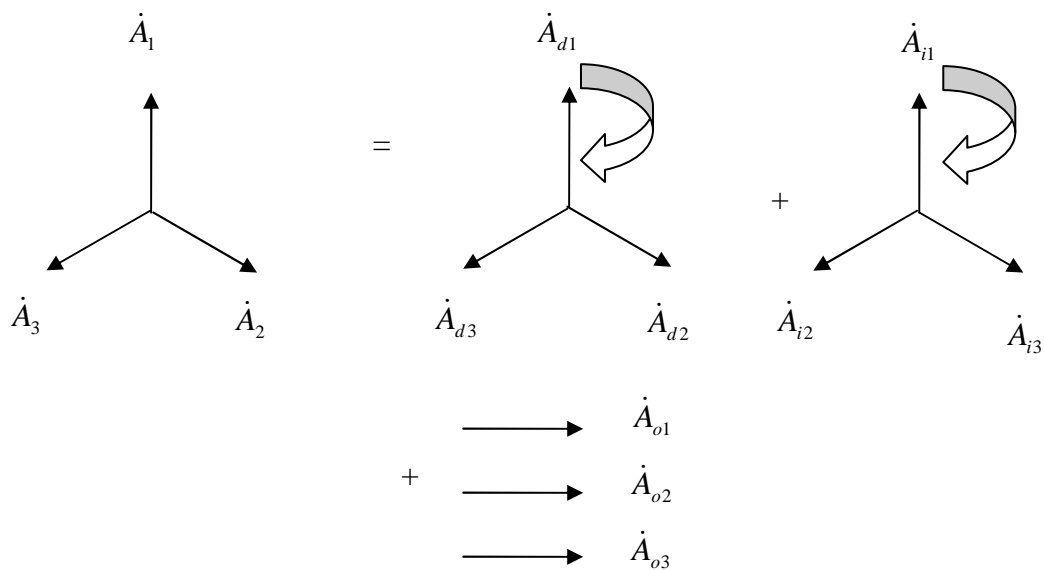
#### b- Système inverse :

Trois vecteurs forment un système inverse si le décalage entre deux vecteurs successifs est de  $-\frac{2\pi}{3}$ , et on les note comme suit  $\dot{A}_{i1}, \dot{A}_{i2}, \dot{A}_{i3}$  ou  $\dot{A}_i, a^2\dot{A}_i, a\dot{A}_i$

### c- Système homopolaire :

Trois vecteurs forment un système homopolaire si le déphasage entre deux vecteurs successifs est nul, et on les note de manière suivante  $\dot{A}_{o1}, \dot{A}_{o2}, \dot{A}_{o3}$ .

On représente les vecteurs ci dessus comme suit :



**Fig.III.1 : Diagramme vectoriel des systèmes directe, inverse et homopolaire.**

Il est important de remarquer que toutes les trois composantes tournent dans le même sens, et une composante directe se distingue d'une composante inverse par l'ordre de laquelle ses composantes passent par leurs valeurs maximales.

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}_1 &= \dot{A}_{d1} + \dot{A}_{i1} + \dot{A}_{o1} \\ \dot{A}_2 &= \dot{A}_{d2} + \dot{A}_{i2} + \dot{A}_{o2} \\ \dot{A}_3 &= \dot{A}_{d3} + \dot{A}_{i3} + \dot{A}_{o3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

Experiments:  $\dot{A}_{d2}$  et  $\dot{A}_{d3}$  par  $\dot{A}_{d1}$  avec  $\dot{A}_{d1} = \dot{A}_d$ , et  $\dot{A}_{i2}$  et  $\dot{A}_{i3}$  par  $\dot{A}_{i1}$ , ( $\dot{A}_{i1} = \dot{A}_i$ )

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{A}_{d2} &= a^2 \dot{A}_d \dots\dots\dots (2) \\ \dot{A}_{d3} &= a \dot{A}_d \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{A}_{i2} &= a^2 \dot{A}_i \dots\dots\dots (3) \\ \dot{A}_{i3} &= a \dot{A}_i \end{aligned} \right.$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \dot{A}_1 &= \dot{A}_d + \dot{A}_i + \dot{A}_o \\ \dot{A}_2 &= a^2 \dot{A}_d + a \dot{A}_i + \dot{A}_o \dots\dots\dots (4) \\ \dot{A}_3 &= a \dot{A}_d + a^2 \dot{A}_i + \dot{A}_o \end{aligned} \right.$$

Les expressions (4) permettent de déterminer les vecteurs déséquilibres si les vecteurs des composantes symétriques sont connus

$$\dot{A}_1 + \dot{A}_2 + \dot{A}_3 = \dot{A}_d(1 + a^2 + a) + \dot{A}_i(1 + a + a^2) + 3\dot{A}_o \Rightarrow \dot{A}_o = \frac{1}{3}(\dot{A}_1 + \dot{A}_2 + \dot{A}_3)$$

Ou : 1, a, a<sup>2</sup> sont des racines cubique de (1)

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{A}_o &= \frac{1}{3}(\dot{A}_1 + \dot{A}_2 + \dot{A}_3) \\ \dot{A}_d &= \frac{1}{3}(\dot{A}_1 + a\dot{A}_2 + a^2\dot{A}_3) \dots\dots\dots (5) \\ \dot{A}_i &= \frac{1}{3}(\dot{A}_1 + a^2\dot{A}_2 + a\dot{A}_3) \end{aligned} \right.$$

Sachant les vecteurs déséquilibrés à l'aide de (5) on trouve des composantes

$$\dot{A}_o, \dot{A}_d, \dot{A}_i$$

Il est important de remarquer qu'un système symétrique est un système direct

Supposons que  $\dot{A}_1 + \dot{A}_2 + \dot{A}_3$  est un système, exprimons :

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{A}_2 &= a^2 \dot{A}_d \\ \dot{A}_3 &= a \dot{A}_d \end{aligned} \right.$$

$$\dot{A}_d = \frac{1}{3}(\dot{A}_1 + a\dot{A}_2 + a^2\dot{A}_3) = \frac{1}{3}(\dot{A}_1 + a^3\dot{A}_1 + a^3\dot{A}_1), \text{ avec } a^3 = 1$$

$$\Rightarrow \frac{3}{3}\dot{A}_1 = \dot{A}_d \Rightarrow \dot{A}_1 = \dot{A}_d$$

$$\dot{A}_i = \frac{1}{3}(\dot{A}_1 + a^2\dot{A}_2 + a\dot{A}_3) = \frac{1}{3}(\dot{A}_1 + a^4\dot{A}_1 + a^2\dot{A}_1) = \frac{1}{3}\dot{A}_1 \times 0 = 0$$

$$\Rightarrow \dot{A}_i = 0$$

$$\dot{A}_o = \frac{1}{3}(\dot{A}_1 + \dot{A}_2 + \dot{A}_3) = \frac{1}{3}(\dot{A}_1 + a^2\dot{A}_1 + a\dot{A}_1) = 0 \Rightarrow \dot{A}_o = 0$$

On sait que le courant dans le conducteur du neutre est la somme des courants des phases :

$$\dot{I}_N = \dot{I}_{A+} + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 3\dot{I}_3$$

C'est-à-dire d'après la théorie des composantes symétriques, le courant dans le conducteur du neutre est le courant homopolaire.

La somme des tensions composées équilibrée de trois phases est toujours égale à zéro.

D'après la théorie des composantes symétriques, ceci signifie que, les tensions n'ont pas des composantes homopolaires, elles n'ont que des composantes directes et inverses.

On utilise ce caractère de tensions composées pour apprécier l'asymétrie des réseaux électriques.

Si on introduit les notions des impédances, on écrit :

$$\dot{I}_d = \frac{\dot{U}_d}{\dot{Z}_d}$$

$$\dot{I}_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{Z}_i}$$

$$\dot{I}_o = \frac{\dot{U}_o}{\dot{Z}_o}$$

Où ;  $\dot{Z}_d, \dot{Z}_i, \dot{Z}_o$  sont des impédances directes, inverse, et homopolaire du réseau considéré par rapport au courant direct, inverse, et homopolaire.

$\dot{Z}_d$ , est une impédance usuelle du réseau électrique, si le réseau n'a aucun élément tournant, l'impédance inverse de ce réseau est égal à une impédance directe parce que la valeur de l'impédance ne dépend pas de l'ordre de phases, l'impédance homopolaire n'a une valeur

finie si le neutre de réseau est accessible et relié à la terre, dans le cas contraire l'impédance homopolaire a une valeur  $\dot{Z}_o = \infty$

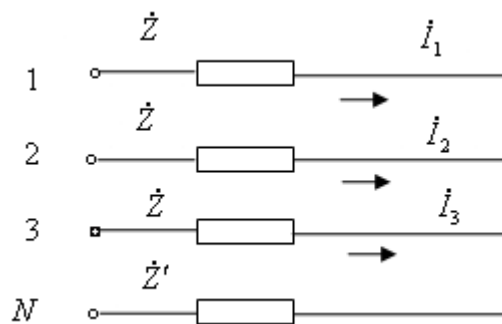
Déterminons l'impédance homopolaire :

Supposons trois tensions homopolaire sont appliquées sur un système symétrique

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = \dot{U}_3 = \dot{U}_0$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \dot{I}_3 = \dot{I}_0$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 3\dot{I}_0$$



**Fig.III.2 : schéma équivalent homopolaire d'un système symétrique.**

Pour chaque phase écrivons les équations d'après la 2<sup>ème</sup> loi de Kirchhoff

$$\dot{U}_1 = \dot{Z}\dot{I}_1 + \dot{Z}'(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{Z}\dot{I}_2 + \dot{Z}'(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3)$$

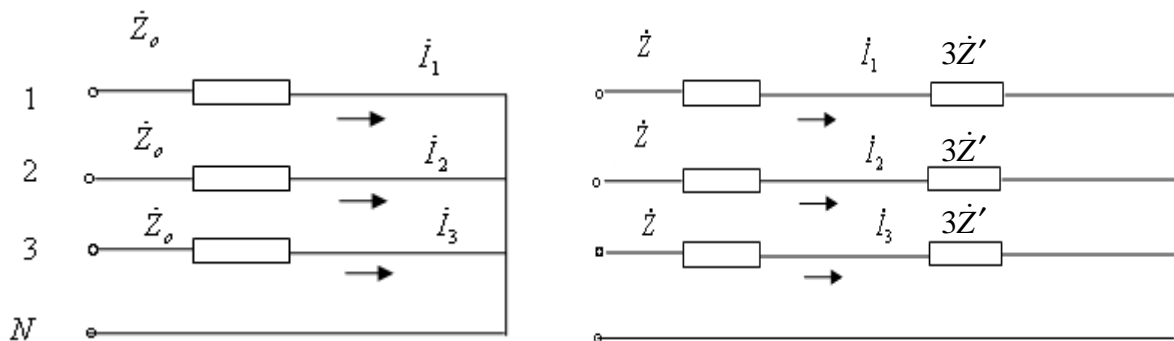
$$\dot{U}_3 = \dot{Z}\dot{I}_3 + \dot{Z}'(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3)$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 &= \dot{Z}(I_1 + I_2 + I_3) + 3\dot{Z}'(I_1 + I_2 + I_3) \\ &= (\dot{Z} + 3\dot{Z}')(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3)\end{aligned}$$

$$3\dot{U}_o = (\dot{Z} + 3\dot{Z}') \cdot 3\dot{I}_o$$

$$\frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} = \dot{Z}_o = \dot{Z} + 3\dot{Z}' \quad \Rightarrow \quad \dot{Z}_o = \dot{Z} + 3\dot{Z}'$$

Dans les calculs on utilise des schémas équivalents direct, inverse et homopolaire  
Si le réseau considère n'a pas d'élément tournant, les schémas direct et inverse sont les même



**Fig.III.3 : schéma équivalent d'un système symétrique.**

### III.3. Calcul des réseaux ayant des charges asymétriques

Dans les réseaux électriques les régimes asymétriques sont produits en cas de panne, dans les réseaux on distingue deux formes de régime asymétriques ; asymétrique transversale et l'asymétrique longitudinale.

#### III.3.1 L'asymétrie transversale

Elle est produite dans le cas de branchement transversal des charges asymétriques, dans le cas de court circuit monophasé (PT), entre deux phases sans contact avec la terre (PP), entre deux phases ayant un contact avec la terre (PPT).

#### III.3.2 L'asymétrie longitudinale :

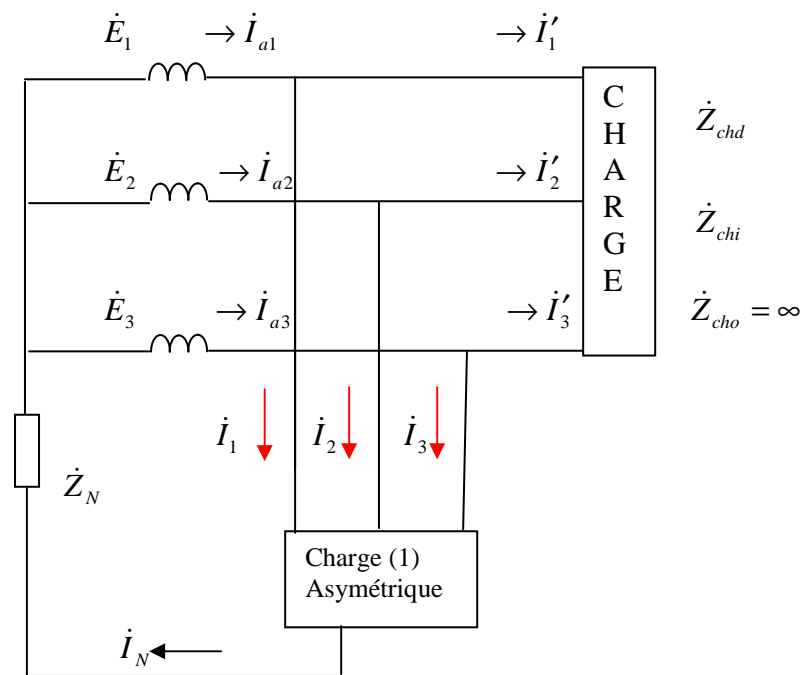
Elle est produite en cas de branchement longitudinal des charges asymétriques, dans le cas de coupure sure une ou deux phases. Pour calculer les régimes on utilise le principe de

compensation, on remplace la charge asymétrique par une source de tension puis on applique la méthode des composantes asymétriques.

Considérons ces deux formes d'asymétries

### 1- asymétrie transversale :

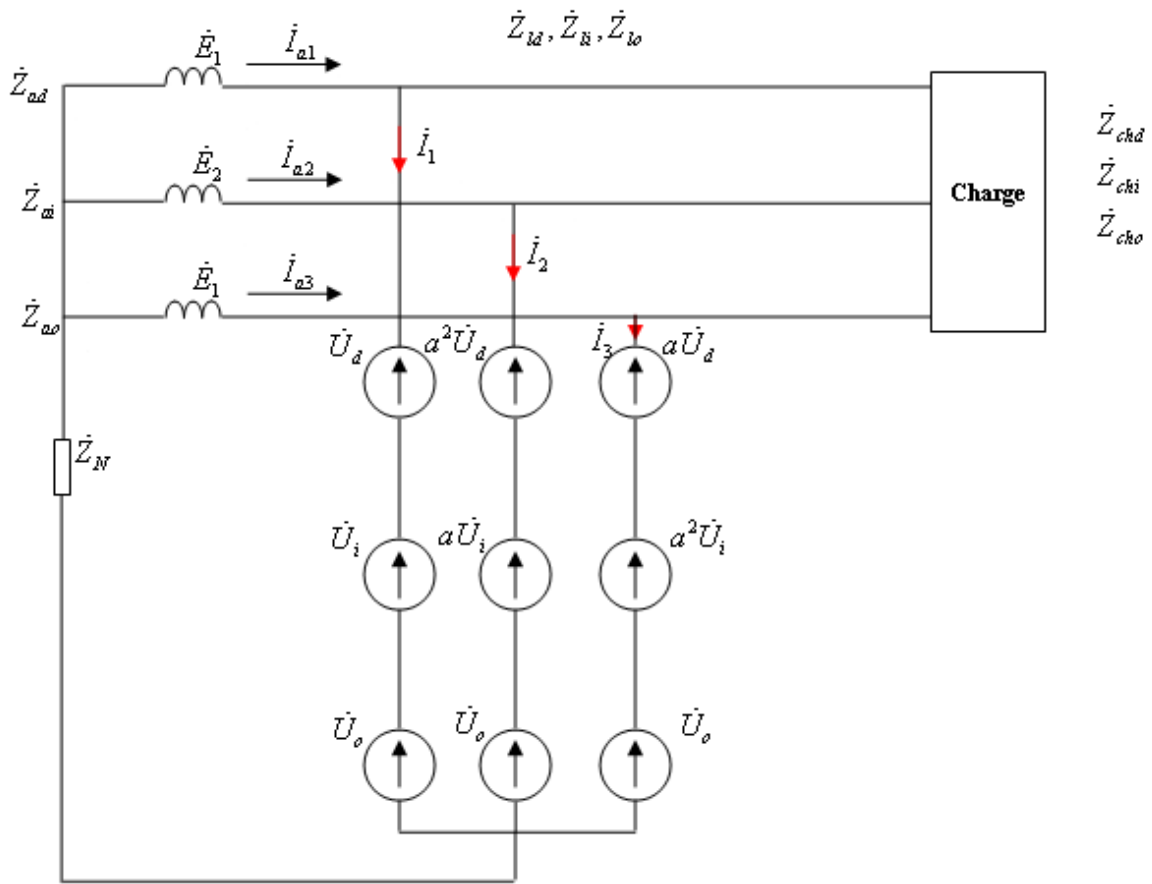
Considérons le schéma suivant :



**Fig.III.4 : schéma d'un système asymétrique transversal.**

Ce réseau a deux charges la première est asymétrique dont le neutre est relié au neutre de la source à travers une impédance  $\dot{Z}_N$ , la deuxième est symétrique donc le neutre est isolé de la terre, la source est symétrique, supposons que la tension de la source et les paramètres de ces éléments sont donnés, on cherche les courants.

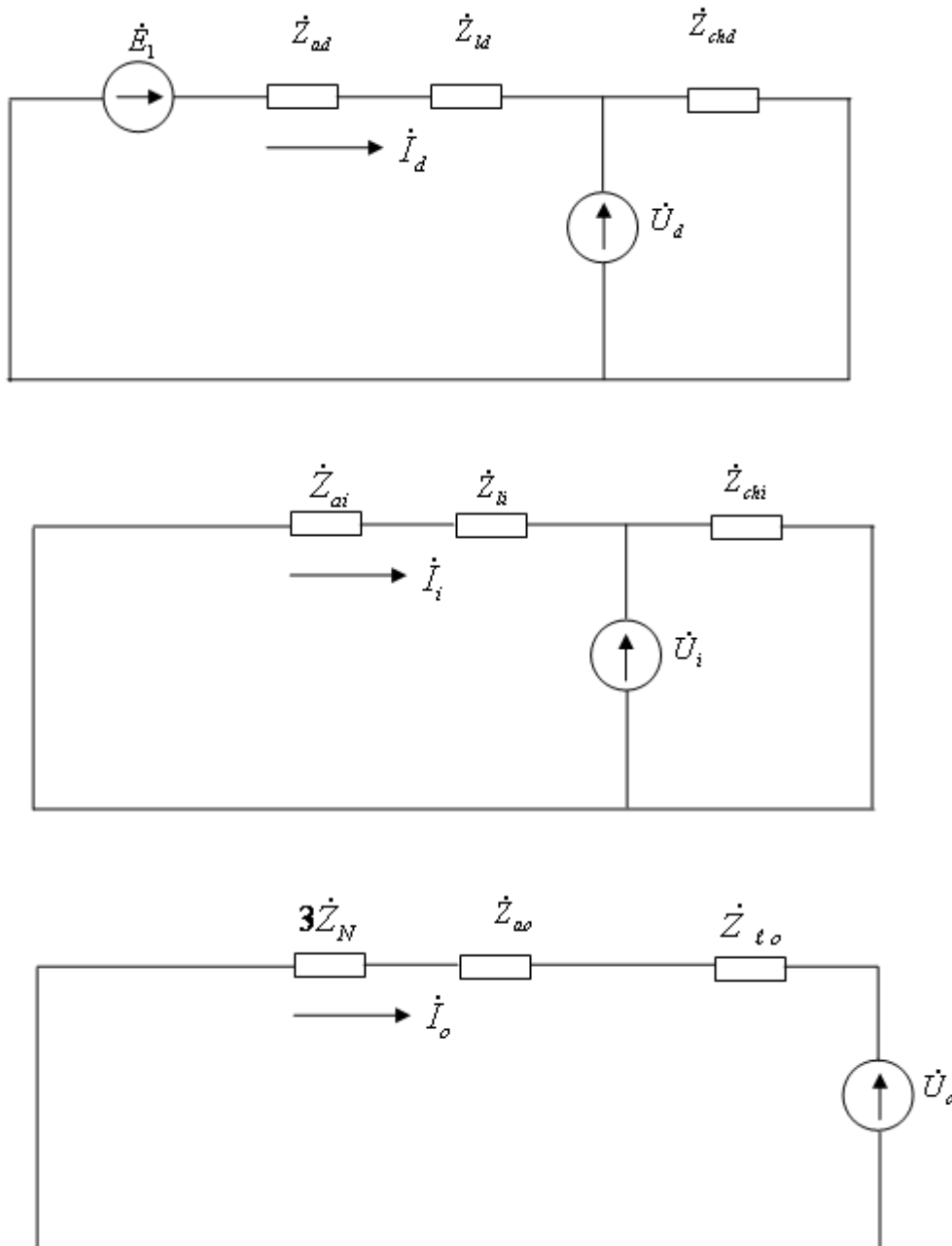
Remplaçons la charge asymétrique par une source de tension  $(\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3)$ , représentons ces tensions par les composantes asymétriques  $(\dot{U}_d, \dot{U}_i, \dot{U}_o)$



**Fig.III.5 : Représentation de la charge asymétrique par des tensions des composantes asymétrique**

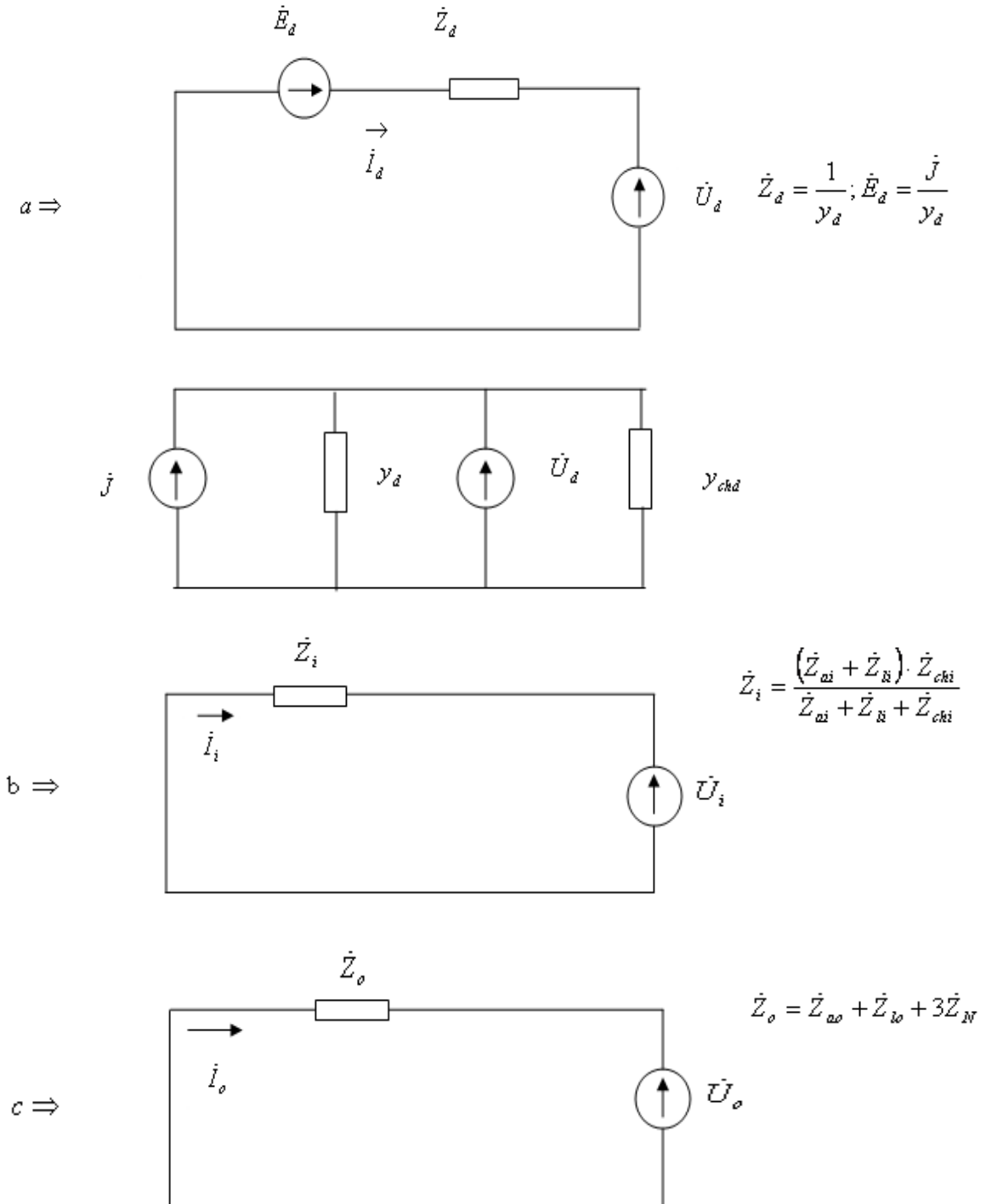
Avec ce changement nous avons trouvé un schéma symétrique, il suffit de calculer une seule phase.

Ecrivons les schémas direct, inverse et homopolaire pour phase :



**Fig. .III.6 :** schémas équivalents direct, inverse et homopolaire d'un système symétrique pour une phase.

La somme des processus dans les trois schémas détermine ; le processus dans une phase de schéma considérée, pour constituer les calculs, simplifions ces schémas :

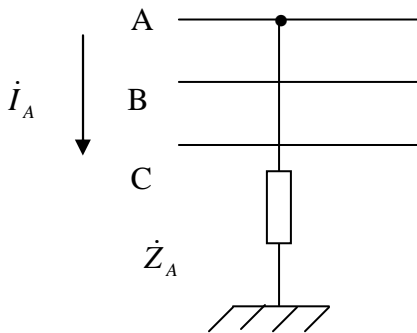


**Fig.III.7 : Schémas simplifié des schémas équivalents direct, inverse et homopolaire**

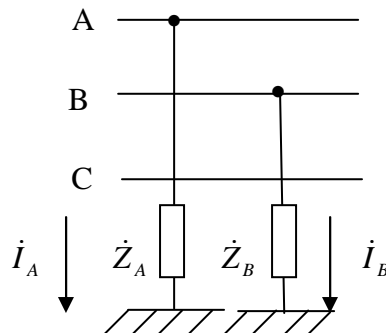
Pour ces trois schémas, écrivons les équations d'après la deuxième loi de Kirchhoff

$$\begin{cases} \dot{E}_d = \dot{Z}_d \dot{I}_d + \dot{U}_d \\ 0 = \dot{Z}_i \dot{I}_i + \dot{U}_i \\ 0 = \dot{Z}_o \dot{I}_o + \dot{U}_o \end{cases} \rightarrow (1)$$

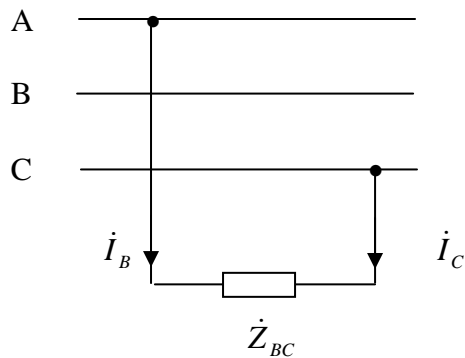
Comme on le voit dans ces trois équations nous avons six inconnus, il faut construire encor trois équations, on construit trois équations supplémentaires d'après la forme du défaut.



-A-



-B-



-C-

Pour A :

Fig. .III.8 : différents formes de défauts

$$\begin{cases} \dot{U}_A = \dot{Z}_A \dot{I}_A \\ \dot{I}_B = 0 \\ \dot{I}_C = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \dot{U}_d + \dot{U}_i + \dot{U}_o = \dot{Z}_A (\dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o) \\ a^2 \dot{U}_d + a \dot{U}_i + \dot{U}_o = \dot{Z}_B (a^2 \dot{I}_d + a \dot{I}_i + \dot{I}_o) \\ a \dot{I}_d + a^2 \dot{I}_i + \dot{I}_o = 0 \end{cases}$$

Pour B :

Dans le cas de court circuit entre deux phases, les composantes homopolaires n'existent plus

$$\dot{I}_o, \dot{U}_o = \dot{Z}_o \dot{I}_o = \infty \cdot 0$$

La tension  $\dot{U}_o = \dot{Z}_o \cdot \dot{I}_o = \infty \cdot 0 =$  on peut écrire n'importe quelle valeur.

Dans ce cas nous avons quatre inconnus :  $\dot{U}_d, \dot{I}_d, \dot{U}_i, \dot{I}_i$

$$\begin{cases} \dot{I}_A = 0 \\ \dot{U}_B - \dot{U}_C = \dot{Z}_{BC} \dot{I}_B \\ \dot{I}_d + \dot{I}_i = 0 \\ \dot{I}_B = \dot{I}_C \end{cases}$$

$$a^2 \dot{U}_d + a \dot{U}_i + (a \dot{U}_d + a^2 \dot{U}_i) = \dot{Z}_{BC} (a^2 \dot{I}_d + a \dot{I}_i)$$

2- Asymétrie longitudinale :

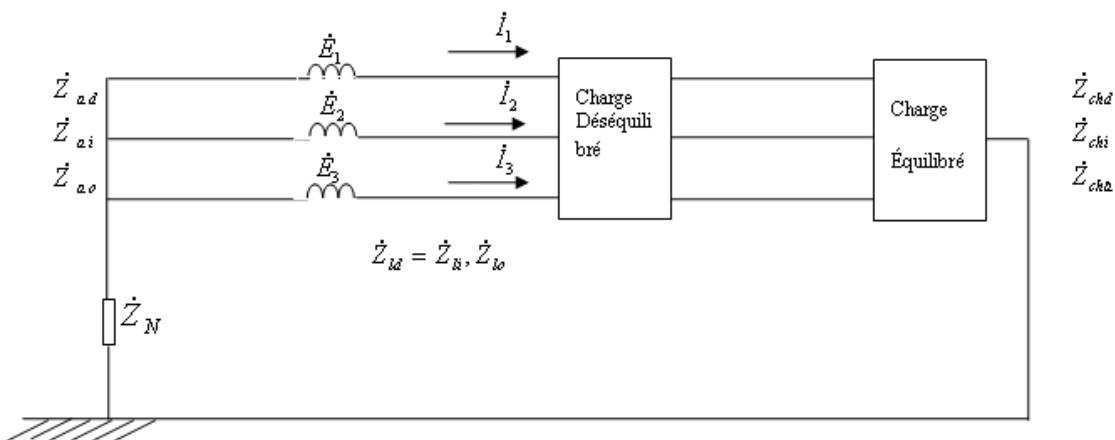
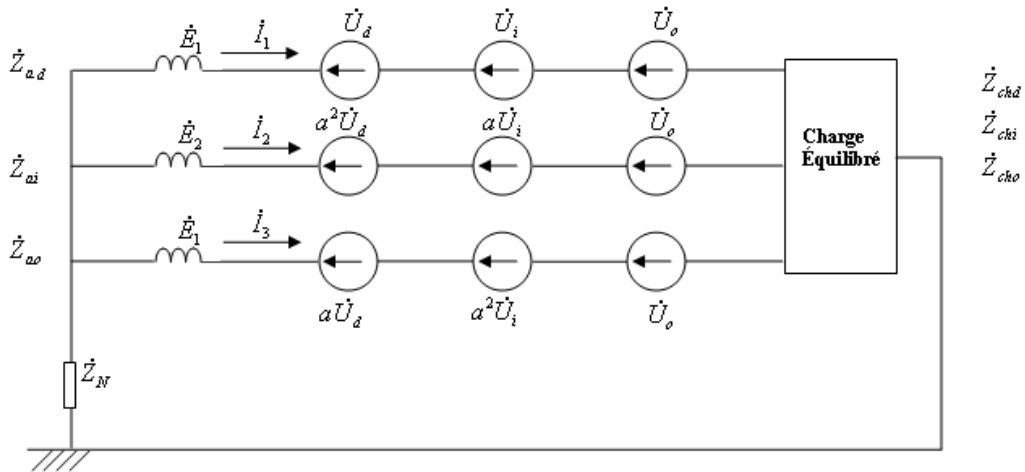
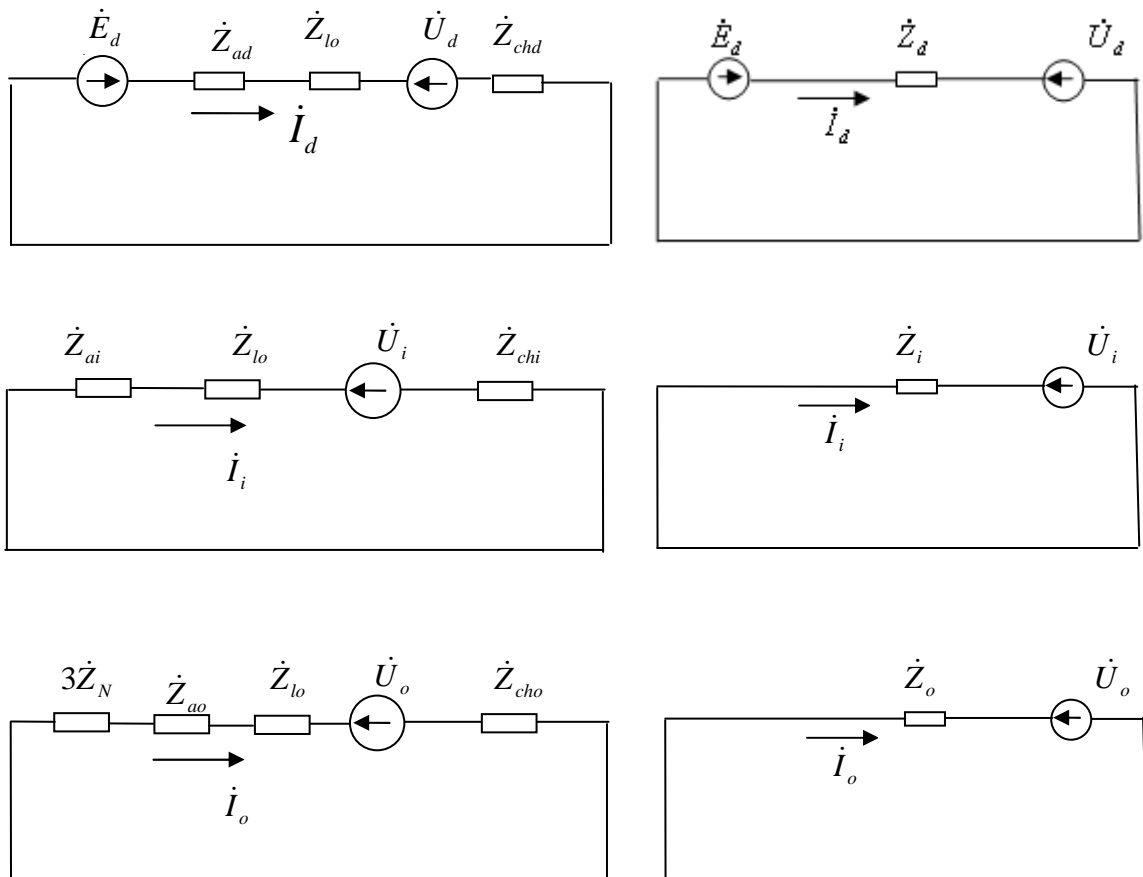


Fig.III.9 : schéma équivalent d'un système asymétrique longitudinal

Remplaçons la charge asymétrique par une source de tension, et représentons ces tensions par les composantes asymétriques



**Fig.III.10 : Représentation de la charge asymétrique par des tensions des composantes asymétrique**



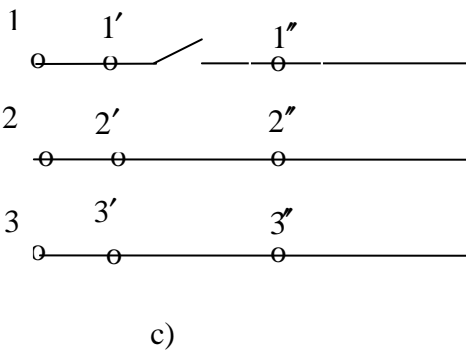
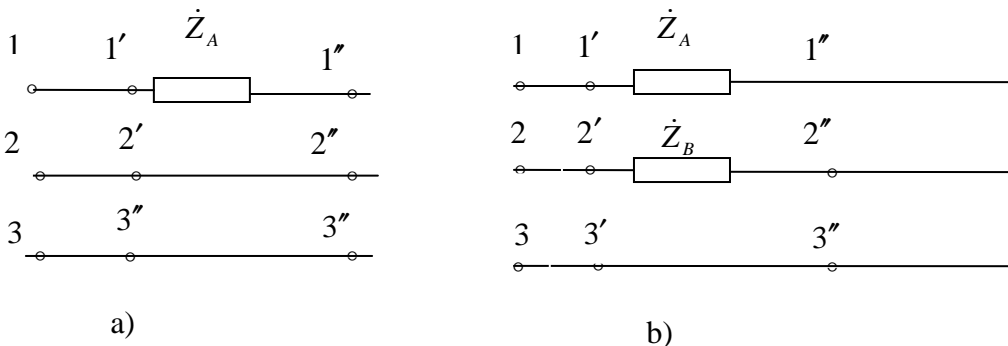
$$\begin{aligned}
 a : \dot{Z}_d &= \dot{Z}_{ad} + \dot{Z}_{ld} + \dot{Z}_{chd} \\
 \dot{Z}_i &= \dot{Z}_{ai} + \dot{Z}_{li} + \dot{Z}_{chi} \\
 \dot{Z}_o &= 3\dot{Z}_N + \dot{Z}_{ao} + \dot{Z}_{lo} + \dot{Z}_{cho}
 \end{aligned}$$

**Fig. .III.11 : schémas équivalents direct, inverse et homopolaire d'un système symétrique pour une phase.**  
 Ecrivons ces équations pour ces trois schémas :

$$\begin{cases}
 \dot{E}_d = \dot{Z}_d \dot{I}_d + \dot{U}_d \\
 0 = \dot{Z}_i \dot{I}_i + \dot{U}_i \quad \dots\dots\dots (1) \\
 0 = \dot{Z}_o \dot{I}_o + \dot{U}_o
 \end{cases}$$

Dans ce cas nous avons trouvé les mêmes équations que (1), comme on le voit ces équations ne dépendent pas de la forme d'asymétrie, on appelle ces équations les équations générales, et on les calcule avec les équations correspondantes au cas considéré.

Les trois équations supplémentaires sont construites d'après le schéma suivant :



Pour a) :

$$\begin{cases} \dot{U}_{1'1'} = +\dot{Z}_A \dot{I} \\ \dot{U}_{2'2'} = 0 \\ \dot{U}_{3'3'} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{U}_d + \dot{U}_i + \dot{U}_o = \dot{Z}_A (\dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o) \\ a^2 \dot{U}_d + a \dot{U}_i + \dot{U}_o = 0 \\ a \dot{U}_d + a^2 \dot{U}_i + \dot{U}_o = 0 \end{cases}$$

Pour b) :

$$\begin{cases} \dot{U}_{1'1'} = \dot{Z}_A \dot{I}_A \\ \dot{U}_{2'2'} = \dot{Z}_B \dot{I}_B \\ \dot{U}_{3'3'} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{U}_d + \dot{U}_i + \dot{U}_o = \dot{Z}_A (\dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o) \\ a^2 \dot{U}_d + a \dot{U}_i + \dot{U}_o = \dot{Z}_B (a^2 \dot{I}_d + a \dot{I}_i + \dot{I}_o) \\ a \dot{U}_d + a^2 \dot{U}_i + \dot{U}_o = 0 \end{cases}$$

Pour c) :

$$\begin{cases} \dot{I}_A = 0 \\ \dot{U}_{2'2'} = 0 \\ \dot{U}_{3'3'} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o = 0 \\ a^2 \dot{U}_d + a \dot{U}_i + \dot{U}_o = 0 \\ a \dot{U}_d + a^2 \dot{U}_i + \dot{U}_o = 0 \end{cases}$$

On calcule ces équations avec les équations générales et on trouve les composantes symétriques des courants et des tensions, puis on calcule les courants et les tensions de phases.

#### III.4 Calcul des courts-circuits monophasé. [12]

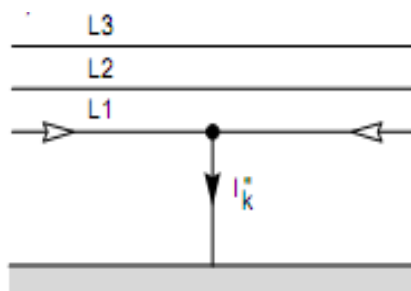


Fig.III.12 : schéma d'un court-circuit monophasé.

Les équations générales sont :

$$\begin{cases} \dot{E}_d = \dot{U}_d - \dot{Z}_d \dot{I}_d & (1) \\ 0 = \dot{U}_i - \dot{Z}_i \dot{I}_i & (2) \\ 0 = \dot{U}_o - \dot{Z}_o \dot{I}_o & (3) \end{cases}$$

Sur les schémas considérés on peut écrire :

$$\begin{cases} \dot{U}_A = 0 & (4) \\ \dot{I}_B = 0 & (5) \\ \dot{I}_C = 0 & (6) \end{cases}$$

Si dans l'équation deux courants ou deux tensions sont nuls ou appliqué la formule suivante:

$$\begin{cases} \dot{I}_o = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) \\ \dot{I}_d = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a\dot{I}_B + a^2\dot{I}_C) \Rightarrow \dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o = \frac{1}{3}\dot{I}_A \\ \dot{I}_i = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a^2\dot{I}_B + a\dot{I}_C) \end{cases}$$

$$(4) \Rightarrow \dot{U}_d + \dot{U}_i + \dot{U}_o = 0$$

$$\dot{E}_d - \dot{Z}_d \dot{I}_d - \dot{Z}_i \dot{I}_i - \dot{Z}_o \dot{I}_o = 0 \Rightarrow \dot{E}_d = (\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_o) \dot{I}_d$$

$$\boxed{\dot{I}_d = \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_o}}$$

$$\dot{I}_d = \dot{I}_i = \dot{I}_o = \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_o}$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o = 3\dot{I}_d = 3 \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_o}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o = 3\dot{I}_d = \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_o} \\ \dot{I}_B = a^2\dot{I}_d + a\dot{I}_i + \dot{I}_o = (a^2 + a + 1)\dot{I}_d = 0 \\ \dot{I}_C = a\dot{I}_d + a^2\dot{I}_i + \dot{I}_o = (a + a^2 + 1)\dot{I}_d = 0 \end{cases}$$

$$(1), (2), (3) \Rightarrow \dot{U}_d = \dot{E}_d - \dot{Z}_d \dot{I}_d = \dot{E}_d - \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_o} \dot{Z}_d = \dot{E}_d \frac{\dot{Z}_i + \dot{Z}_o}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_o}$$

$$\dot{U}_i = -\dot{Z}_i \dot{I}_i = -\frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_o} \dot{Z}_i$$

$$\dot{U}_o = -\dot{Z}_o \dot{I}_o = -\frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_o} \dot{Z}_o$$

$$\begin{cases} \dot{U}_A = \dot{U}_d + \dot{U}_i + \dot{U}_o = 0 \\ \dot{U}_B = a^2\dot{U}_d + a\dot{U}_i + \dot{U}_o \\ \dot{U}_C = a\dot{U}_d + a^2\dot{U}_i + \dot{U}_o \end{cases}$$

### III.4.1 Construction du diagramme vectoriel

Dans cette partie nous allons représenter les diagrammes vectoriels des tensions et des courants d'un circuit monophasé.

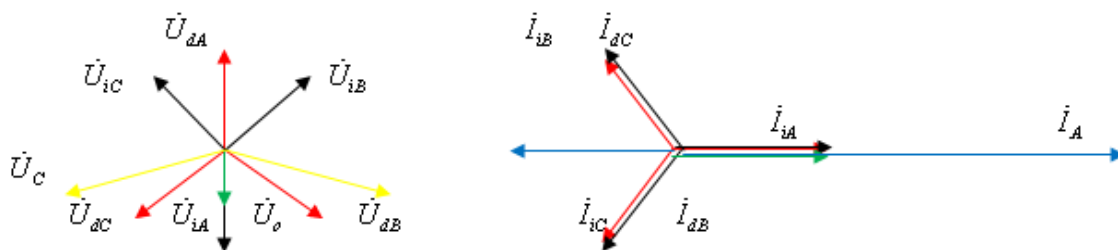


Fig. III.13 : Le diagramme vectoriel pour le court-circuit monophasé

### III.5 Calcul des courants des courts-circuits biphasés ayant contact avec la terre :

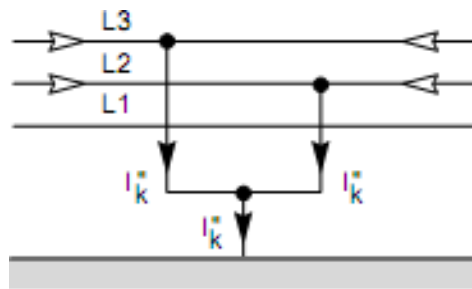


Fig.III.14 : Court-circuit biphasé terre.

$$\begin{cases} \dot{E}_d = \dot{U}_d + \dot{Z}_d \dot{I}_d \dots\dots (1) \\ 0 = \dot{U}_i + \dot{Z}_i \dot{I}_i \dots\dots\dots (2) \\ 0 = \dot{U}_o + \dot{Z}_o \dot{I}_o \dots\dots\dots (3) \end{cases}$$

$$\frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d} = \dot{U}_d \left( \frac{1}{\dot{Z}_d} + \frac{1}{\dot{Z}_i} + \frac{1}{\dot{Z}_o} \right) \text{ d'ou } \dot{U}_d = \frac{\dot{E}_d}{1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}}$$

$$\dot{U}_o = \dot{U}_i = \dot{U}_d = \frac{\dot{E}_d}{1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}}$$

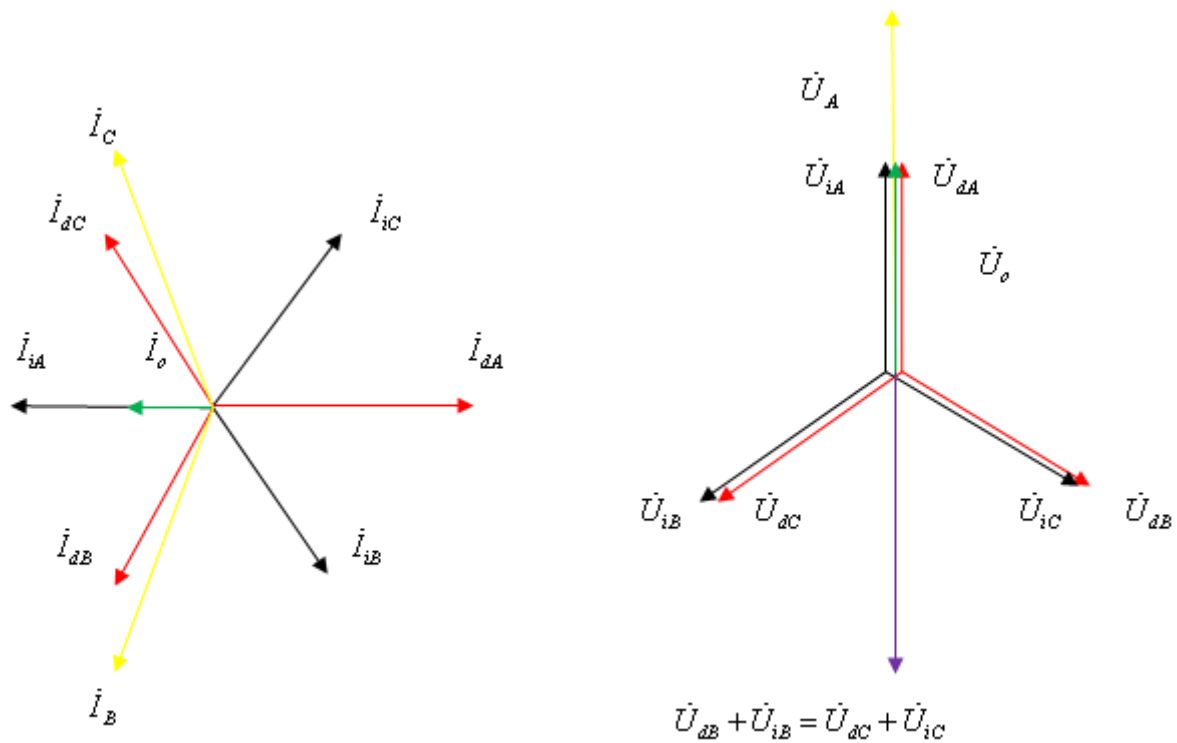
$$\begin{cases} \dot{U}_A = 3\dot{U}_i = 3\dot{U}_o = 3\dot{U}_d = 3 \frac{\dot{E}_d}{1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}} \\ \dot{U}_A = \dot{U}_d (a^2 + a + 1) = 0 \\ \dot{U}_A = \dot{U}_d (a + a^2 + 1) = 0 \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{I}_d &= \frac{\dot{E}_d - \dot{U}_d}{\dot{Z}_d} = \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d} \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}} \right) \\ \dot{I}_i &= -\frac{\dot{U}_i}{\dot{Z}_i} = -\frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_i \left( 1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o} \right)} \\ \dot{I}_o &= -\frac{\dot{U}_o}{\dot{Z}_o} = -\frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_o \left( 1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o} \right)} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o = 0 \\ \dot{I}_B &= a^2 \dot{I}_d + a \dot{I}_i + \dot{I}_o \\ \dot{I}_C &= a \dot{I}_d + a^2 \dot{I}_i + \dot{I}_o \end{aligned} \right.$$

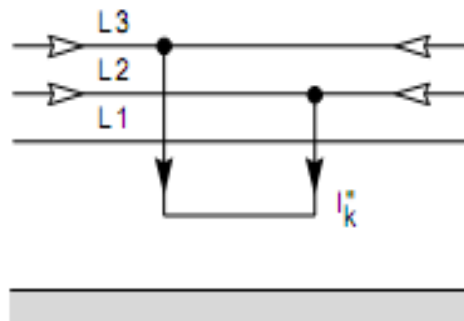
### III.5.1 Construction du diagramme vectoriel:

Dans cette partie nous allons représenter les diagrammes vectoriels des tensions et des courants d'un circuit biphasé-terre.



**Fig.III.15 : Diagramme vectoriel d'un court-circuit biphasé terre**

**III.6 Calcul des courants de court-circuit sans contact avec la terre**



**Fig.III.16 : Court-circuit biphasé**

Dans ce cas il n'y a pas de liaison avec la terre  $\Rightarrow \dot{I}_o = 0, \dot{U}_o = \underline{Z}_o \dot{I}_o = -\infty \cdot 0 \Rightarrow \dot{U}_o = 0$

$$\begin{cases} \dot{E}_d = \dot{Z}_d \dot{I}_d + \dot{U}_d \dots\dots\dots(1) \\ 0 = \dot{Z}_i \dot{I}_i + \dot{U}_i \dots\dots\dots(2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_A = 0 \dots\dots\dots(3) \\ \dot{U}_B = \dot{U}_C \dots\dots\dots(4) \end{cases}$$

$$(3) \Rightarrow \dot{I}_A = \dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o = 0$$

$$\boxed{\dot{I}_d = -\dot{I}_i} \quad (5)$$

$$(4) \Rightarrow \dot{U}_B = \dot{U}_C$$

$$a^2\dot{U}_d + a\dot{U}_i + \dot{U}_o = a\dot{U}_d + a^2\dot{U}_i + \dot{U}_o$$

$$(a^2 - a)\dot{U}_d = (a^2 - a)\dot{U}_i$$

$$\dot{U}_d = \dot{U}_i \quad (6)$$

$$\dot{E}_d - \dot{Z}_d \dot{I}_d = -\dot{Z}_o \dot{I}_o = \dot{Z}_o \dot{I}_d$$

$$\boxed{\dot{I}_d = \frac{\dot{E}_d}{(\dot{Z}_d + \dot{Z}_i)}}$$

$$\dot{I}_d = -\frac{\dot{E}_d}{(\dot{Z}_d + \dot{Z}_i)}$$

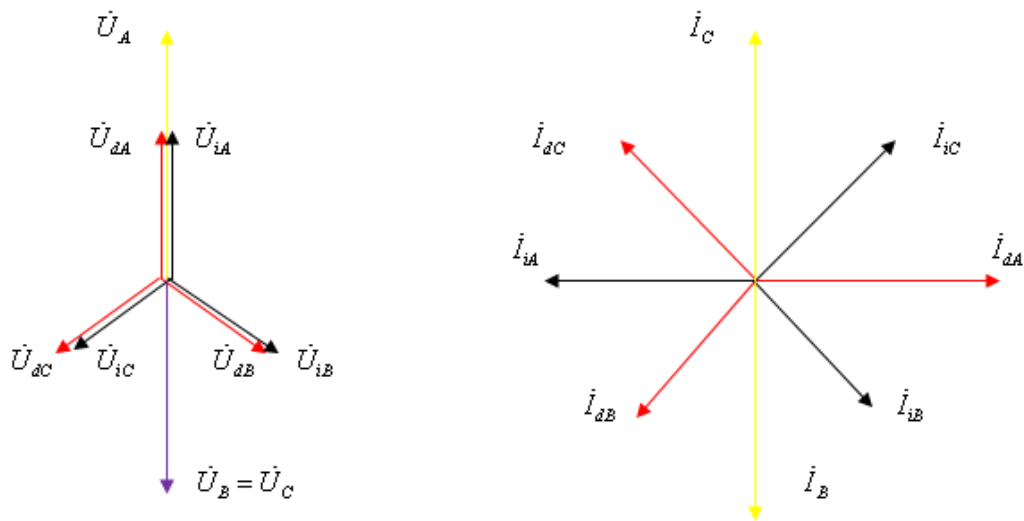
$$\begin{cases} \dot{I}_A = \dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o = \dot{I}_d - \dot{I}_d = 0 \\ \dot{I}_B = a^2\dot{I}_d + a\dot{I}_d = (a^2 - a)\dot{I}_d = -j\sqrt{3}\dot{I}_d \\ \dot{I}_C = -\dot{I}_B = (a - a^2)\dot{I}_d = j\sqrt{3}\dot{I}_d \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_d = \dot{U}_i = -\dot{Z}_i \dot{I}_i = \dot{E}_d \frac{\dot{Z}_i}{(\dot{Z}_d + \dot{Z}_i)} \\ \dot{U}_o = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_A = \dot{U}_d + \dot{U}_i = 2\dot{U}_i = 2\dot{E}_d \frac{\dot{Z}_i}{(\dot{Z}_d + \dot{Z}_i)} \\ \dot{U}_B = a^2\dot{U}_d + a\dot{U}_i = (a^2 + a)\dot{U}_d = -\dot{U}_d = -\dot{E}_d \frac{\dot{Z}_i}{(\dot{Z}_d + \dot{Z}_i)} \\ \dot{U}_C = \dot{U}_B = -\dot{E}_d \frac{\dot{Z}_i}{(\dot{Z}_d + \dot{Z}_i)} \end{cases}$$

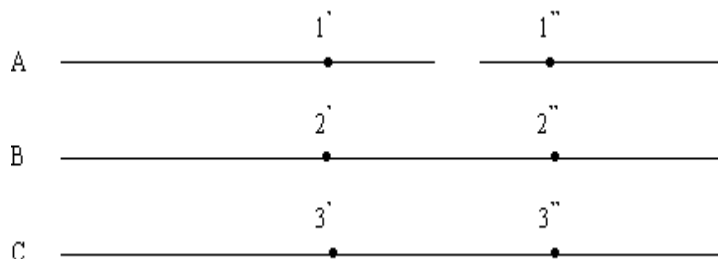
### III.6.1 construction du diagramme vectoriel :

Dans cette partie nous allons représenter les diagrammes vectoriels des tensions et des courants d'un circuit biphasé.



**Fig.III.17 : Diagramme vectoriel d'un court-circuit biphasé**

**III.7 Calcul (des courants dans le cas d'une ligne est coupée) d'un régime asymétrique longitudinal :**



**Fig. III.18 : schéma d'une ligne coupée d'un régime asymétrique longitudinal**

$$\begin{cases} \dot{E}_d = \dot{Z}_d \dot{I}_d + \dot{U}_d (1) \\ 0 = \dot{Z}_i \dot{I}_i + \dot{U}_i (2) \\ 0 = \dot{Z}_o \dot{I}_o + \dot{U}_o (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_A = 0 (4) \\ \dot{U}_{22'} = 0 (5) \\ \dot{U}_{33'} = 0 (6) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_o = \frac{1}{3} (\dot{U}_{11'} + \dot{U}_{22'} + \dot{U}_{33'}) = \frac{1}{3} \dot{U}_{11'} \\ \dot{U}_d = \frac{1}{3} (\dot{U}_{11'} + a \dot{U}_{22'} + a^2 \dot{U}_{33'}) = \frac{1}{3} \dot{U}_{11'} \\ \dot{U}_i = \frac{1}{3} (\dot{U}_{11'} + a^2 \dot{U}_{22'} + a \dot{U}_{33'}) = \frac{1}{3} \dot{U}_{11'} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_A = 0(4) \\ \dot{U}_{2'2''} = 0(5) \\ \dot{U}_{3'3''} = 0(6) \\ \dot{U}_o = \frac{1}{3}(\dot{U}_{1'1''} + \dot{U}_{2'2''} + \dot{U}_{3'3''}) = \frac{1}{3}\dot{U}_{1'1''} \\ \dot{U}_d = \frac{1}{3}(\dot{U}_{1'1''} + a\dot{U}_{2'2''} + a^2\dot{U}_{3'3''}) = \frac{1}{3}\dot{U}_{1'1''} \\ \dot{U}_i = \frac{1}{3}(\dot{U}_{1'1''} + a^2\dot{U}_{2'2''} + a\dot{U}_{3'3''}) = \frac{1}{3}\dot{U}_{1'1''} \end{cases}$$

$$\dot{U}_d = \dot{U}_o = \dot{U}_i = \frac{1}{3}\dot{U}_{1'1''}$$

$$(4) \Rightarrow \dot{I}_A = \dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o$$

$$\frac{\dot{E}_d - \dot{U}_d}{\dot{Z}_d} - \frac{\dot{U}_i}{\dot{Z}_i} - \frac{\dot{U}_o}{\dot{Z}_o} = 0$$

$$\dot{U}_d = \dot{U}_i = \dot{U}_o = \frac{1}{3}\dot{U}_{1'1''}$$

$$(4) \Rightarrow \dot{I}_A = \dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o$$

$$\Rightarrow \dot{U}_d = \frac{\dot{E}_d}{1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}}$$

$$\dot{U}_d = \dot{U}_i = \dot{U}_o = \frac{\dot{E}_d}{1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}}$$

$$\dot{U}_{1'1''} = \dot{U}_d + \dot{U}_i + \dot{U}_o = 3\dot{U}_d = 3 \frac{\dot{E}_d}{1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}}$$

$$\dot{U}_{2'2''} = \dot{U}_{3'3''} = (a^2 + a + 1)\dot{U}_d = 0$$

$$\dot{I}_d = \frac{\dot{E}_d - \dot{U}_d}{\dot{Z}_d} - \frac{\dot{E}_d}{\left(1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}\right)\dot{Z}_d} = \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}}\right)$$

$$\dot{I}_i = -\frac{\dot{U}_i}{\dot{Z}_i} = -\frac{\dot{E}_d}{\left(1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}\right)\dot{Z}_i}$$

$$\dot{I}_o = -\frac{\dot{U}_o}{\dot{Z}_o} = -\frac{\dot{E}_d}{\left(1 + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_i} + \frac{\dot{Z}_d}{\dot{Z}_o}\right)\dot{Z}_o}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \dot{I}_d + \dot{I}_i + \dot{I}_o = 0 \\ \dot{I}_B = a^2\dot{I}_d + a\dot{I}_i + \dot{I}_o \\ \dot{I}_C = a\dot{I}_d + a^2\dot{I}_i + \dot{I}_o \end{cases}$$

**III.8 Généralisation du calcul de court-circuit [13]**

En considérant la composante directe ( $I_d$ ) du courant des différentes formes des courts-circuits nous avons trouvé que dans le cas contraire.

a) monophasée : 
$$\dot{I}_d = \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_o}$$

b) biphasée sans contact avec la terre : 
$$\dot{I}_d = \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i}$$

c) biphasée ayant un contact avec la terre :

d) dans le cas court circuit triphasé : 
$$\dot{I}_{CC} = \frac{\sum \dot{E}}{\sum \dot{Z}_d}$$

Sachant que le court circuit triphasé est un régime symétrique, et le système symétrique est un système direct, dans ce cas  $I_{cc}$  on peut l'écrire aussi : 
$$\dot{I}_d = \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d}$$

En ce qui concerne les courants de court-circuit dans les phases endommagées nous avons :

1. court-circuit monophasé :  $\dot{I}_A = 3\dot{I}_d$

2. court-circuit biphasé sans contact avec la terre :  $\dot{I}_{A,B} = \dot{I}_d \sqrt{3}$

3. court-circuit ayant un contact avec la terre : 
$$I_{A,B} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{\dot{Z}_d \cdot \dot{Z}_o}{(\dot{Z}_i + \dot{Z}_o)^2}}$$

En généralisant les expressions du courant  $\dot{I}_d$  on peut écrire : 
$$\dot{I}_d = \frac{\dot{E}_d}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_\Delta^{(n)}}$$

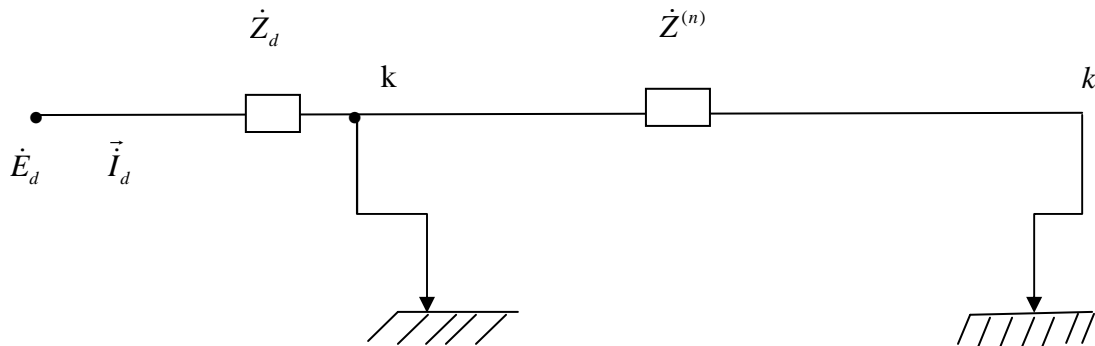
Pour les courants de court circuit dans les phases endommagées : 
$$\dot{I}_{A,B,C} = N^{(n)} \dot{I}_d$$

Les valeurs de  $\underline{Z}_\Delta^n$  et  $N^n$  sont données dans le tableau suivant :

Court circuit	$\dot{Z}^{(n)}$	$N^{(n)}$
monophasé	$\dot{Z}_i + \dot{Z}_o$	3
Biphasé sans contact avec la terre	$\dot{Z}_i$	$\sqrt{3}$
Biphasé ayant contact avec la terre	$\frac{\dot{Z}_i \cdot \dot{Z}_o}{(\dot{Z}_i + \dot{Z}_o)}$	$\sqrt{3} \frac{\dot{Z}_i \cdot \dot{Z}_o}{(\dot{Z}_i + \dot{Z}_o)}$
triphasé	0	1

**Tableau.III.1 : synthèse des valeurs de  $Z^{(n)}$  et  $N^{(n)}$  des différents courts-circuits.**

Cette généralisation nous montre que les courts circuits asymétriques peuvent être calculés comme le court circuit, ainsi que les courts circuits asymétriques a lieu sur un point fictif ( $k'$ ) se trouvant après l'impédance  $\underline{Z}^n$  du point réel du court circuit



**Fig.III.19 : schéma équivalent d'un court-circuit asymétrique.**

### III.9 Les impédances homopolaires dans des éléments du réseau électrique

Les impédances homopolaire dans les conducteurs de 3 phases électriques sont les mêmes, et ils ont les mêmes sens, alors pour l'écoulement de ce courant il faut avoir le 4<sup>ème</sup> file.

Les neutres des transformateurs et des autos transformateurs mis à la terre sont le 4<sup>ème</sup> conducteur dont le courant homopolaire existe dans le réseau dont le neutre et mis à la terre.

Dans les réseaux moyens tension les courants homopolaires n'existent pas car le neutre est isolé de la terre.

### III.10 Impédance homopolaire des alternateurs :

Si le neutre de alternateur est mis a la terre, le courant homopolaire dans les bobines dans les trois phases sont égaux mais, les bobines des phases de l'alternateur sont décalées

$\frac{2\pi}{3}$  c'est pour cette raison que les courants homopolaires dans les trois phases sont aussi

décales de  $\frac{2\pi}{3}$  .

Les flux magnétiques de ces courants composent l'un des autres ; le flux magnétique homopolaire total doit être très petit ; par conséquent l'impédance homopolaire des alternateurs est très petite ; cette valeur dépend de la construction des machines.

$$X_{oalter} = (0.15 \div 0.6) \cdot X_d''$$

Les valeurs  $X_o$  pour alternateurs sont données dans les catalogues des alternateurs.

### III.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthode utilisée pour le calcul des défauts qui apparaissent sur les réseaux électriques, l'application de cette dernière diffère d'un type de court-circuit à un autre.

# *CHAPITRE IV*

### VI.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons étaler sur l'étude du réseau de distribution moyenne tension avec le neutre isolé de la terre au niveau du poste Fréha et cette étude consiste à analyser les variations des courants et des tensions de défaut dans un essai à vide et en charge, et pour cela, on utilise deux méthodes, à savoir, une simulation numérique sous environnement *MATLAB 7.0* et un calcul sur la base d'une méthode analytique souvent employée dans la pratique [15].

Notre objectif est la comparaison entre ces deux méthodes.

### VI.2 La description du réseau à étudier avec le neutre isolé de la terre

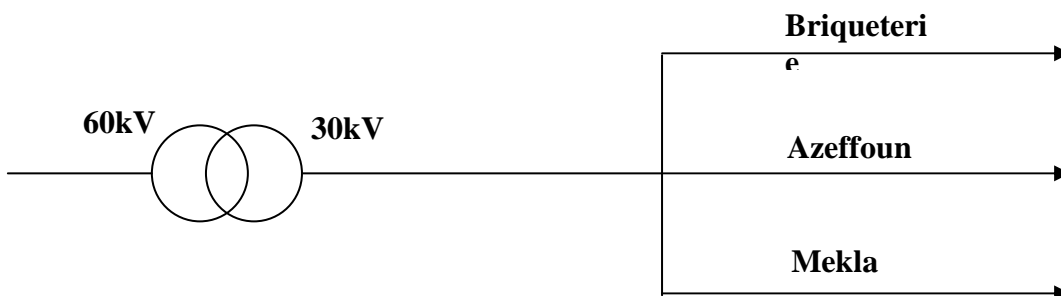


Fig.IV.I : répartition des départs

Le réseau représenté dans la fig.IV.I contient une source de tension de 30kV qui alimente trois départs différents : *BRIQUETRIE*, *AZEFFOUN* et *MEKLA*. Leurs caractéristiques sont représentées dans le tableau ci-dessous.

$L$  : la longueur de départ en km.

$r_0$  : la résistance linéique en ohm /km.

$x_0$  : la réactance linéique en ohm/km

Départs	L (km)	$r_0$ ( $\Omega/\text{km}$ )	$x_0$ ( $\Omega/\text{km}$ )	$\dot{z}$ ( $\Omega$ )
BRIQUETRIE	39.31	0.35	0.45	13.76+j17.69
AZEFFOUN	42	0.35	0.45	14.70+j18.90
MEKLA	15	0.35	0.45	5.25+j6.75

**Tableau IV.I Caractéristiques des départs**

Dans ce qui suit, les trois départs BRIQUETRIE, AZEFFOUN et MEKLA correspondent respectivement à la 1<sup>ère</sup>, la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> ligne.

Notre calcul est basé sur les valeurs relevées d'un tableau délivré par la direction régionale de SONELGAZ de TIZI-OUZOU (poste FREHA) correspondant à une mesure des charges journalière pendant la durée 14 et 15 juillet 2008, nous avons choisis les données relatives au pointe de charge relevée à 21h30 [Annexe].

### IV.3 Méthodes de calculs

#### IV.3.1 Simulation sous le logiciel *MATLAB /Simulink*

Le schéma du réseau réel donné dans la figure IV.1 a été modélisé et implémenté sous environnement Matlab.Simulink, ceci nous a permis de relever les courbes des grandeurs électriques du schéma pour différentes configurations du réseau à savoir à vide et cas de pic de charge.

### IV.3.1.1 Essai à vide

Le schéma modélisé du réseau de l'essai à vide et donné dans la figure IV.2.

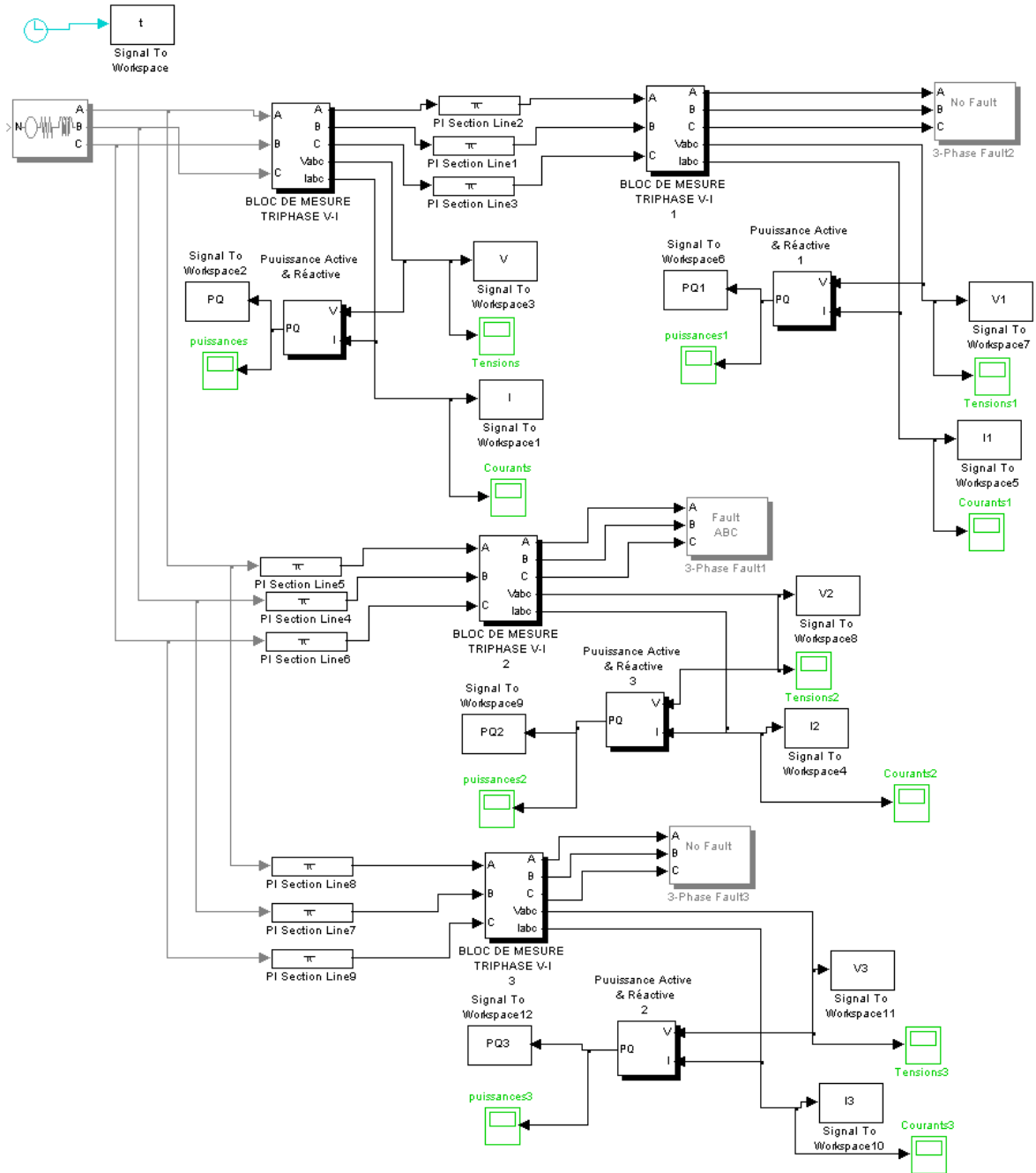
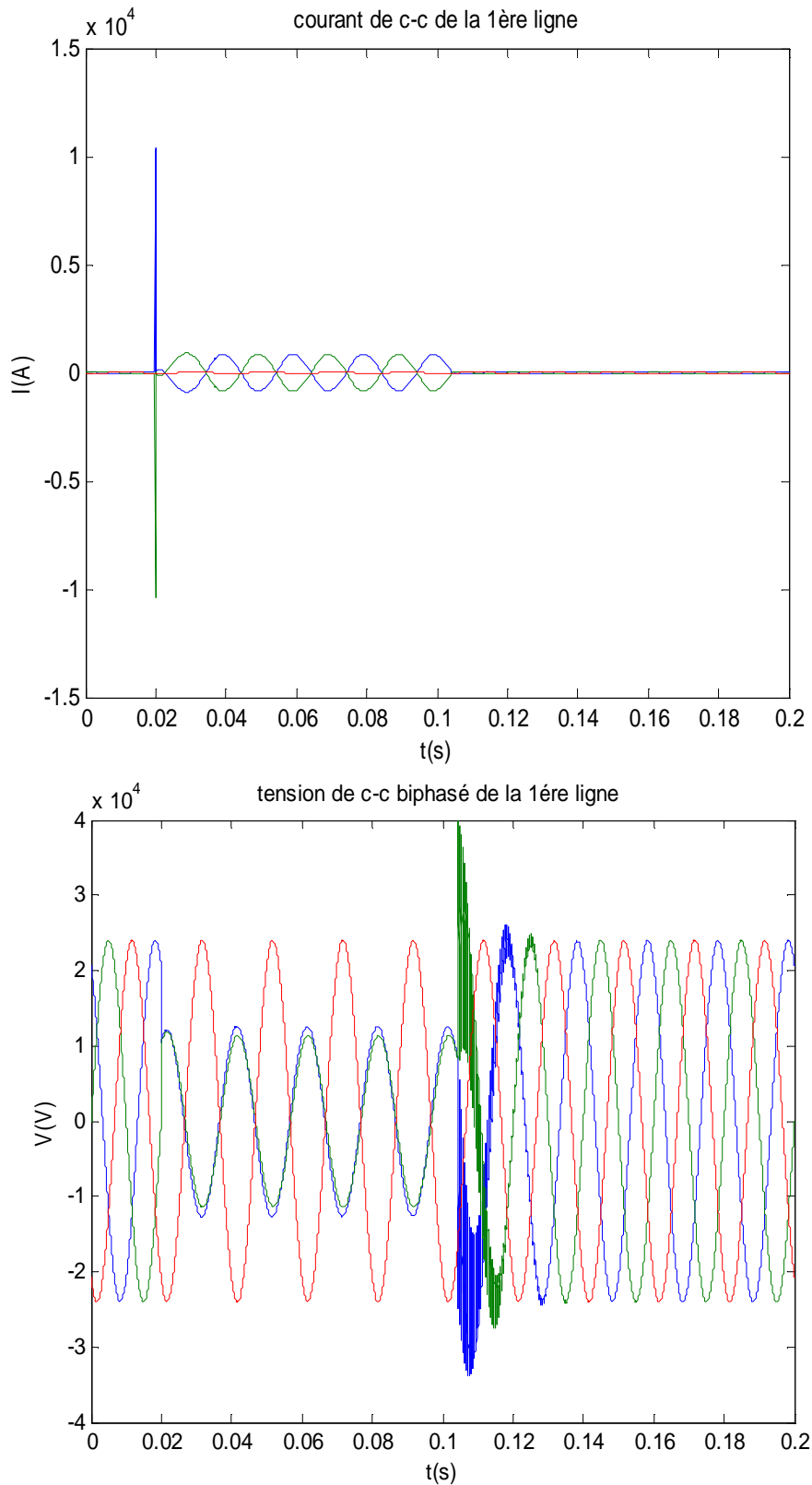


Fig.IV.2 : Schéma bloc utilisé dans la simulation pour l'essai à vide

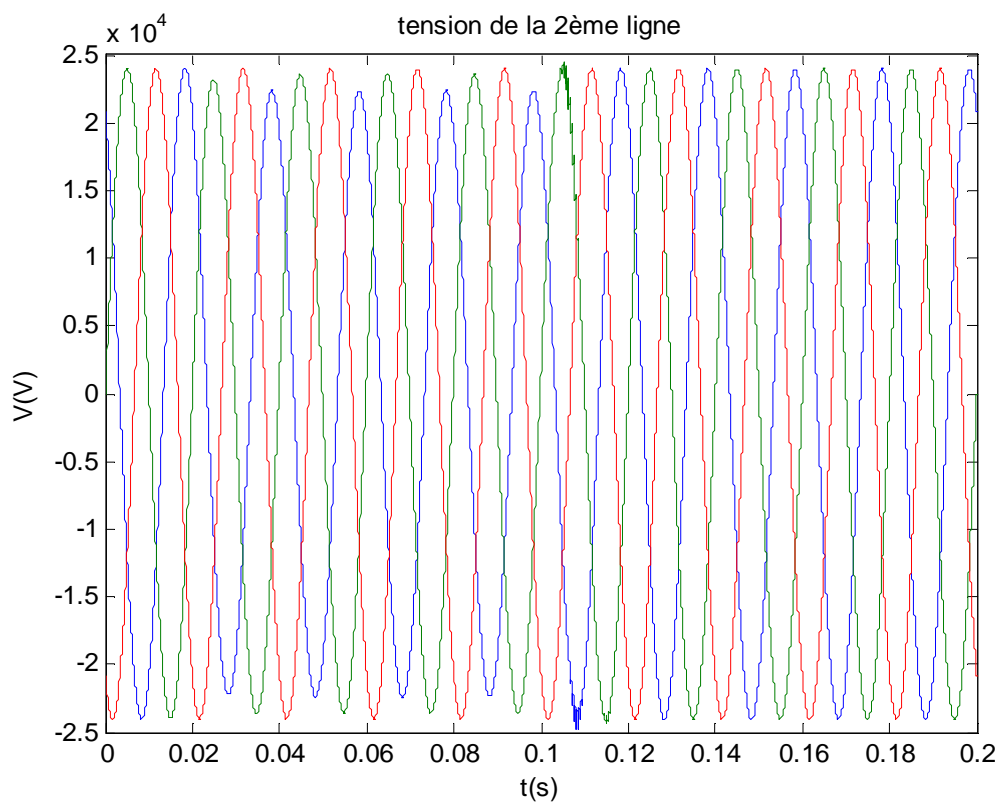
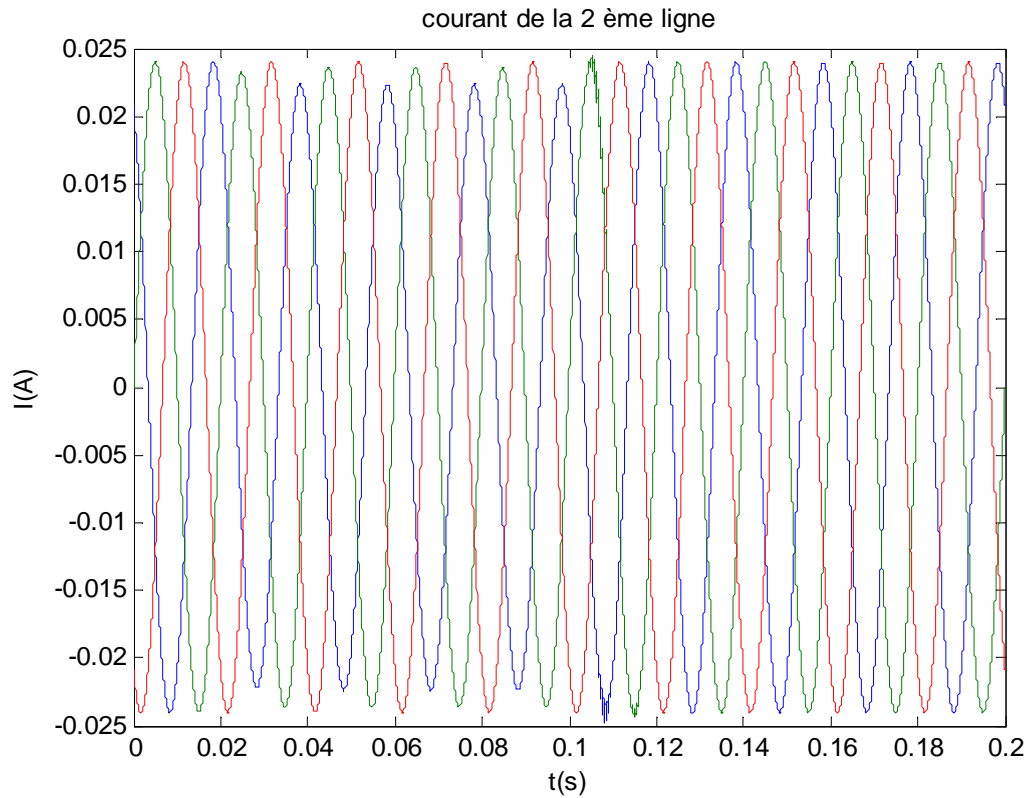
Dans cet essai nous allons relever les courbes des tensions et des courants de défauts biphasés et triphasés des trois départs.

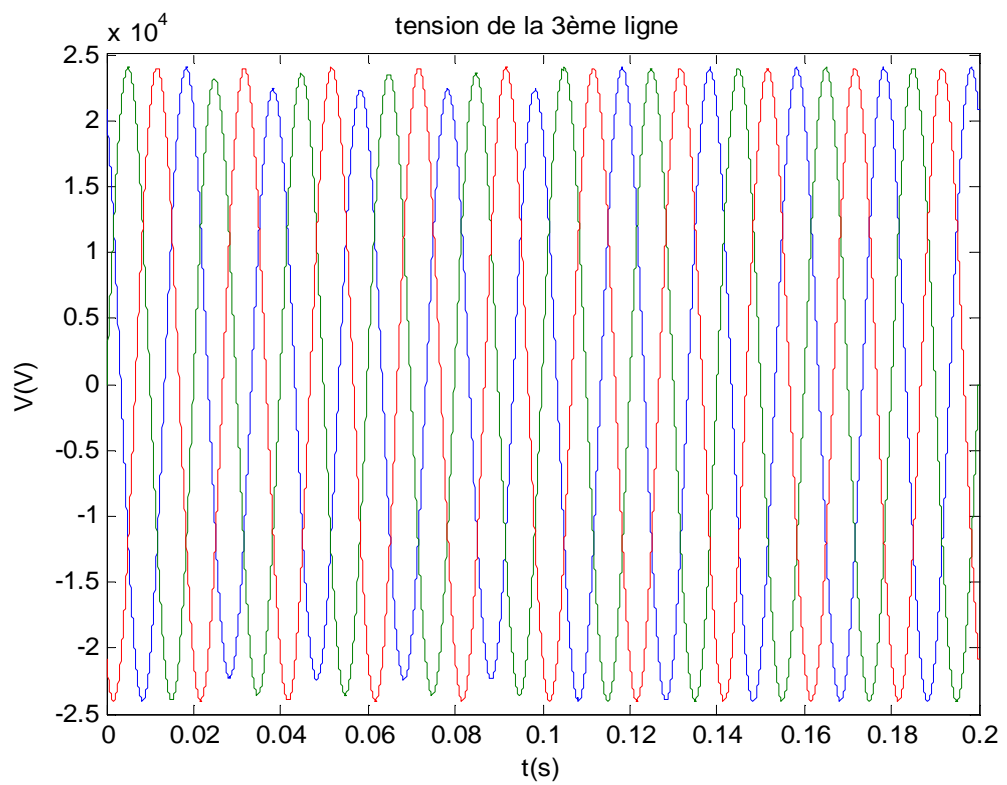
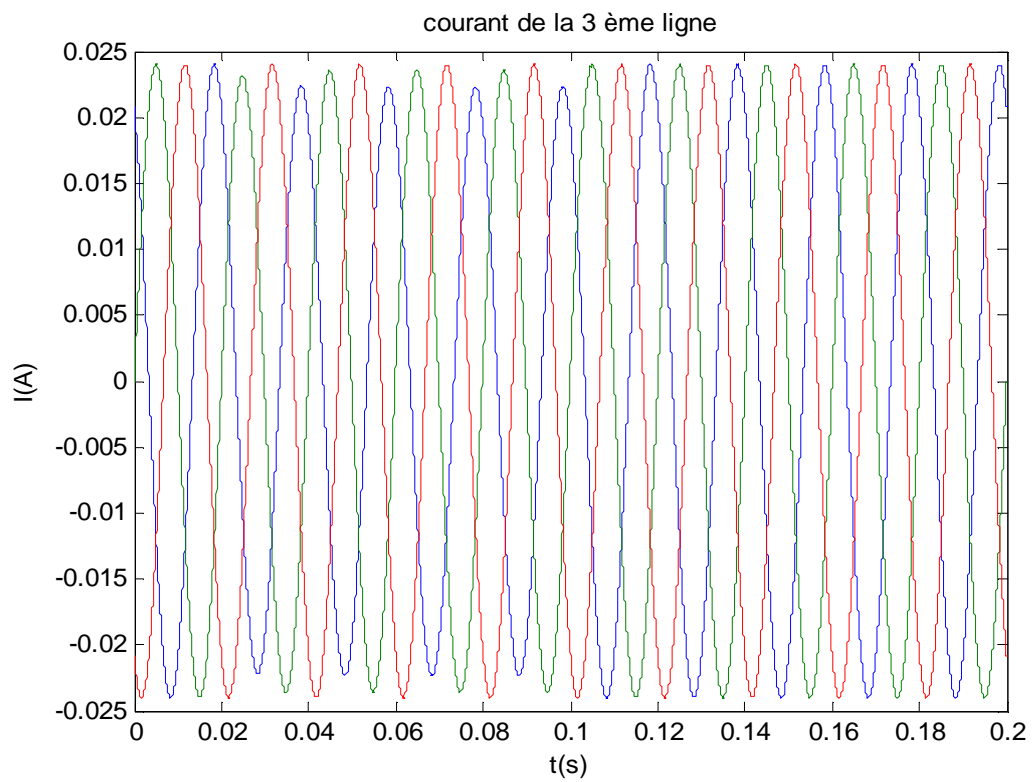
#### IV.3.1.1.1 Courant et tension de défaut biphasé de la première ligne



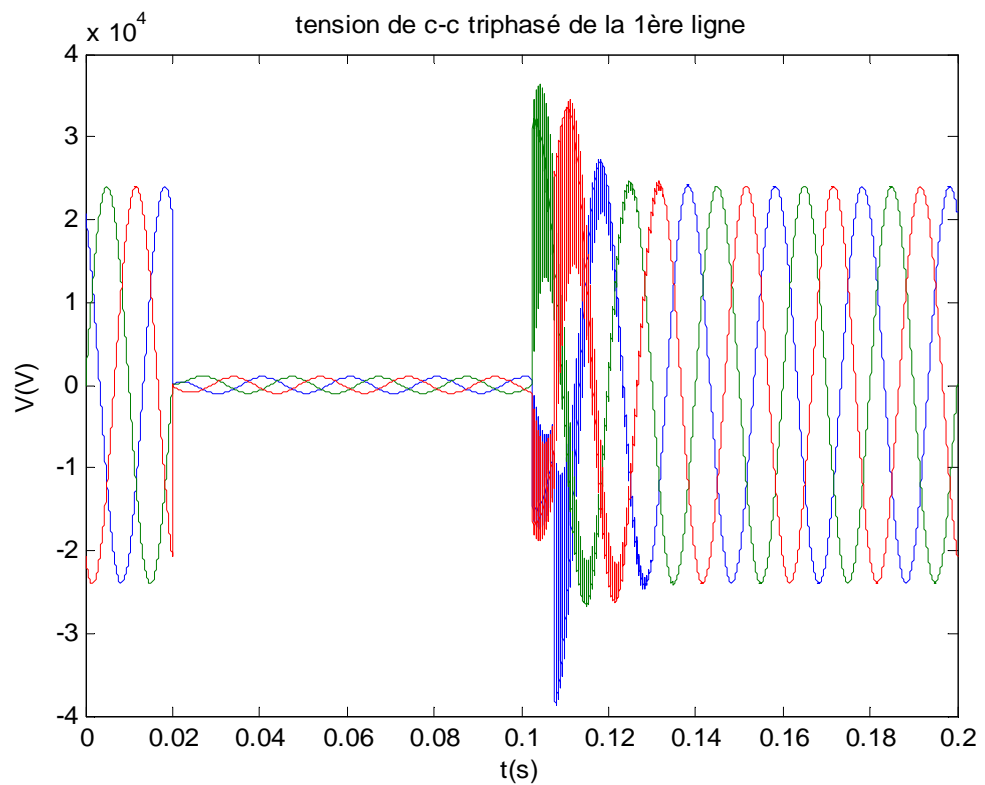
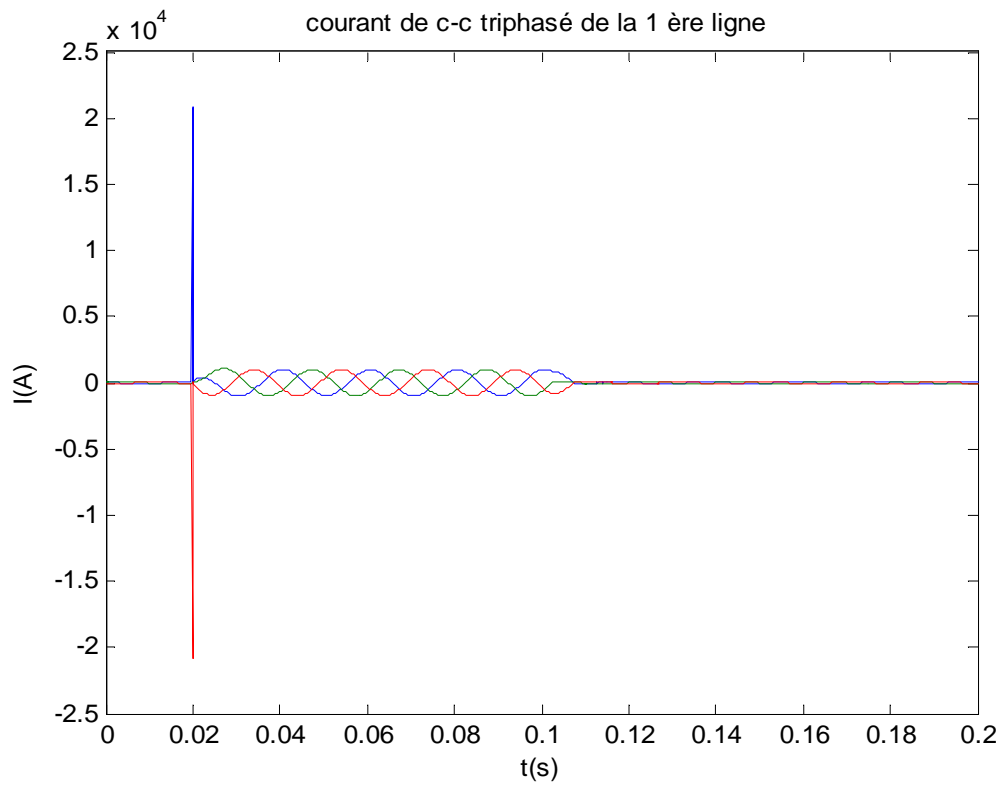
### IV.3.1.1.2 Influence du défaut biphasé de la première ligne sur la deuxième et troisième ligne

#### - Deuxième ligne



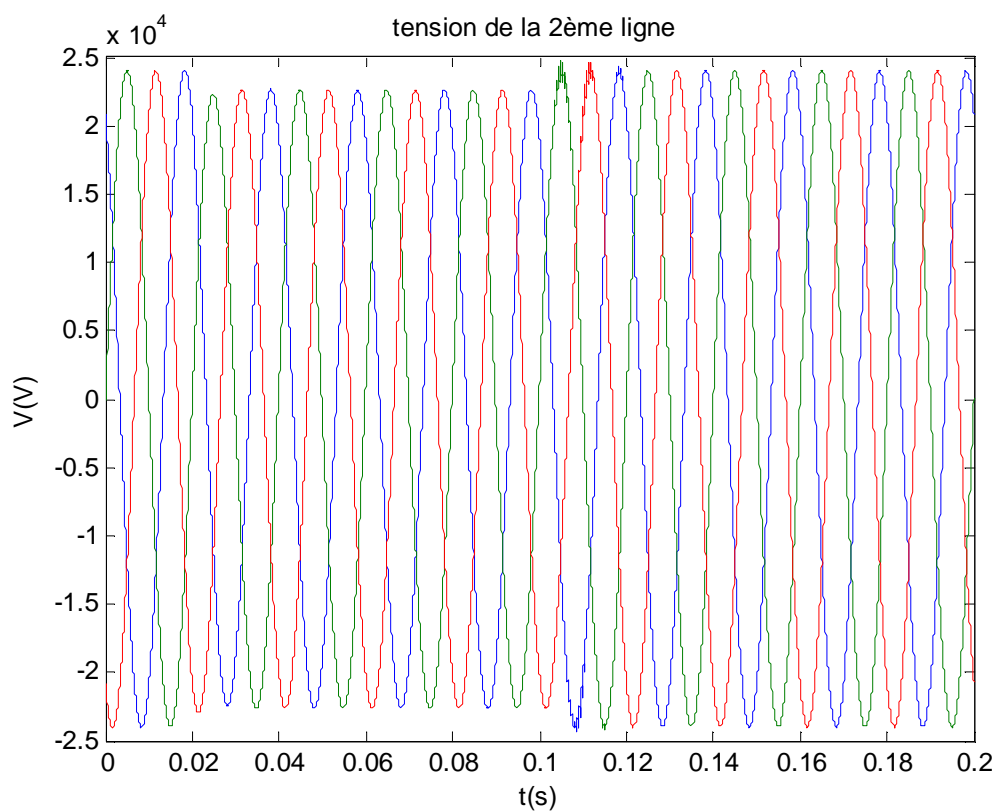
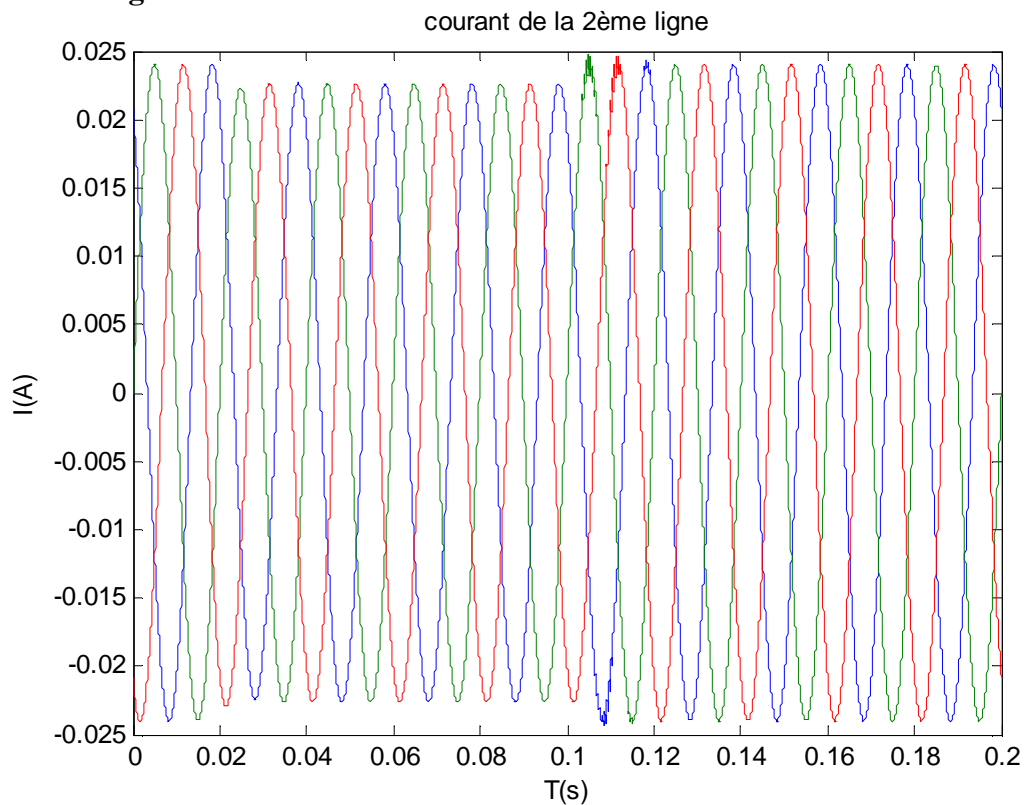
**Troisième ligne**

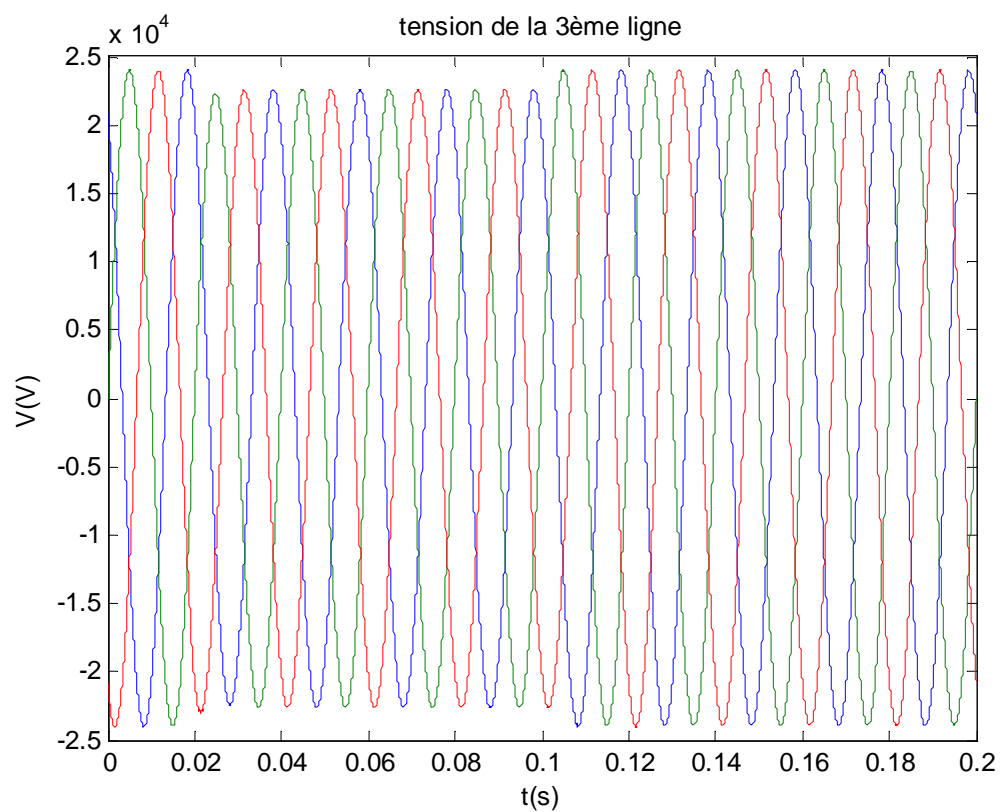
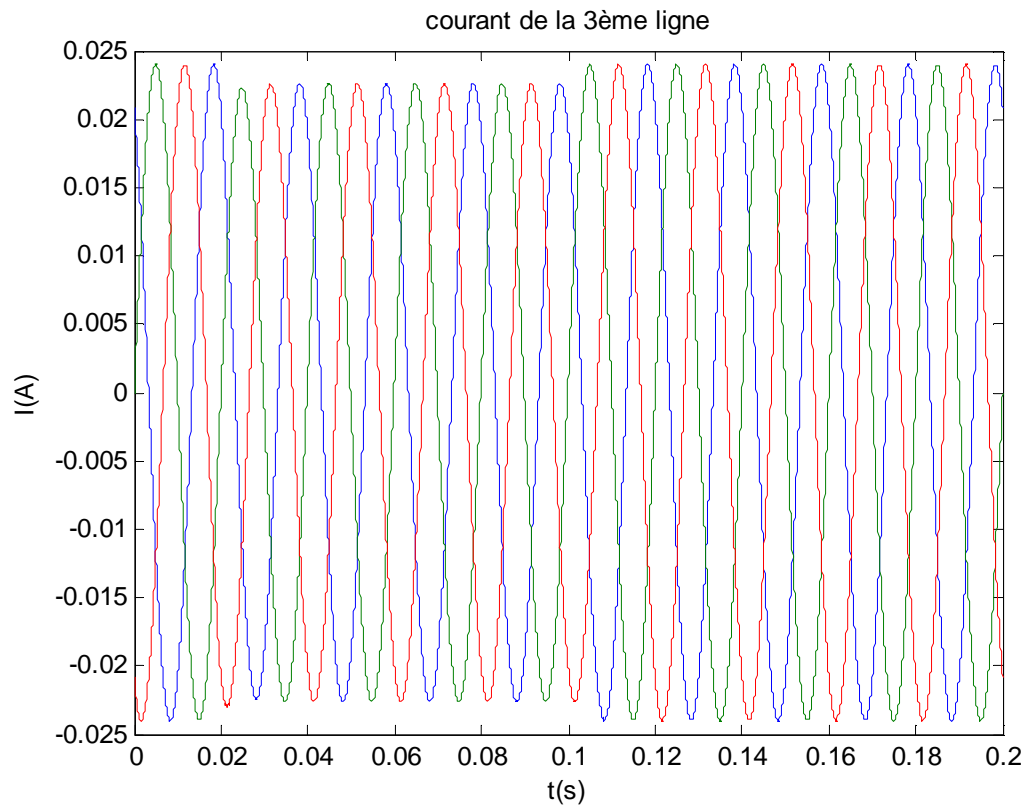
### IV.3.1.1.3 Courant et tension de défaut triphasé de la première ligne



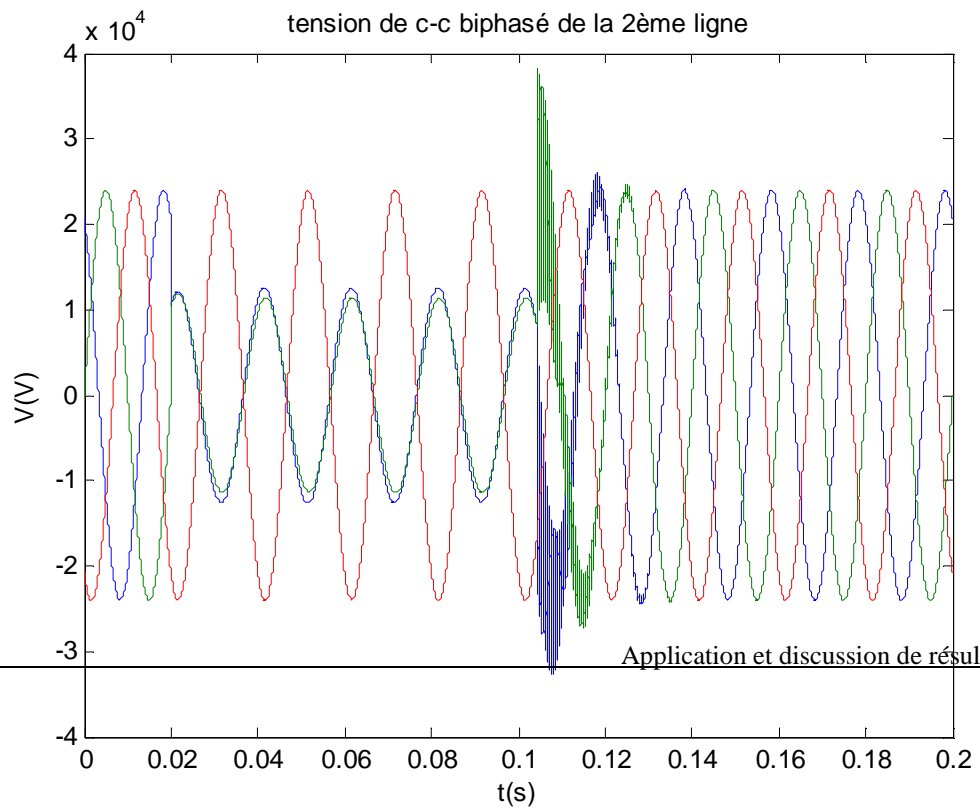
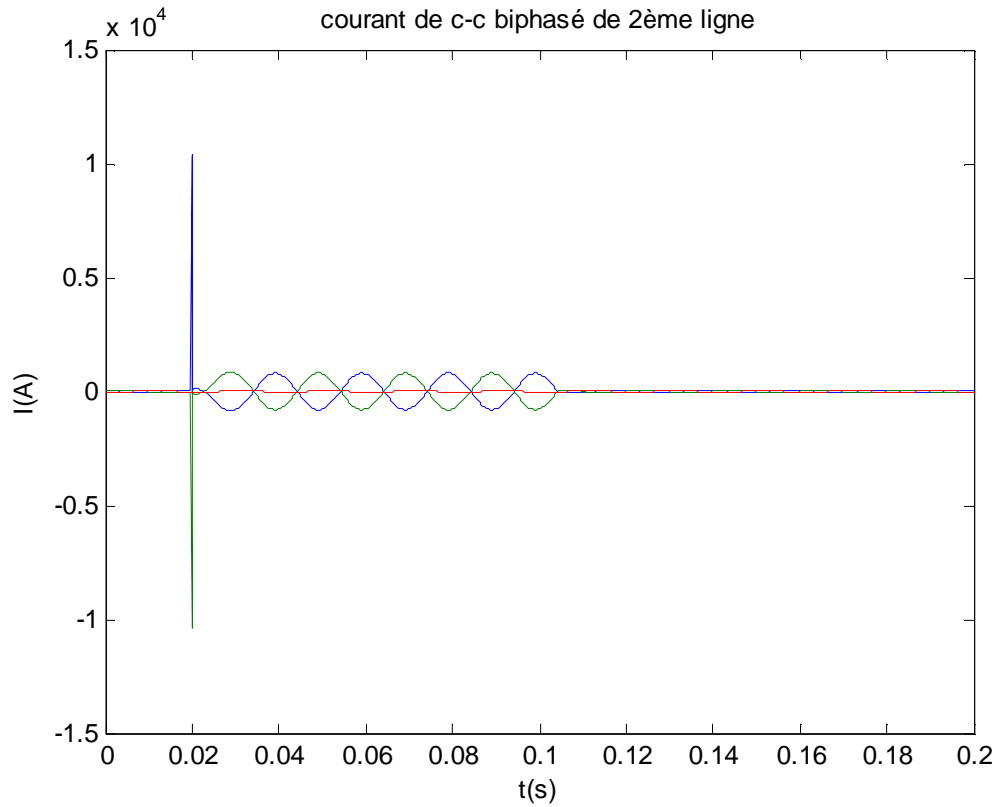
#### IV.3.1.1.4 Influence de défaut triphasé de la première ligne sur la deuxième et la troisième ligne

##### - Deuxième ligne

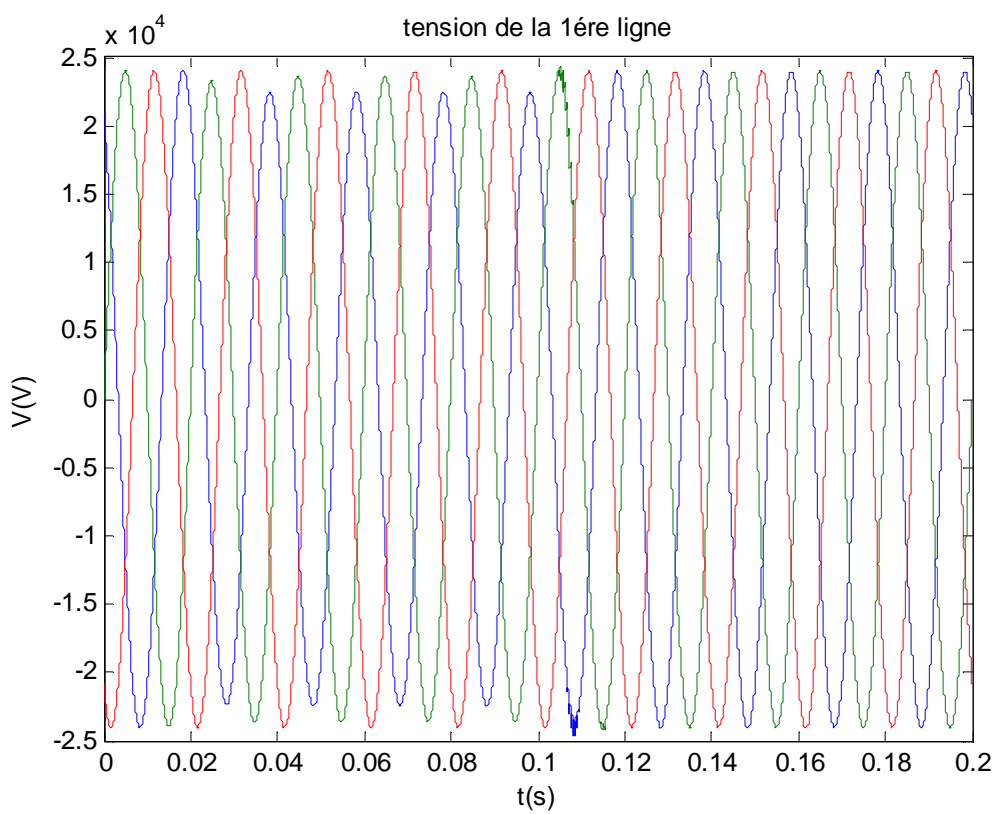
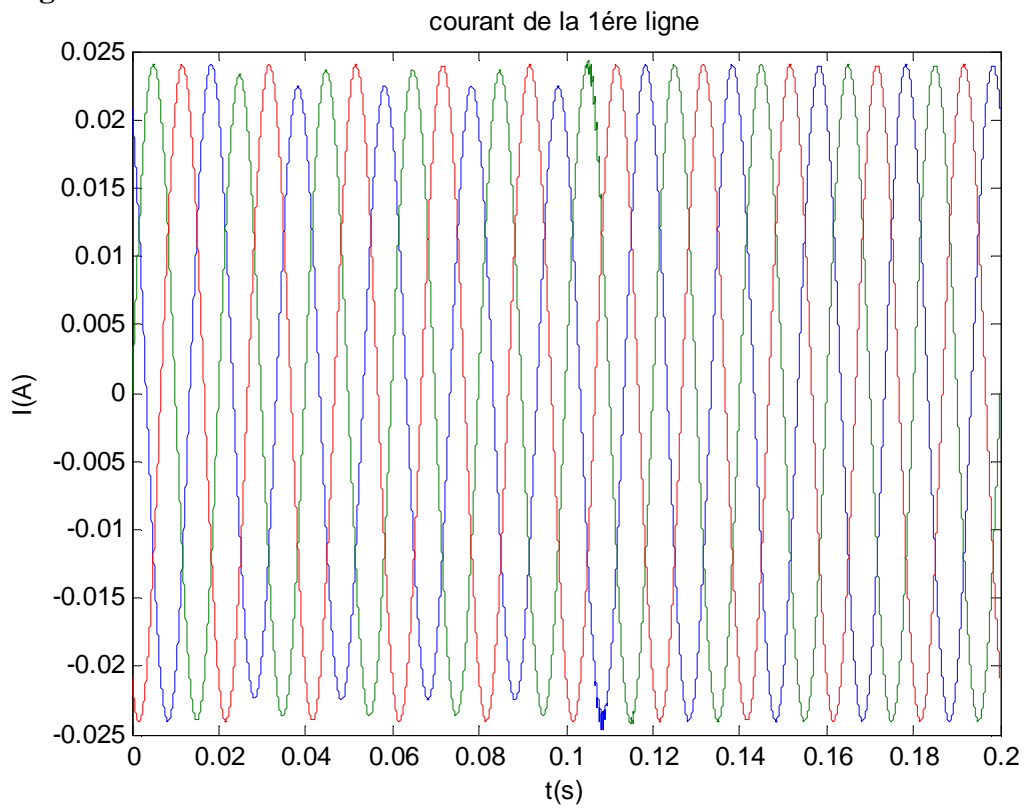


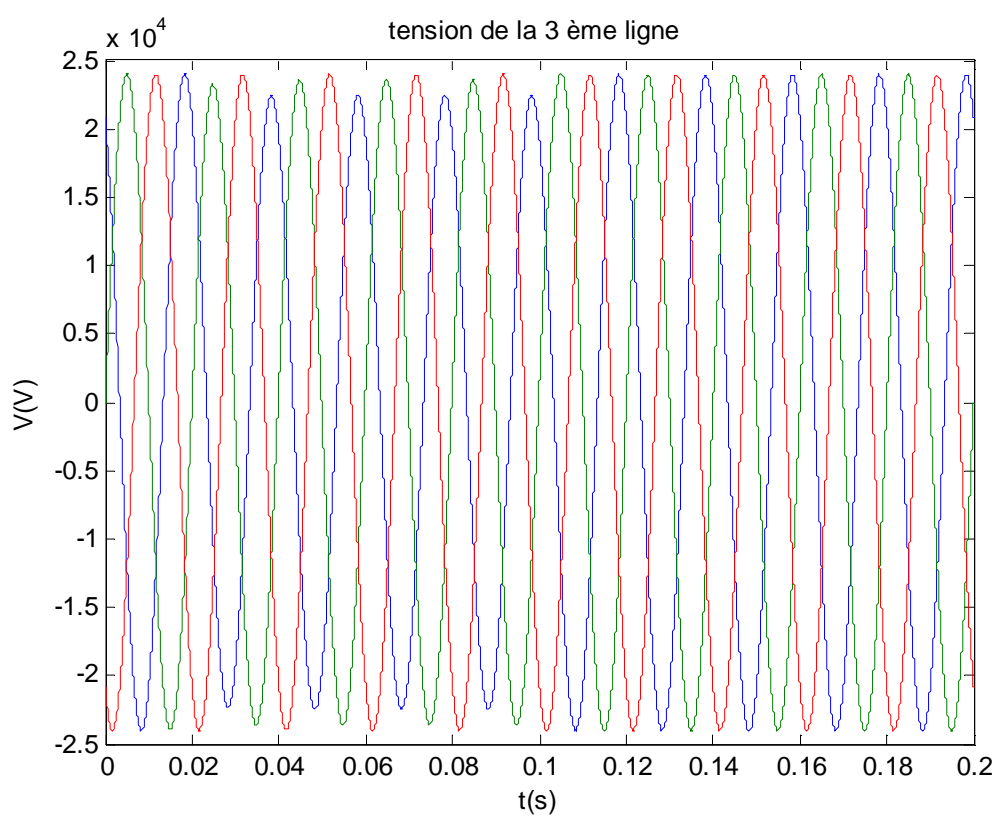
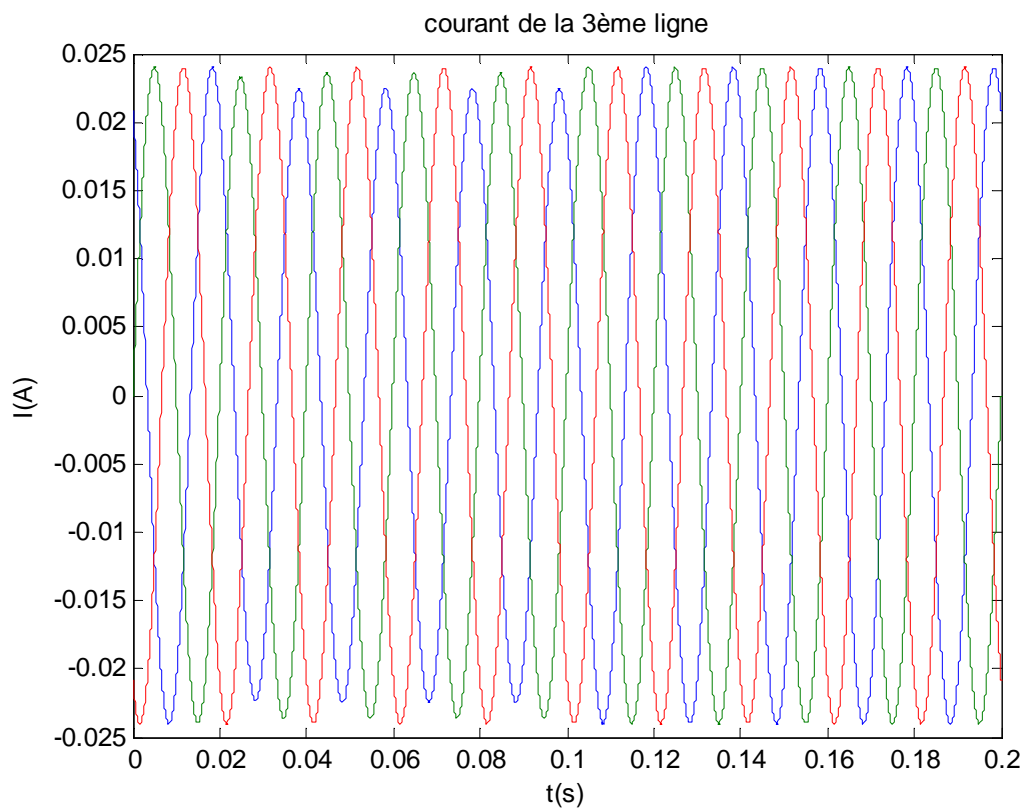
**Troisième ligne**

### IV.3.1.1.2.1 courant et tension de défaut biphasé de la deuxième ligne

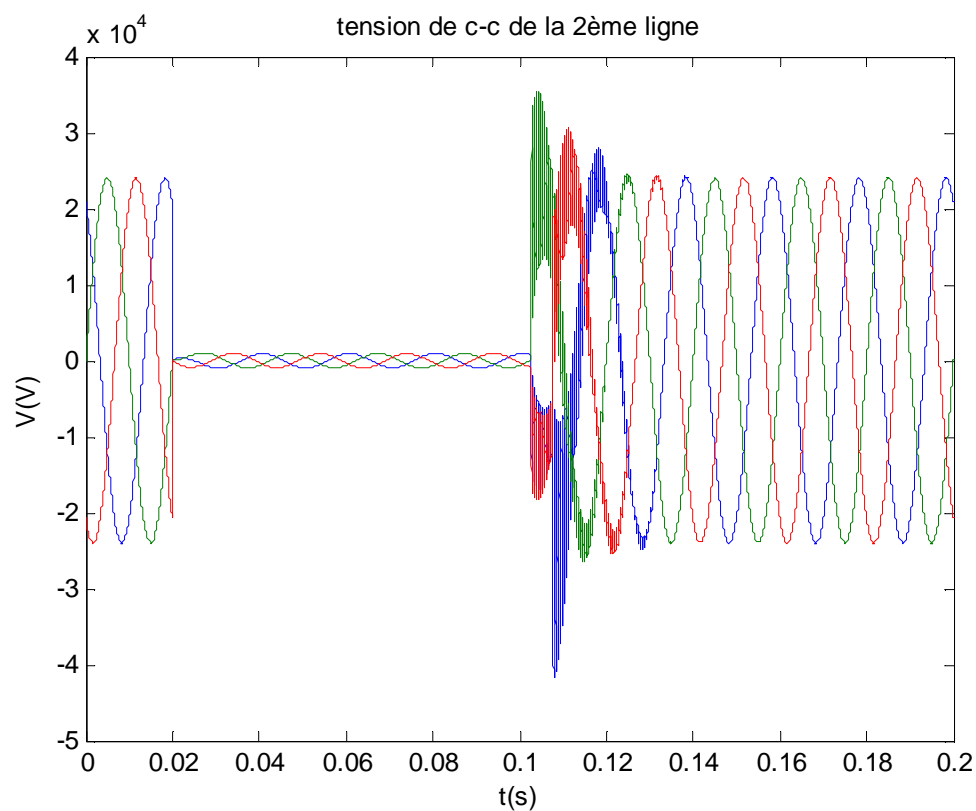
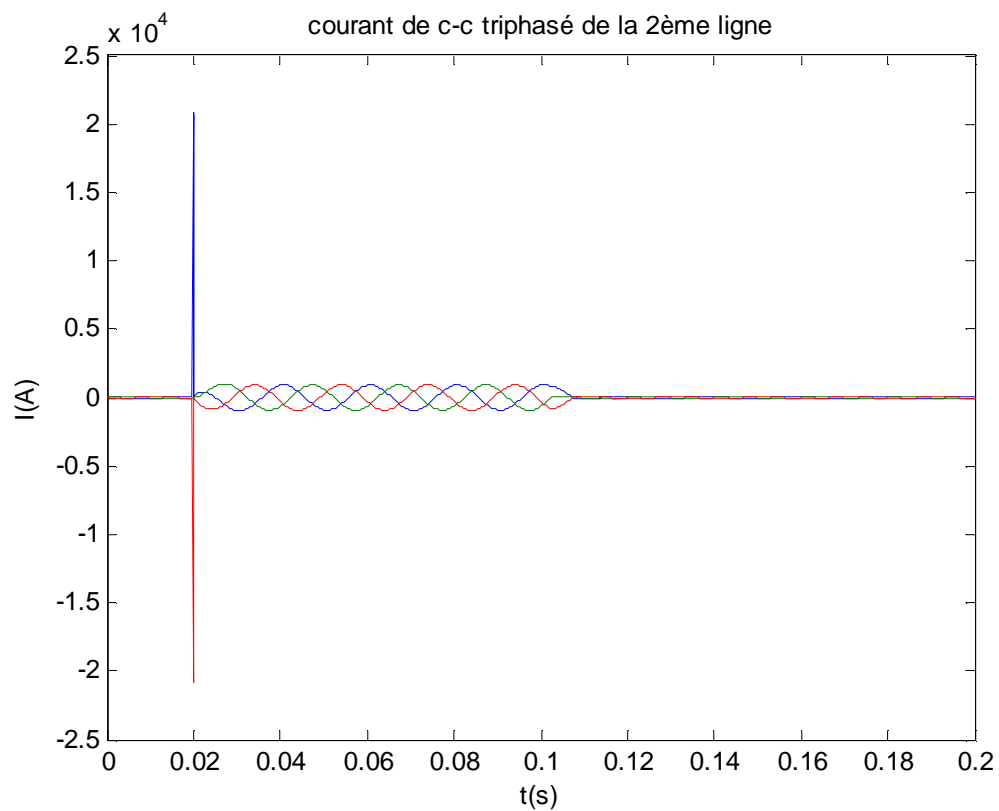


**IV.3.1.1.2.2 Influence du défaut biphasé de la deuxième ligne sur la première et troisième ligne**  
**- Première ligne**

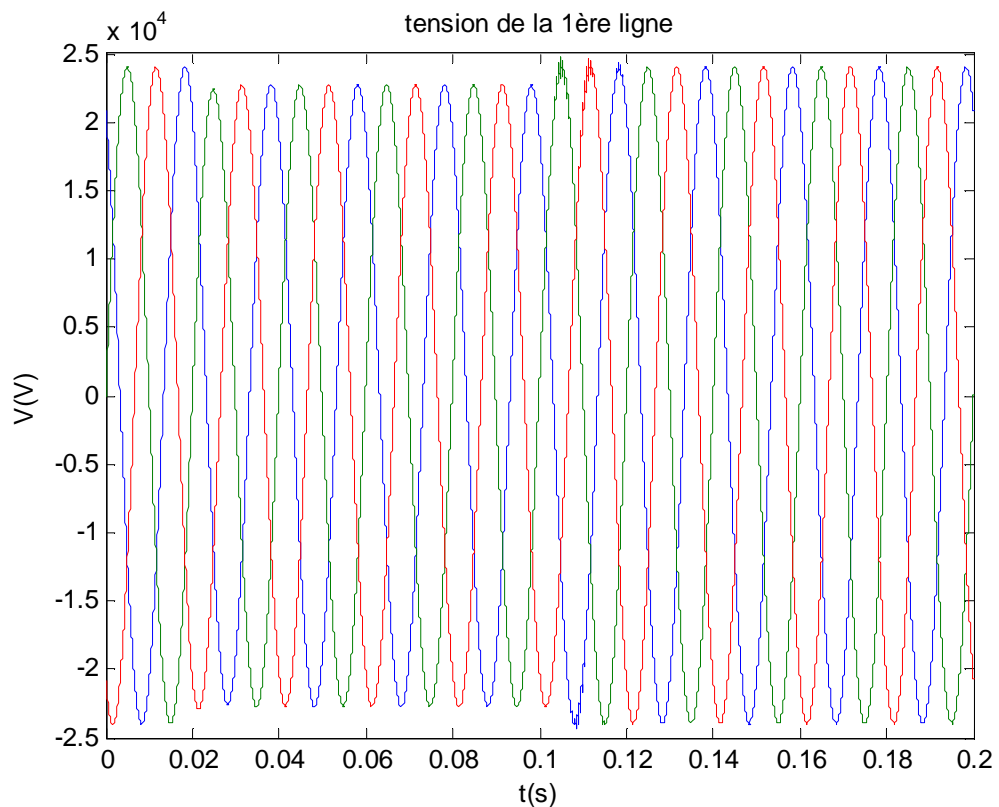
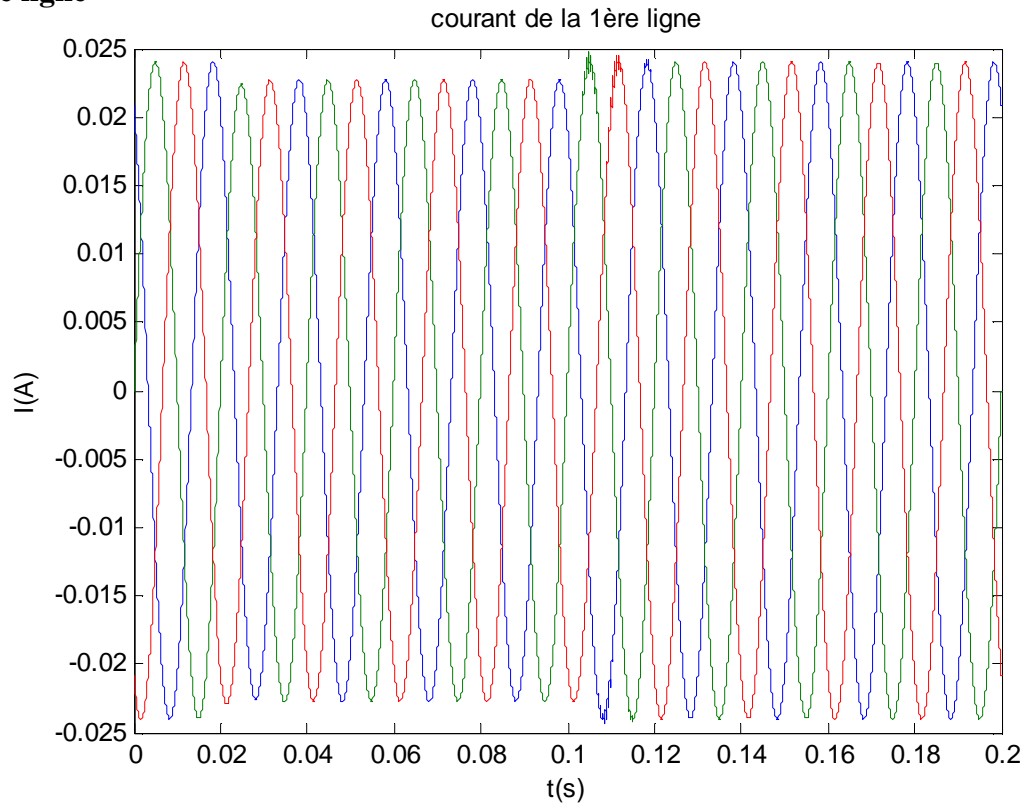


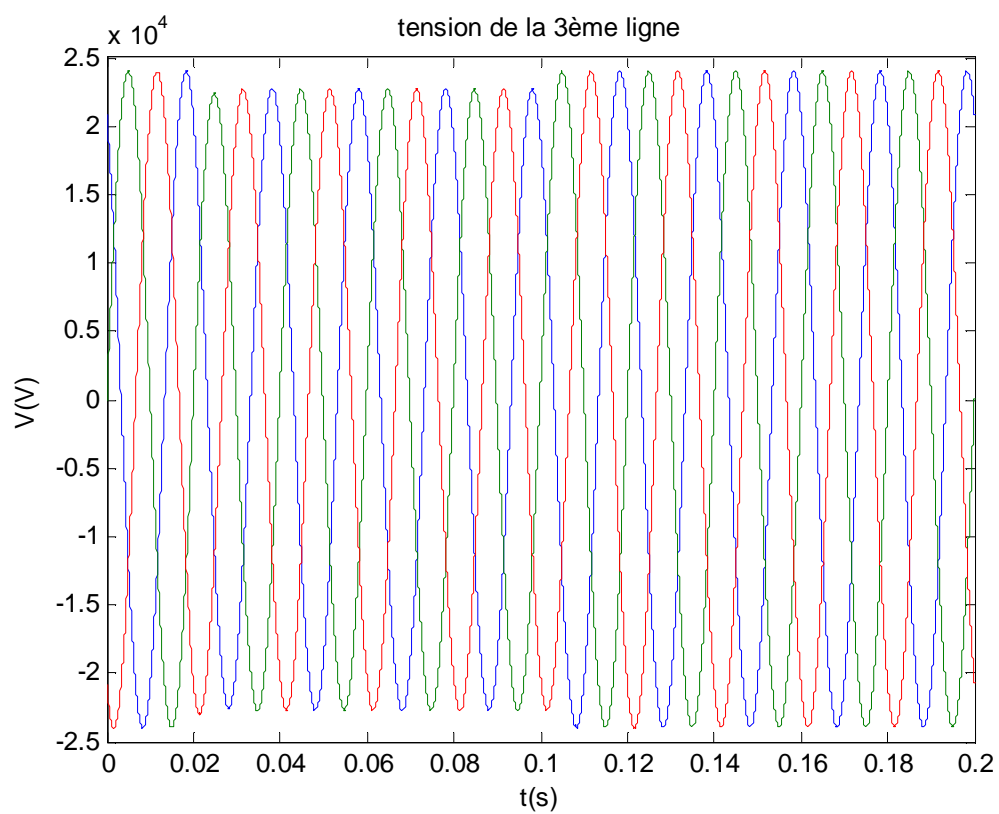
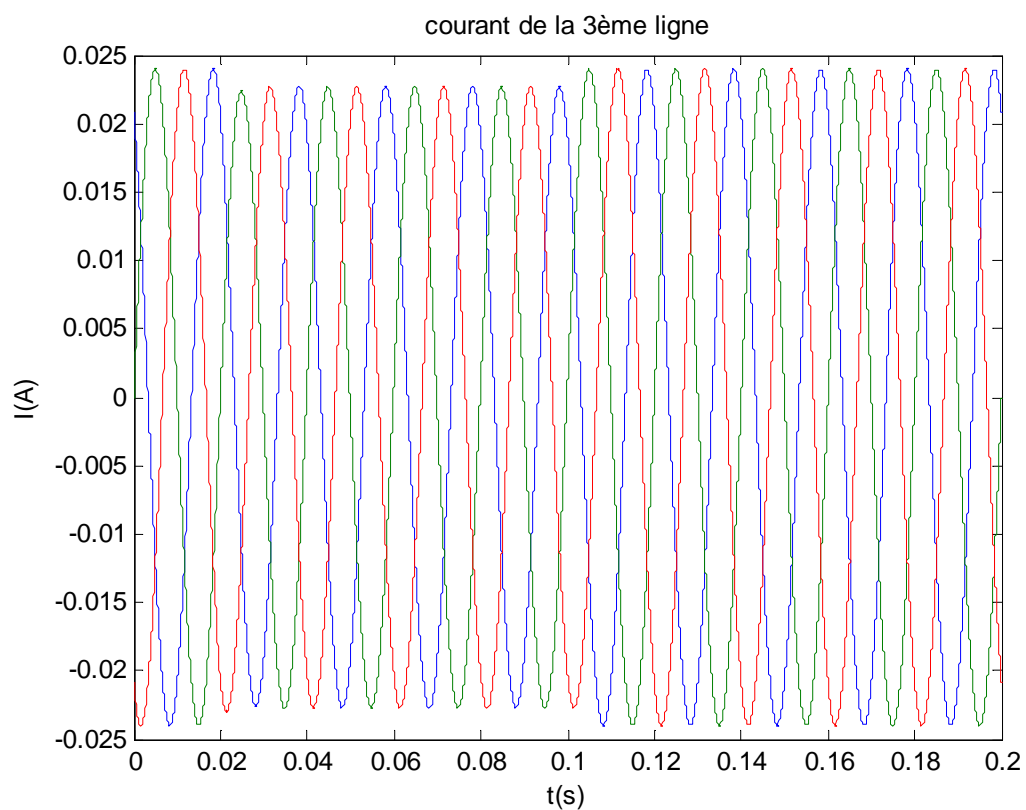
**- Troisième ligne**

### IV.3.1.1.2.3 Courant et tension de défaut triphasé de la deuxième ligne

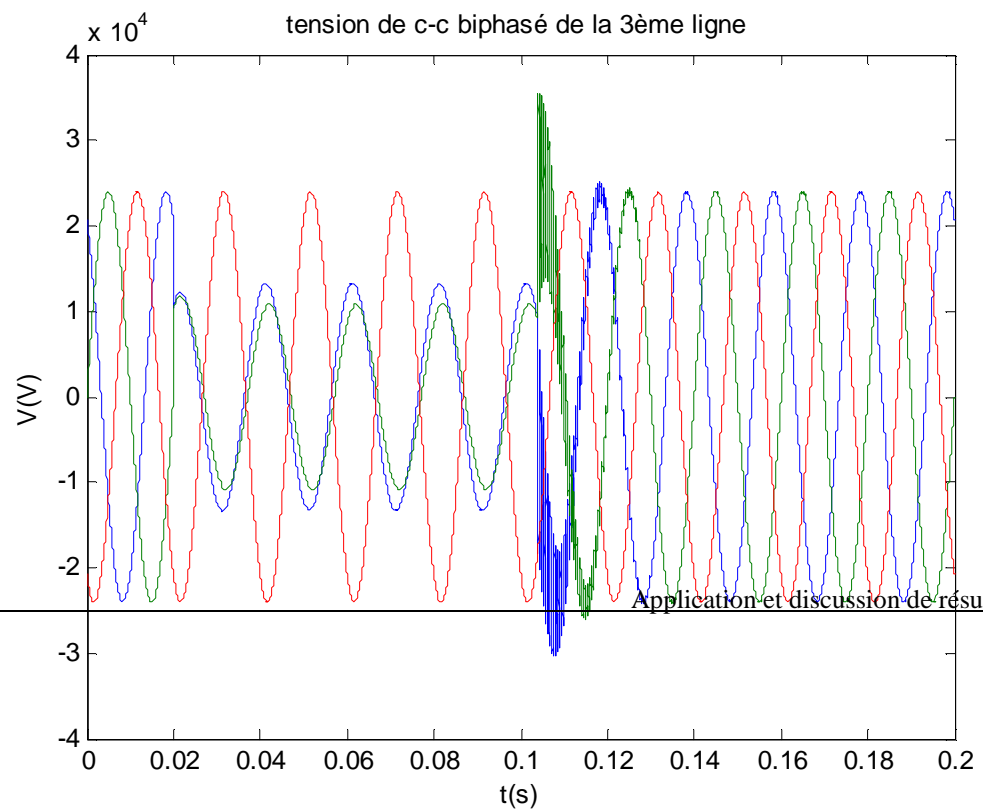
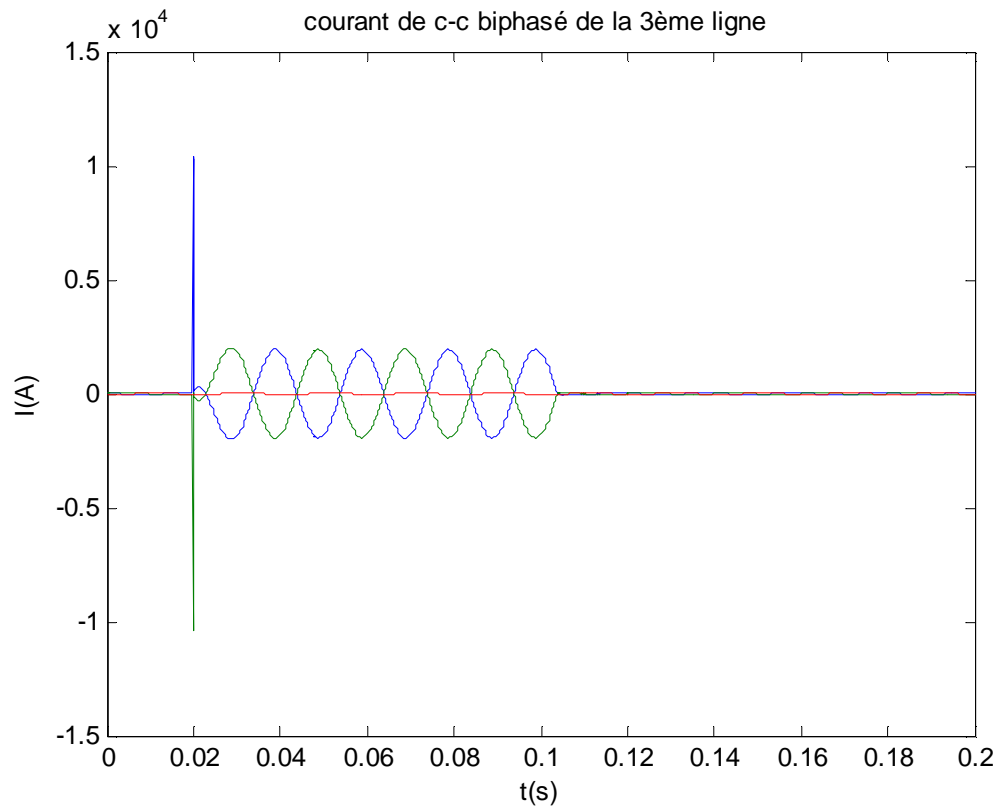


#### IV.3.1.1.2.4 Influence de défaut triphasé de la deuxième ligne sur la première et troisième ligne - Première ligne



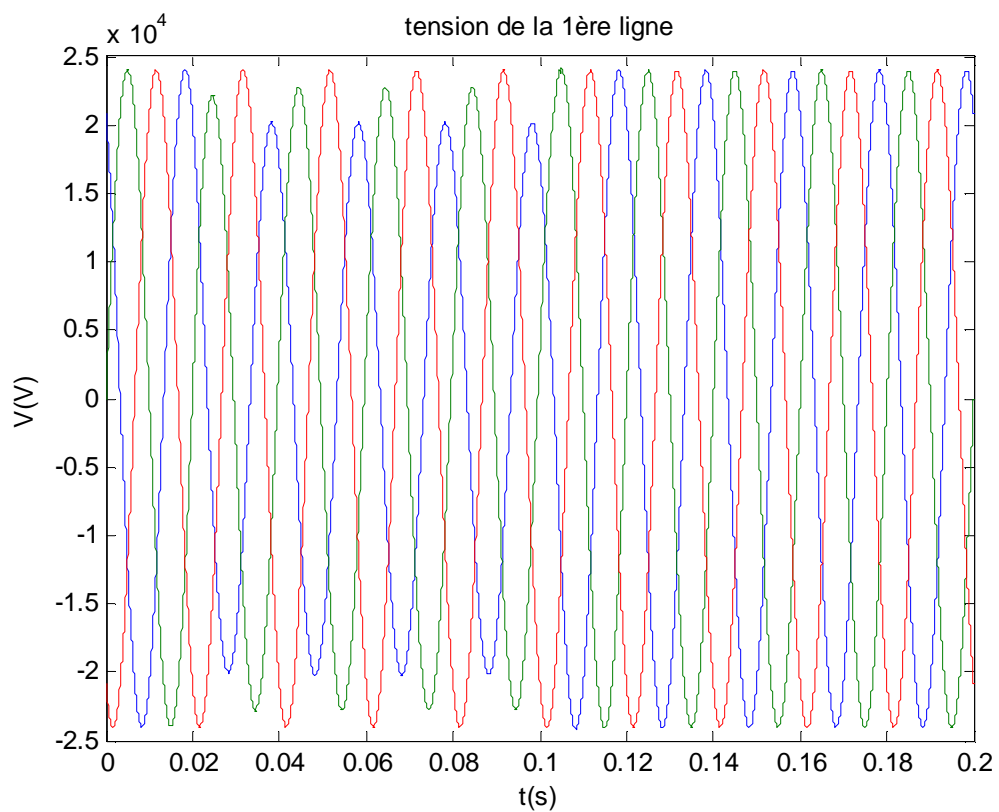
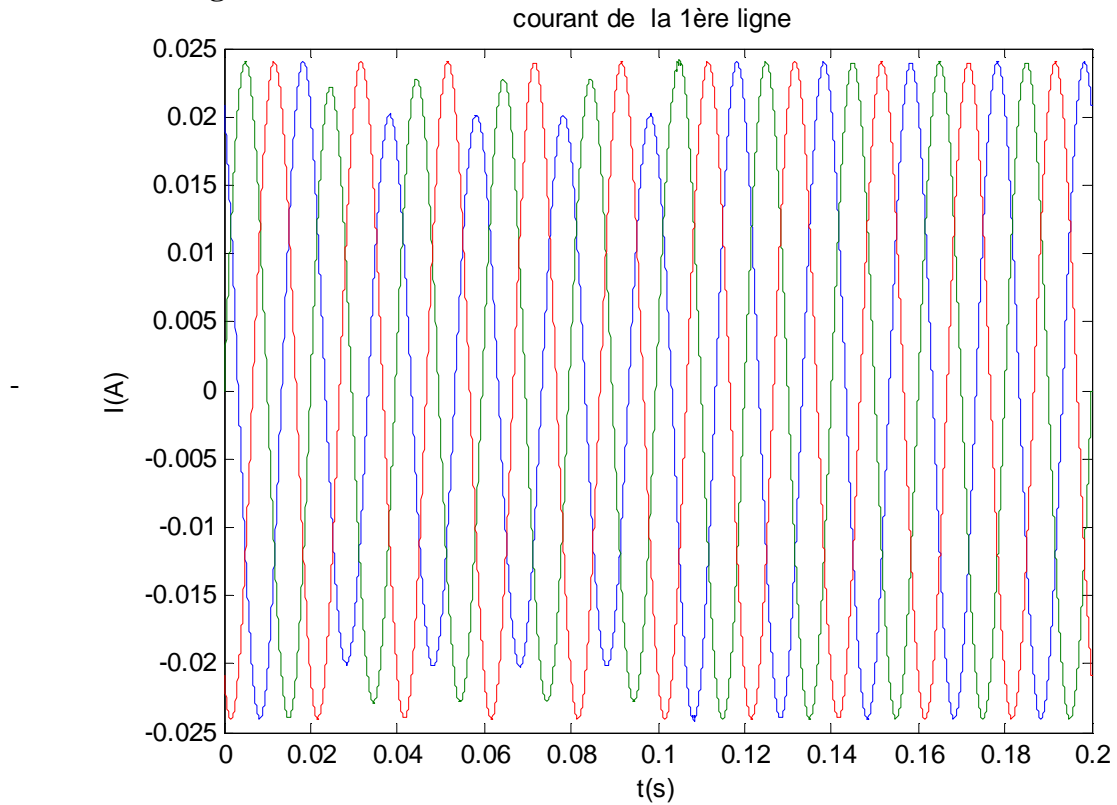
**Troisième ligne**

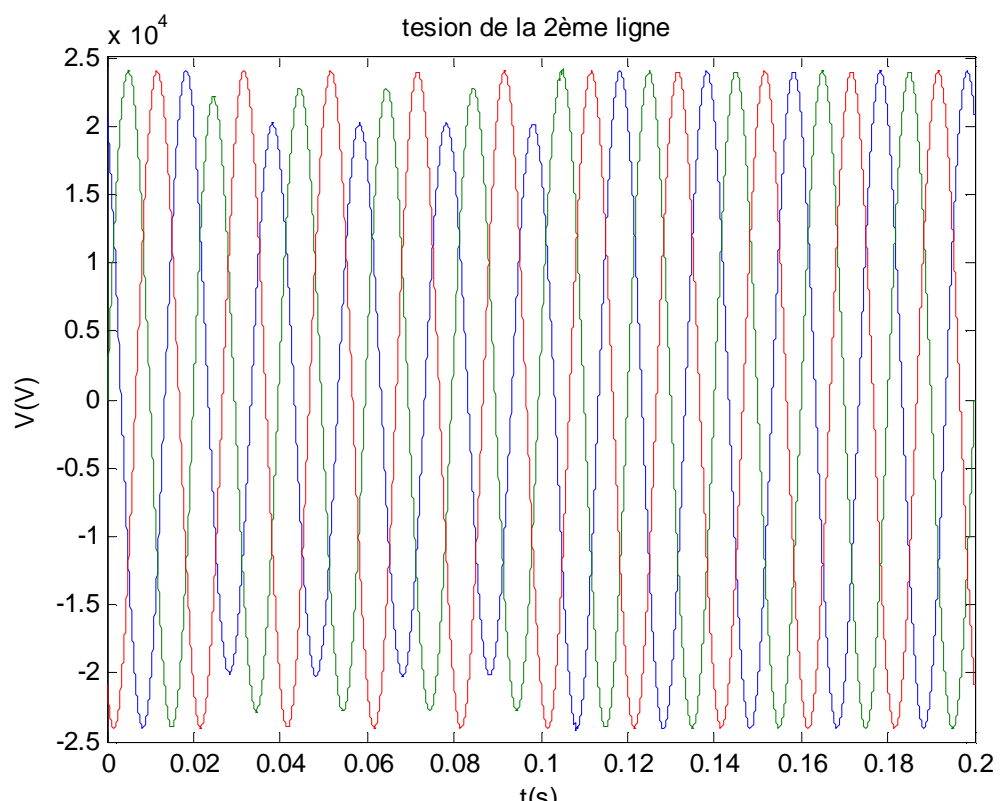
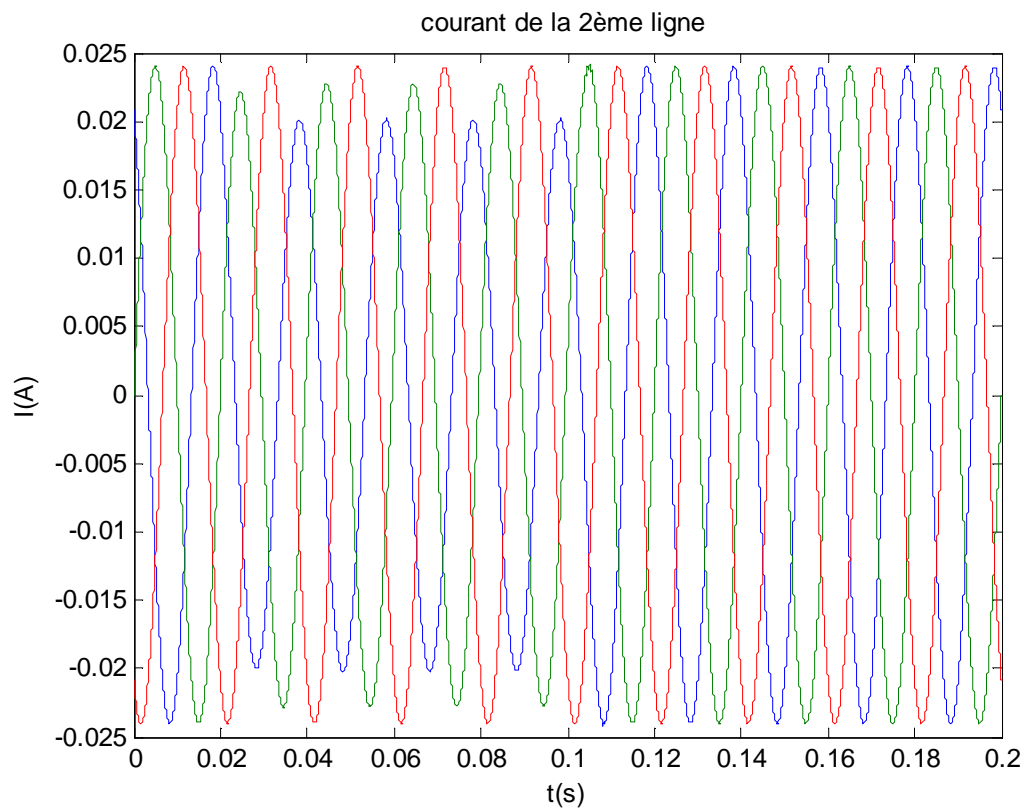
#### IV.3.1.1.3.1 Courant et tension de défaut biphasé de la troisième ligne



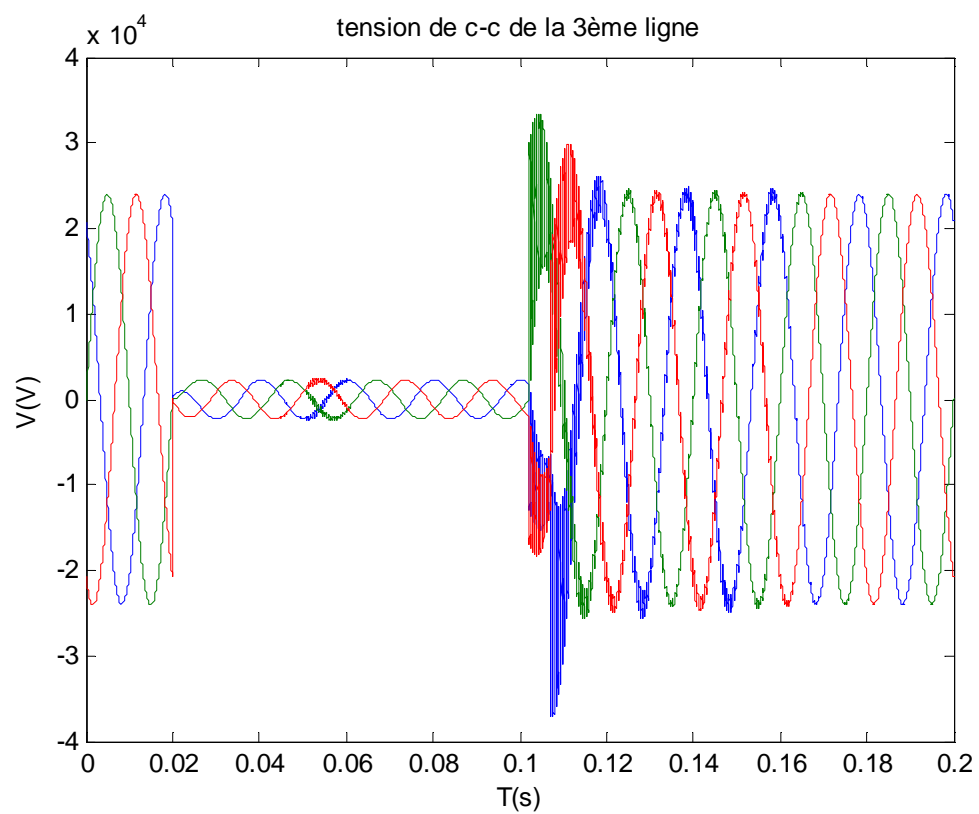
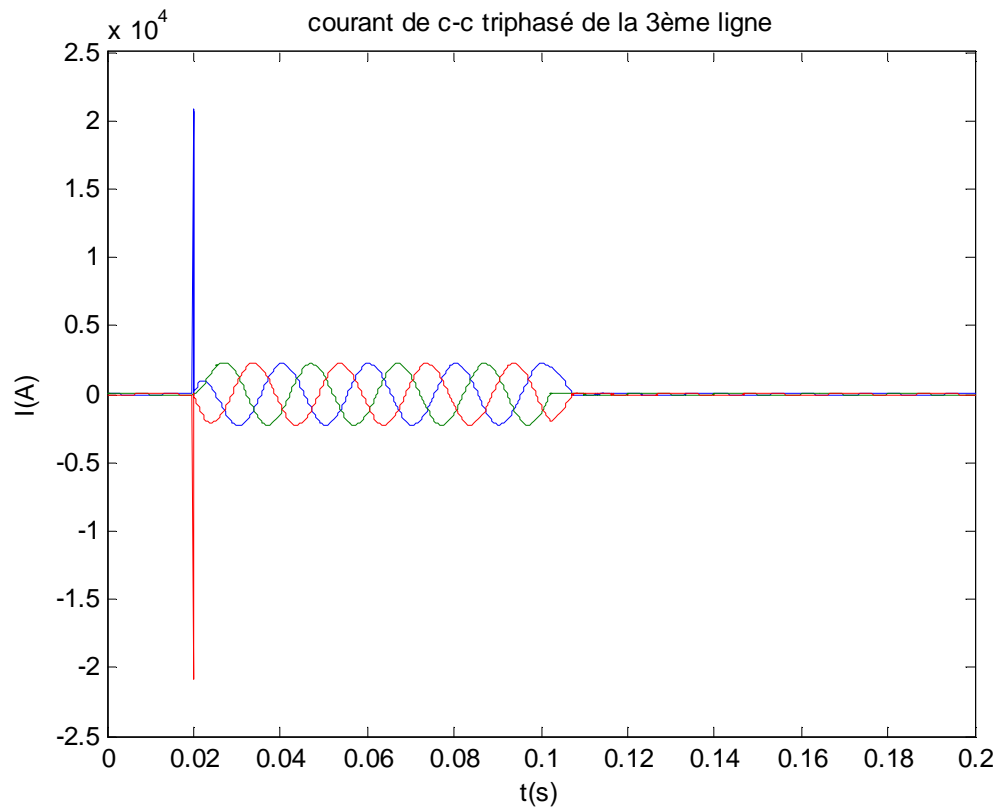
### IV.3.1.1.3.2 Influence du défaut biphasé de la troisième ligne sur la première et deuxième ligne

- Première ligne



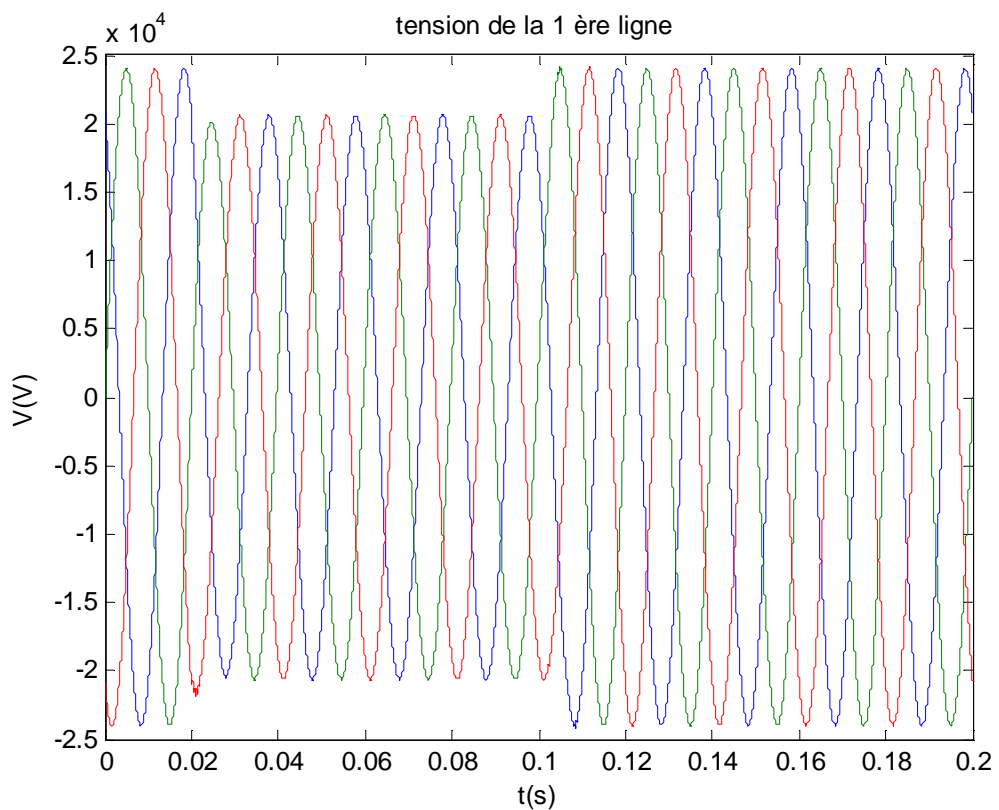
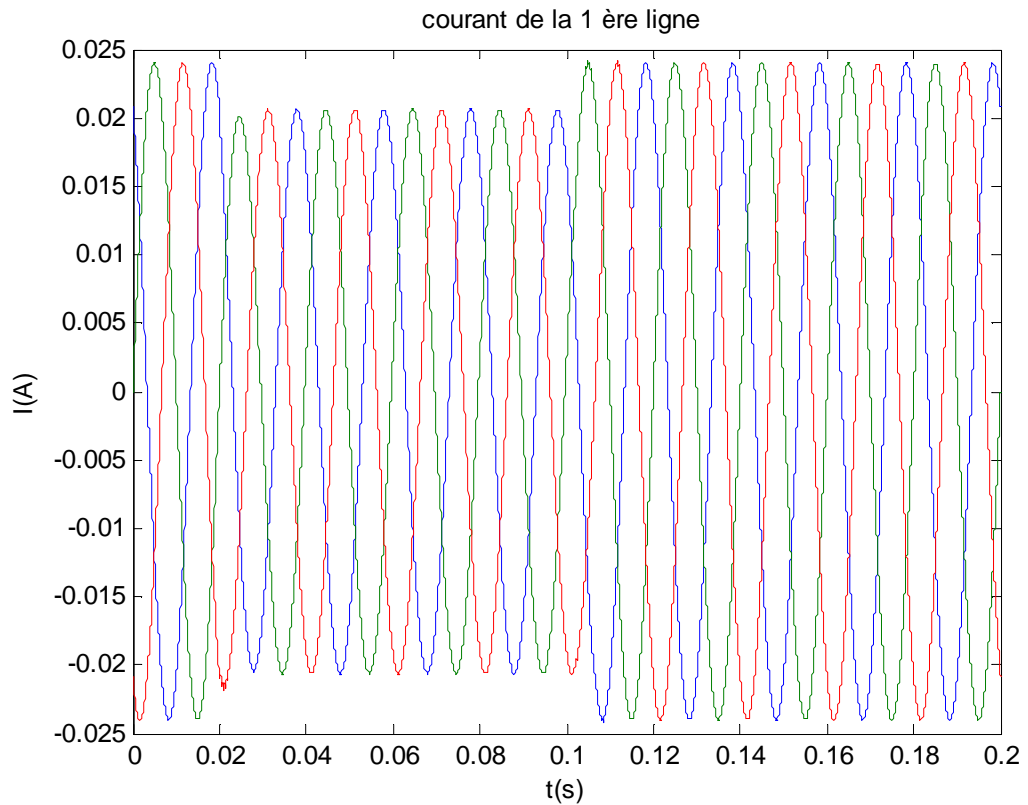
**Deuxième ligne**

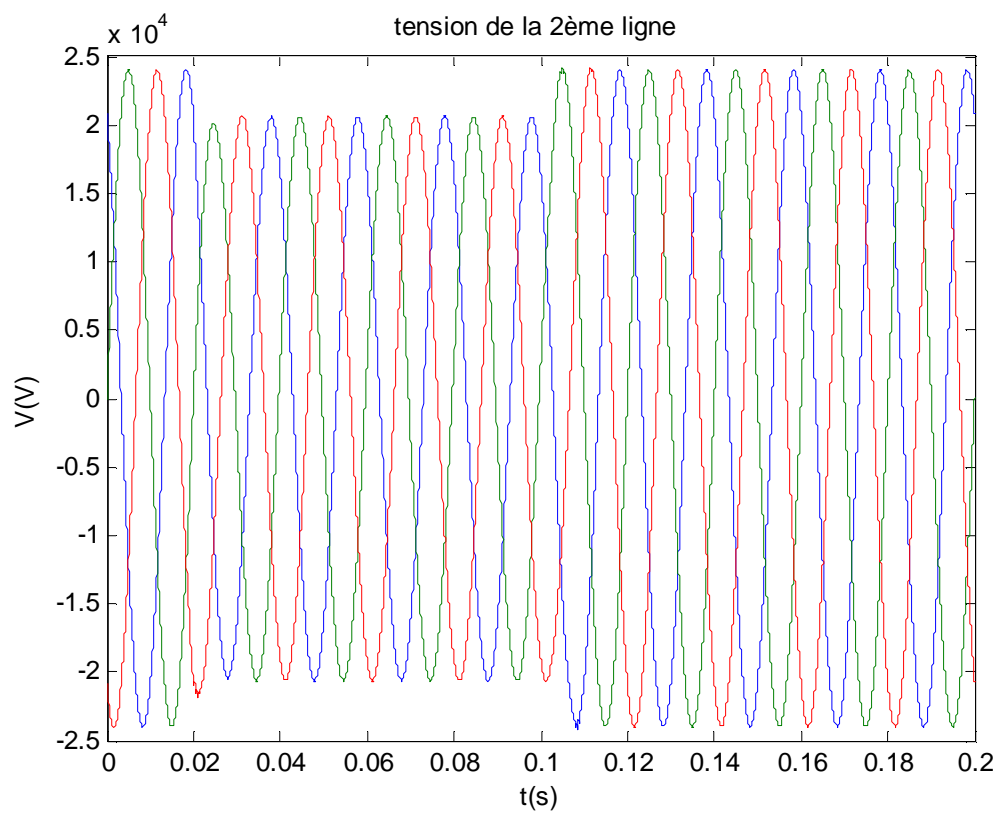
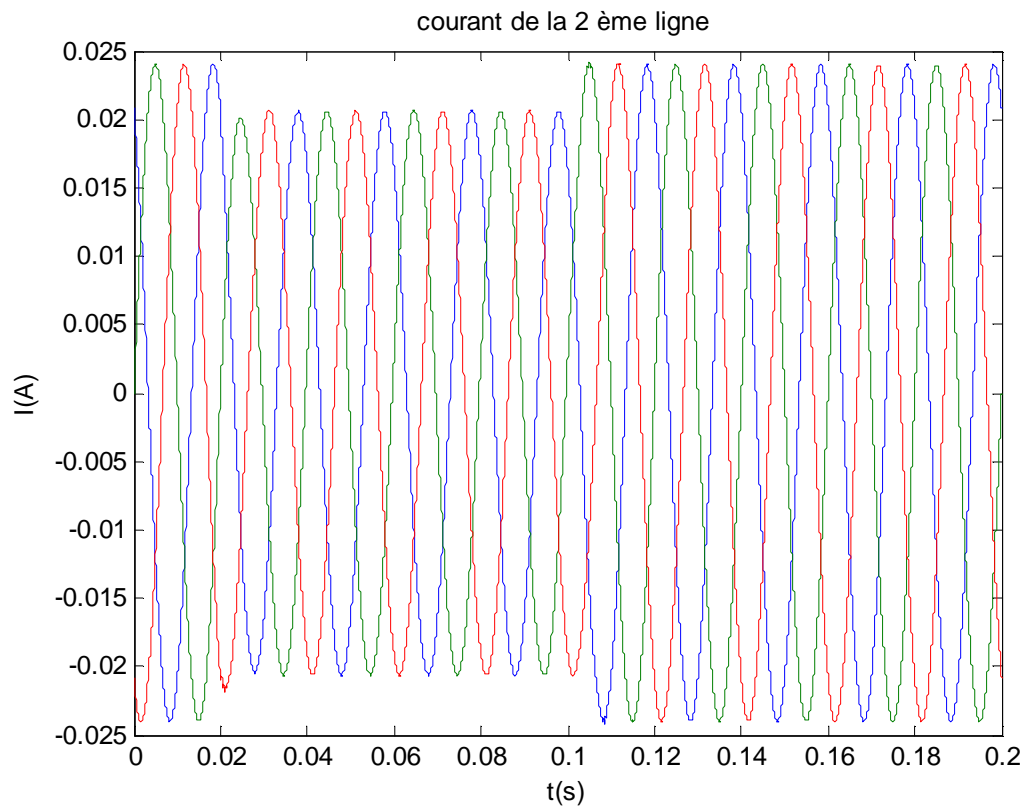
### IV.3.1.1.3.3 Courant et tension de défaut triphasé de la troisième ligne



#### IV.3.1.1.3.4 Influence de défaut triphasé de la troisième ligne sur la première et la deuxième ligne

##### - Première ligne



**Deuxième ligne**

## **Interprétation des courbes**

### **Courants :**

Pour les défauts biphasés des trois départs, on remarque que le défaut biphasé de la ligne la plus proche à la source (Mekla) est le plus sévère ( $I_{ccb} = 1417A$ ) par rapport aux deux autres départs. A propos de courant de court-circuit triphasé on voit aussi que le défaut le plus dur est celui de la ligne de Mekla ( $I_{ccT} = 1652A$ ) qui est le départ le plus proche de la source.

Nous avons remarqué que le défaut triphasé est plus important que le défaut biphasé, dont, on voit que le défaut triphasé a plus d'influence sur les deux autres lignes où ne se produit pas de défaut.

### **Tensions :**

On voit que les tensions des courts-circuits biphasés et triphasés les plus petites dépendent des courants des défauts biphasés et triphasés les plus élevés.

### IV.3.1.2.1 Essai en charge

Le schéma modélisé du réseau de l'essai en charge et donné dans la figure IV.3.

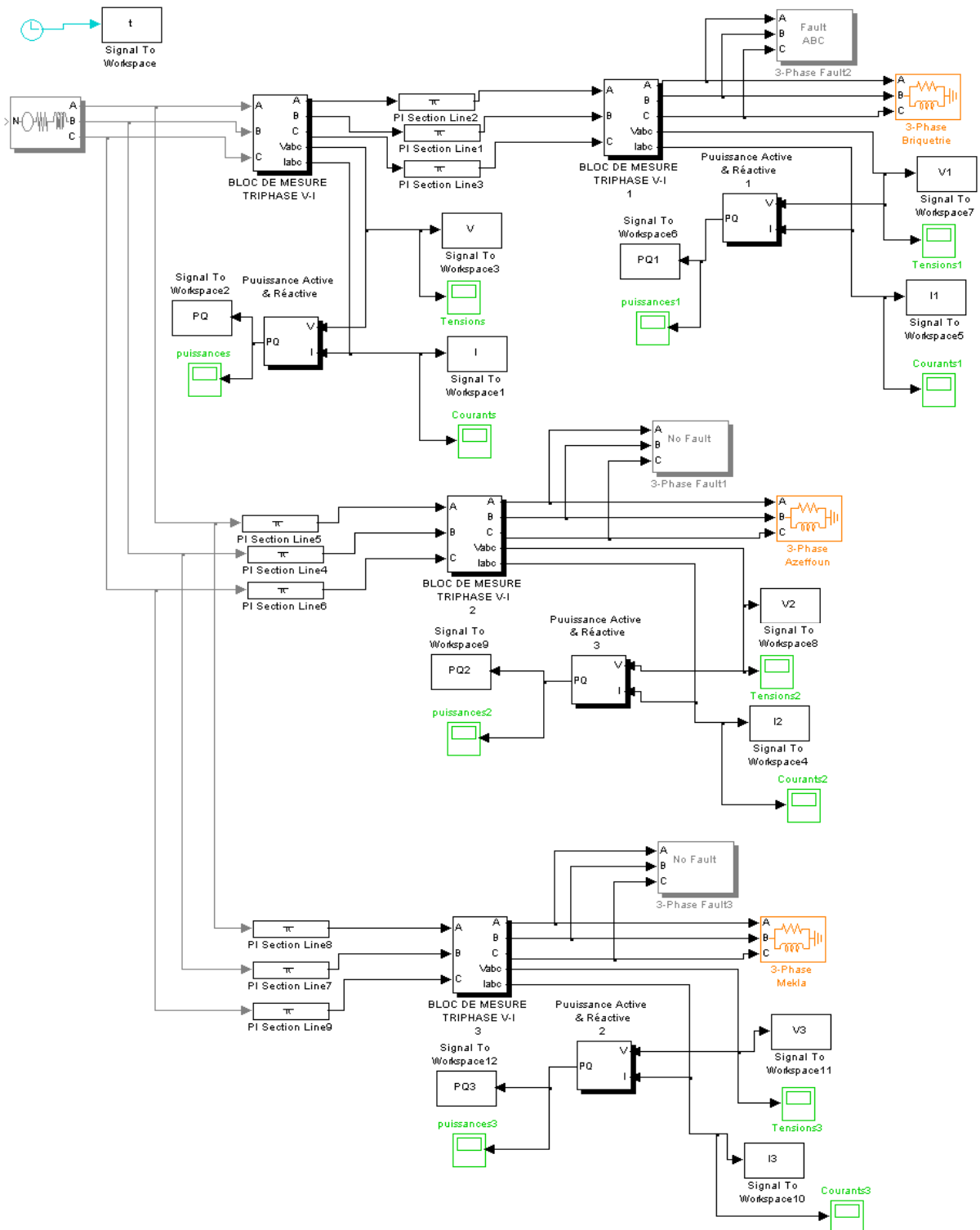
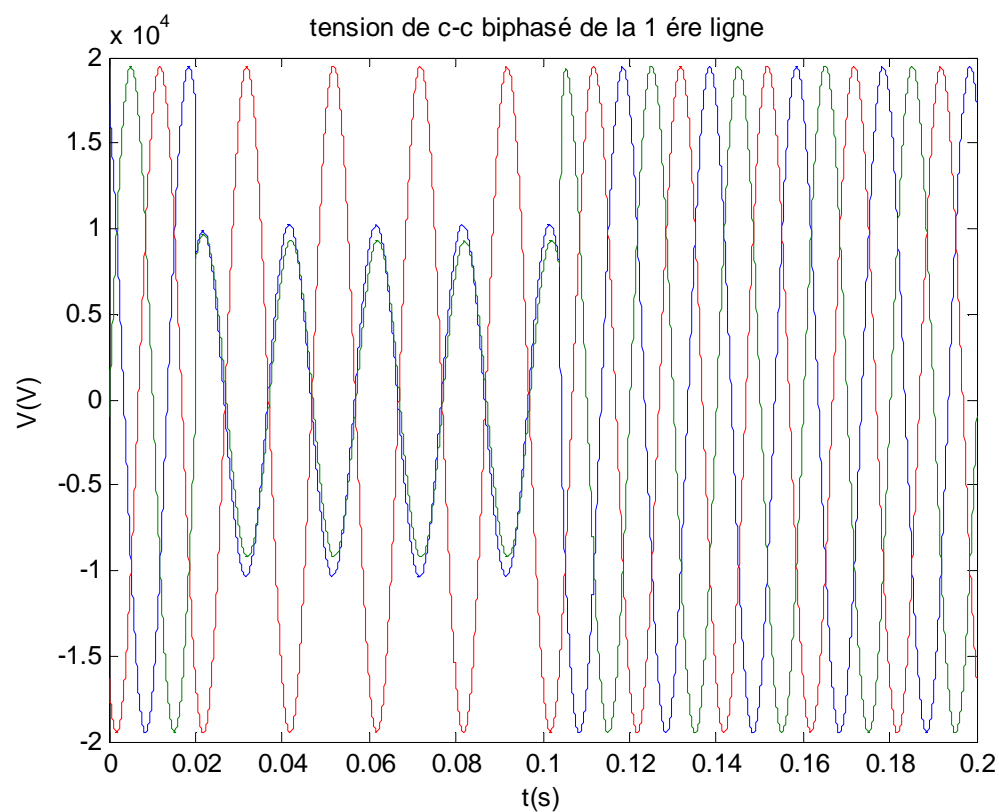
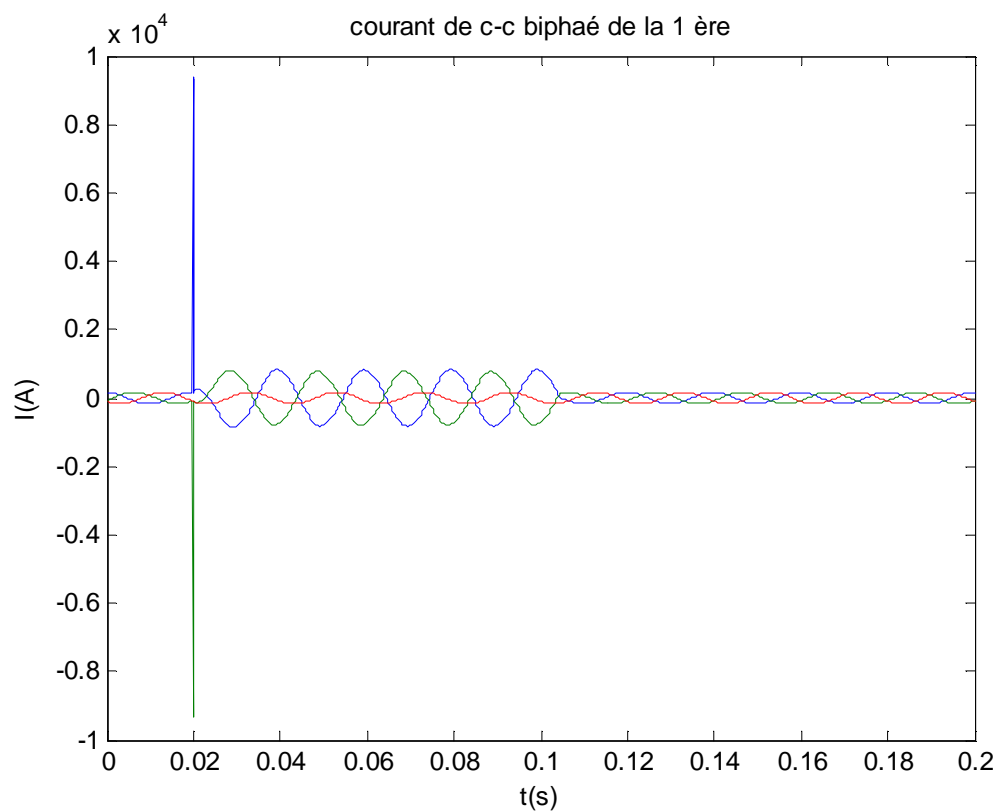


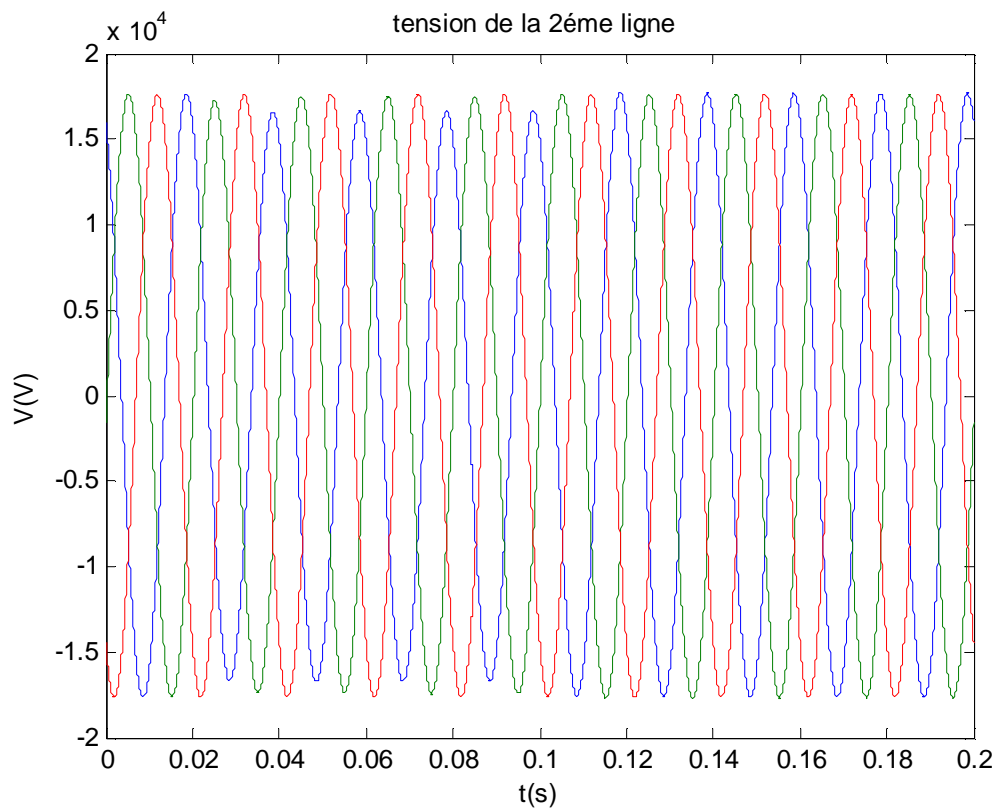
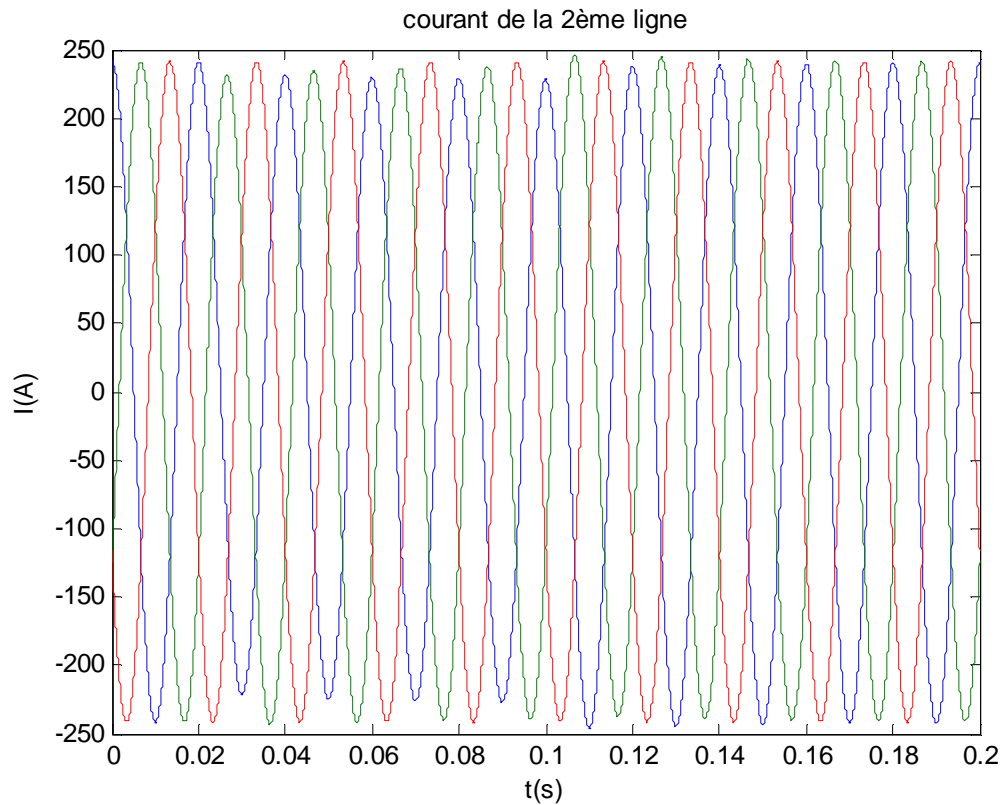
Fig.IV.3 : Schéma bloc utilisé dans la simulation de l'essai en charge

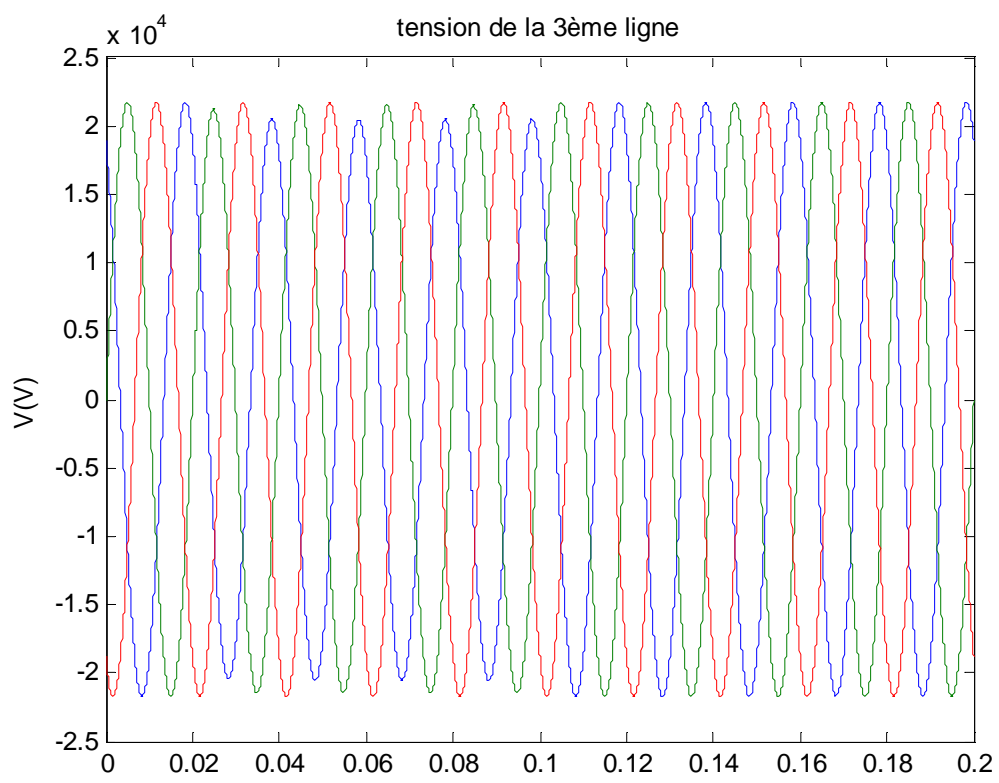
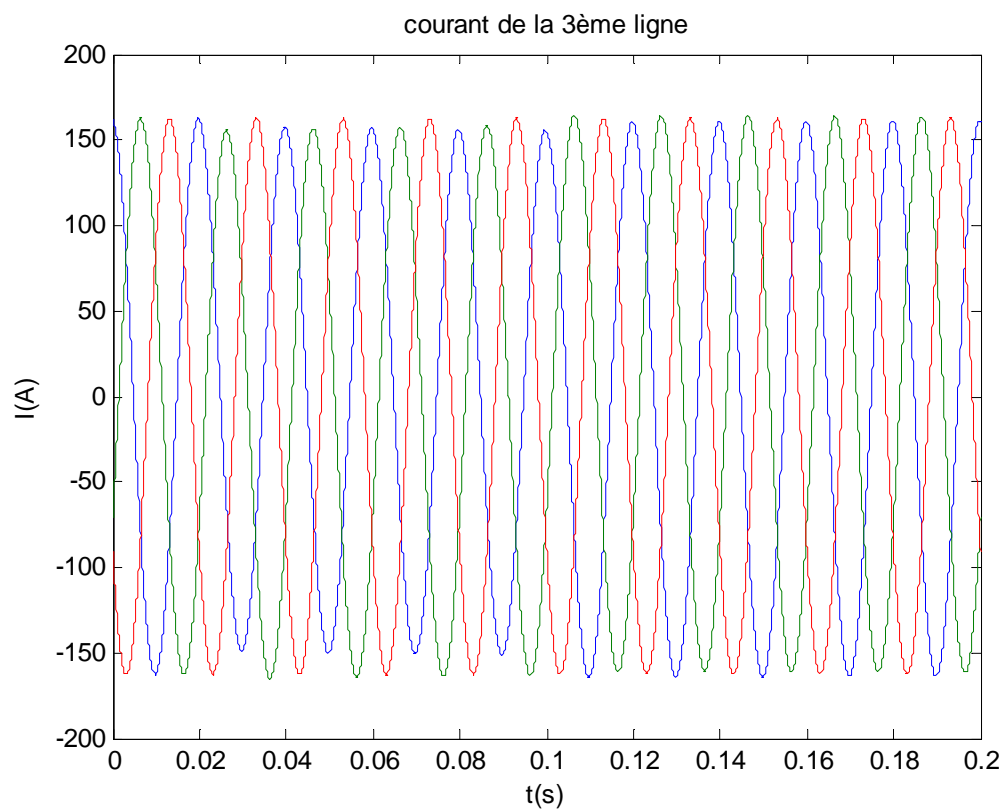
### IV.3.1.2.1 Courant et tension de défaut biphasé de la première ligne



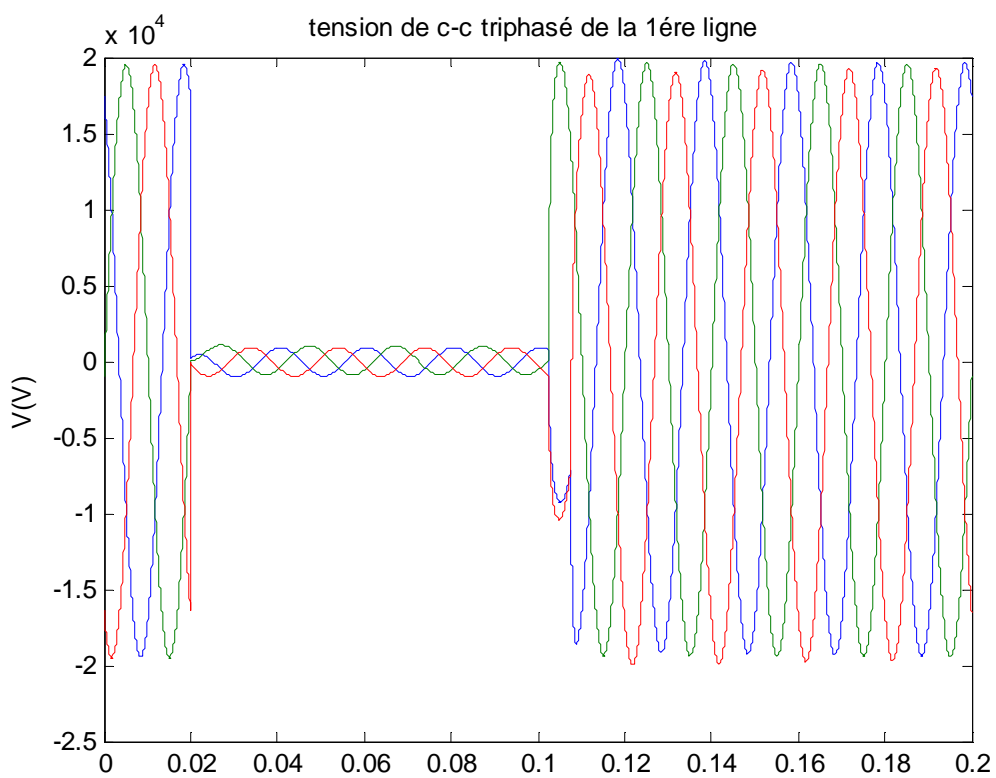
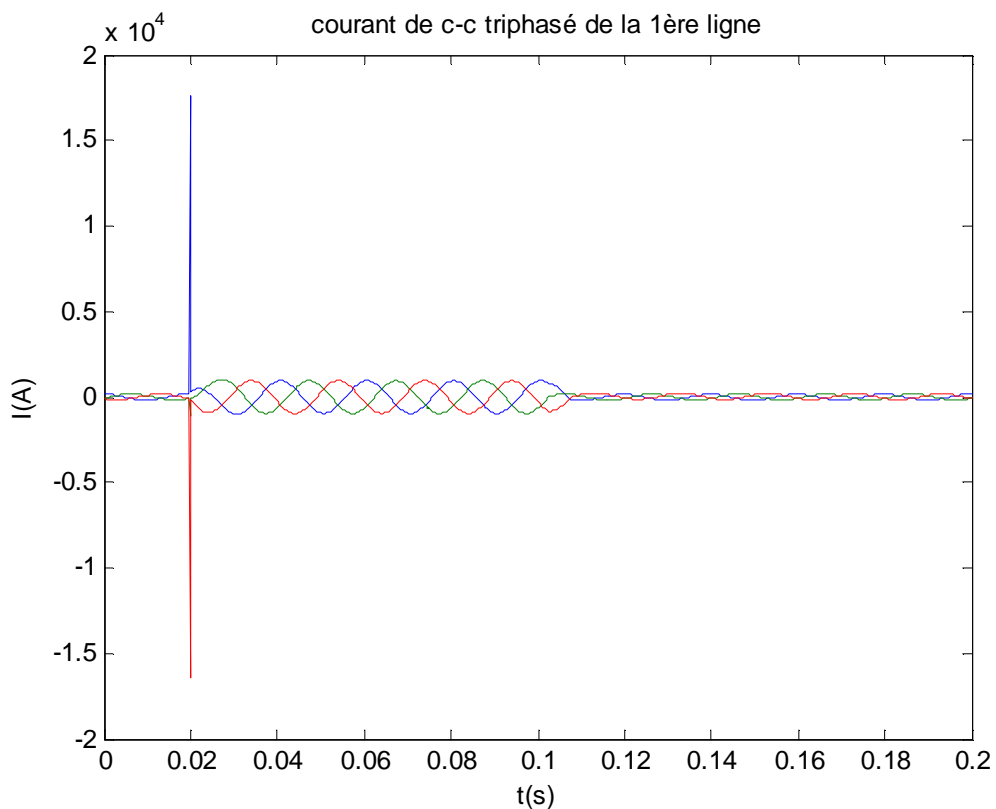
### IV.3.1.2.1.2 Influence du défaut biphasé de la première ligne sur la deuxième et la troisième ligne

#### - Deuxième ligne



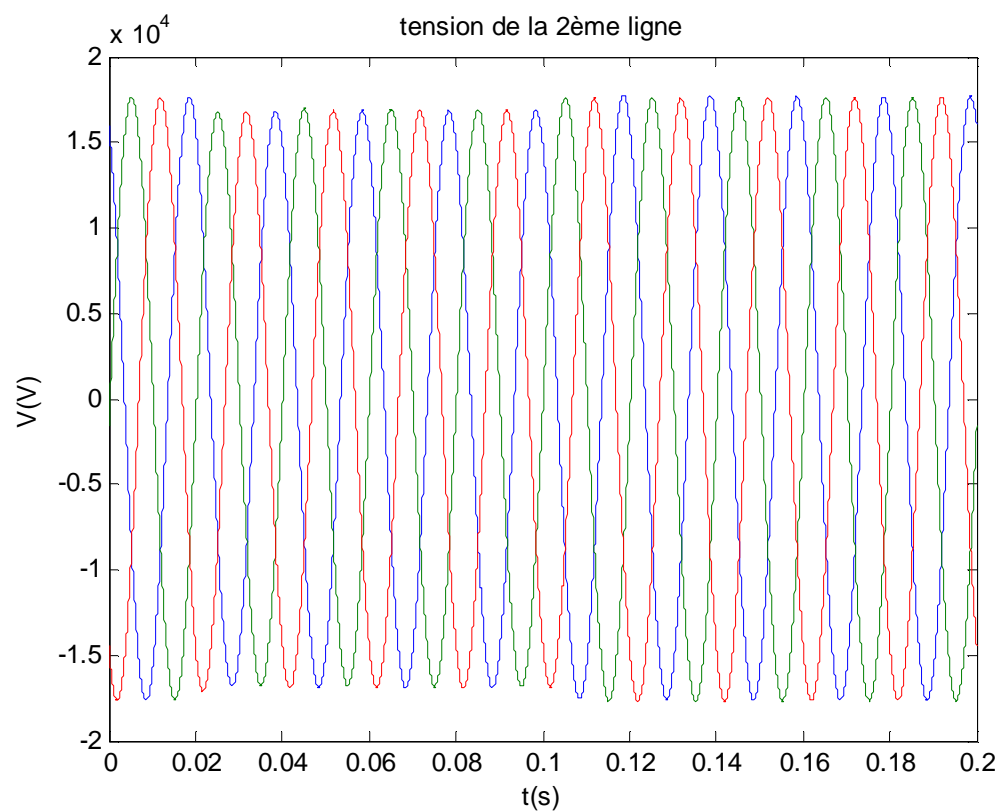
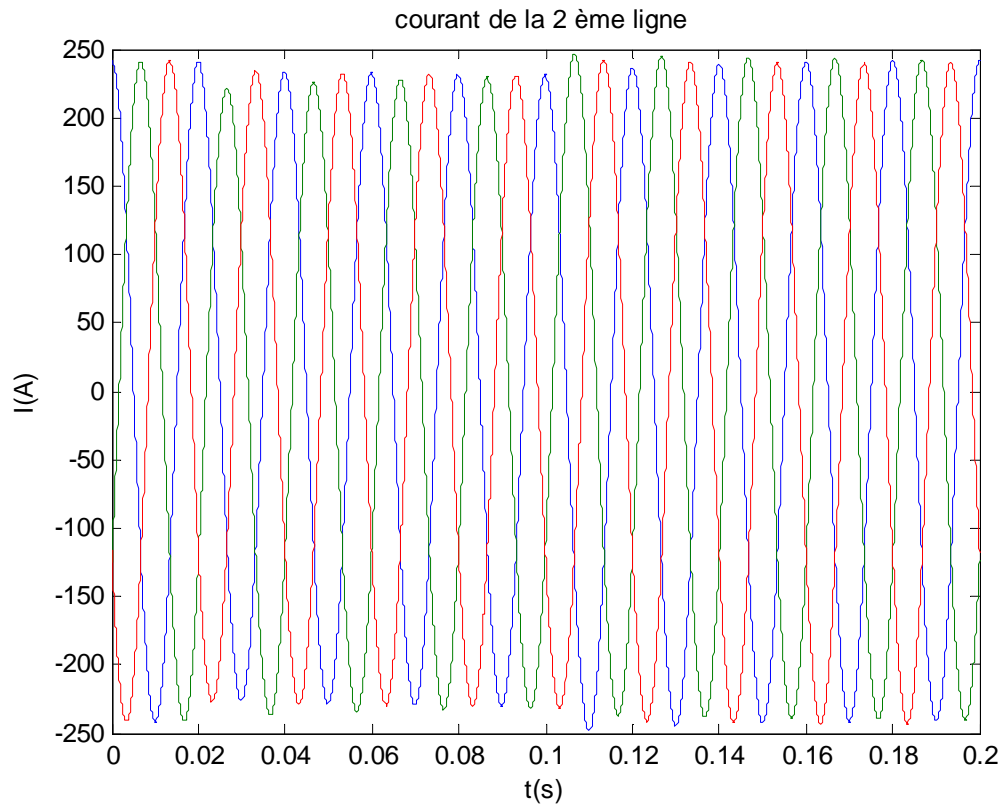
**Troisième ligne**

**IV.3.1.2.1.3 Courant et tension de défaut triphasé de la première ligne**

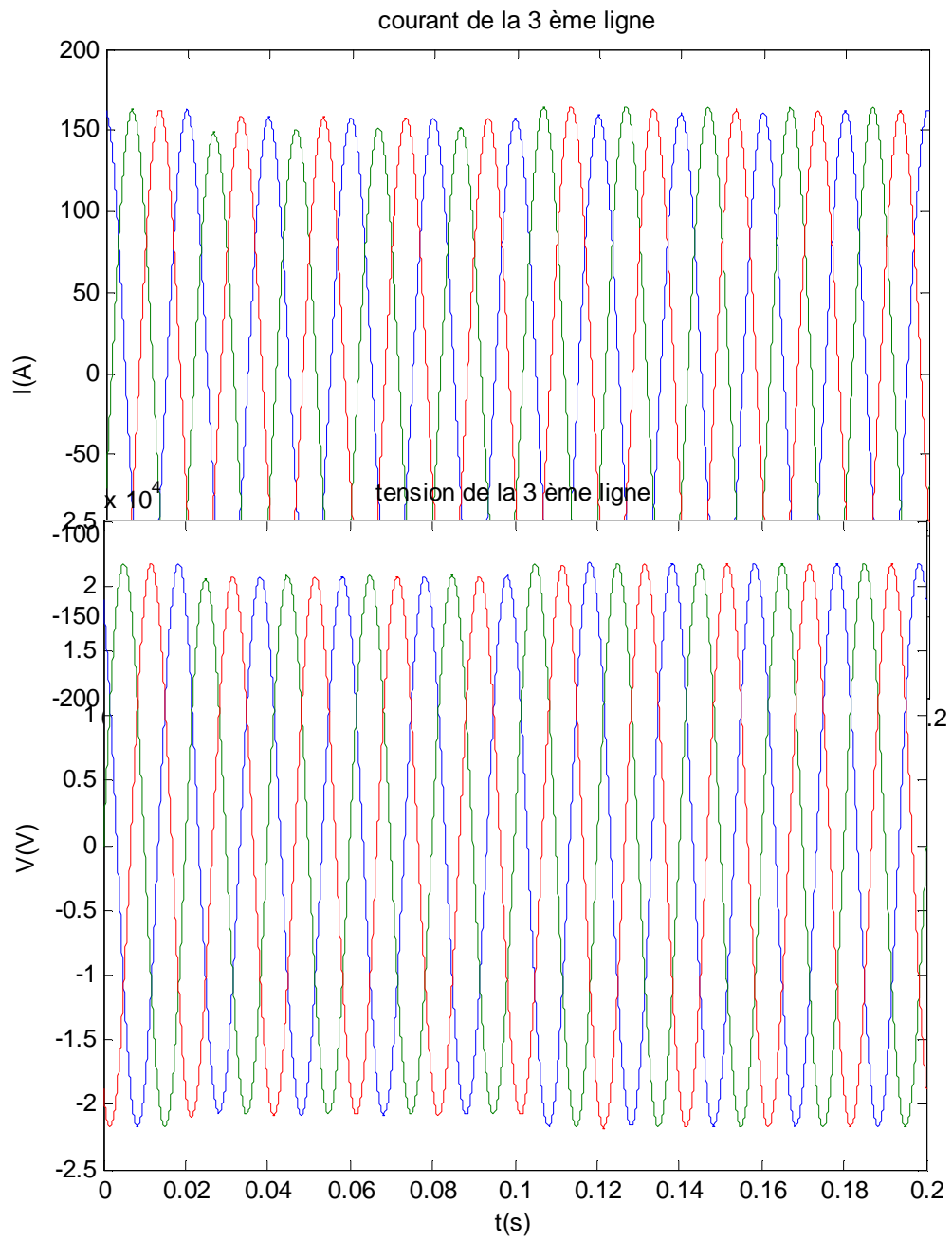


#### IV.3.1.2.1.4 Influence de défaut triphasé de la première ligne sur la deuxième et troisième ligne

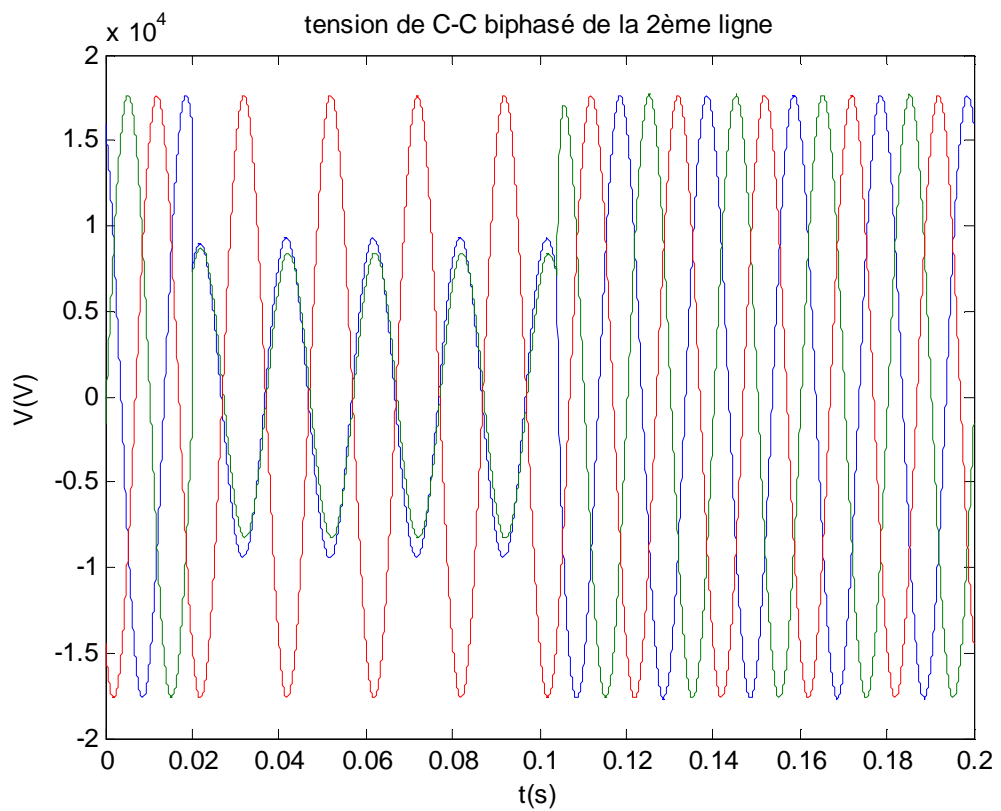
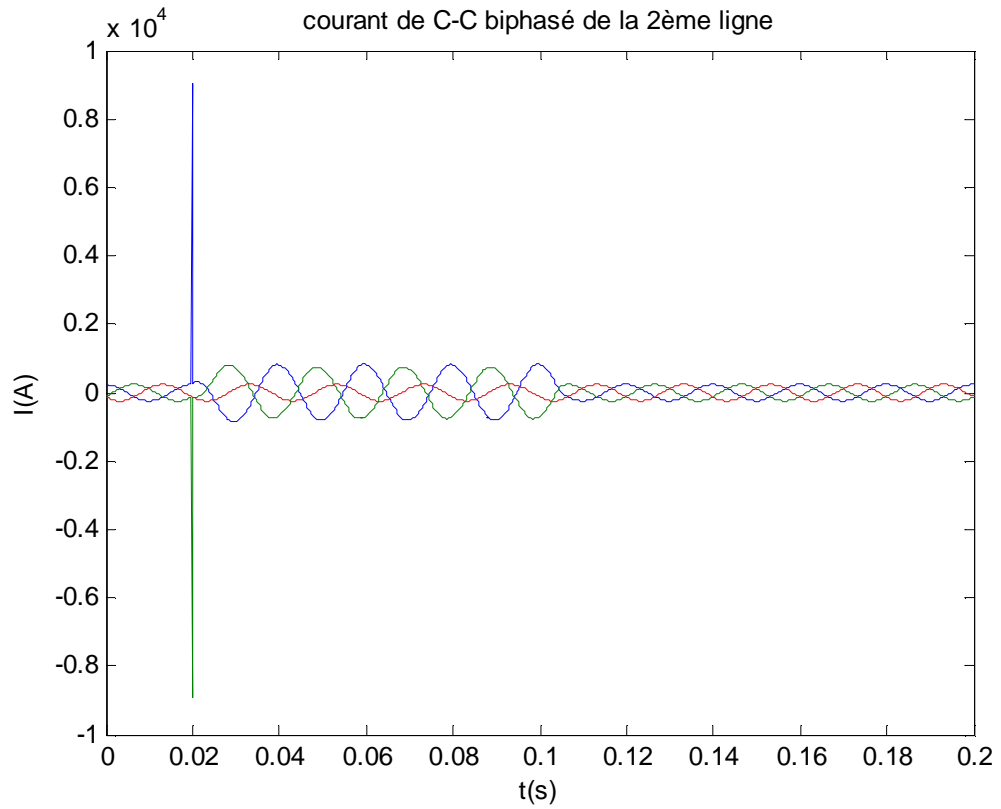
##### - Deuxième ligne



Troisième ligne

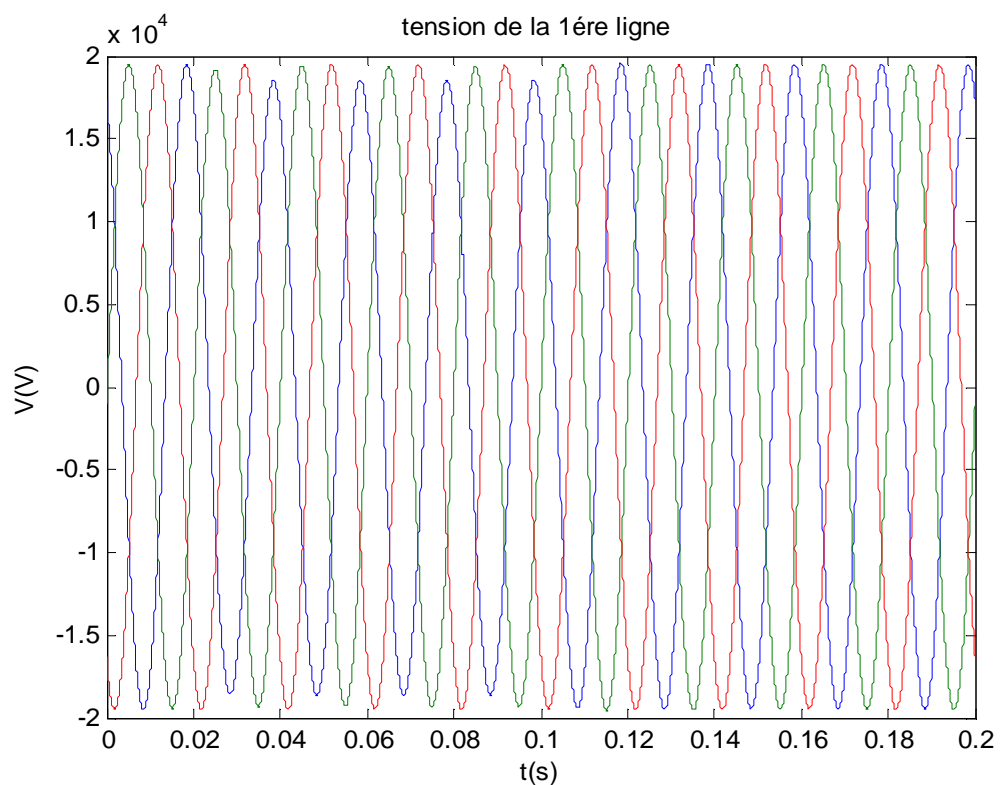
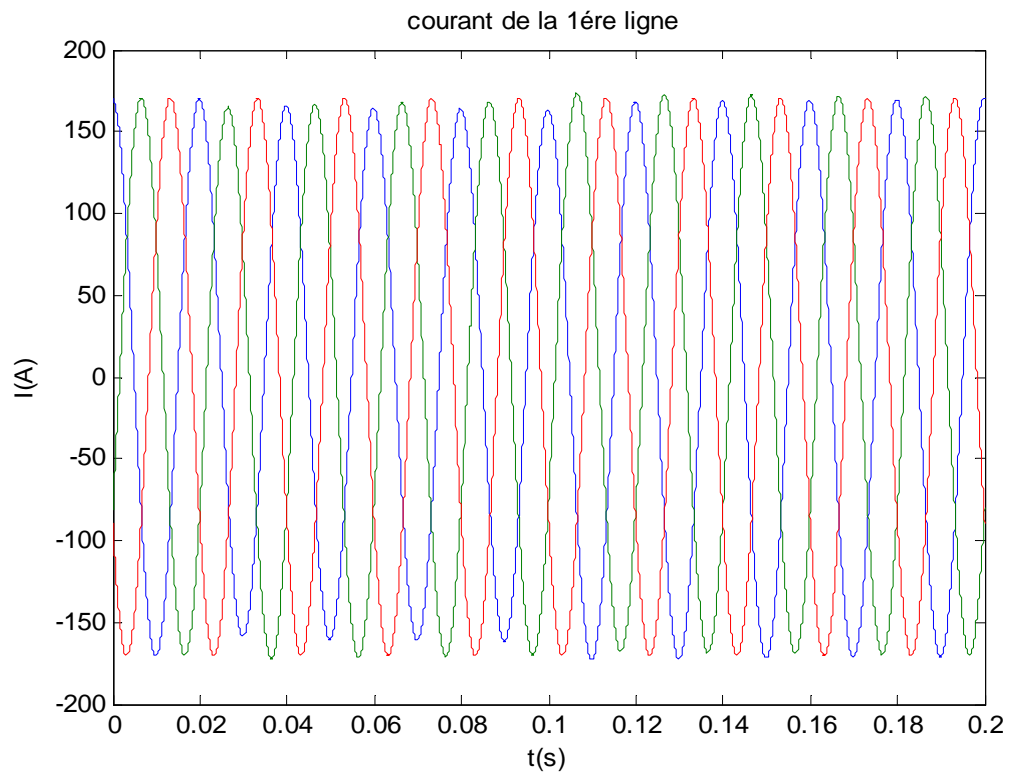


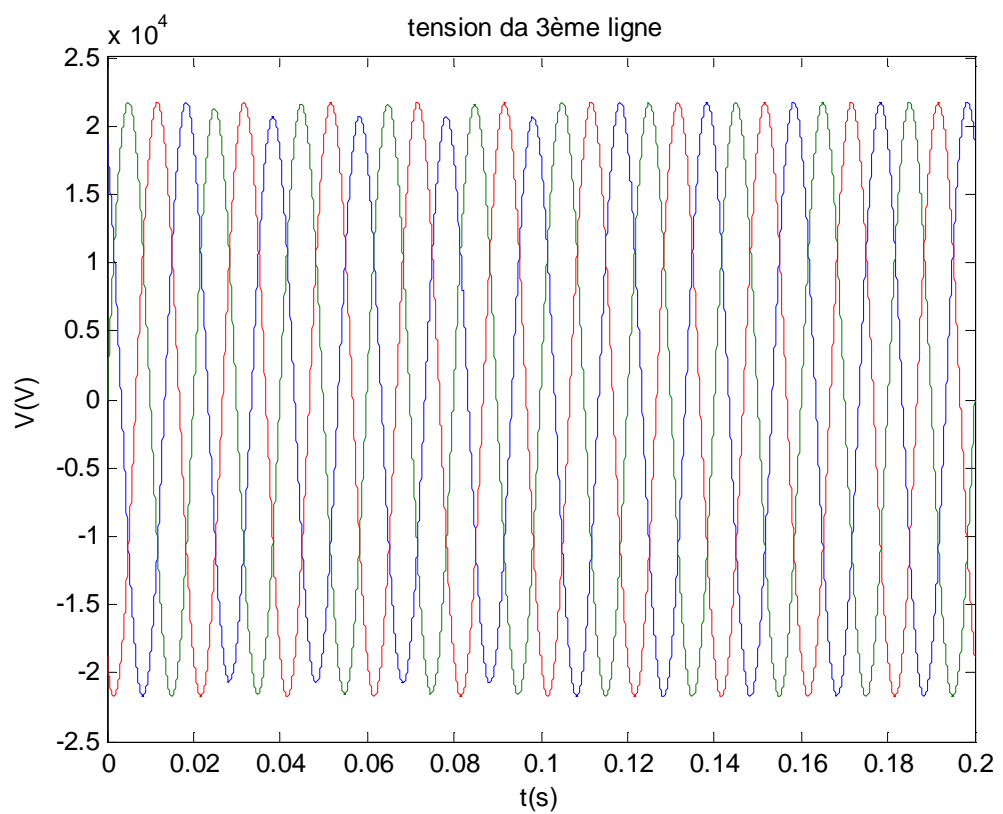
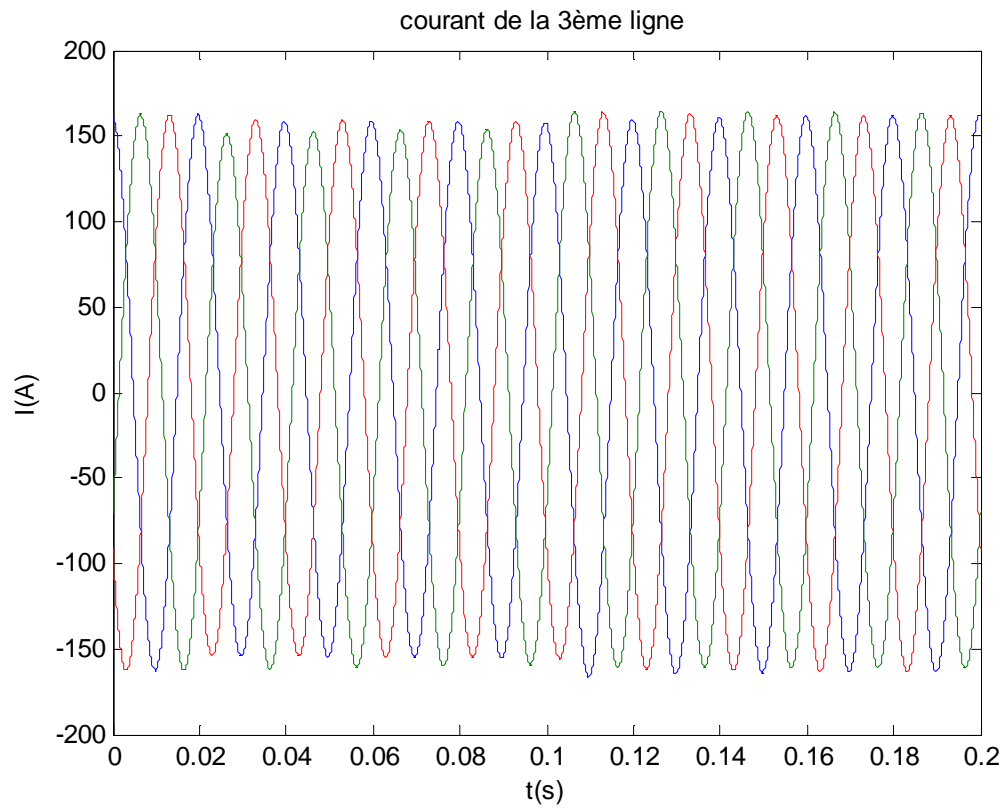
**IV.3.1.2.2.1 Courant et tension de défaut biphasé de la deuxième ligne**



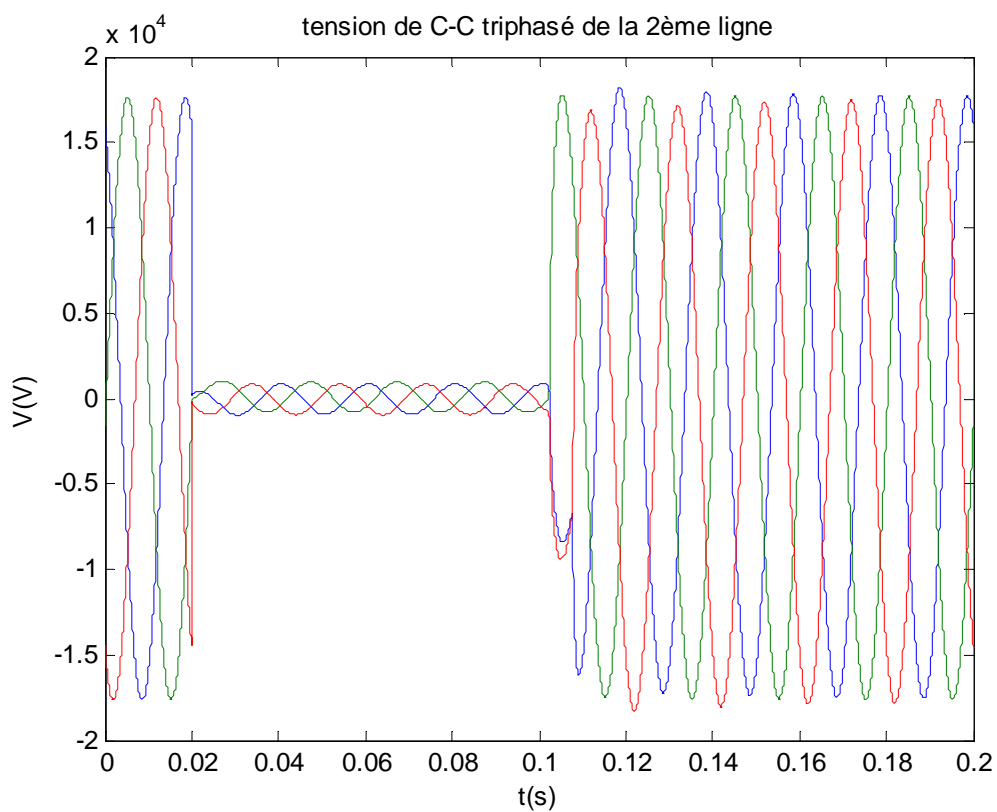
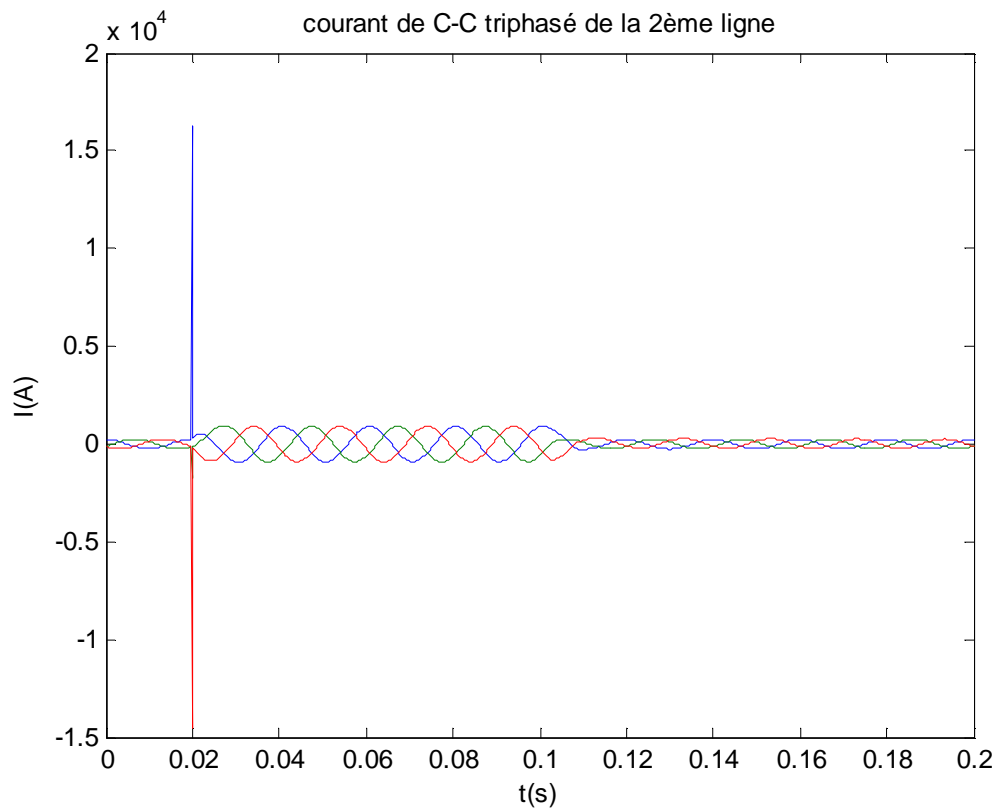
### IV.3.1.2.2 Influence du défaut biphasé de la deuxième ligne sur la première et troisième ligne

#### - Première ligne



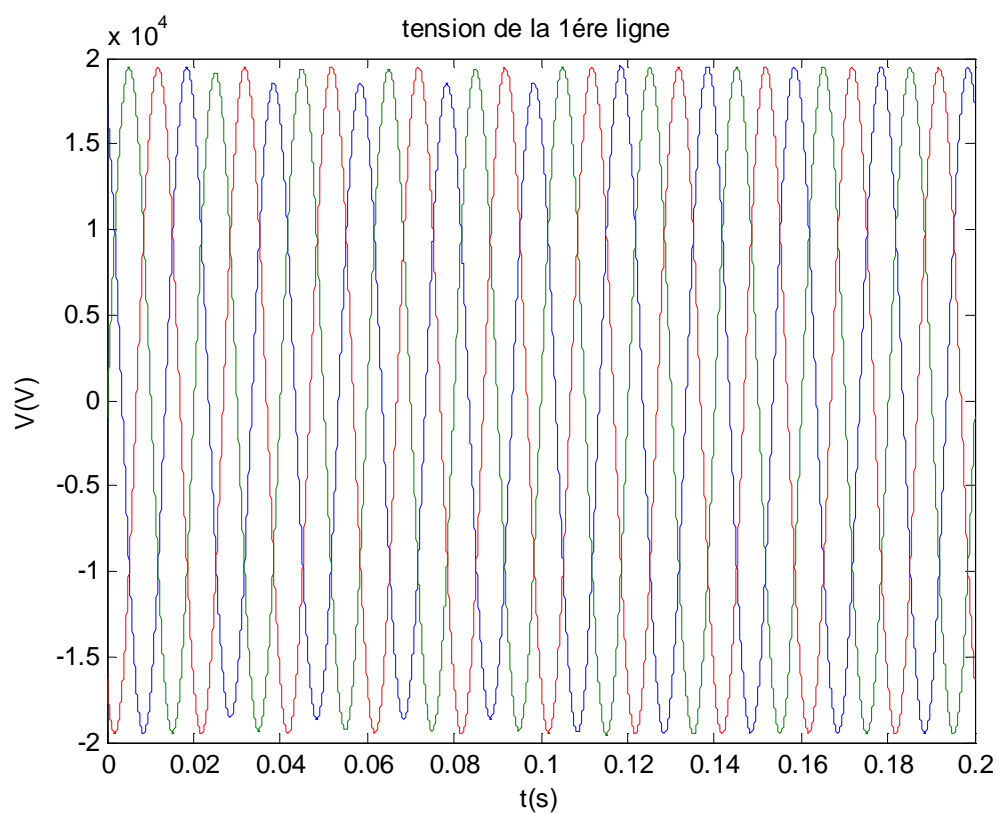
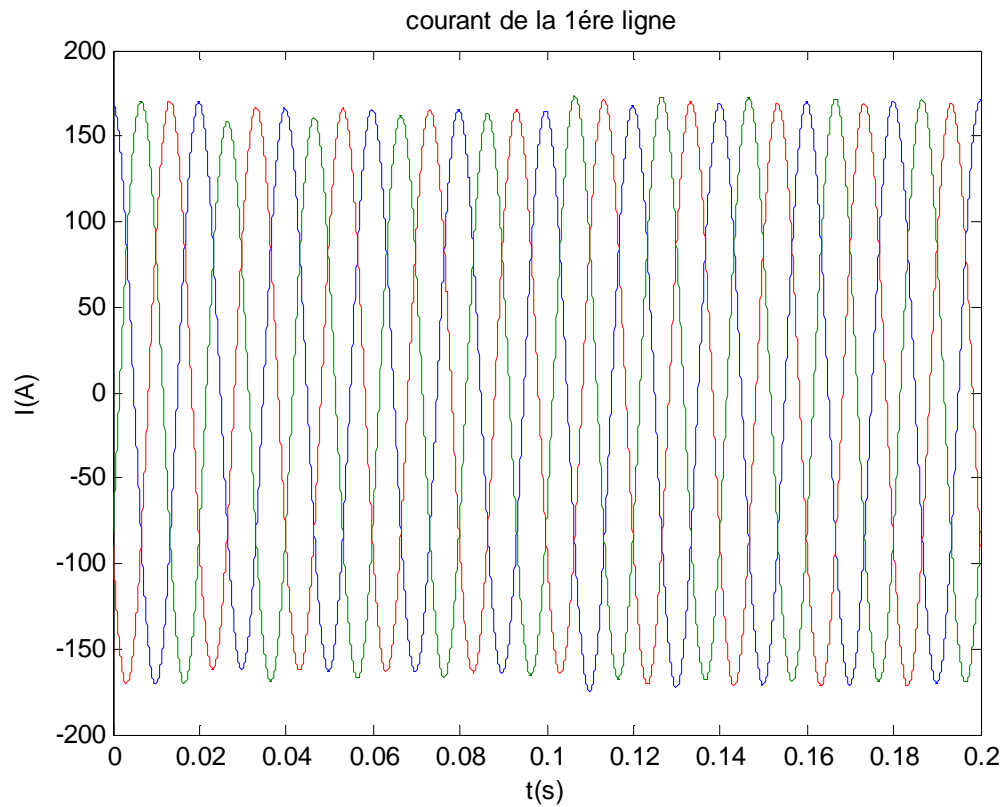
**Troisième ligne**

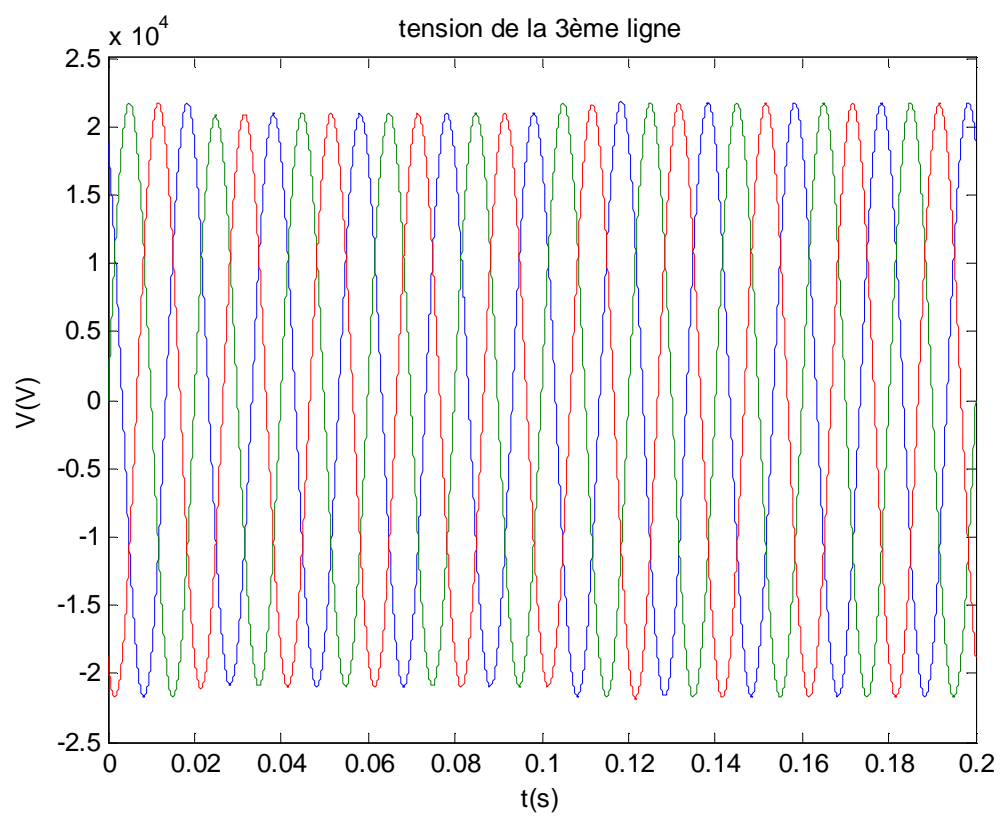
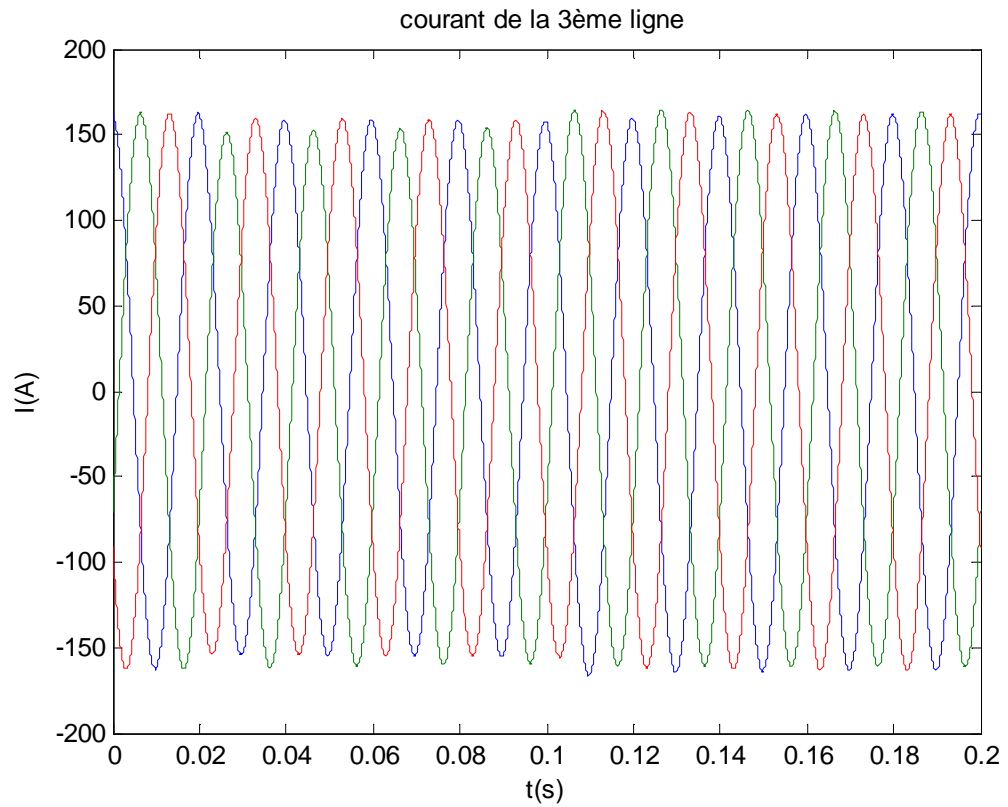
**IV.3.1.2.2.3 Courant et tension de défaut triphasé de la deuxième ligne**



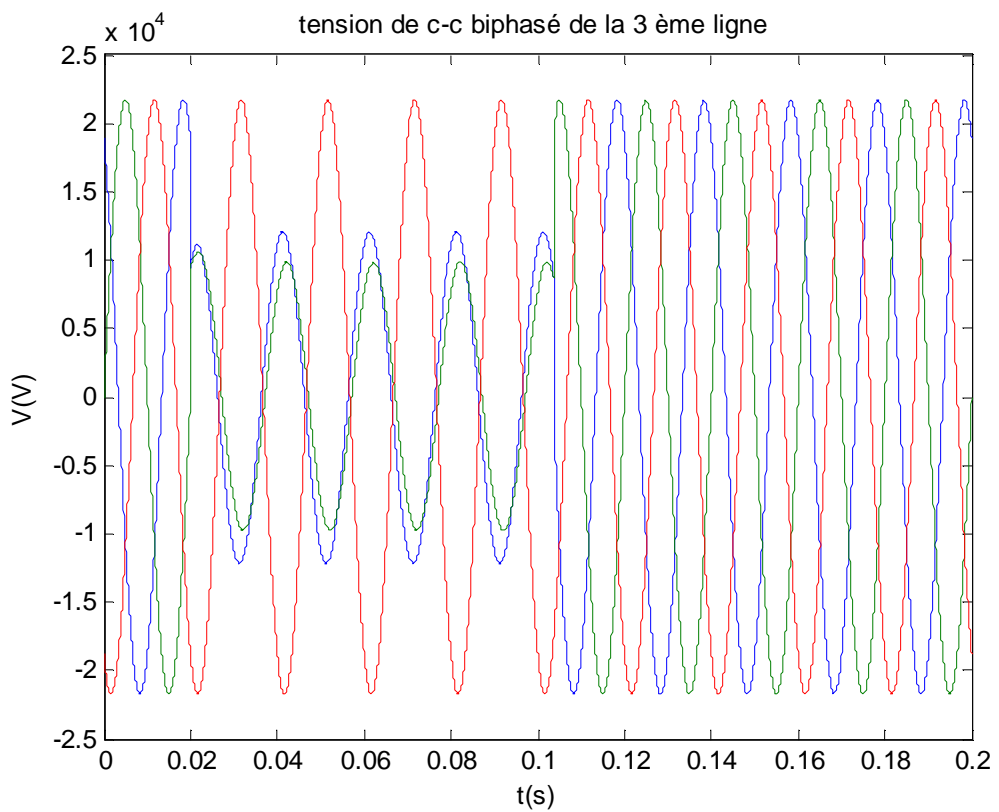
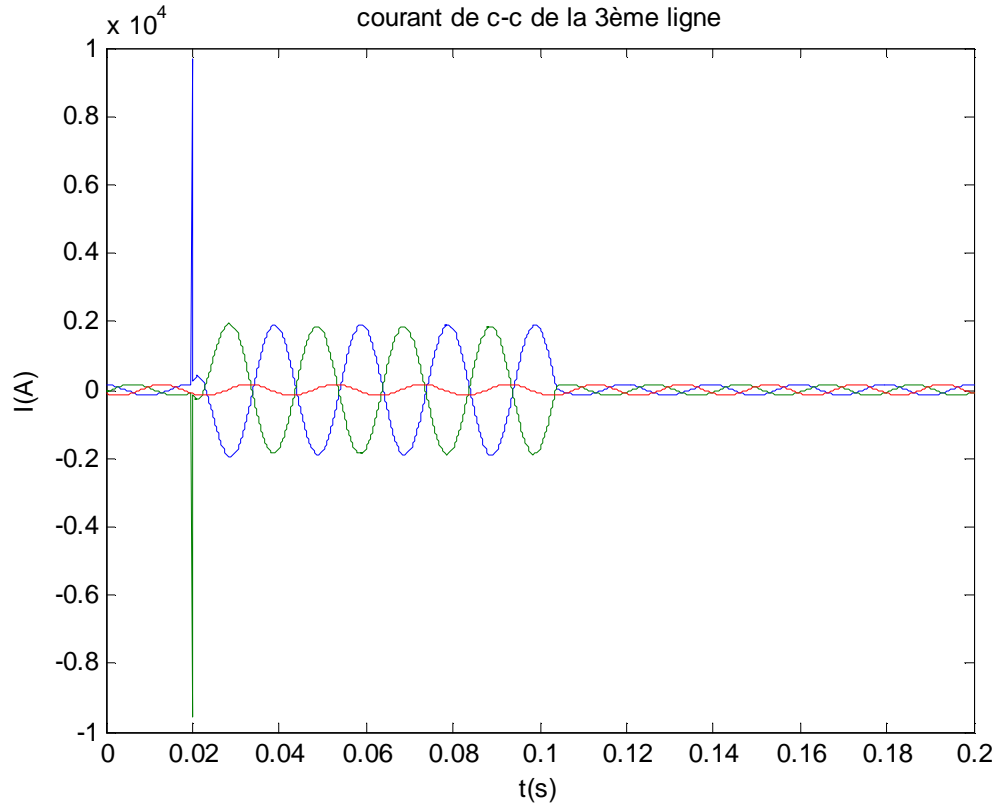
#### IV.3.1.2.2.4 Influence de défaut triphasé de la deuxième ligne sur la première et troisième ligne

##### - Première ligne



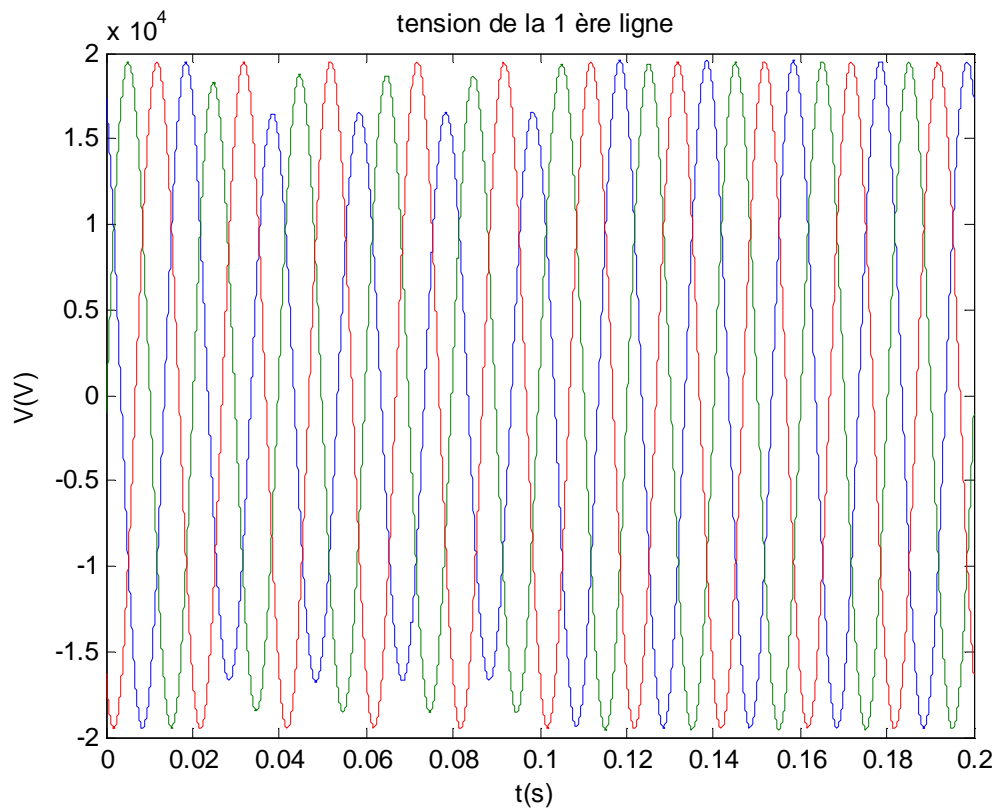
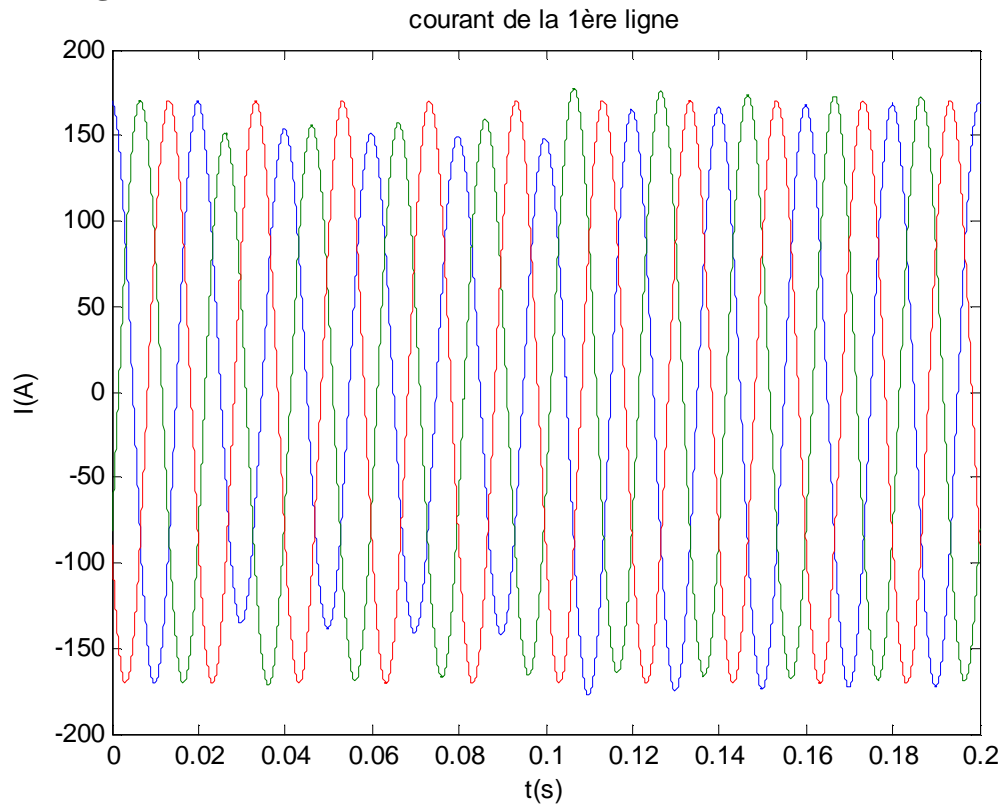
**Troisième ligne**

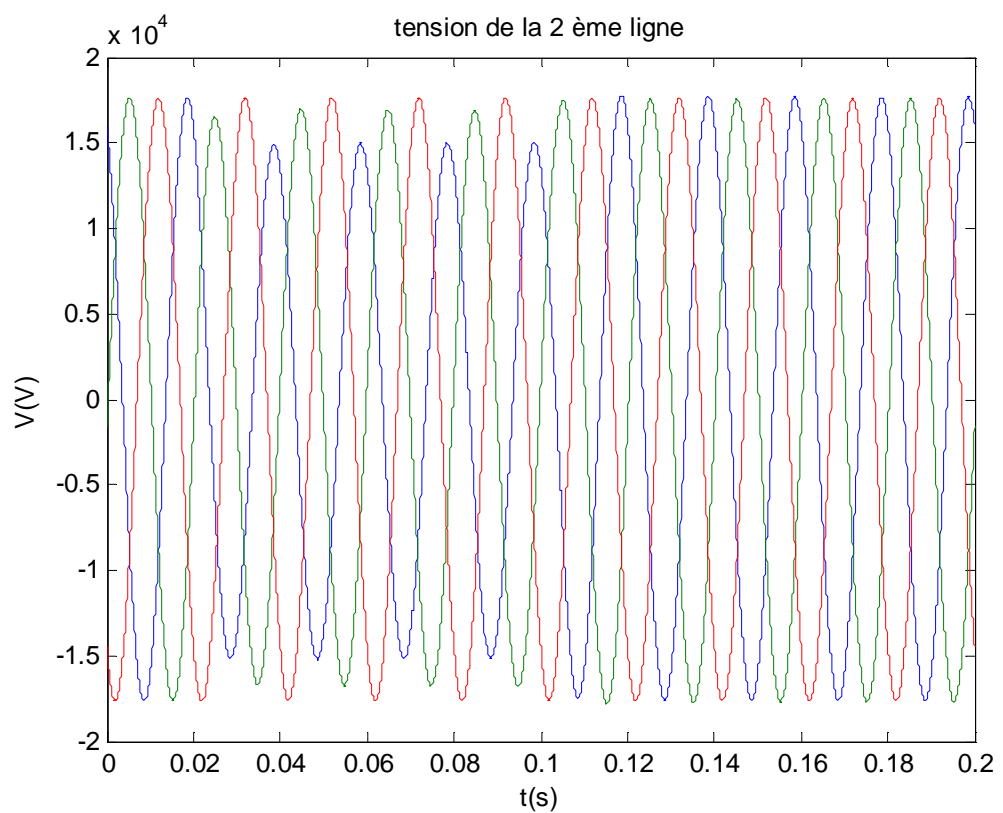
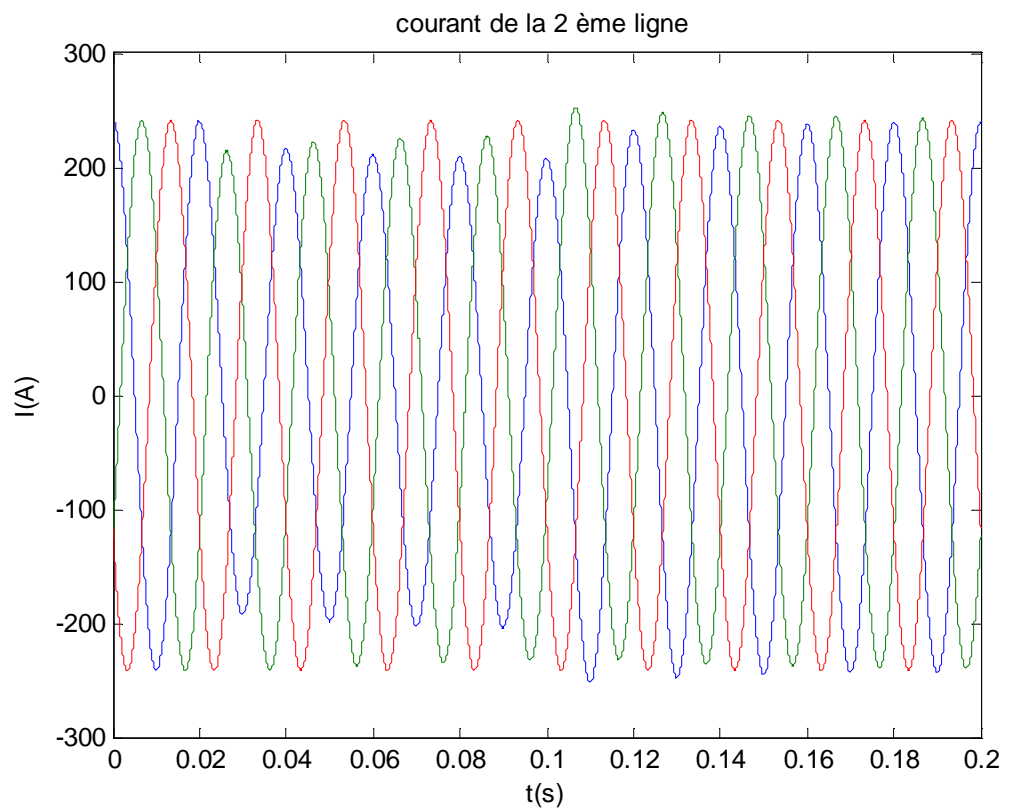
**IV.3.1.2.3.1 Courant et tension de défaut biphasé de la troisième ligne**



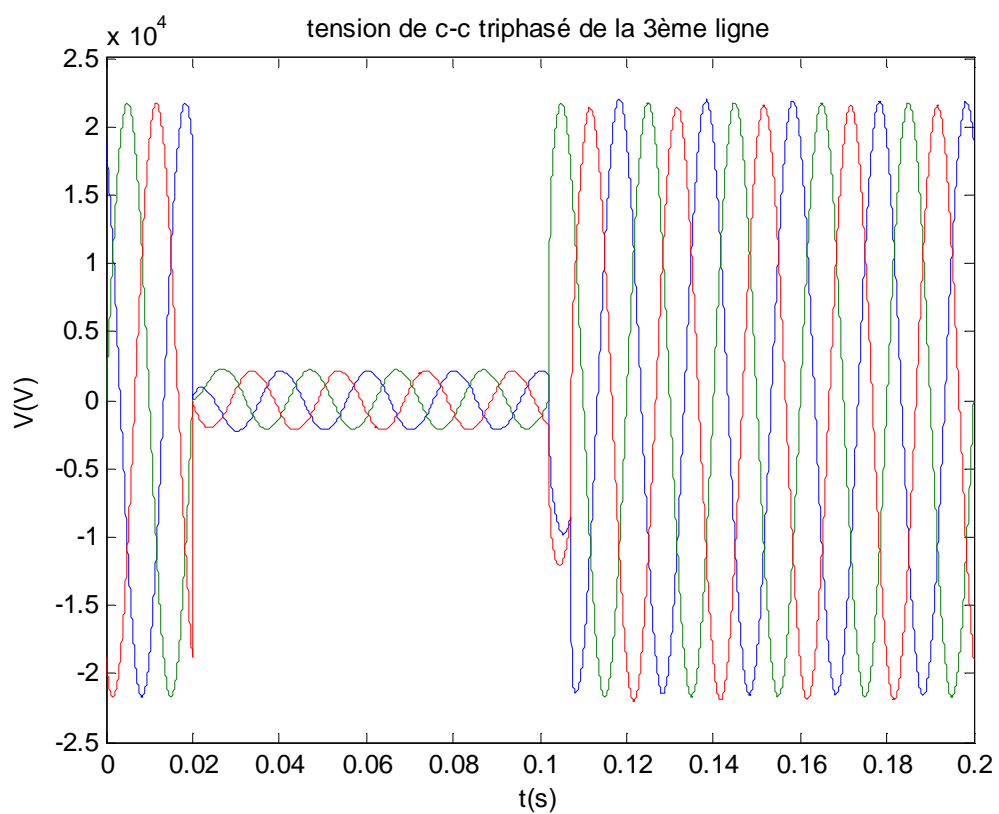
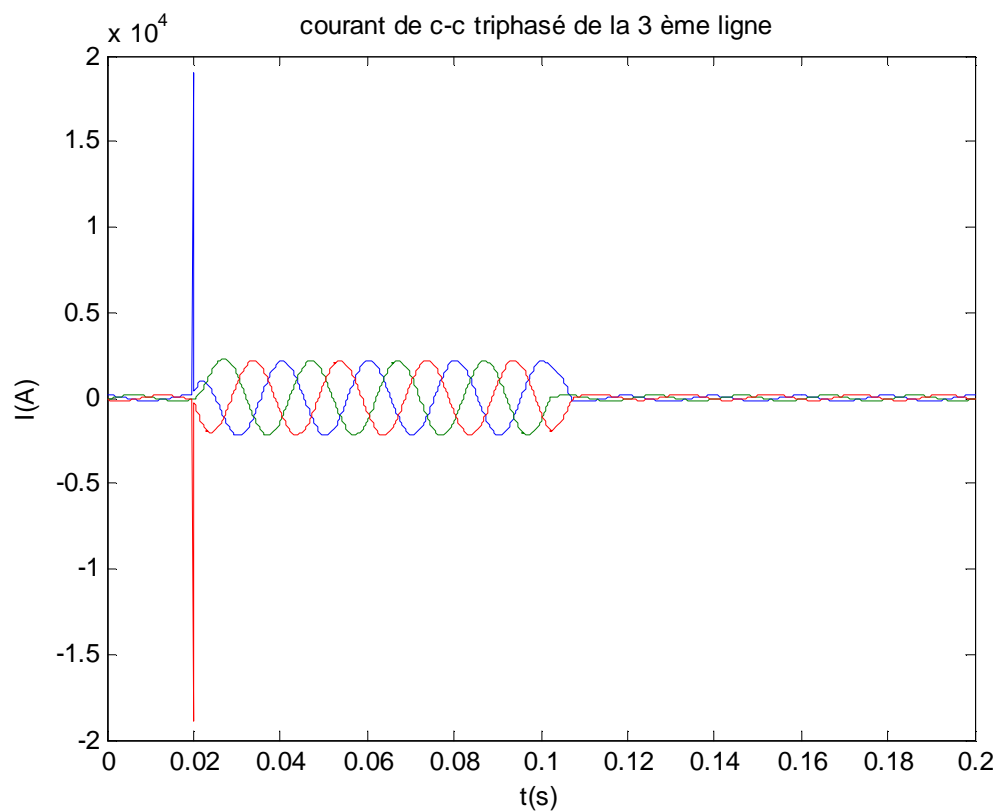
**IV.3.1.2.3.2 Influence du défaut biphasé de la troisième ligne sur la première et la deuxième ligne**

- Première ligne



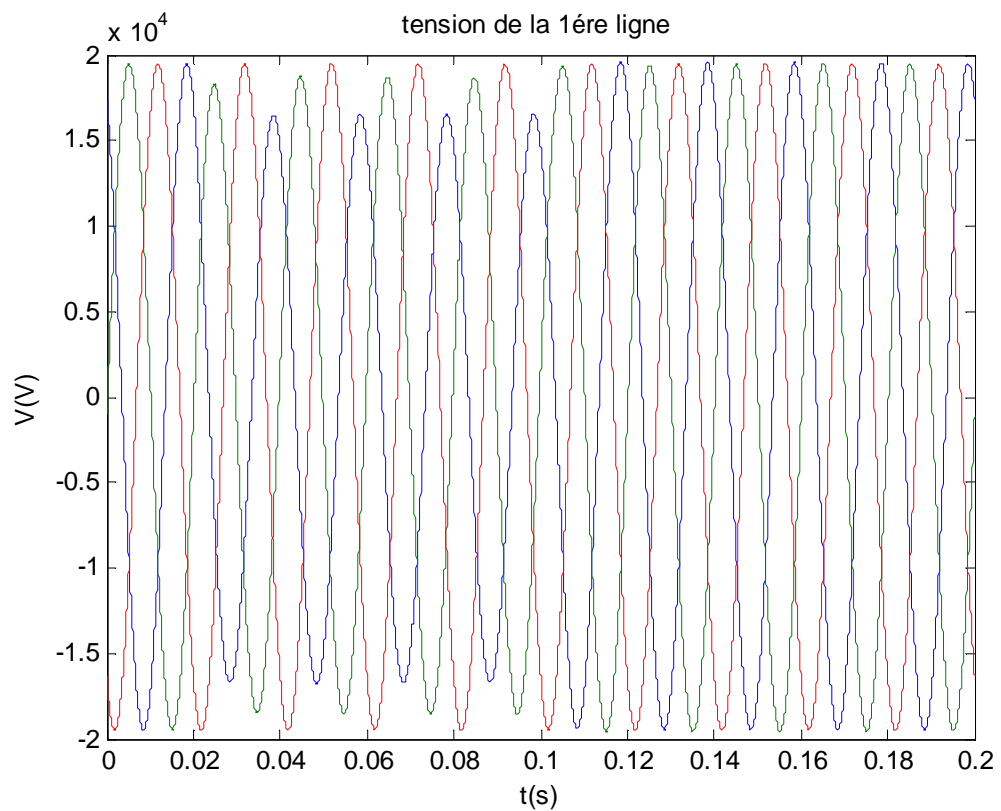
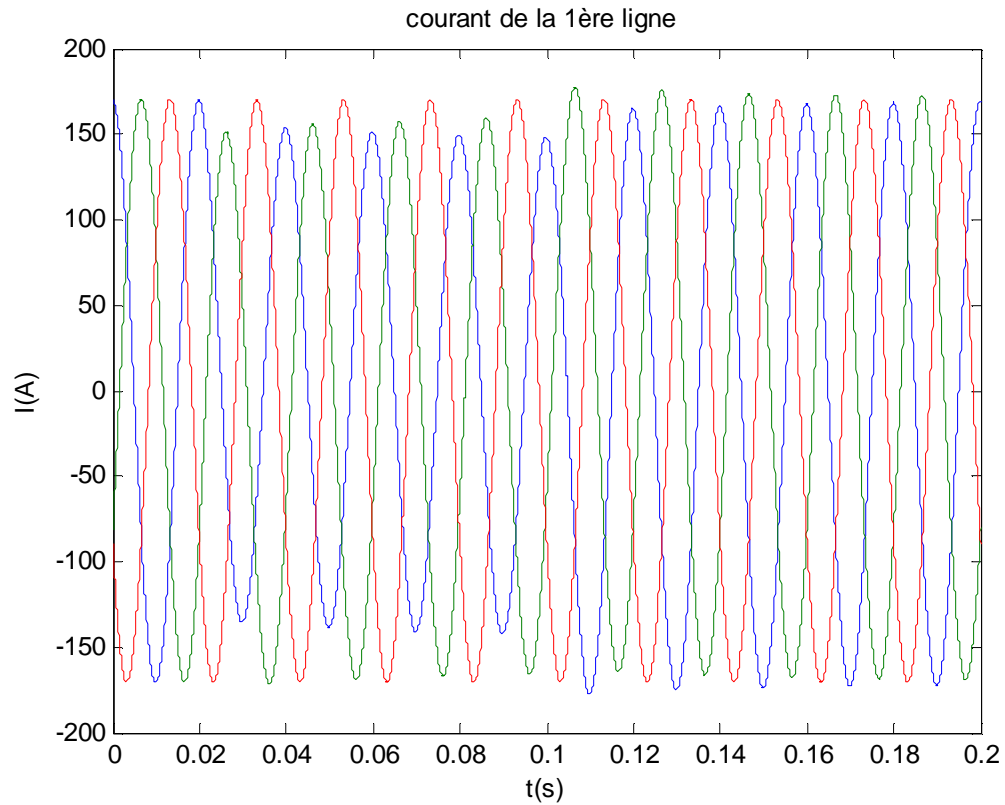
**Deuxième ligne**

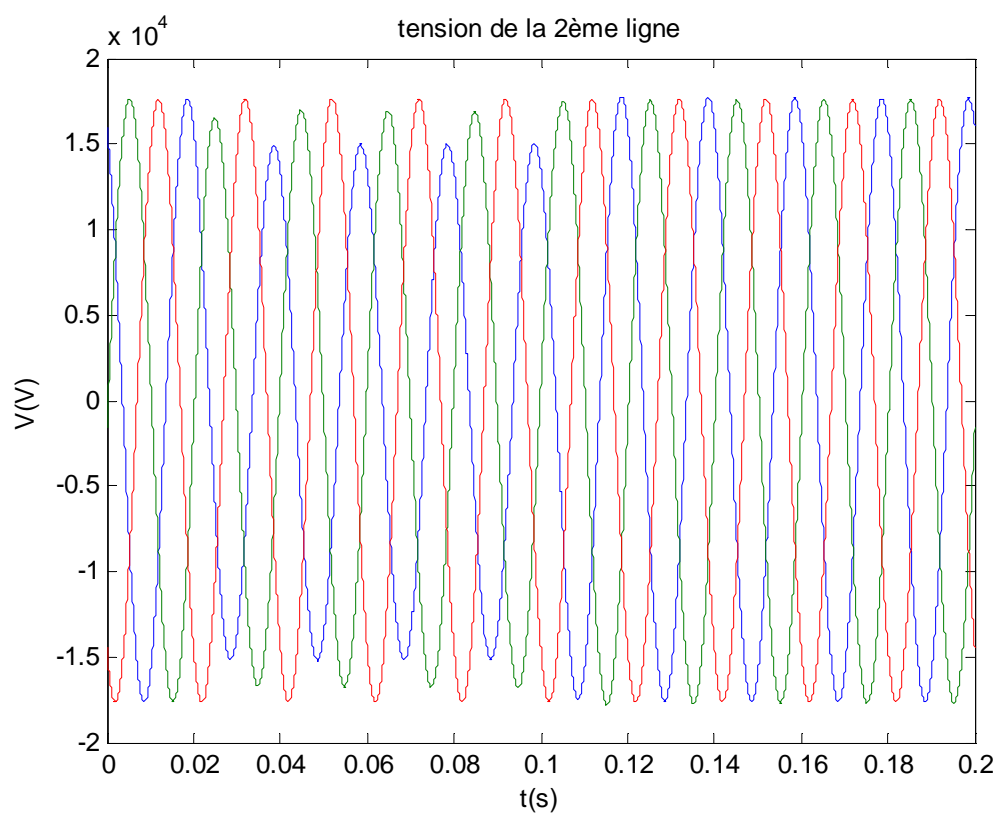
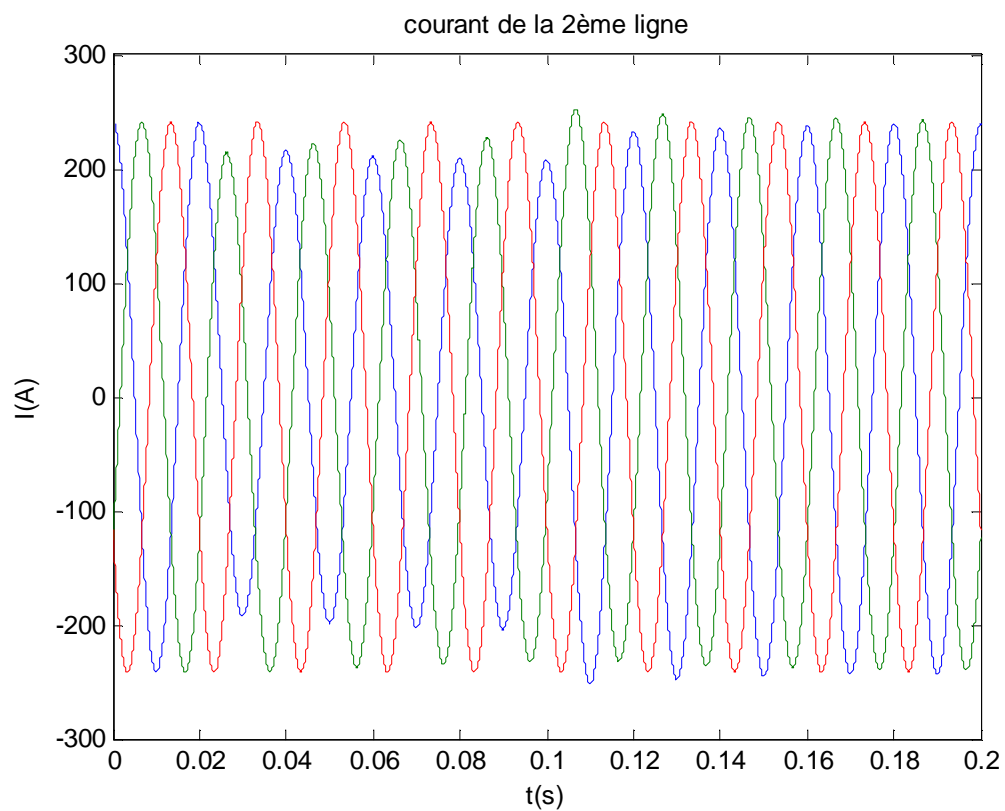
### IV.3.1.2.3 Courant et tension de défaut triphasé de la troisième ligne



#### IV.3.1.2.3.4 Influence de défaut triphasé de la troisième ligne sur la première et la deuxième ligne

##### - Première ligne



**Deuxième ligne**

**Interprétation des courbes****Courants :**

Pour les défauts biphasés des trois départs, on remarque que le défaut biphasé de la ligne la plus proche à la source (Mekla) est le plus sévère ( $I_{ccb} = 1367A$ ) par rapport aux deux autres départs. A propos de courant de court-circuit triphasé on voit aussi que le défaut le plus dur est de celui de la ligne de Mekla ( $I_{ccT} = 1604A$ ) qui est le départ le plus proche de la source.

Dans le cas de l'essai en charge, le défaut triphasé est plus sévère par rapport au défaut biphasé, d'où le premier est plus influent sur les deux charges ou le défaut n'a pas eu lieu.

**Tensions :**

On voit que les tensions des courts-circuits biphasés et triphasés les plus petites dépendent des courants des défauts biphasés et triphasés les plus élevés.

### IV.3.2 Méthode analytique :

Pour le calcul des courants des courts-circuits ; beaucoup de méthodes sont utilisées. Cependant certaines d'entre elles nécessitent un nombre important des données, nous avons opté pour la méthode suivante, car, elle ne fait intervenir que les paramètres électriques, mesurant du réseau électrique. [15]

La procédure de calcul est résumé dans l'organigramme suivant :

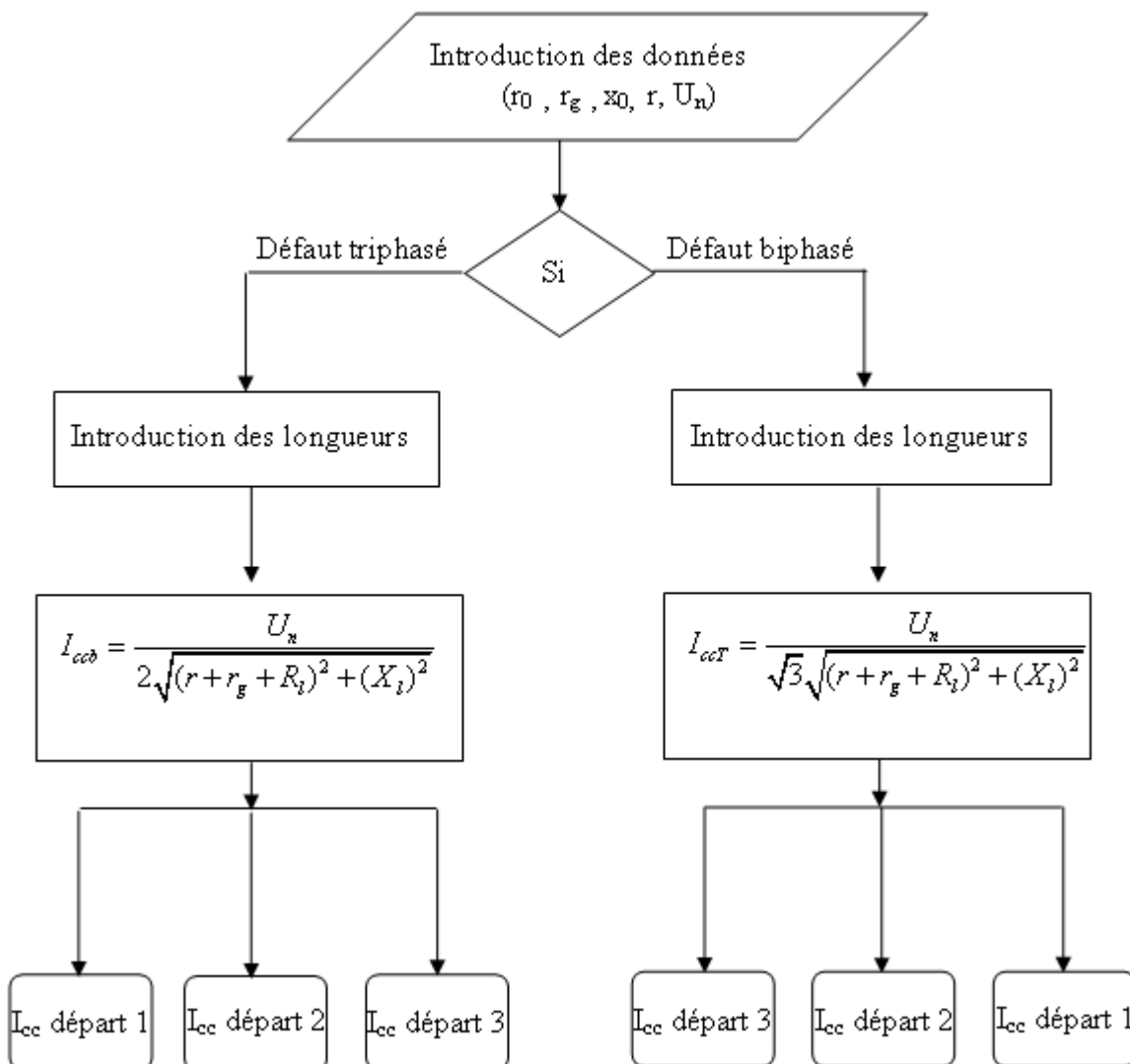


Fig IV. 4. Organigramme de calcul de la méthode analytique

Avec :

$r_0$  : résistance linéique

$x_0$  : réactance linéique

$r_g$  : résistance de défaut.

$r$  : résistance de la source.

$U_n$  : tension nominale de source.

Cet organigramme est traduit sous forme d'un programme sous environnement **Matlab**. [Annexe]

Le programme est le suivant :

```
disp(' *Calcul des Courants de Court-circuit' )
```

```
%%%%%%%%%%%%Calcul des paramètres du transformateur%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%PARAMETRES RESISTIFS HT et BT%%%%%%%%%
```

```
close all
```

```
clear all
```

```
RLAz=input('introduire la résistance de la ligne_Azeffoun RLAz=');
```

```
XLAz=input('introduire la résistance de la ligne_azeffoun XLAz=');
```

```
RLM=input('introduire la résistance de la ligne_Mékla RLM=');
```

```
XLM=input('introduire la résistance de la ligne_Mékla XLM=');
```

```
RLBr=input('introduire la résistance de la ligne_Briquetterie RLBr=');
```

```
XLBr=input('introduire la résistance de la ligne_Briquetterie XLBr=');
```

```
Un=input('introduire la tension nominale en [V] Un=');
```

```
Rs=input('introduire la résistance de la source Rs=');
```

```
Rg=input('introduire la résistance du défaut Rg=');
```

```
ICCTriAz=Un/(sqrt(3)*sqrt((Rs+Rg+RLAz)^2+XLAz^2));
```

```
ICCBiAz=Un/(2*sqrt((Rs+Rg+RLAz)^2+XLAz^2));
```

```
ICCTriM=Un/(sqrt(3)*sqrt((Rs+Rg+RLM)^2+XLM^2));
```

```
ICCBiM=Un/(2*sqrt((Rs+Rg+RLM)^2+XLM^2));
```

```
ICCTriBr=Un/(sqrt(3)*sqrt((Rs+Rg+RLBr)^2+XLBr^2));
```

```
ICCBiBr=Un/(2*sqrt((Rs+Rg+RLBr)^2+XLBr^2));
```

```
%%%%%%%%%%PARAMETRES INDUCTIFS HT et BT%%%%%%%%%
```

```
disp('
```

```
%%%%%%%%%%
```

```
%%%%%%%%%%** :')
```

```
disp(' *Les courants de court-circuit triphasé et biphasé départ_Azeffoun' )
```

```
disp([' ICCTri_Bz ICCBi_Bz ] :')
```

```
Icc_Azeffoun=[ ICCTriAz ICCBiAz]
```

```
disp('
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%** :')
```

Chapitre IV

Application et discussion de résultats

```
disp(' *Les courants de court-circuit triphasé et biphasé départ_Mékla' )
```

```
disp([' ICCTri_M ICCBi_M ] :')
```

```
Icc_mekla=[ ICCTriM ICCBiM]
```

```
disp('
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%** :')
```

```
disp(' *Les courants de court-circuit triphasé et biphasé départ_Briquetterie' )
```

```
disp([' ICCTri_B ICCBi_B ] :')
```

```
Icc_briquetterie=[ ICCTriBr ICCBiBr]
```

```
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Fin du Programme %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')
```

Les résultats obtenus après avoir introduire les données réelles du réseau considéré, sont réunit dans les tableaux suivants :

### 1. BRIQUETRIE

Essai	Méthodes	$I_{ccB} (A)$	$I_{ccT} (A)$
Essai à vide	Analytique	626	723
En charge	Analytique	626	723

### 2. AZEFFOUN

Essai	Méthodes	$I_{ccB} (A)$	$I_{ccT} (A)$
Essai à vide	Analytique	589	680
En charge	Analytique	589	680

### 3. MEKLA

Essai	Méthodes	$I_{ccB} (A)$	$I_{ccT} (A)$
Essai à vide	Analytique	1431	1652
En charge	Analytique	1431	1652

**Tableaux. IV.2 : résultats de calculs de la méthode analytique**

#### IV.3.3 Comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes :

L'objectif de cette comparaison est d'utiliser le schéma équivalent élaboré en simulation numérique. Les tableaux et les histogrammes ci-dessous résument les résultats de comparaison entre les méthodes numérique et analytique considérées.

#### 1. BRIQUETRIE

Essai	Méthodes	$I_{ccB} (A)$	$I_{ccT} (A)$
Essai à vide	Analytique	626	723
	Simulation	640	749.5
différence (%)		2.24%	3.53%
En charge	Analytique	626	723
	Simulation	607	720
différence (%)		3%	0.41%

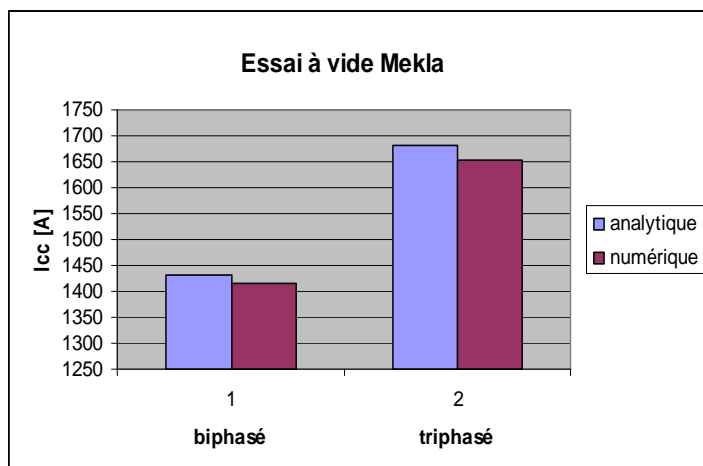
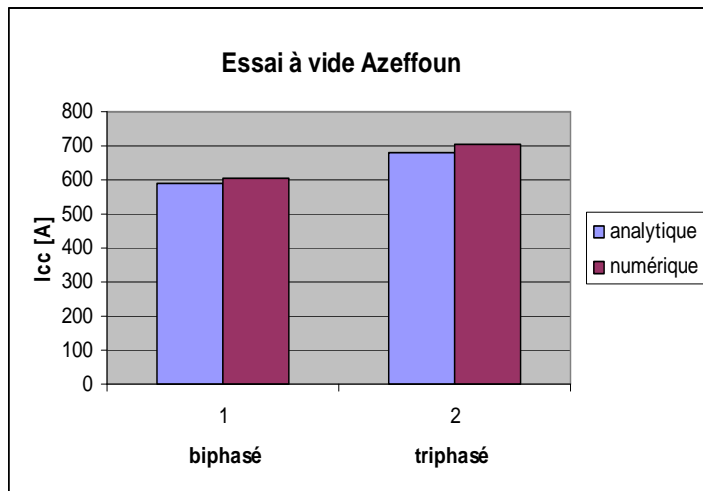
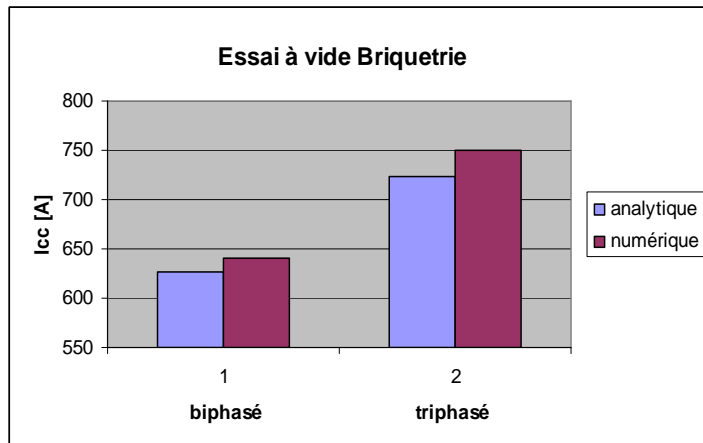
**2. AZEFOUN**

Essai	Méthodes	$I_{ccB} (A)$	$I_{ccT} (A)$
Essai à vide	Analytique	589	680
	Simulation	604	707
différence (%)		2.55%	3.97%
En charge	Analytique	589	680
	Simulation	583	677
différence (%)		1%	0.44%

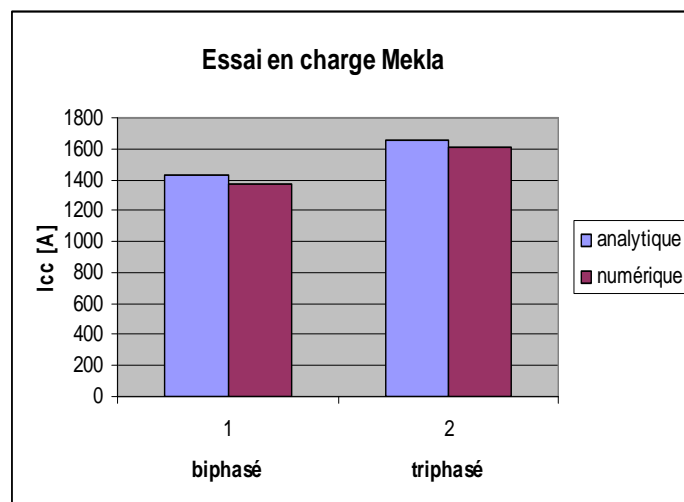
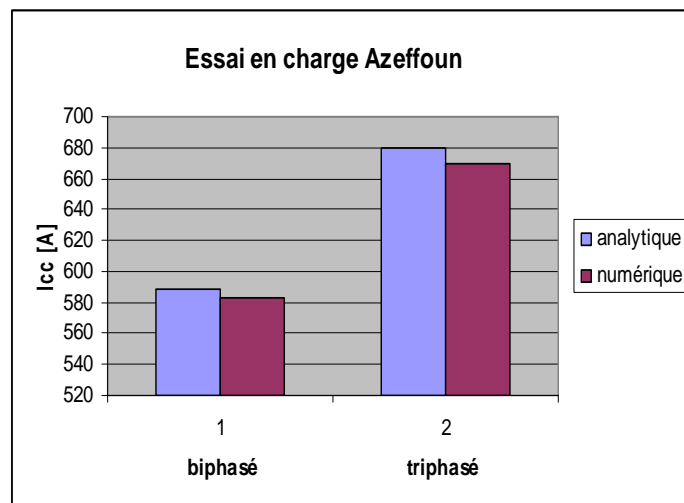
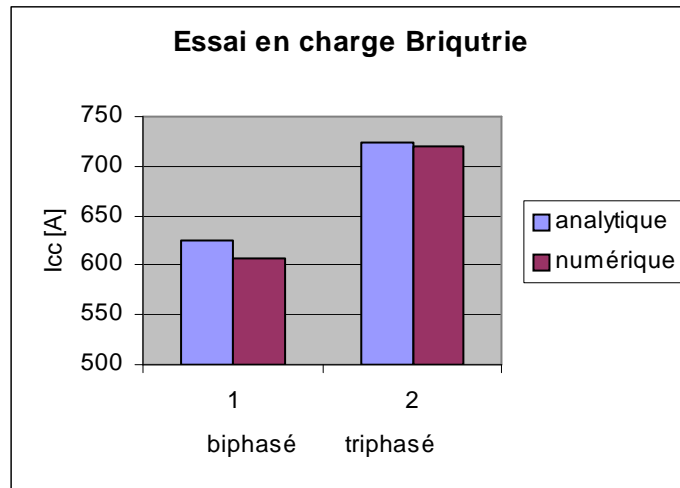
**3. MEKLA**

Essai	Méthodes	$I_{ccB} (A)$	$I_{ccT} (A)$
Essai à vide	Analytique	1431	1652
	Simulation	1417	1652
Erreurs (%)		0.98%	0%
En charge	Analytique	1431	1652
	Simulation	1367	1604
différence (%)		2.51%	2.9%

**Tableaux .IV.3 : résumés des résultats de calculs de deux méthodes.**



**Fig.IV .5 : comparaison des résultats analytiques et numérique des différents départs (essais à vide).**



**Fig. IV .6 : comparaison des résultats analytiques et numérique des différents départs (essais en charge).**

**IV.3.4 Comparaisons des résultats**

Vu, les résultats obtenus par les deux méthodes de calcul à savoir Matlab/ simulink et analytique, nous avons pu avoir des résultats très proches. La plus grande différence soulevée entre les méthodes utilisées est de 3.97% dans la ligne d'Azeffoun qui est la ligne la plus éloignée de la source.

**IV.3.5 Conclusion**

Les deux méthodes de calcul des courants de courts-circuits analysées dans ce chapitre donnent des résultats très proches, d'ailleurs la plus grande différence soulevée en comparant les résultats des courants des courts-circuits entre ces deux méthodes est de 3.97% qui est une différence négligeable, ce qui valide le modèle adopté et implémenté sous *Matlab-Simulink*.

*CONCLUSION*  
*GÉNÉRALE*

## Conclusion générale

Le travail que nous avons fait, nous a permis d'approfondir nos connaissances sur les défauts. Nous avons traité les défauts les plus sévères (biphasé et triphasé) qui peuvent se produire dans un réseau de moyenne tension.

D'après ce qui a été évoqué dans le premier chapitre, on constate que le maillon fort, de la chaîne reliant les sources de production et de consommation, est le transformateur. Etant donné que, le réseau est le sujet de beaucoup de perturbations entre autre les courts-circuits, donc, il est indispensable de mettre en œuvre des appareils de protection contre ces défauts afin de protéger les différents organes des réseaux électriques (transformateur...etc.).

Ce qu'on peut noter, est que les disjoncteurs jouent un rôle important dans la protection de matériels et du personnel. De ce fait son dimensionnement nécessite la connaissance parfaite de la structure à protéger d'une part, et les conditions de fonctionnement de cette dernière de l'autre part.

Et comme nous avons cité dans le troisième chapitre, la méthode utilisée (la méthode des composantes symétriques) pour le calcul des défauts qui apparaissent sur les réseaux électriques, l'application de cette dernière diffère d'un type de court-circuit à un autre.

Les méthodes que nous avons utilisées sont ; la méthode des composantes symétriques, la méthode analytique et la méthode de la simulation/Matlab7.0. Le manque des données nous a imposé de ne pas travailler avec la méthode des composantes symétriques, c'est pour cela qu'on a opté pour la méthode analytique qui possède suffisamment de données pour mettre en marche notre modèle de réseau étudié dans Matlab/Simulink.

Les deux méthodes de calcul des courants de courts-circuits analysées dans le chapitre quatre donnent des résultats très proches, d'ailleurs, la plus grande différence soulevée en comparant les résultats des courants des courts-circuits entre ces deux méthodes qui ne dépasse pas 3.97% qui est une différence négligeable, ce qui prouve la fiabilité des méthodes appliquées.

Comme perspective pour notre travail, nous suggérons une étude plus approfondie sur l'influence de l'un à l'autre des différents départs, lorsque l'un d'eux est en régime de neutre isolé de la terre en court-circuit.

## ***BIBLIOGRAPHIE***

## *Bibliographie*

- [1] E.GILLON, ''Cours d'électrotechnique, les machines électriques'' Volume I.1993
- [2] M .AGUEL et M. LANOZ, Traité d'électricité, haute tension, volume XXI. Ecole polytechnique fédérale de la Lausanne. Publié sous la direction JACQUES NEIRYNCK.2004
- [3] S. ABDOUN et L. AIRED ''Modélisation de régime transitoire dans un transformateur de puissance avec noyau à l'aide du logiciel P. SPICE.
- [4] M. COSTONKO et L. PIOTROVSKI, Machines électriques, tome I Edition MIR Moscou.1996.
- [5] F.GIRARD-ADEE, Généralités foudre, Edition Octobre 1998. Cahier technique.
- [6] B .HOCHART, Le transformateur de puissance, coordonnateur, 2<sup>ième</sup> Edition, Edition : TEC&DOC. LAVOISIER. 1988.
- [7] Article WIKIPEDIA : '' l'encyclopédie libre''.
- [8] disjoncteurs      Site Internet : [www.zensol.com](http://www.zensol.com)
- [9] M.MOUDOUD ''Etude des protections des départs moyenne tension application 60/30KV FREHA '' Projet de fin d'étude. Université de Tizi-Ouzou année 2002.

[10] Techniques de coupures des disjoncteurs basse tension, Cahier Technique n<sup>o</sup> 148 –R. MOREL.

[11] D.MOHAMMEDI, DJ.MOHAMMEDI, T.MOHANDSAID “ Détermination des seuils de réglage des protections moyenne tension” Projet de fin d’étude. Université de Tizi-Ouzou année 2000.

[12] K.IDRIS et F.HAMOUDI “calcul de protection d’un poste haute tension d »part moyenne tension. Application poste si-Mustapha-Boumerdes”.Projet de fin d’étude. Université de Tizi-Ouzou année1991.

[13] Analyse des réseaux triphasés en régime permanent à l’aide des composantes symétriques, Cahier Technique n<sup>o</sup> 18-B DE METZ-NOBLAT.

[14] Schneider

# *ANNEXES*

**Caractéristiques électriques des conducteurs isolés :**

MATÉRIEL	SECTION mm <sup>2</sup>	r à 20° ( Ω / km )	r à 50° ( Ω / km )	r + x tgφ ( Ω / km )	I <sub>LT</sub> (A)
CUIVRE	30	0.627	0.701	0.751	109
	50	0.379	0.424	0.474	180
	70	0.269	0.300	0.350	210
	95	0.194	0.217	0.267	250
	120	0.157	0.176	0.226	300
	146	0.126	0.141	0.191	340
	185	0.099	0.111	0.161	400
ALUMINIUM	25	1.200	1.345	1.395	78
	35	0.868	0.973	1.023	95
	50	0.641	0.918	0.768	114
	70	0.443	0.497	0.547	142
	95	0.320	0.359	0.409	172
	120	0.253	0.284	0.334	198
	150	0.206	0.231	0.281	225
	185	0.164	0.184	0.234	245
	240	0.125	0.140	0.190	305

Température de fonctionnement : 50° C

Réactance = 0.10 Ω / km

Facteur de puissance tel que tgφ = 0.5 (cosφ 0.9)

SONELGAZ DISTRIBUTION CENTRE SPA  
 DIRECTION REGIONALE DE TIZ OUZOU  
 DIVISION EXPLOITATION ELECTRICITE

RELEVÉ DES RESPONSABILITE DE POINTE HIVER 2008  
 JOURNEES DU 15 ET 16 DECEMBRE 2008  
 PS FREHA

	6H00	7H00	8H00	8H30	9H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00	15H00	16H00	17H00	17H30	18H00	18H30	19H00	19H30	20H00	20H30	21H00	21H30	22H00	23H00	24H00	2H00	4H00	6H00		
Brigueurie	125	140	140	145	135	145	135	130	120	130	135	135	135	145	160	165	170	170	170	170	170	155	150	150	125	110	100	110	125	
Azzerfun	110	140	140	140	140	135	130	120	120	130	125	125	125	150	190	200	205	200	200	200	190	180	170	135	120	110	110	120		
Mekla	110	125	135	140	140	110	125	125	125	135	135	125	115	120	140	150	150	150	150	150	150	150	150	140	120	20	140	110	120	
Intensité (A) TR2	300	340	390	390	370	370	360	340	340	360	360	350	350	380	450	470	480	480	480	480	480	460	460	430	350	310	300	300	300	
Tension (KV) TR2	30,5	30,5	31	30,5	30,5	31	30,5	31	31	30	30,5	31	31,5	31	30,5	30,5	30,5	31	31	31	31	31	31	31	31	31,5	31,5	31,5	30,5	
Puissance (MW) TR2	14,2	16,1	18,8	18,5	17,5	17,8	17,1	16,2	16,7	16,8	17,1	16,8	17,1	18,3	21,3	22,3	22,7	23,1	23,1	23,1	22,2	22,2	22,2	20,7	16,8	15,2	14,7	14,7	14,2	
Bouzeguène	165	205	195	195	200	190	180	180	170	165	170	175	195	220	250	260	270	260	260	255	255	250	240	220	190	180	180	160	160	180
Azazga	135	170	175	1/85	190	185	180	180	170	180	170	175	165	175	195	200	205	200	200	2500	190	200	190	190	165	160	140	130	135	
ENEL	25	40	50	60	60	55	60	55	60	60	60	40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	30	30	30	30	25	25	
Intensité (A) TR1	340	420	420	430	440	430	420	420	400	390	400	390	390	410	480	480	500	480	480	480	470	450	450	390	350	310	310	310	345	
Tension (KV) TR1	30,5	30,5	31	30,5	30,5	31	30,5	31	31	30	30,5	31	31,5	31	30,5	30,5	30,5	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31,5	31,5	30,5	
Puissance (MW) TR1	16,1	19,9	20,3	20,4	20,9	20,8	19,9	20,3	19,3	18,2	19,0	18,8	19,1	19,8	22,8	22,8	23,7	23,2	23,2	23,2	22,7	21,7	21,7	18,8	16,9	15,2	15,2	15,2	16,4	



SONELGAZ SPA  
SDC/ DIRECTION REGIONALE DE TIZI OUZOU  
DIVISION EXPLOITATION ELECTRICITE

RELEVES DES RESPONSABILITES DE POINTE ETE 2008  
JOURNEES DU 14 ET 15 JUILLET 2008  
PS FREHA

	6H00	7H00	8H00	8H30	9H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00	15H00	16H00	17H00	17H30	18H00	18H30	19H00	19H30	20H00	20H30	21H00	21H30	22H00	23H00	24H00	2H00	4H00	6H00
Briqueterie	110	100	110	120	120	125	110	120	115	120	120	120	110	110	110	105	115	120	120	120	120	120	115	110	100	90	90	100
Azerfoun	125	100	110	120	125	125	130	125	120	120	120	120	120	120	120	125	135	150	170	170	170	170	150	135	125	110	110	120
Mekla	100	90	90	90	100	95	100	100	105	110	110	100	80	80	80	80	85	90	90	100	100	115	110	105	100	90	95	90
Intensité (A) TR2	335	290	310	330	345	345	340	345	340	350	350	340	310	310	310	310	315	340	360	390	390	405	375	350	325	290	295	290
Tension (KV) TR2	31	31	30.5	30.5	30	30	30	30	30.5	30	30	30.5	31	31	31	31	31	31	31	30.5	30.5	30.5	30.5	31	31	31	31.5	31.5
Puissance (MW) TR2	16.2	14.0	14.7	15.7	16.1	16.1	15.9	16.1	16.1	16.3	16.3	16.1	15.0	15.0	15.0	15.0	15.2	16.4	17.4	18.5	18.5	19.2	17.8	16.9	15.7	14.0	14.5	14.2
Bouguène	100	100	100	105	110	115	120	120	120	120	120	120	120	115	110	115	120	130	150	170	170	165	160	130	110	100	100	90
Azarga	110	110	125	130	135	140	145	145	145	145	150	130	140	130	135	135	135	130	140	145	160	155	150	130	125	105	105	95
EMEL	20	30	45	50	55	55	55	50	55	55	50	40	30	35	35	35	30	30	35	30	30	25	20	25	20	20	20	25
Intensité (A) TR1	230	240	270	285	300	310	320	315	320	320	320	250	290	280	280	285	290	290	330	250	360	350	335	280	260	225	225	210
Tension (KV) TR1	31	31	30.5	30.5	30.5	30	30	30	30.5	30	30	30.5	31	31	31	31	31	31	31	30.5	30.5	30.5	30.5	31	31	31	31.5	31.5
Puissance (MW) TR1	11.1	11.6	12.8	13.5	14.2	14.5	14.9	14.7	15.2	14.9	14.9	13.8	14.0	13.5	13.8	14.0	14.0	15.9	11.9	17.1	16.6	15.9	13.5	12.5	10.9	11.0	11.0	10.3

**Caractéristiques électriques des conducteurs nus :**

NATURE	SECTION mm <sup>2</sup>	r à 20 <sup>0</sup> ( Ω / km )	r + x tgφ ( Ω / km )	I <sub>LT</sub> (A)
CUIVRE	17.8	1.010	1.185	118
	27.6	0.650	0.825	153
	38.2	0.472	0.647	200
	48.3	0.373	0.548	230
	74.9	0.240	0.416	280
	116.2	0.156	0.331	365
ALUMELEC	34.4	0.958	1.133	140
	54.6	0.603	0.778	190
	75.6	0.438	0.613	240
	93.3	0.357	0.532	270
	148.1	0.224	0.399	365
	228	0.146	0.321	480
	288	0.116	0.291	550
ALU-ACIER	75.5	0.605	0.780	175
	116.2	0.303	0.481	300
	147.1	0.243	0.418	345
	228	0.157	0.332	460
	288	0.124	0.299	525

- Température de fonctionnement : 20<sup>0</sup> C

- Réactance = 0.35 Ω / km

- Facteur de puissance cosφ 0.9 ( tgφ = 0.5 )