

M/621.909

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



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

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

---

---

**Court-circuit asymétrique et impact sur le plan du potentiel**

---

---

Présenté par :  
**NIGRI Chahrazed**  
**BOUDFEL Yasser**

Sous la direction de :  
**Pr. BOUNAYA. K**

Juin 2016

# Remerciements

*Nous remercions notre dieu, le tout puissant qui nous a donné le pouvoir d'effectuer notre projet fin d'étude.*

*Après, nous tenons à remercier vivement notre encadreur M<sub>r</sub>. BOUNAYA Kamel pour ces enseignements, ces conseils judicieux et ses méthodes qui ont été bénéfique pour notre formation ainsi que élaboration de ce travail.*

*Nous tenons ainsi remercie les membres jury :*

*D<sub>r</sub>. BOUDFEL*

*D<sub>r</sub>. LADJIMI*



*Nous remercions également M<sub>r</sub>. GOUAIDIA à son aide, mon département et toutes les personnes universitaires.*

*Enfin, à toute ceux qui m'ont aidé, dirigé, orienté et conseillé dans l'élaboration de ce mémoire de fin de cycle pour l'obtenir d'un diplôme de master.*

# Dédicace

*Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire " Ya Kayoum "*

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à toi chère maman toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance.*

*Sans hésitation, je dédie ce modeste à l'homme qui m'as encouragé toujours et m'a aidé avec tout ces efforts et que je l'aime sans limite, à mon marie « Mehdi » je lui remercie chaleureusement. Que dieu réunisse nos chemins pour un long commun serein.*

*A mes adorables sœurs Assia, Amel, et sans oublié Soumaia.*

*Je dédie ce mémoire à mes frères sans oublié « Hasni » et à toute ma famille et spécialement ma grande mère (que dieu la garde), sans oublier les petits poussins « Ayoub », « Zaza », « Louai » , « Islem » et « Jawad ».*

*Cette dédicace s'adresse également à mon ami « amine ». à la fin mes collègues « Yasser », « Rafik » et a toute la promo 2016.*

*Chahrazed*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes parents, mes estime pour eux sont immenses, je vous remercie Pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mes frères Assil, Chaker et mon ange d'amour ma sœur 'Nana', et son marie "Waheb"*

*A toute la famille tante, oncles.*

*A toute mes cousins.*

*Mes amis : Oussama, Ali, Amine.*

*Et quelqu'un dans mon cœur*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mon aimable amis, collègue d'étude : chahrazed.*

*Yasser*

# Table des matières

## *Introduction*

### *Chapitre I : Notions sur les réseaux électriques*

I. 1. Les réseaux électriques .....	1
I.1.1. Définition et classification des réseaux électriques .....	1
I.1.2. Constitution d'un réseau électrique .....	2
I.1.3. Catégories des charges .....	4
I.2. Introduction et notions générales sur les protections : .....	4
I.2.1. Définition : .....	4
I.2.2. Principe de base de protection : .....	5
I.2.3. Différents types de protection : .....	5
I.2.4. Qualités principales d'un système de protection .....	15
I.2.5. Le rôle et le but de protection : .....	19
I.2.6. Organes de protections : .....	19
I.3. les régimes du neutre : .....	23
I.3.1. Régime TT : .....	23
I.3.2. Régime TN : .....	24
I.3.3. Régime IT : .....	25
I.4. Les courts-circuits .....	25
I.4.1. Définition et classification .....	25
I.4.2. les différents types de courts-circuits : .....	27
I.4.3. Causes et conséquences : .....	28
I.4.4. Méthode de calcul de courant de court-circuit : .....	29

## ***Chapitre II: Traitement des données***

II.1. Description du réseau étudié: .....	35
II.1.1. Topologie du réseau électrique : .....	35
II.1.2. Données initiales : .....	36
II.1.3. Puissance de ligne : .....	37
II.1.4. Choix de la tension nominale: .....	39
II.1.5. Choix de la section des conducteurs : .....	39
II.1.6. Vérification des sections : .....	40
II.1.7. Choix des transformateurs : .....	42
II.1.8. Schéma équivalent du réseau choisi : .....	43
II.2. Analyse du court-circuit triphasé : .....	44
II.2.1. Calcul des réactances relatives du modèle retenu : .....	44
II.2.2. Calcul des courants de court-circuit : .....	46
II.2.3. Calcul des courants de crêtes : .....	48
II.2.4. Les courants de ligne : .....	49
II. 2.5. Calcul du potentiel des nœuds : .....	50
II. 2.6. Graphique du potentiel (histogramme) : .....	51

## ***Chapitre III: Calculs des courts-circuits asymétrique et distribution des potentiels***

III. 1. Traitement du modèle : .....	55
III.1.1. Modèle étudié : .....	55
III.1.2. Calcul de puissance : .....	56
III.1.3. Les sous stations (Autotransformateur) : .....	56
III.1.4. Choix de la section : .....	56
III. 2. Calculs des courts-circuits : .....	61
III. 2. 1. Court-circuit triphasé: .....	61

III.2.2. Court-circuit monophasé:.....	63
1) Court-circuit monophasé impédant : .....	66
2) Court-circuit monophasé franc ( $Z_T = 0$ ) : .....	67
III.2.3. Calculs des courts-circuits (par un programme) : .....	68
III.2.3.1: Court-circuit monophasé impédant : ( $Z_f=0.2$ ) .....	68
III.2.3.2 : Court-circuit monophasé franc : ( $Z_f=0$ ) .....	70
III.2.3.3: Court-circuit biphasé isolé: ( $Z_f=0$ ).....	71
III.2.3.4: Court-circuit biphasé à la terre:.....	71
III.2.3.5: Court-circuit triphasé : .....	72
III.3. Distributions des potentiels:.....	73
III.3.1. Potentiel d'un Court-circuit monophasé impédant $Z_f=0,2$ : .....	73
III.3.2. Potentiel d'un Court-circuit monophasé franc $Z_f=0$ : .....	74
III.3.3. Potentiel d'un Court-circuit biphasé isolé : .....	75
III.3.4. Potentiel d'un Court-circuit biphasé à la terre : .....	76
III.4. Les programmes utilisés : .....	77
III.4.1. Défaut monophasé: .....	77
III.4.2. Défaut biphasé isolé: .....	81
III.4.3. Défaut biphasé à la terre : .....	84
III.4.4. Court-circuit symétrique: .....	88
III.4.5. Fonction Zbuild:.....	91

## ***Conclusion***

## ***Bibliographie***

# *Introduction générale*

# *Introduction générale:*

L'énergie électrique s'avère un besoin vital dans tous les domaines socio-économiques des pays. Son impact est d'autant plus déterminant que la consommation de l'énergie électrique nécessite un support physique bien approprié, ce dernier est défini par le système d'énergie électrique (SEE).

Les systèmes d'énergie électrique est composé par l'ensemble des centres de conversion ayant relation avec l'énergie électrique, en fait, des centre de production (centrales), des centres de consommation de l'ensemble des réseaux électriques interconnectés; constitués par des réseaux de transport, d'alimentation et de distribution.

Le fonctionnement des systèmes électriques est caractérisé par les régimes variables. Cette variabilité peut être plus ou moins gênante selon le caractère des diverses perturbations. Ces dernières pouvant être, en effet, plus ou moins fortes selon les incidents. On cite; les variations brusques des charges, les variations brusques de la structure des réseaux, les courts-circuits, les ruptures de phases, les ruptures d'alimentation. En absence des moyens préventifs de contrôle et de protection, ces incidents peuvent conduire les systèmes électriques à des états de régime inadmissibles.

Les SEE ont pour objet de produire et transmettre l'énergie électrique aux consommateurs conformément à des critères de qualité et des contraintes données. Pour atteindre un niveau de qualité de l'énergie requis, les SEE sont accompagnés parallèlement par des systèmes de contrôle et de protection, sans lesquels la mise en fonctionnement des SEE et leur gestion sont inconcevables.

Dans grand nombre de cas, les SEE sont le siège d'un chargement d'état de régime du à diverses couses et acquièrent un état de fonctionnement perturbé. Parmi les diverses causes des perturbations des régimes, on peut citer les différents courts-circuits. Pour cette raison on accorde une attention très particulière aux calculs, et aux analyses des régimes de court-circuit, à tous les niveaux hiérarchiques du SEE. On peut distinguer également, les perturbations faibles, relatives essentiellement aux variations ordinaires des graphiques de charge ou à des manœuvres quelconques correspondantes.

*Chapitre I :*  
*Notions sur les réseaux*  
*électriques*

## I. 1. Les réseaux électriques

### I.1.1. Définition et classification des réseaux électriques

- *Définition :*

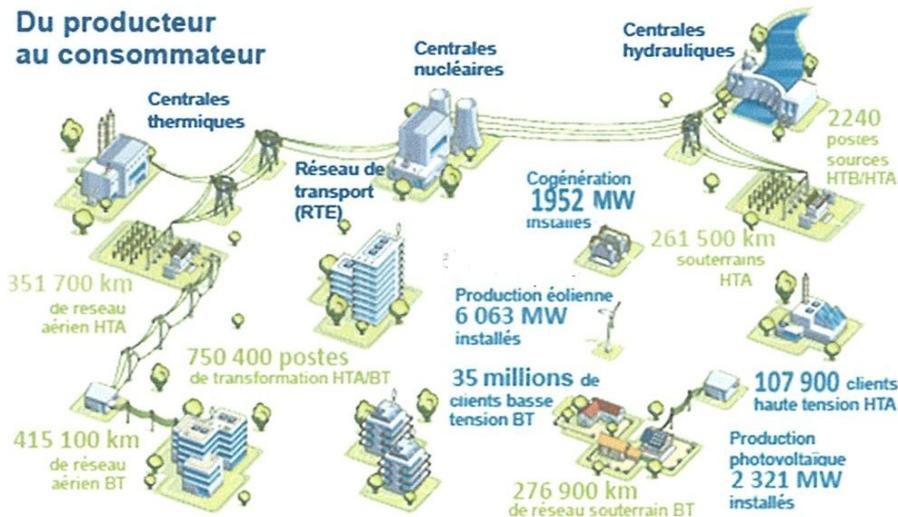


Fig.I.1 : Exemple d'un réseau électrique

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

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

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble :

«**Production \_ transport \_ consommation**» mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble.

- **Classification :**

Les réseaux électriques sont classés :

- selon la configuration du réseau :

- réseau maillé (bouclé)
- réseau magistral (ligne)
- réseau radial (ligne radial)
- réseau mixte

- selon la nature de conducteur :

- souterrain
- aérien

- selon le niveau de tension du réseau :

- 220 V\_1KV : basse tension
- 1KV\_60KV : moyenne tension
- 60KV\_120KV : haute tension
- 120KV\_1500KV : très haute tension

- selon la fonction du réseau :

- transport, distribution, alimentation.

### ***I.1.2. Constitution d'un réseau électrique***

Le réseau électrique est constitué de :

#### **✓ Centrales électriques :**

Il existe cinq principaux types de centrale électrique :

- Les centrales a combustibles fossiles (charbon, pétroles et gaz naturel) dites centrales thermique classique
- Les centrales nucléaires qui sont également des centrales que l'on peut qualifié thermique
- Les centrales hydroélectriques
- Les centrales solaires ou photovoltaïques
- Les centrales éoliennes.

#### **✓ Les postes électriques :**

On distingue, suivant la fonction qu'il assure, plusieurs types de postes :

- Les postes à fonction d'interconnexion : comprennent a cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barre, sur lesquelles sont connecté différents départs (ligne, transformateur .....etc.) de même tension.
- Les postes de transformations : dans lesquels il existe ou moins deux jeux barres à des tensions différentes par un ou plusieurs transformateurs.
- Les postes mixtes : les plus fréquents qui assurent une fonction dans le réseau d'interconnexion et qui comportent en outre un ou plusieurs étages de transformations.

✓ **ligne électrique :**

Le genre de ligne utilisée est imposé par les facteurs suivant :

- Puissance active à transporter
- Distance de transport
- Coût
- Esthétique, en cambrement et facilité d'installation.

On distingue quatre types de ligne :

- lignes de distribution BT** : Ce sont les lignes installées à l'intérieur des édifices, usines, maison pour alimenter les moteurs, cuisines, lampes.....etc.
- lignes de distribution MT** : Ce sont les lignes qui relient les clients aux postes de transformations principaux.
- les lignes de transports HT** : Ce sont les lignes qui relient les postes de transformations principaux aux centrales de génération.
- lignes de transports THT** : Ce sont les lignes qui relient les centrales éloignées aux centrales d'utilisation. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs 1000Km.

### ***1.1.3. Catégories des charges***

Selon la nature des récepteurs on peut classer les charges en trois catégories :

- **1<sup>ère</sup> catégories** : dans cette classe les récepteurs ne permettent que moins de deux secondes d'arrêt d'alimentation comme les hôpitaux et les zones militaires.
- **2<sup>ème</sup> catégories** : pour cette classe, les récepteurs acceptent un arrêt de moins de deux heures ; comme les usines.
- **3<sup>ème</sup> catégories** : dans cette dernière catégorie, l'arrêt peut être de plus 24 heures comme éclairage public et les domiciles.

## ***1.2. Introduction et notion générales sur les protections :***

### ***1.2.1. Définition :***

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

### ***1.2.2. Principe de base de protection :***

Un système de protection est constitué de :

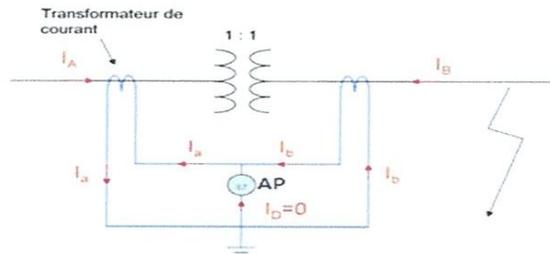
- ❖ Organes de mesure ou chaîne de mesure.
- ❖ Organes de comparaison.
- ❖ Organes de décision.

### ***1.2.3. Différents types de protection :***

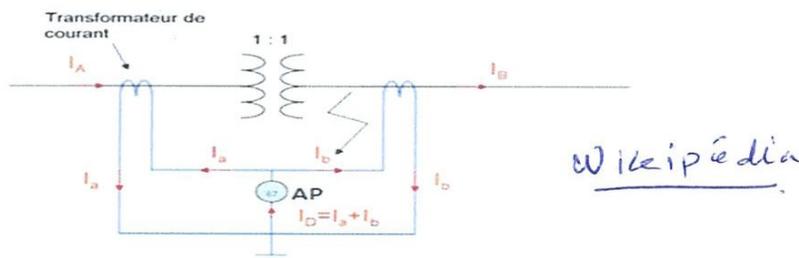
#### **1.2.3.1. Protection différentielle :**

Une protection différentielle est une protection électrique qui consiste à comparer le courant entrant et le courant sortant d'un appareil. Si les deux sont différents, la protection conclut à une fuite à l'intérieur de l'appareil et commande son retrait du réseau électrique, on parle de « déclenchement ». La protection différentielle est une protection très répandue. Elle sert à protéger en particulier les jeux de barres, les générateurs et les transformateurs.

❖ Principe de fonctionnement :



En cas de défaut externe, le courant différentiel est nul



En cas de défaut interne, le courant différentiel n'est pas nul

**Fig.I.2 :Principe de fonctionnement de la protection différentielle.**

Le courant secondaire des deux transformateurs de courant est alors sommé et mesuré par un ampèremètre (noté "AP" sur la figure). En supposant un rapport de transformation de 1:1 pour le transformateur, et en l'absence de défaut ou quand celui-ci est extérieur, le courant mesuré par l'ampèremètre, appelé « courant différentiel », est nul, le courant provenant des deux côtés du transformateur de puissance s'annulant. Par contre quand le défaut est interne au composant, du courant entre par les deux côtés de l'appareil, le courant différentiel n'est plus nul, la protection envoie au(x) disjoncteur(s) en série avec le transformateur l'ordre d'ouvrir le circuit, de déclencher.

Ce principe de fonctionnement peut être étendu à des appareils ayant plus de deux connexions. Le respect de la loi de Kirchhoff restant le critère déterminant. [2]

❖ Des exemples sur la protection différentielle :

1. Protection différentielle longitudinale :

a) A une seule source :

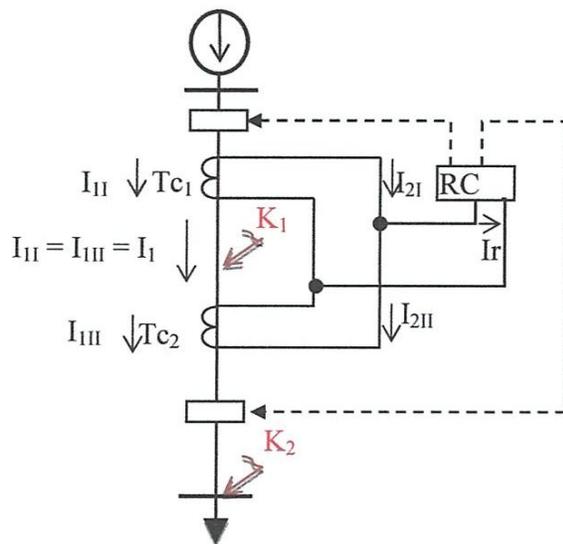


Fig. I.3 : Protection différentielle longitudinale (une ligne à une seule source).

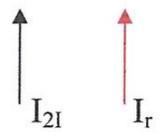
Dans le point "K1" la protection différentielle fonctionne car le défaut se trouve dans la zone de protection, et le courant de fonctionnement du relais de courant est égale la somme des courants secondaires des transformateurs de courant ( $I_{r,r} = I_{2lcc}$ ).

On a:  $I_{1II} = 0$

Alors:  $I_{1I} \longrightarrow I_{2I} = I_{2lcc}$

$I_{1II} = 0 \longrightarrow I_{2II} = 0$

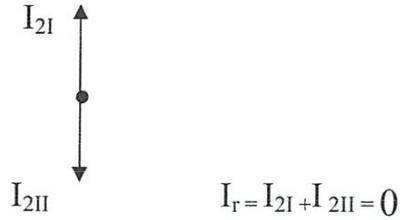
Ce qui donne  $I_r = I_{2lcc}$



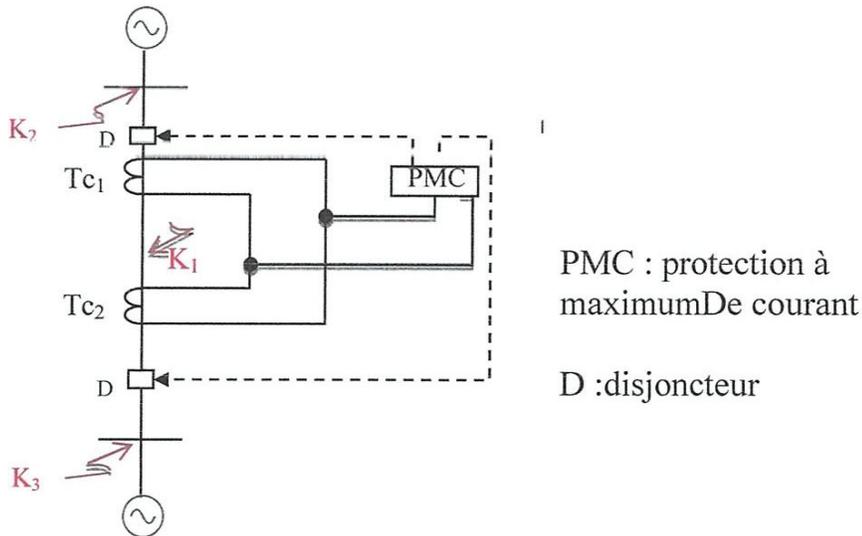
Mais au point " K2" le court-circuit est sur le jeu de barre, les courants secondaires a la sortie des transformateurs de courant sont en opposition de phase, ce qui fait que le courant de fonctionnement du relais est nul  $I_{f,r}=0$ .

*à-d d'être -dire*

La protection différentielle reste inactive. -à-d : ne fonctionne pas. [1]

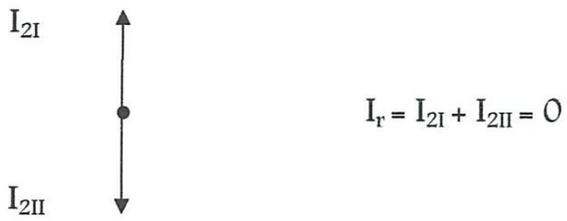


**b) A deux sources:**

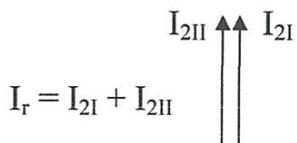


**Fig I.4 : Protection différentielle longitudinale d'une ligne à deux sources**

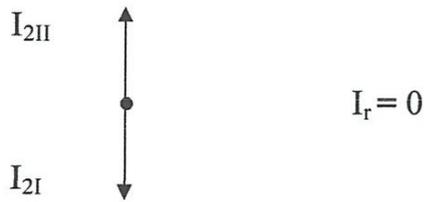
**\*Régime normale :**



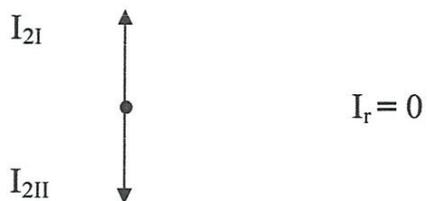
**\*Point K1:**



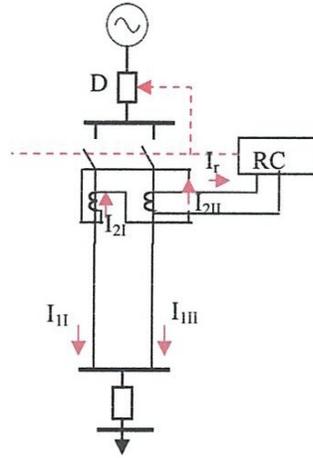
**\*Point K2:**



**\*Point K3:**



## 2. Protection différentielle transversale (des lignes parallèles) :



**Fig.I.5 : Protection différentielle transversale**

Ce type de protection est généralement utilisé pour les réseaux électriques de tension allant jusqu'à 10KV.

### I.2.3.2. Protection a maximum de courant :

Une protection à maximum de courant est une protection électrique qui consiste à comparer le courant mesuré dans le réseau à une valeur limite. Si le seuil est dépassé, la protection conclut qu'un court-circuit ou une surcharge, selon les cas, a lieu. Elle commande alors l'ouverture du réseau électrique; on parle de "débranchement". Elle est utilisée pour protéger les transformateurs et les lignes. On peut différencier deux familles de protection à maximum de courant, celle à temps indépendant et celle à temps inverse (dépendant).

### ❖ Principe de fonctionnement :

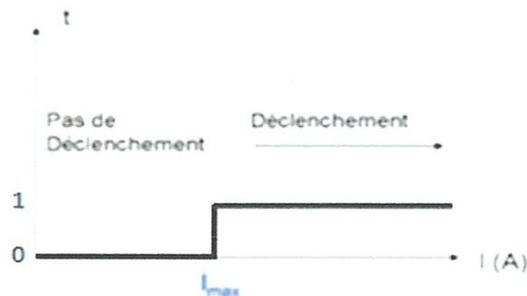
Il est basé sur le fait que dans un réseau, le courant de défaut est d'autant plus faible que le défaut est plus éloigné de la source. Une protection ampérométrique est disposée au départ de chaque tronçon: son seuil est réglé à une valeur inférieure à la valeur de court-circuit minimal provoqué par un défaut sur la section surveillée, et supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un défaut situé en aval (au-delà de la zone surveillée). Ce système est économique, simple et rapide.

La protection est reliée à un transformateur de courant qui permet de réduire le courant traversant le réseau à un niveau qui le rend mesurable par un appareil électronique.

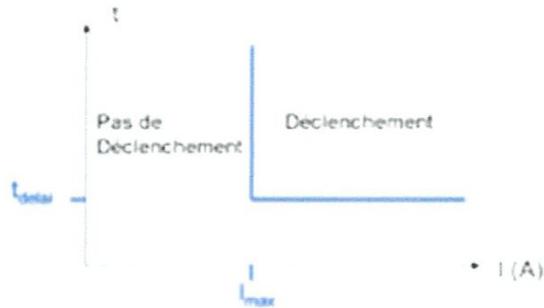
### ❖ Protection à temps indépendant :

Une protection à temps indépendant est une protection pour laquelle le seuil ne dépend pas du temps. Si elle est instantanée, si  $I_{\text{mesuré}}$  dépasse  $I_{\text{max}}$  alors la protection déclenche. S'il y a une temporisation, un certain intervalle de temps sera respecté avant le déclenchement. Cela donne le temps à d'autres protections, plus proches du défaut, de réagir et ainsi éviter d'ouvrir une partie du réseau saine.

Les protections instantanées ont le défaut d'être très sensibles ; par exemple aux courants d'enclenchement. Il faut donc soit les bloquer en utilisant le fait que les courants d'enclenchement ont une forte proportion de 2<sup>e</sup> harmonique, ou leur paramétrer un seuil supérieur aux courants d'enclenchement.



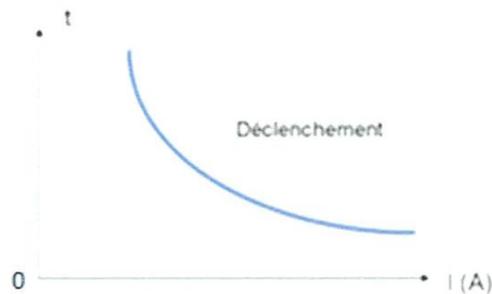
**Fig.I.6-Protection à maximum de courant à temps indépendant instantané**



**Fig.I.7-Protection à maximum de courant à temps indépendant avec temporisation**

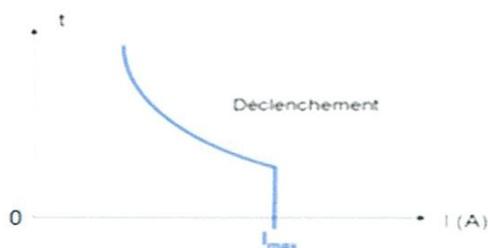
❖ **Protection à temps inverse :**

Une protection à temps inverse a un seuil dépendant du temps, la temporisation diminue quand le courant mesuré augmente. L'idée est qu'en cas de fort courant, il est important que la protection déclenche rapidement pour éviter des dommages à l'équipement. Par contre quand le courant est relativement faible par rapport à ce que peut supporter l'équipement, la temporisation doit être longue afin d'éviter un déclenchement intempestif. [2]



**Fig.I.8-Protection à maximum de courant à temps inverse**

Une combinaison de protection à temps indépendant et à temps inverse est parfois utilisée. La temporisation décroît à mesure que le courant augmente puis passe brutalement à zéro pour un certain  $I_{max}$ . Cela permet de combiner les avantages des deux systèmes. [2]



**Fig.I.9-Combinaison d'une protection à temps indépendant et à temps inverse**

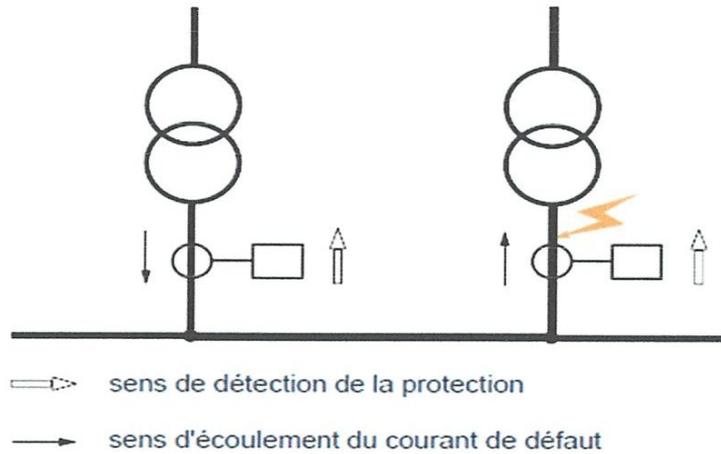
### I.2.3.3. Protection directionnelle :

Une protection directionnelle est un type de protection électrique se servant du sens du courant ou de l'écoulement de la puissance, active ou réactive, pour déterminer si la zone protégée subit un défaut. Lorsque l'une de ces trois valeurs dépasse un seuil et que le sens est anormal, la protection déclenche. Elle est utilisée pour protéger des lignes, des alternateurs, des transformateurs.

- ***Principe de fonctionnement :***

Une protection directionnelle nécessite la mesure de la tension et du courant. Si leurs valeurs sont trop élevées des réducteurs sont utilisés : transformateurs de tension et transformateurs de courant. Le déphasage entre le courant et la tension permet de connaître le sens d'écoulement du premier.

La protection détermine le sens du courant, si celui-ci devient anormal, elle provoque le déclenchement : c'est-à-dire l'ouverture du disjoncteur associé. Typiquement, une protection directionnelle placée à la terre, va déclencher si le courant provient de la terre au lieu de s'y diriger.[2]

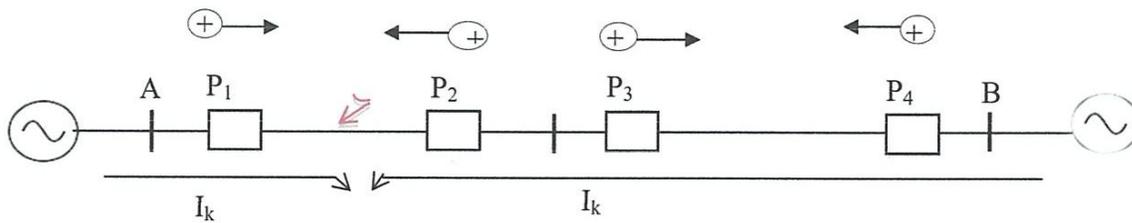


**Fig.I.10-principe d'une protection directionnelle**

Les protections directionnelles permettent de distinguer les défauts venant d'une source de ceux venant d'une autre source.

❖ Exemple sur la protection directionnelle :

➤ protection directionnelle d'une ligne magistrale :



**Fig I.11: Schéma principe de la protection directionnelle**

⊕ → : le sens de fonctionnement des protections.

La circulation de courant de court-circuit fait démarrer un groupe de protections et verrouille d'autres.

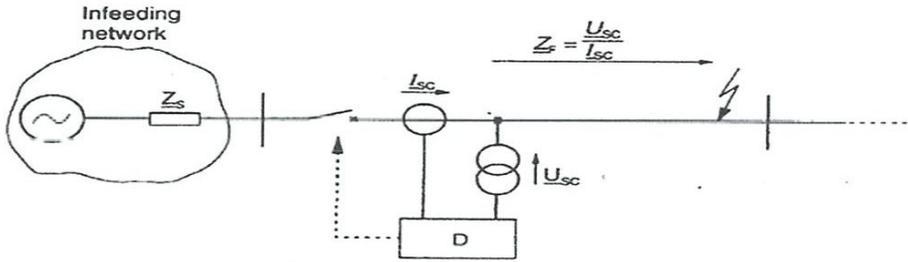
Dans la figure (Fig. I.11) :

- P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> et P<sub>4</sub> : démarrent (fonctionnent).
- P<sub>3</sub> : verrouillée.

**1.2.3.4. Protection à distance :**

La protection à distance mesure deux grandeurs :

- le courant de ligne  $I$  est mesuré à l'aide d'un transformateur de courant ;
- la tension de la ligne  $U$  est mesurée à l'aide d'un transformateur de tension.



**Fig.I.12 : La protection à distance**

Soit une ligne électrique de longueur  $L$  (exprimée en km), d'impédance linéique  $Z'$  (exprimée en ohm/km). En temps normal l'impédance estimée :

$$Z' = \frac{U}{I}$$

N'est pas un multiple de l'impédance de la ligne. En cas de défaut par contre, si on néglige la résistance de l'arc électrique, elle devient égale à l'impédance linéique multipliée par la distance entre l'appareil de mesure et le défaut :

$$Z_{mesurée} = Z' \cdot L$$

$Z'$  étant connue,  $L$  peut être déduite. Si elle est inférieure à la longueur totale de la ligne, le défaut s'y trouve. Dans ce cas, la protection déclenche, le disjoncteur associé s'ouvre. [4]

## 1.2.4. Qualités principales d'un système de protection

### 1.2.4.1- Rapidité :

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

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

- Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).
- Le temps d'ouverture des disjoncteurs, avec les disjoncteurs modernes (SF6 ou à vide), ces derniers sont compris entre 1 et 3 périodes. [1]

### 1.2.4.2- Sélectivité :

La sélectivité est une capacité d'un ensemble de protections à faire la distinction entre les conditions pour lesquelles une protection doit fonctionner de celles où elle ne doit pas fonctionner. Les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne sélectivité dans la protection d'un réseau électrique, les plus importants sont les trois types suivants:

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

#### a)- Sélectivité ampèremétrique :

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

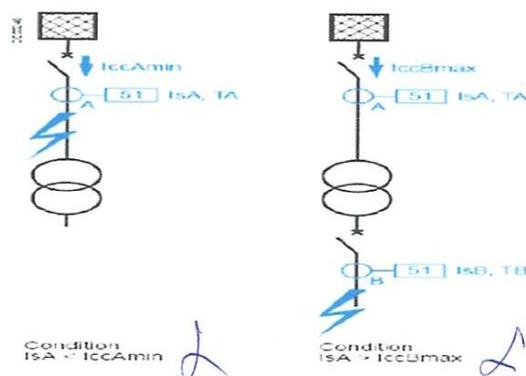


Fig.I.13-Fonctionnement d'une sélectivité ampèremétrique.

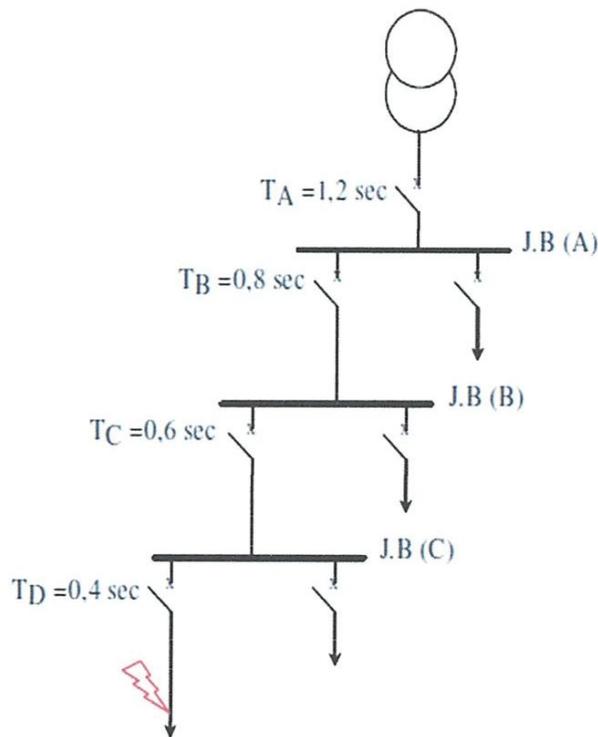
Ainsi réglée, chaque protection ne fonctionne que pour les courts-circuits situés immédiatement en aval de sa position, à l'intérieur de la zone surveillée, elle est insensible aux courts-circuits apparaissant au-delà. [1]

### **b) - Sélectivité chronométrique :**

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

Ainsi, sur le schéma (Fig. II.2), le court-circuit représenté est vu par toutes les protections (en A, B, C, et D). La protection temporisée D ferme ses contacts plus rapidement que celle installée en C, elle-même plus rapide que celle installée en B.

Après l'ouverture du disjoncteur D et la disparition du courant de court-circuit, les protections A, B, C qui ne sont plus sollicitées, reviennent à leur position de veille. La différence des temps de fonctionnement  $T$  entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité.[1]



**Fig.I.14 - Principe de la sélectivité chronométrique.**

### **c)-Sélectivité logique :**

La sélectivité logique a été développée pour remédier aux inconvénients de la sélectivité chronométrique. Elle requiert un échange d'informations entre les différents organes de protection. L'échange d'informations logiques entre protections successives permet la suppression des intervalles de sélectivité, et donc de réduire considérablement le retard de déclenchement des disjoncteurs situés les plus près de la source.

Chaque protection sollicitée par un défaut envoie :

- un ordre d'attente logique à l'étage amont (ordre d'augmentation de la temporisation propre du relais amont),
- un ordre de déclenchement au disjoncteur associé sauf s'il a lui-même reçu un ordre d'attente logique de l'étage aval. [3]

### ***1.2.4.3- Sensibilité :***

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

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

La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner. [1]

### ***1.2.4.4-Sécurité :***

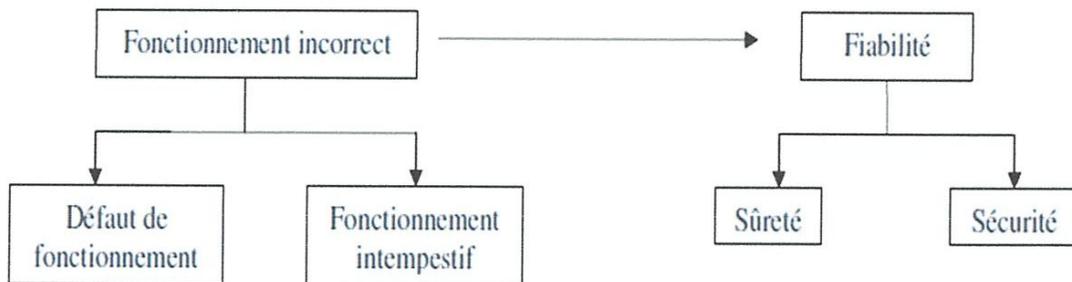
La protection ne déclenche pas de manière intempestive.

### ***1.2.4.5-Sûreté :***

La protection déclenche lors d'un défaut, on la mesure en nombre de défaillances sur commande.

#### ***1.2.4.6 - Fiabilité :***

Elle combine les notions de sûreté et de sécurité.



**Fig.I.15 - Fiabilité d'une protection.**

#### ***1.2.4.7-Disponibilité :***

La protection doit toujours être en opération (temps total moins panne et maintenance). Concrètement une bonne protection doit être conçue de sorte à parer à tout défaut électrique grâce à au moins deux types de protections différentes (principe de redondance) : celle déclenchant en fonctionnement normal, on parle de déclenchement instantané, et celle déclenchant en cas de défaillance de la première, on parle de déclenchement temporisée et de protection de secours.

- Consomme peu d'énergie.
- être insensible aux composantes apériodiques.
- Facile à mettre en œuvre et à maintenir. [3]

#### ***1.2.5. Le rôle et le but de protection :***

La protection doit détecter les fonctionnements électriques anormaux dans les défauts d'isolement entre :

- un conducteur à la terre "défaut monophasé".
- conducteur «défaut biphasé».
- trois conducteurs «défauts triphasés».

Doit réagir aux surcharges prolongées :

- Aux surtensions.
- Aux déséquilibres.

- ✓ Les buts visés par les dispositifs de protection sont multiples :
1. participer à la protection des personnes contre les dangers électriques
  2. Eviter la détérioration du matériel
  3. Limiter les contraintes thermiques, diélectriques et mécanique aux quelle sont soumis ces matériels.
  4. préserver la stabilité et la continuité de service du réseau
  5. protéger les installations voisines (par exemple : réduire les tensions induites dans les circuits proches).

### ***I.2.6. Organes de protections :***

Parmi les organes de protection on a :

✓ **Fusibles :**

Un Fusible<sup>SA</sup> un organe de protection de sécurité dont le rôle est d'ouvrir un circuit électrique lorsque le courant électrique dans celui-ci atteint une valeur d'intensité donnée pendant un certain temps.[20]



**Fig.I.16 : Image d'un fusible**

✓ **Disjoncteur :**

C'est appareil de protection, il permet d'assurer les la protection d'un récepteur, d'une installation ou bien d'un réseau électrique contre les surintensités que ce soit les courts-circuits ou les surcharges prolongées et aussi contre les défauts d'isolements par une ouverture rapide et automatique du circuit du défaut. Il permet aussi d'assurer la fonction d'interrupteur et sectionnement. [7]



**Fig.I.17 : Image d'un disjoncteur**

✓ **Le relais :**

Le relais est un appareil de surveillance de l'état électrique d'un réseau électrique. Il est destiné à donner des ordres de mise hors tension d'un circuit de ce réseau lorsque l'une des grandeurs électriques atteint une valeur prédéterminée. [7]



**Fig.I.18: Image d'un relais**

✓ **Parafoudre :**

Selon le vocabulaire électrotechnique international, un parafoudre est un appareil destiné à protéger le matériel électrique contre les surtensions transitoires élevées et à limiter la durée et souvent l'amplitude du courant de suite. [10]



**Fig.I.19 : Image d'un parafoudre**

✓ **Transformateur de courant :**

Selon la définition de la Commission électrotechnique internationale, un transformateur de courant est un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnel au courant primaire et déphasé par rapport à celui-ci d'un angle voisin de zéro pour un sens approprié des connexions.[8]



**Fig.I.20 : Image d'un transformateur de courant**

### ✓ Transformateur de tension :

Selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale, un transformateur de tension est un transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnelle à la tension primaire et déphasée par rapport à celle-ci d'un angle voisin de zéro, pour un sens approprié des connexions. [9]



**Fig.I.21 : Image d'un transformateur de tension**

### *1.3. les régimes du neutre :*

La structure de liaison à la terre à une influence directe sur les conditions de réalisation des protections, notamment la protection contre les surintensités.

La notion des liaisons à la terre s'apparaît clairement dans la norme NFC 1\_100 qui définit les désignations symbolique par lettres. [4]

#### *1.3.1. Régime TT :*

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre. Les masses des installations sont aussi reliées à la terre.

C'est le cas le plus simple.[4]

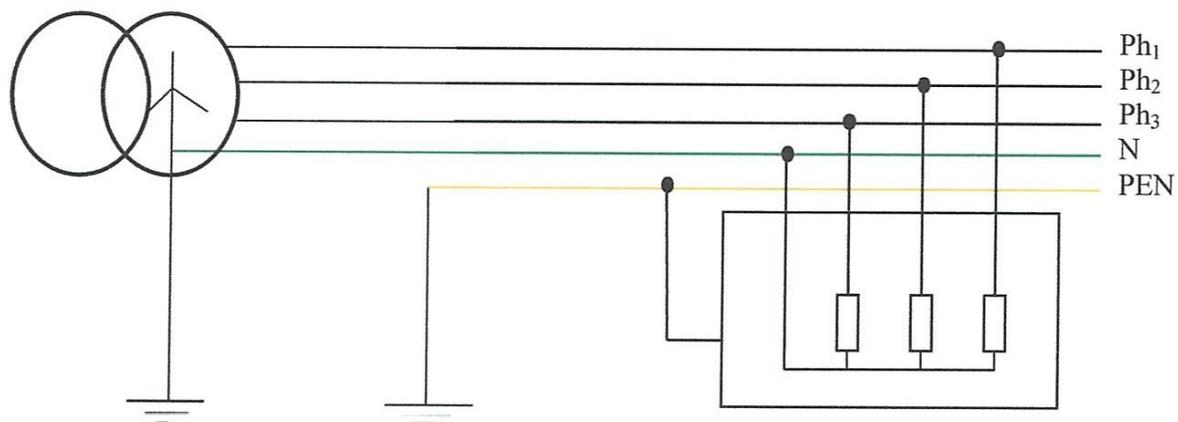


Fig.I.22 : Régime TT

### I.3.2. Régime TN :

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre et les masses sont reliées au neutre tout défaut d'isolement est transformé en un défaut entre phase et neutre.

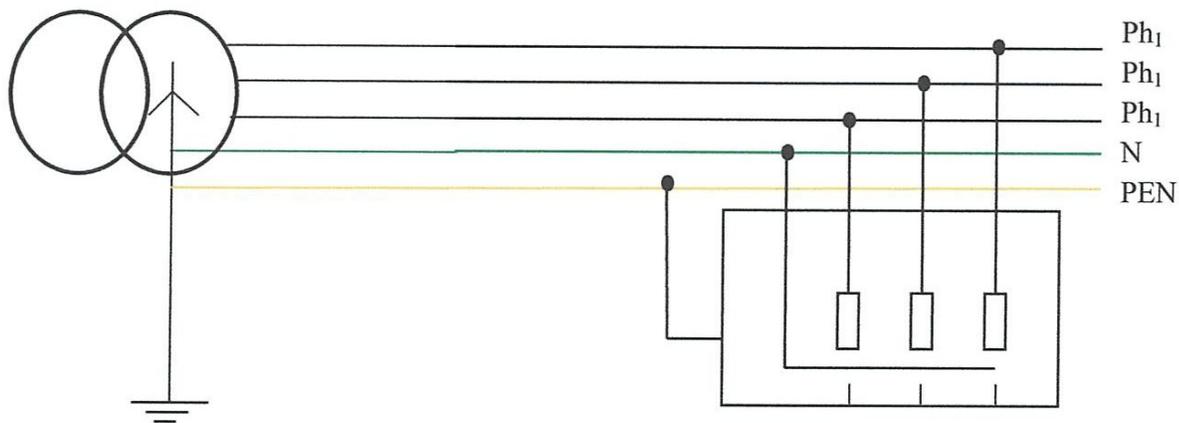


Fig.I.23 : Régime TN

Ce régime comporte deux variations :

- Mise au neutre TNC : le conducteur de protection PE et le neutre N sont confondus.
- Mise au neutre TNS : le conducteur de protection PE est séparé du conducteur neutre

N.[4]

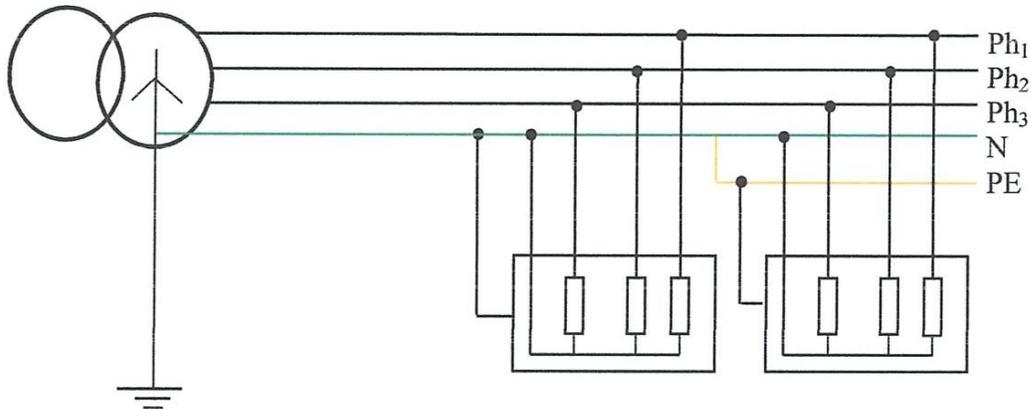


Fig.I.24 : Régime TNC et TNS

### I.3.3. Régime IT :

Ce régime présente le neutre isolé ou relié à la terre par une forte impédance, les masses sont reliées à la terre.

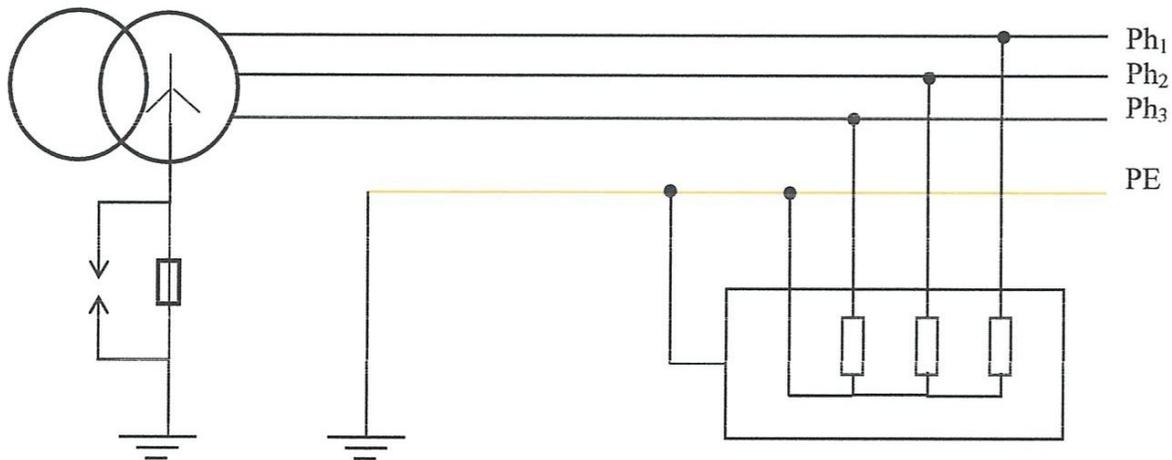


Fig.I.25 : Régime IT

Les prises de terre du neutre et de conducteur de protection peuvent être confondues.

Ce régime offre la possibilité de maintenir l'exploitation malgré l'apparition d'un défaut. [4]

## ***I.4. Les courts-circuits***

### ***I.4.1. Définition et classification***

#### ***✓ Définition d'un court-circuit :***

Un court-circuit est la mise en connexion volontaire ou accidentelle de deux points (ou plus) d'un circuit électrique entre lesquels existe une différence de potentiel, par un conducteur de faible puissance. Il donne naissance à un courant de court-circuit. Les électrotechniciens utilisent fréquemment le mot "défaut" comme synonyme de court-circuit, car c'est un défaut de l'isolement électrique qui provoque l'apparition d'un arc électrique. On parle aussi de claquage diélectrique de l'air ou d'un matériau isolant. [6]

#### ***✓ Classification :***

Les courts-circuits peuvent être classés :

1. Selon leur durée :

- Auto-extincteur, si le défaut disparaît de lui même en des temps très courts, sans provoquer de déclenchement des organes de protection.
- Fugitif, si le défaut disparaît après une ou plusieurs coupures brèves du réseau d'alimentation sans nécessiter d'intervention.
- Semi-permanent, si le défaut disparaît après une ou plusieurs coupures longues du réseau d'alimentation (quelques dizaines de secondes) sans nécessiter d'intervention.
- Permanent, si le défaut provoque un déclenchement définitif et nécessiter l'intervention du personnel pour la reprise du service.

2. Par leurs origines :

- Mécaniques : rupture de conducteur, liaison électrique établie entre deux conducteurs par un mauvais câblage, un outil oublié une branche ou par animal.
- Surtension électrique : d'origine interne (surtension de manœuvre) ou atmosphérique (foudre).

- Surtension électrique : d'origine interne (surtension de manœuvre) ou atmosphérique (foudre).
- Dégradation de l'isolement consécutive à la chaleur, à l'humidité, au vieillissement ou à une atmosphère corrosive.

3. Par leur localisation :

Interne ou externe à une machine, sur une ligne aérienne ou souterraine.

4. Par la nature de la connexion :

Court-circuit franc si deux points mis en court-circuit se touchent directement.

Court-circuit impédant si les deux points mis en court-circuit sont reliés par un milieu impédant (un arbre par exemple). [6]

**I.4.2. les différents types de courts-circuits :**

Les défauts des systèmes triphasés sont regroupés en deux catégories :

- **Un défaut symétrique :** Il s'agit d'un court-circuit triphasé (entre les trois phases) isolés ou à la terre. Il présente 5%. [5]

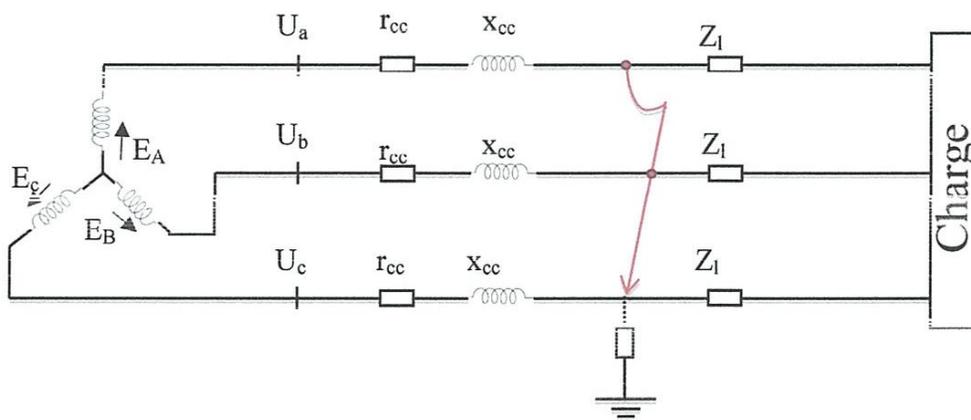


Fig.I.26:schéma du principe de défaut triphasé symétrique

➤ **Un défaut asymétrique** : Il s'agit des courts-circuits suivant :

- Défauts monophasés : contact accidentel entre une phase et terre. Ils présentent 80% (Fig.I.a).
- Défauts biphasé : Contact accidentel entre deux phases isolé ou à la terre. Ils présentent 15% (Fig.I.b).

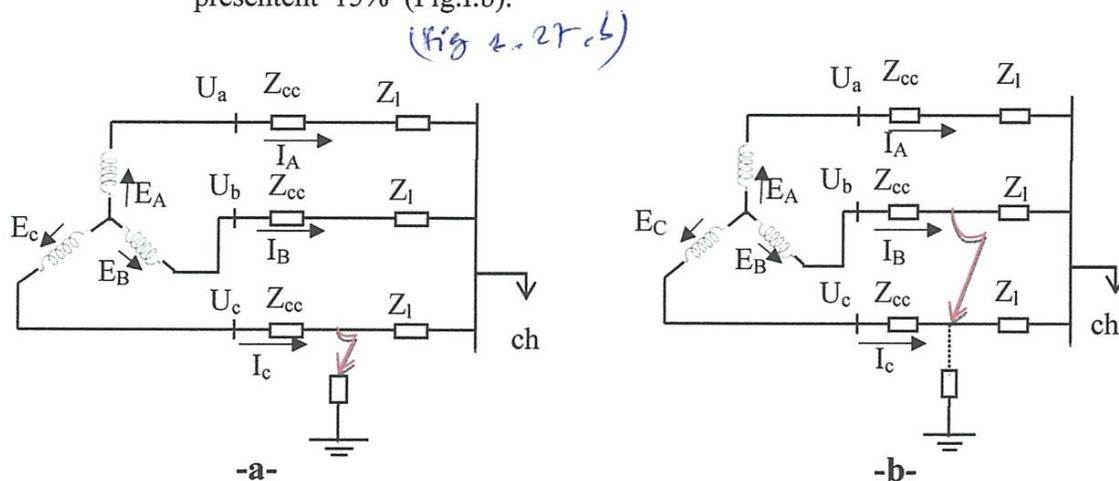


Fig.I.27 : Schéma de principe des défauts asymétrique  
(Monophasé et biphasé)

### I.4.3. Causes et conséquences :

✓ **Causes** : Un court-circuit peut avoir différentes causes :

- Origine mécanique : erreur de câblage, rupture de conducteur, présence d'une branche ou d'un animal.....etc.
- Origine interne : surtension de manœuvre.
- Défaut d'isolement : Isolation dégradée par l'usure, la chaleur, l'humidité, des produits corrosifs, ou le système électrique trop vieux.[6]
- Origines climatiques : Coup de foudre, vent violent, glissement de terrain, tempête..... Etc. Dans ces conditions climatiques, le claquage diélectrique causé par les surtensions temporaires dues à la foudre. [5]

✓ **Conséquence :** Elles sont variables selon la nature et la durée des défauts, le point concerné de l'installation et l'intensité du courant :

1. Au point de défaut, la présence d'arc de défaut, avec :

- \*Détérioration des isolants
- \*fusion du conducteur.
- \*incendie et danger pour les personnes

2. Pour le circuit défectueux :

- \*Les efforts électrodynamiques, avec :
  - Déformation des jeux de barres.
  - Arrachement des câbles.
- \*sur échauffement par augmentation des pertes joules, avec risque De détérioration des isolants.

3. Pour les autres circuits électriques du réseau concerné ou des réseaux situés à proximité :

- \*les creux de tension pendant la durée d'élimination du défaut, de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes.
- \*la mise hors service d'une plus ou moins grande de partie du réseau suivant son schéma et la sélectivité de ses protections.
- \*l'instabilité dynamique et /ou la perte du synchronisme des machines.
- \* Les perturbations dans les circuits de contrôle et de commande.

#### ***1.4.4. Méthode de calcul de courant de court-circuit :***

Pour le calcul des courants de courts-circuits, il existe plusieurs méthodes. La plus couramment utilisée est celle faisant appel aux composantes symétriques des courants et des tensions. [2]

##### ***➤ Méthodes des composantes symétriques :***

La figure I.22 représente le cas général d'un court-circuit triphasé asymétrique qui peut être analysé. En utilisant la méthode des composantes symétriques qui consiste en la détermination des tensions et les courants symétriques au niveau du point de court-circuit et au niveau de tous les autres nœuds. [7]

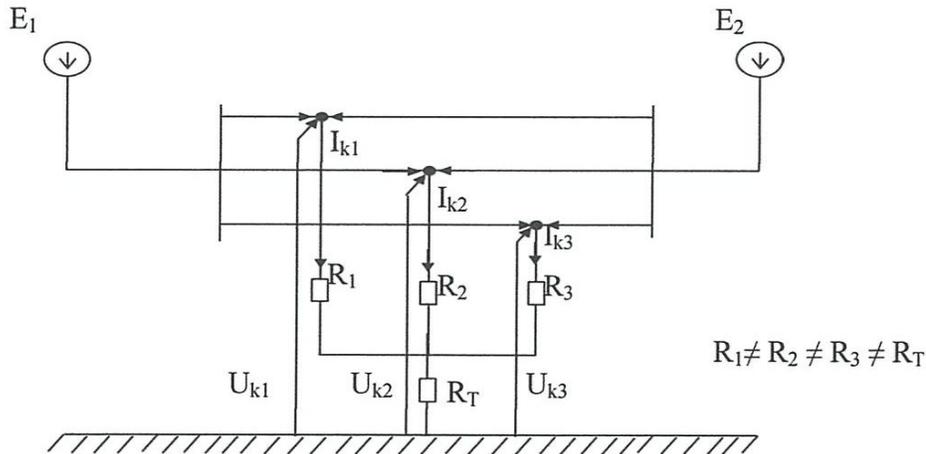


Fig I.28 : schéma d'un défaut triphasé

➤ Description de la méthode des composants symétriques:

Pour un système symétrique et équilibré on peut écrire :

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= |I_A| e^{j0} \\ \dot{I}_B &= |I_A| e^{j2\pi/3} \\ \dot{I}_C &= |I_A| e^{j4\pi/3} \end{aligned}$$

On note:  $a = e^{j2\pi/3} = -1/2 + j\sqrt{3}/2$

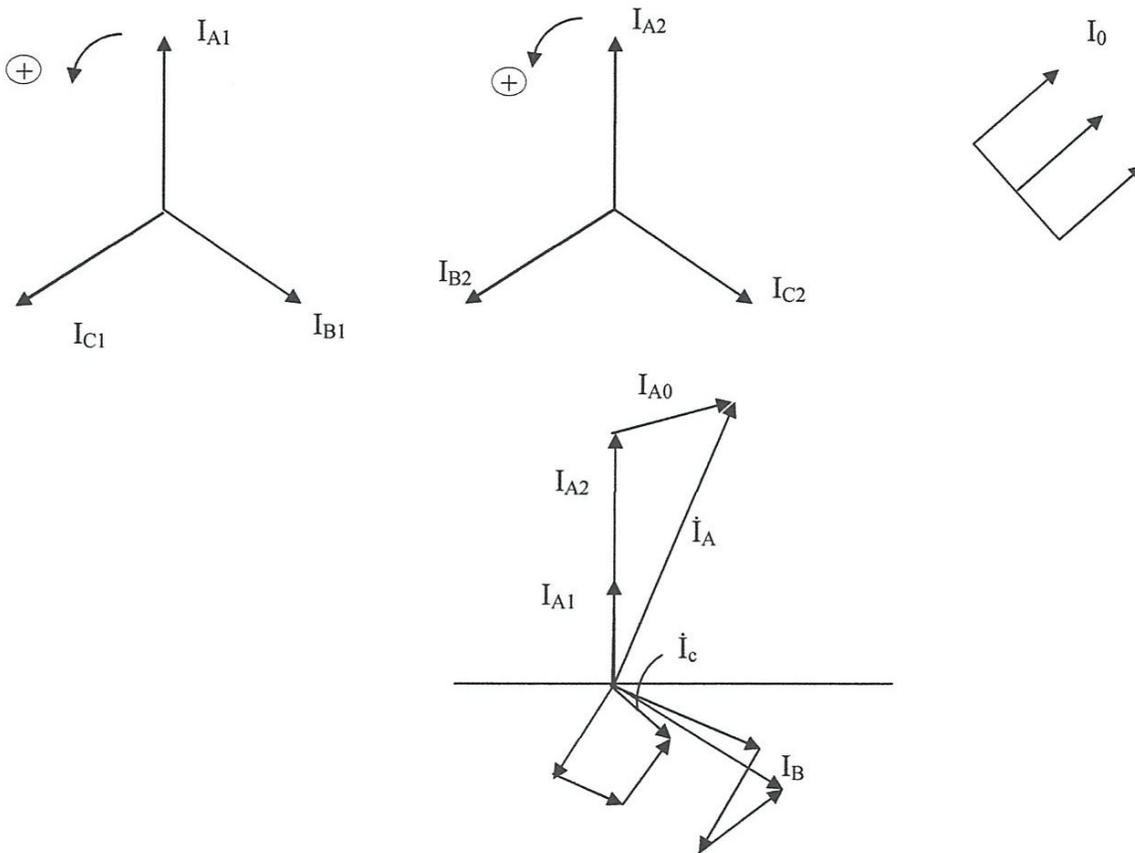
$$\begin{aligned} |\dot{I}_i| &= I_i \\ \dot{I}_A &= I_A \\ \dot{I}_B &= a^2 I_A \\ \dot{I}_C &= a I_A \end{aligned}$$

Qui vérifie l'équilibre et le symétrique par l'égalité :

$$a^2 + a + 1 = 0$$

Pour un système (régime) asymétrique chaque paramètre (grandeur) est représentés par la somme de trois composantes c'est-à-dire (direct, inverse et homopolaire).[7]

$$\begin{aligned} I_A &= I_1 + I_2 + I_0 \\ I_B &= a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \\ I_C &= a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \end{aligned}$$



FigI.29: Composantes symétriques

➤ **Composantes symétriques:**

D'après le schéma (figure. I.24) on constate que, le point de court-circuit "K" est une source des composantes direct, inverse et homopolaire.

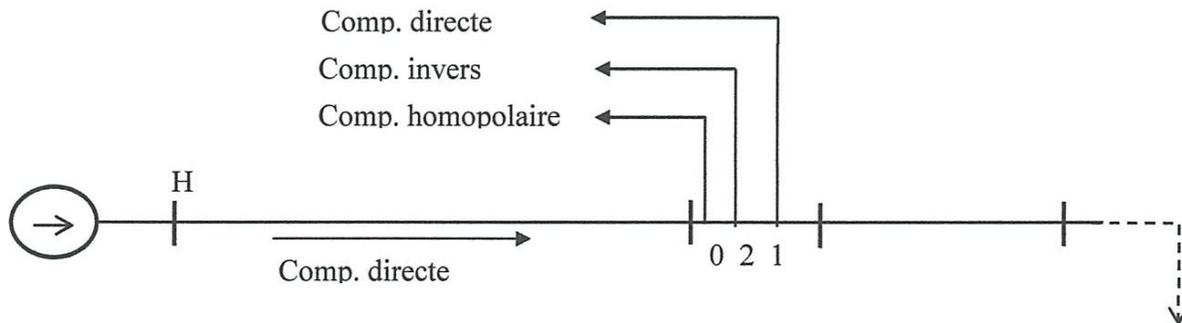


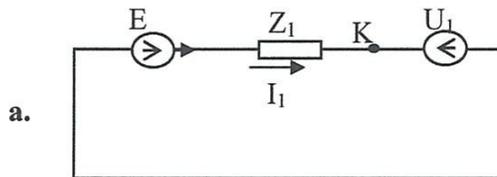
Fig : I.30

La source ne produit que des composantes directes(1). Chaque phase(A,B,C)Peut être représentée par les trois composantes:

**1. Composante directe :**

$$I_1 = E/Z_1, U_1/Z_1 = E - U_1/Z_1$$

$$\text{Ou bien } E - Z_1 I_1 = U_1 \quad (I.1)$$

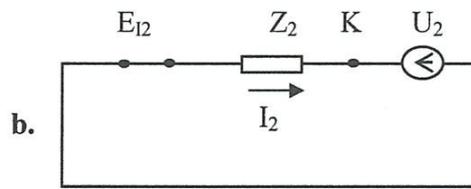


**2. Composante inverse :**

La source ne produit que la composante directe, on peut donc écrire :

$$I_2 = -U_2/Z_2$$

$$U_2 = -I_2 Z_2 \quad (I.2)$$

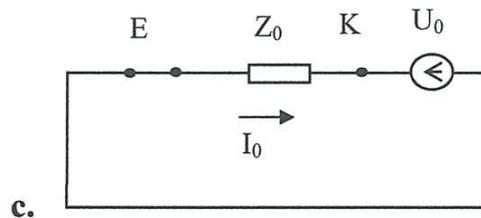


**3. Composante homopolaire :**

Comme précédemment :

$$I_0 = U_0/Z_0$$

$$U_0 = -I_0 Z_0 \quad (I.3)$$



**Fig.I.31 : (a, b, c) schéma équivalents des composantes symétriques.**

**\*Présentation matricielle des composantes :**

On a:

$$\begin{cases} I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} \\ I_B = I_{B1} + I_{B2} + I_{B0} \\ I_C = I_{C1} + I_{C2} + I_{C0} \end{cases} \quad (I.4)$$

Puisque les groupes de grandeurs  $(I_{A1}, I_{B1}, I_{C1}) ; (I_{A2}, I_{B2}, I_{C2})$  et  $(I_{A0}, I_{B0}, I_{C0})$  forment respectivement chacun un système symétrique et en considérant la phase 'A' comme référence, on peut écrire :

$$\begin{cases} I_A = I_1 + I_2 + I_0 \\ I_B = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \\ I_C = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \end{cases} \quad (I.5)$$

Ou sous la forme matricielle:

$$\begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{pmatrix} \quad (I.6)$$

Ce qui peut s'écrire aussi sous la forme :

$$I = M \cdot I_s \quad (I.7)$$

M : matrice de transformation dont les coefficients sont constants.

I : représentant les courants de phase asymétriques.

$I_s$  : représentant les courants symétriques.

On a:  $I \cdot M^{-1} = M^{-1} \cdot M \cdot I_s$

$$I_s = M^{-1} \cdot I \quad (I.8)$$

Avec :

$$M^{-1} = 1/3 \begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M.M^{-1}=1$$

$M^{-1}$  : matrice inverse de  $M$ .

Donc on peut écrire :

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} \quad (I.9)$$

En appliquant la relation (I.7) on obtient :

$$\begin{cases} I_1 = \frac{1}{3}(I_A + aI_B + a^2I_C) \\ I_2 = \frac{1}{3}(I_A + a^2I_B + aI_C) \\ I_3 = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C) \end{cases} \quad (I.10)$$

Ou pour les tensions:

$$\begin{cases} V_1 = \frac{1}{3}(V_A + aV_B + a^2V_C) \\ V_2 = \frac{1}{3}(V_A + a^2V_B + aV_C) \\ V_3 = \frac{1}{3}(V_A + V_B + V_C) \end{cases} \quad (I.11)$$

*Chapitre II :*  
*Traitement des données*

### ***II.1. Description du réseau étudié:***

Le mémoire intitulé : "Elaboration d'un réseau électrique", réalisé dans le cadre de la préparation de la licence représente une base de données pour le sujet traité dans le cadre du master. On dispose des puissances maximales des charges ainsi que de leur plan d'implantation.

La procédure utilisée pour le choix de la configuration optimale du réseau électrique est : "La comparaison des variantes" probablement choisie. On a proposé, dans ce sens trois variantes de réseau bouclé.

La 3<sup>ème</sup> variante a été retenue comme modèle d'alimentation conformément à un choix technico-économique.

Le modèle retenu est décrit comme suit :

#### ***II.1.1. Topologie du réseau électrique :***

- **les cordonnées :**

Tab: II.1

	X	Y
S <sub>1</sub>	3	4
S <sub>2</sub>	5	2.6
S <sub>3</sub>	7	4
S <sub>4</sub>	5	6.6

• **Topologie du réseau :**

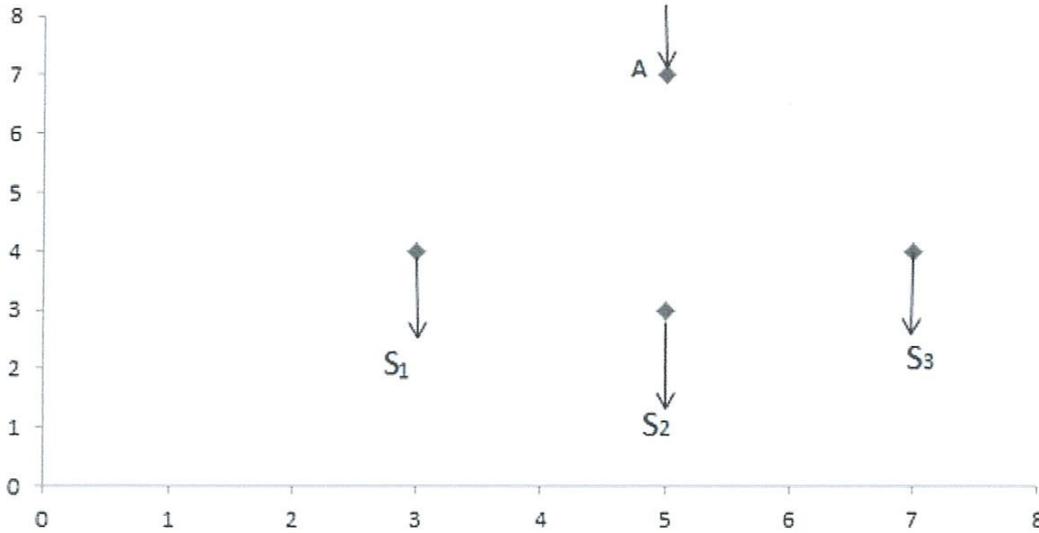


Fig II.1 : Topologie du réseau

**II.1.2. Données initiales :**

• **Puissance de charge :**

Les puissances de charges sont données dans le tableau suivant :

Tab: II.2

$S_i$ (MVA)	$P_i$ (MW)	$Q_i$ (MVAR)
$S_1$	70	50
$S_2$	55	40
$S_3$	50	30

• Les distances entre les charges :

Les longueurs entre les nœuds sont déterminées dans le tableau ci-dessous :

Tab : II.3

$L_{ij}$	$L_{A1}$	$L_{12}$	$L_{32}$	$L_{A3}$	$L_{A2}$
L (cm)	3	2.5	2.5	3	4
L (Km)	60	50	50	60	80

**II.1.3. Puissance de ligne :**

On a :  $S=P+jQ$

$$S_1=70+j50$$

$$S_2=55+j40$$

$$S_3=50+j30$$

Soit  $S_x=S_{A1}$  et  $S_y=S_{A2}$

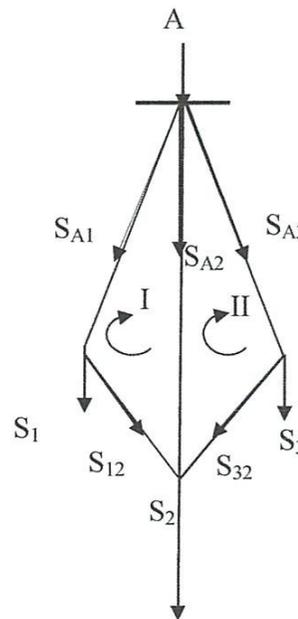
Alors:  $S_{12}=S_x-S_1$

$$S_{32}=S_2-S_y-S_{12}$$

$$=S_2+S_1-S_y-S_x$$

$$S_{A3}=S_3+S_{32}$$

$$=S_3+S_2+S_1-S_y-S_x$$



✓ 1<sup>ère</sup> maille:

$$S_y L_{A2} - S_{12} L_{12} - S_x L_{A1} = 0$$

$$S_y L_{A2} - (S_x - S_1) L_{12} - S_x L_{A1} = 0$$

$$S_y L_{A2} - S_x (L_{12} + L_{A1}) + S_1 L_{12} = 0$$

$$S_x = \frac{S_y L_{A2} - S_1 L_{12}}{L_{12} + L_{A1}}$$

$$S_x = 0.72 * S_y - (38.18 + j27.27) \text{ ----- } \textcircled{1}$$

✓ 2<sup>ème</sup> maille :

$$S_{A3} L_{A3} + S_{32} L_{32} - S_y L_{A2} = 0$$

$$S_y L_{A2} - (S_3 + S_2 + S_1 - S_y - S_x) L_{A3} - (S_2 + S_1 - S_x - S_y) L_{32} = 0$$

$$S_y = \frac{-S_x(L_{A3} + L_{32}) + (S_3 + S_2 + S_1)L_{A3} + (S_2 + S_1)L_{32}}{(L_{A2} + L_{A3} + L_{32})}$$

$$S_y = -0.57 * S_x + (88.15 + j61.57) \text{ ..... } \textcircled{2}$$

De  $\textcircled{1}$  et  $\textcircled{2}$  on a:

$$S_x = 0.72 [ -0.57 * S_x + (88.15 + j61.57) ] - (38.18 + j27.27)$$

$$S_x = 43.28 + j28.91 \text{ MVA ..... } \textcircled{3}$$

De  $\textcircled{3}$  et  $\textcircled{2}$  on aura :

$$S_y = -0.57 * (43.28 + j28.91) + (88.15 + j61.57)$$

$$S_y = 63.48 + j45.09 \text{ MVA}$$

$$S_{12} = S_y - S_1 = (43.28 + j28.91) - (170 + j50)$$

$$= - (26.72 + j21.09) \text{ MVA}$$

$$S_{32} = S_2 - S_y - S_{12}$$

$$= 18.24 + j16 \text{ MVA}$$

$$S_{A3} = S_3 + S_{32}$$

$$= 68.24 + j46 \text{ MVA}$$

### II.1.4. Choix de la tension nominale:

Le choix de la tension nominale dépend de la puissance de transit et de la longueur de la ligne.

$$\text{Si } \left\{ \begin{array}{l} L \leq 250 \text{ Km} \\ \text{et} \\ P \leq 60 \text{ MW} \end{array} \right.$$

$$U_N = 4.34 \sqrt{L(\text{Km}) + 0.016 \cdot P(\text{MW})}$$

$$\text{et pour : } \left\{ \begin{array}{l} L < 1000 \text{ Km} \\ \text{et} \\ P > 60 \text{ MW} \end{array} \right.$$

$$U_N(\text{Kv}) = \sqrt{P(\text{Km}) \cdot (0.1) + 0.015 \sqrt{L(\text{Km})}}$$

Pour la branche (A-1) on a :

$$U_N = 4.34 \sqrt{60 + 0.016(43.28 \cdot 10^3)}$$

Alors on choisit  $U_N = 220 \text{ KV}$  pour le réseau étudié.

### II.1.5. Choix de la section des conducteurs :

La section des conducteurs est choisie par l'expression :

$$F = I_{\max} / J_{\text{éco}} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{II.1})$$

$I_{\max}$  : courant de la ligne en régime maximal.

$J_{\text{éco}}$  : la densité économique du courant ( $J_{\text{éco}} = 1 \text{ A/mm}^2$ )

Avec :  $I_{\max} = S / \sqrt{3} U_N$

Les calculs sont donnés dans le tableau suivant :

Tab : II.4

Branches	A-1	A-2	A-3	1-2	2-3
$I_{\max}$ (A)	136.6	204.36	216	89.34	63.68
F(mm <sup>2</sup> )	136.6	204.36	216	89.34	63.68
ACO(mm <sup>2</sup> )	240	240	240	240	240
$I_{\text{adm}}$ (A)	605	605	605	605	605

ACO : Désigne le type de la section

### II.1.6. Vérification des sections :

Dans le régime après avarie on suppose que la ligne la plus chargé est coupée. la ligne la plus chargée est : A-3.

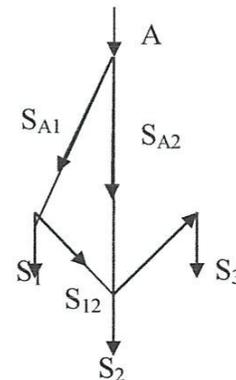
Après avarie la section choisie normalisée doit être vérifiée a l'échauffement admissible par la formule :

$$I_{\text{adm}} > I_{\text{av}} \cdot K_T$$

$I_{\text{adm}}$  : courant admissible du conducteur

$I_{\text{av}}$  : le courant de la ligne après avarie

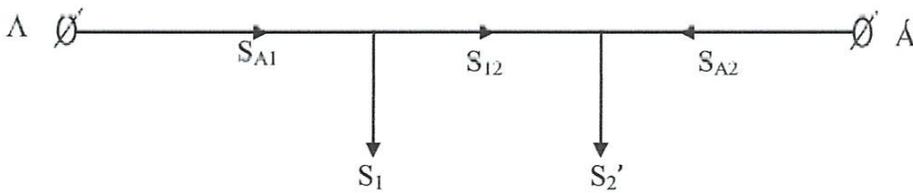
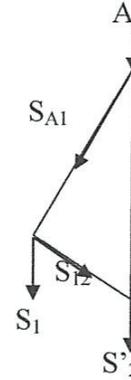
$K_T$  : coefficient tenant compte la différence des températures réelles et normalisée du milieu ambiant ( $K_T=1$ ).



Pour la boucle:

$$S_2' = S_2 + S_{32} \text{ et } S_{32} = S_3$$

$$S_2' = S_2 + S_3 \\ = 105 + j70 \text{ MVA}$$



$$S_{A1} = (S_2 L_{A2} + S_1 L_{A1}) / L_{AA} = 66.31 + j45.26 \text{ MVA}$$

$$S_{12} = S_{A1} - S_1 = -(3.69 + j4.74) \text{ MVA}$$

$$S_{A2} = S_2' - S_{12} = 108.69 + j74.74 \text{ MVA}$$

• **Courant après avarie :**

$$I_{avi} = S_i / \sqrt{3} U_N$$

Les résultats de calculs sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tab: II.5

Branches	A-1	A-2	1-2	2-3
$I_{av}$ (A)	210.69	346.16	15.76	153.02
$I_{adm} \cdot K_T$	605	605	605	605
Test : $I_{adm} \cdot K_T > I_{av}$	vérifier	vérifier	Vérifier	vérifier

Les sections normalisées sont saisies dans le tableau suivant :

Tab: II.6

Branches	A-1	A-2	A-3	1-2	2-3
I <sub>adm</sub> (A)	605	605	605	605	605
ACO(mm <sup>2</sup> )	240	240	240	240	240

### II.1.7. Choix des transformateurs :

On installe, dans les postes de transformation des réseaux haute tension, d'habitude deux transformateurs .La puissance des chacun deux (S<sub>nom</sub>) est choisi d'après la formule suivante :

$$S_{nom} = (0.65 \div 0.7) S_{ch}$$

S<sub>max</sub> : la puissance de charge de calcul de poste.

Pour la variante retenue, on installe deux transformateurs, puisque tous les consommateurs sont de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> catégorie. [10]

Tab: II.7

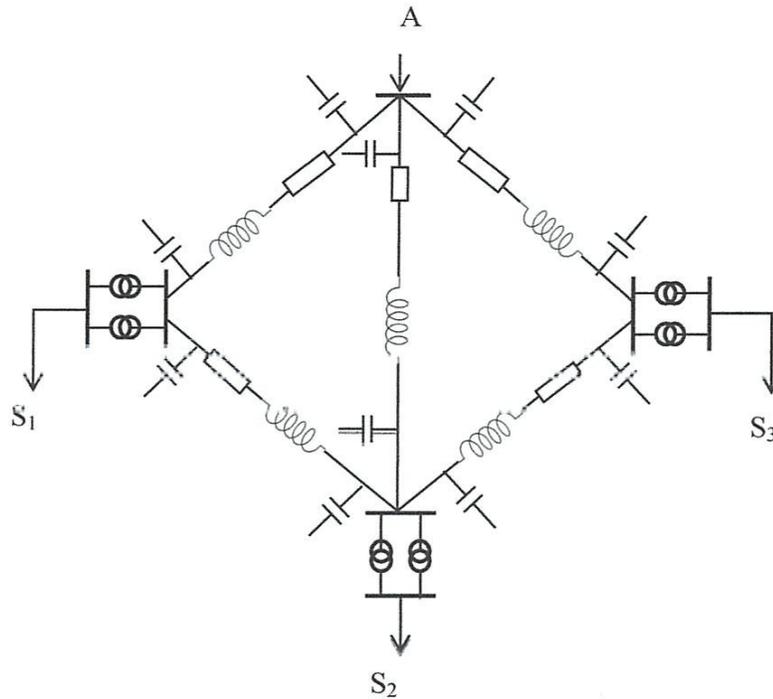
Poste	N <sup>bre</sup> de transformateur	S=0.7 S <sub>max</sub> (MVA)	S <sub>N</sub> de transformateur
1	02	60.21	80
2	02	47.60	80
3	02	40.81	80

### ➤ Paramètres des transformateurs :

Tab: II.8

S <sub>N</sub> (MVA)	U <sub>N</sub> (KV)	U <sub>cc</sub> (%)	ΔP <sub>cc</sub> (KW)	ΔP <sub>0</sub> (KW)	I <sub>0</sub> (%)	R <sub>t</sub> (Ω)	X <sub>t</sub> (Ω)	ΔQ <sub>cc</sub> (KVAR)
80	242	11	320	105	0.6	2.64	72.8	480

**II.1.8. Schéma équivalent du réseau choisi :**



**Fig II.2 : Schéma équivalent du réseau choisi**

**• Paramètres du schéma équivalent :**

Les valeurs des paramètres des lignes sont mises dans le tableau ci-dessous :

Tab: II.9

Lignes	$X_0$	$B_0$	$X(\Omega)$	$R(\Omega)$	$b.10^{-6}$
A-1	0.43	2.66	25.8	7.8	159.6
1-2	0.43	2.66	21.5	6.5	133
2-3	0.43	2.66	21.5	6.5	133
A-3	0.43	2.66	25.8	7.8	159.6
A-2	0.43	2.66	34.4	1.4	212.8

On a :  $X(\Omega)=X_0.L$

## II.2. Analyse du court-circuit triphasé :

### II.2.1. Calcul des réactances relatives du modèle retenu :

On représente les paramètres des éléments de réseau par le symbole  $X^*$ , qui représente la réactance exprimée en unité relative d'un élément par rapport à une valeur de base choisie.[5]

Soit choisies les valeurs de base suivantes :

$$S_b=1000 \text{ MVA} \quad , \quad U_b=220 \text{ KV}$$

Donc:  $I_b = S_b / \sqrt{3} \cdot U_b = 1000 / \sqrt{3} \cdot 220 = 2.62 \text{ KA}$

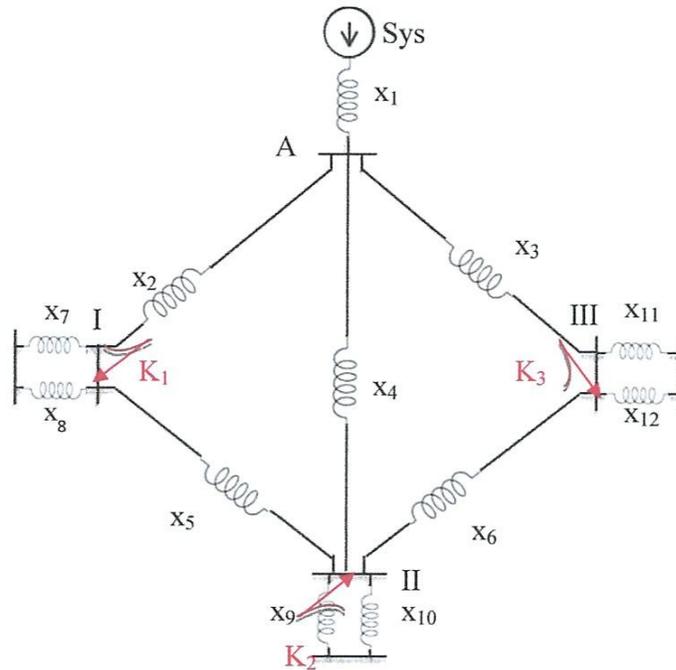


Fig II.3: Schéma a paramètres rapportés

• **Système électrique :**

Le système est donné par sa puissance nominale ( $S_N$ ) et sa réactance ( $x_{(N)}^*$ ) donné en unité relatives par rapport à la grandeur nominale :

$$X_N = U_N^2 / S_N$$

Dans ce cas la réactance du système par rapport à une valeur de base est déterminée par l'expression :

$$X_{S(b)}^* = X_{S(N)}^* \cdot S_b / S_N$$

Donc, conformément au figure( II.3) :

$$X_1 = X_{S(b)}^* = 0.6 \cdot 1000 / 1000 = 0.6$$

• **Transformateurs :**

La réactance de transformateur est définie par :

$$X_{T(b)}^* = \Delta U_{CC} \cdot S_b / S_N$$

Ou bien :

$$X_7 = X_8 = X_9 = X_{10} = X_{11} = X_{12} = X_{T(b)}^* = 0.11 \cdot 1000 / 80 = 1.375$$

• **Lignes :**

Les lignes sont données par leur réactance linéique ( $X_0$ ) et leur longueur (L). On définit :

$$X_{L(b)}^* = X_0 \cdot L \cdot S_b / U_m^2$$

Avec :  $U_m = U_N$

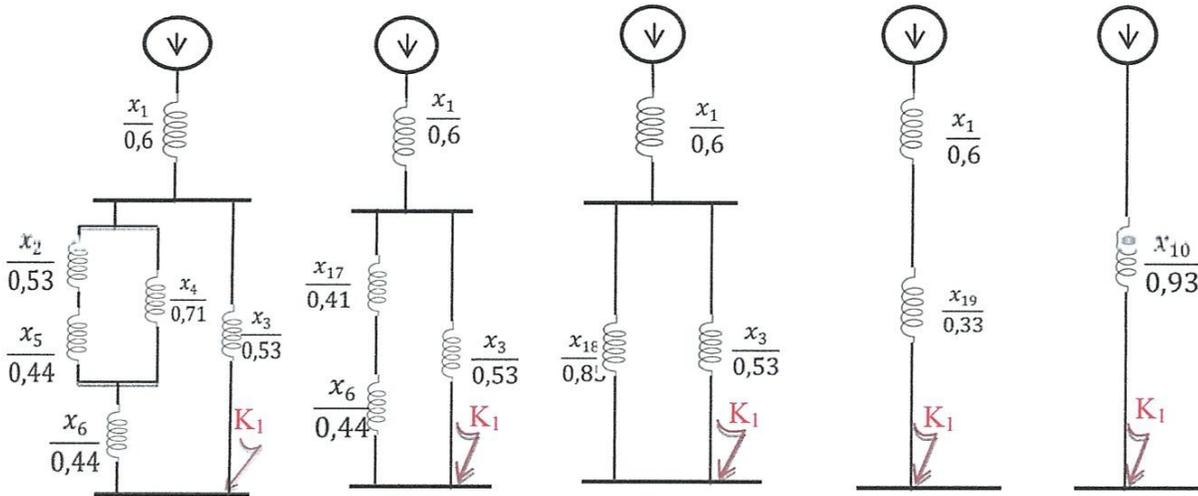
Les résultats de calcul des réactances des lignes sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tab: II.10

$L_{A1}(X_2)$	$L_{A3}(X_3)$	$L_{A2}(X_4)$	$L_{12}(X_5)$	$L_{23}(X_6)$
0.53	0.53	0.71	0.44	0.44

**II.2.2. Calcul des courants de court-circuit :**

➤ **Point K<sub>1</sub> :**



**Fig.II.4 : Schéma équivalent pour le court-circuit K<sub>1</sub>**

$$X_{17} = (x_2 + x_5) \cdot x_4 / (x_2 + x_5 + x_4) = (0.53 + 0.44) \cdot 0.71 / (0.53 + 0.44 + 0.71) = 0.41$$

$$X_{18} = x_{17} + x_6 = 0.41 + 0.44 = 0.85$$

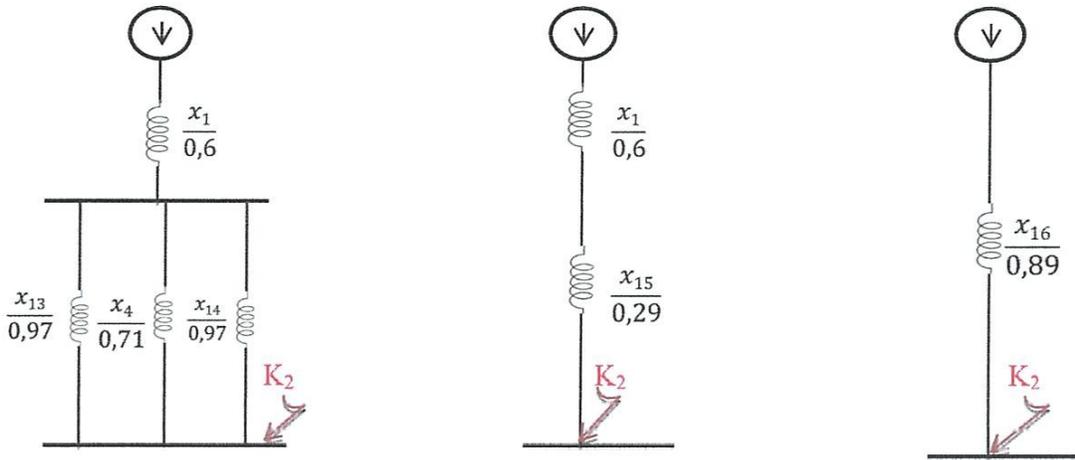
$$X_{19} = x_{18} \cdot x_3 / (x_{18} + x_3) = 0.85 \cdot 0.53 / (0.85 + 0.53) = 0.33$$

$$X_{20} = x_1 + x_{19} = 0.6 + 0.33 = 0.93$$

$$I_{CC1}^* = U_s / x_{20} = 1.1 / 0.93 = 1.18$$

$$I_{CC1} = I_b \cdot I_{CC2}^* = 2.62 \cdot 1.18 = 3.09 \text{ KA}$$

➤ **Point K<sub>2</sub> :**



**Fig.II.5 : Schéma équivalent pour le court-circuit K<sub>2</sub>**

$$X_{13} = x_2 + x_5 = 0.53 + 0.44 = 0.97$$

$$X_{14} = x_3 + x_6 = 0.53 + 0.44 = 0.97$$

$$X_{15} = (x_{13} * x_4 * x_{14}) / (x_{13} * x_4 + x_{13} * x_{14} + x_{14} * x_4)$$

$$= (0.97 * 0.71 * 0.97) / (0.97 * 0.71 + 0.97^2 + 0.97 * 0.71) = 0.29$$

$$X_{16} = x_1 + x_{15} = 0.6 + 0.29 = 0.89$$

$$I_{CC2}^* = U_S / x_{16} = 1.1 / 0.89 = 1.24$$

$$I_{CC2} = I_b * I_{CC}^* = 2.62 * 1.24 = 3.25 \text{ KA}$$

➤ **Point K<sub>3</sub> :**

On a :  $L_{A1} = L_{A3}$  et  $L_{12} = L_{23}$

$$X_0(L_{A1}) = X_0(L_{A3}) \text{ et } X_0(L_{12}) = X_0(L_{23})$$

Alors on peut conclure que  $I_{CC3}^* = I_{CC1}^* = 1.18$

Donc  $I_{CC3} = I_{CC1} = 3.09 \text{ KA}$

**II.2.3. Calcul des courants de crêtes :**

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

Avec :  $T/2 = 1/2f = 1/2.50 = 0.01$  S

$$Ta = x_{CC} / \omega * r_{CC}$$

$$K_{Cr} = 1 + e^{-0.01/Ta}$$

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tab. II.11

	$R_{cc}\%$	15	10	5	2.5
	Ta(S)	0.02	0.03	0.06	0.13
	$K_{Cr}$	1.61	1.72	1.85	1.93
C-C	$I_p$ (KA)	$I_{Cr}$ (KA)			
$K_1$	3.25	7.40	7.91	8.50	8.87
$K_2$ et $K_3$	3.09	7.04	7.52	8.08	8.43

- La courbe de courant de crête en fonction de  $r_{cc}$  :

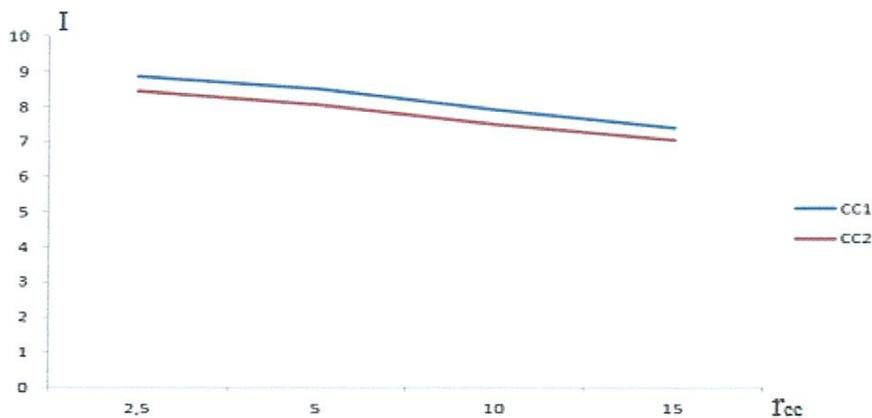


Fig.II.6 : Graphique du courant de crête

On constate du graphique que le courant de crête s'amortit à la présence de la résistance active " rcc".

### II.2.4. Les courants de ligne :

Pour les branches parallèles on utilise les coefficients de distribution de courant "C".

Ces coefficients permettent de déterminer la réactance résultante de chaque branche entre la source et le point de court-circuit. [7]

$$I_i = (I_{CC} \cdot x_{eq}) / x_i = I_{CC} \cdot C_i$$

$I_i$  : courant de ligne.

$X_i$  : réactance de ligne.

$C_i$  : coefficient de distribution de courant.

#### ➤ Point $K_1$ :

$$I_1 = I_{CC} = 1.18$$

$$I_2 = I_1 \cdot x_{eq} / x_3 = I_1 \cdot C_3 = 1.18 \cdot 0.33 / 0.53 = 0.73$$

$$I_5 = I_1 - I_2 = 1.18 - 0.73 = 0.45$$

$$I_4 = I_5 \cdot x_{eq} / x_4 = 0.45 \cdot 0.41 / 0.71 = 0.26$$

$$I_{36} = I_5 \cdot x_{eq} / (x_3 + x_6) = 0.45 \cdot 0.41 / 0.97 = 0.19$$

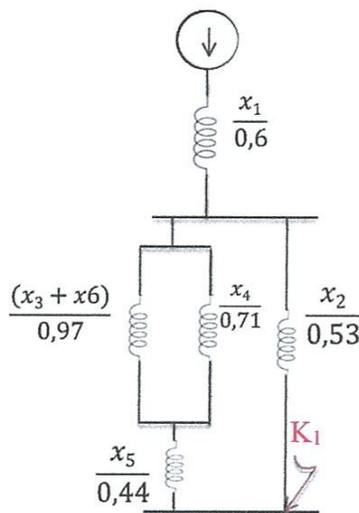


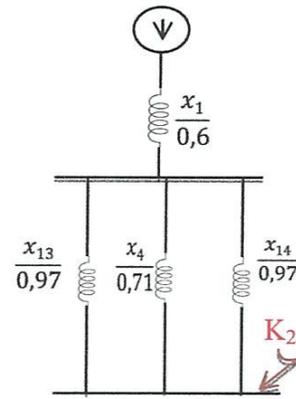
Fig.II.7: Schéma équivalent pour le calcul des courants de ligne «  $K_1$  »

➤ **Point K<sub>2</sub> :**

$$I_1 = I_{CC1}^* = 1.24$$

$$I_{13} = I_{14} = I_1 * x_{eq} / x_{13} = I_1 * C_{13} = 1.24 * 0.29 / 0.97 = 0.37$$

$$I_4 = I_1 * x_{eq} / x_4 = I_1 * C_4 = 1.24 * 0.29 / 0.71 = 0.51$$



**Fig.II.8: Schéma équivalent pour le calcul des courants de ligne « K<sub>2</sub> »**

$X_{eq}$  : réactance équivalente entre  $x_4$  et  $(x_2+x_5)$

$$x_{eq} = x_4 * (x_2 + x_5) / (x_4 + x_2 + x_5) = 0.71 * (0.53 + 0.44) / (0.71 + 0.97) = 0.41$$

**II. 2.5. Calcul du potentiel des nœuds :**

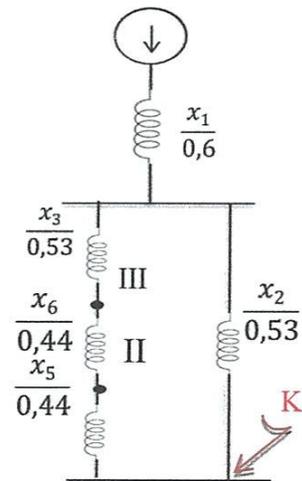
✓ **Pour le court-circuit « k<sub>1</sub> » :**

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

$$U_{II} = U_I + I_{25} * x_5 = 0 + 0.19 * 0.44 = 0.084$$

$$U_{III} = U_{II} + I_6 * x_6 = 0.084 + 0.45 * 0.44 = 0.28$$

$$U_A = U_s - I_{cc}^* * x_1 = 1.1 - 1.18 * 0.6 = 0.39$$



**Fig.II.9: Schéma équivalent pour le calcul du potentiel « K<sub>1</sub> »**

✓ Pour le court-circuit «K<sub>2</sub>» :

$U_{II}=0$  (puisque le nœud I est le nœud du court-circuit)

$U_{III}=U_{II}+I_{14}x_6=0+0.37.0.44=0.16$

$U_I=U_{II}+I_{13}.x_5=0+0.37.0.44=0.16$

$U_A=U_{II}+I_4.x_4=0+0.51.0.71=0.36$

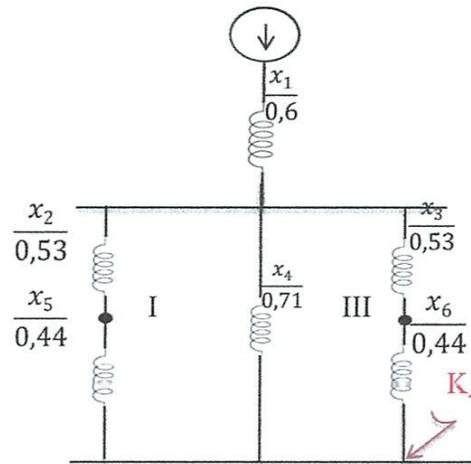


Fig.II.10: Schéma équivalent pour le calcul du potentiel « K<sub>2</sub> »

II. 2.6. Graphique du potentiel (histogramme) :

✓ Pour K1 :

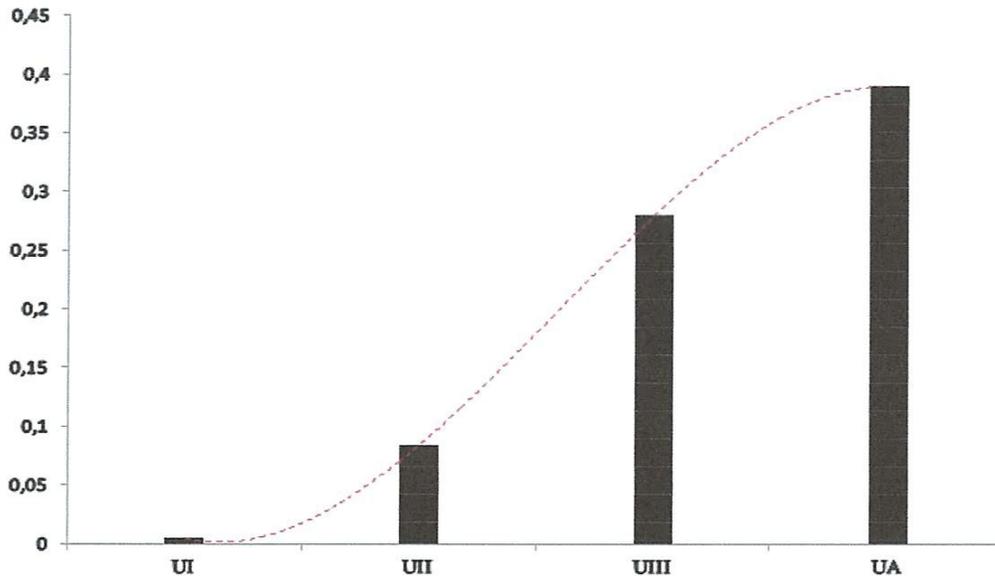


Fig II.11 : Graphique (histogramme) du potentiel nodale pour le court-circuit au point

K1

✓ Pour K2 :

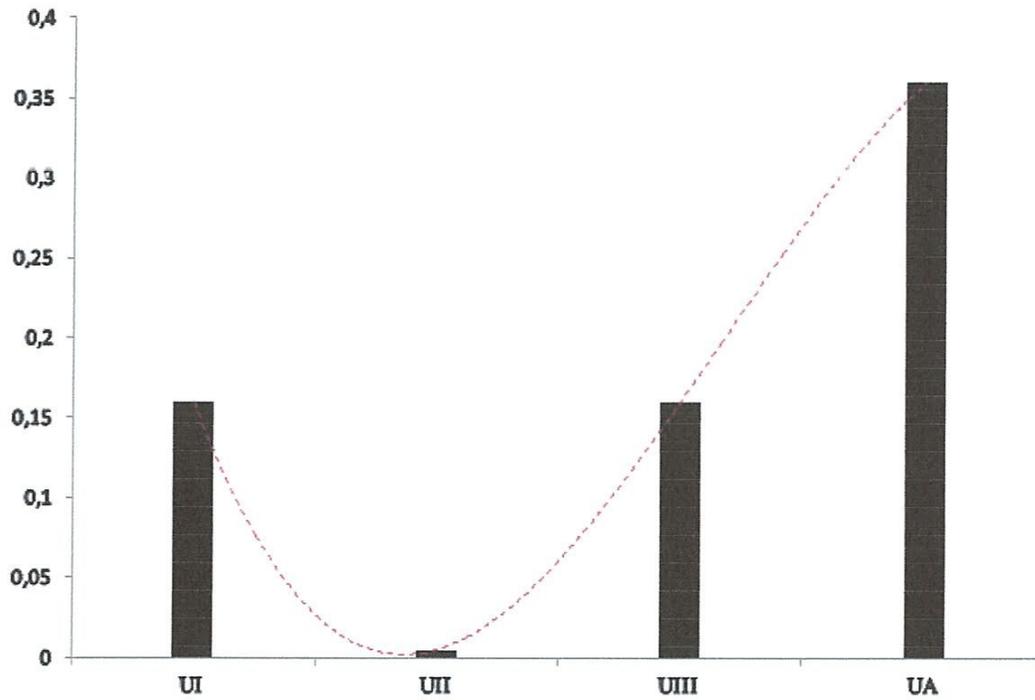
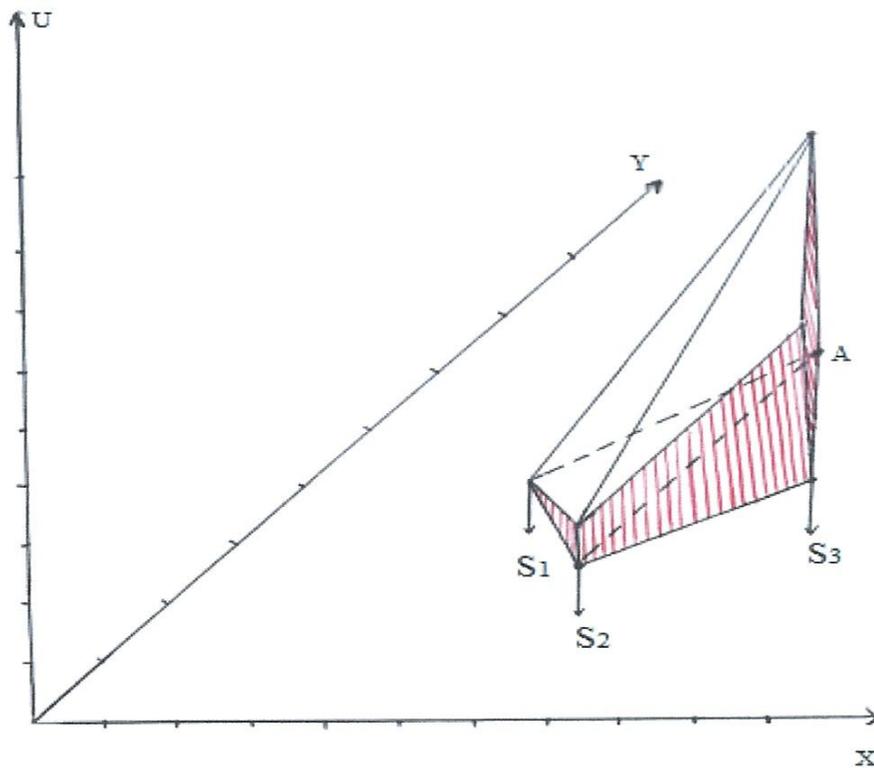


Fig II.12 : Graphique (histogramme) du potentiel nodale pour le court-circuit au point K2

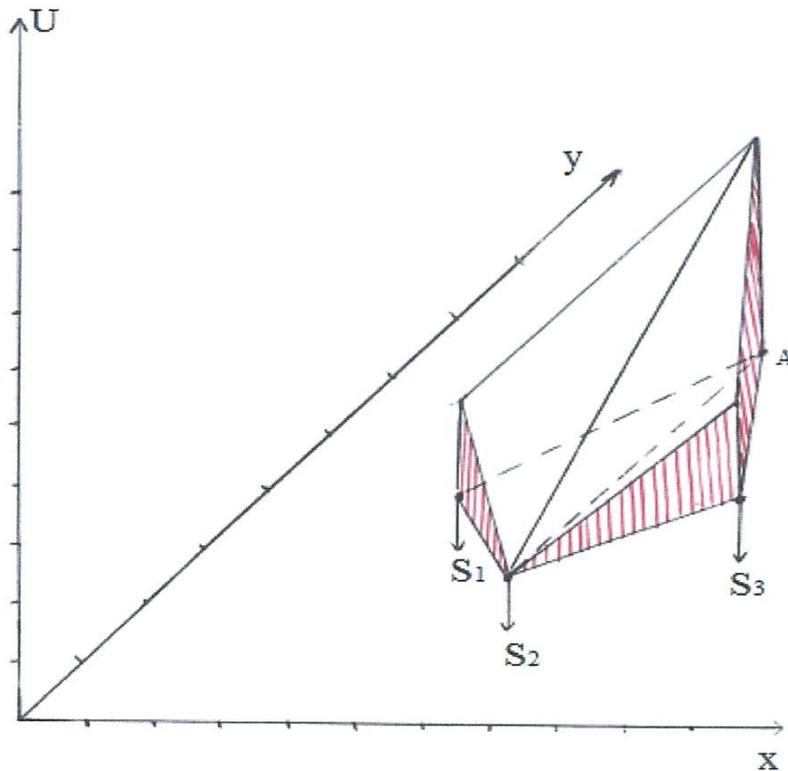
**\*Graphique du potentiel :**

✓ Pour « K1 » :



**Fig II.13 : Graphique du potentiel nodale pour le court-circuit au point K1**

✓ Pour « K2 » :



**Fig II.14 : Graphique du potentiel nodale pour le court-circuit au point K2**

Le court-circuit dans un nœud quelconque entraîne un changement de la distribution du potentiel du réseau électrique. En effet, en raison de la circulation des courants de court-circuit, la tension des nœuds de réseau chute et particulièrement, de manière intensive, dans le voisinage immédiat du lieu de défaut, ou le potentiel du point de défaut peut atteindre la valeur nulle. [1]

*Chapitre III :*  
*Calculs des courts-circuits*  
*asymétrique et distribution des*  
*potentiels*

### III. 1. Traitement du modèle :

#### III.1.1. Modèle étudié :

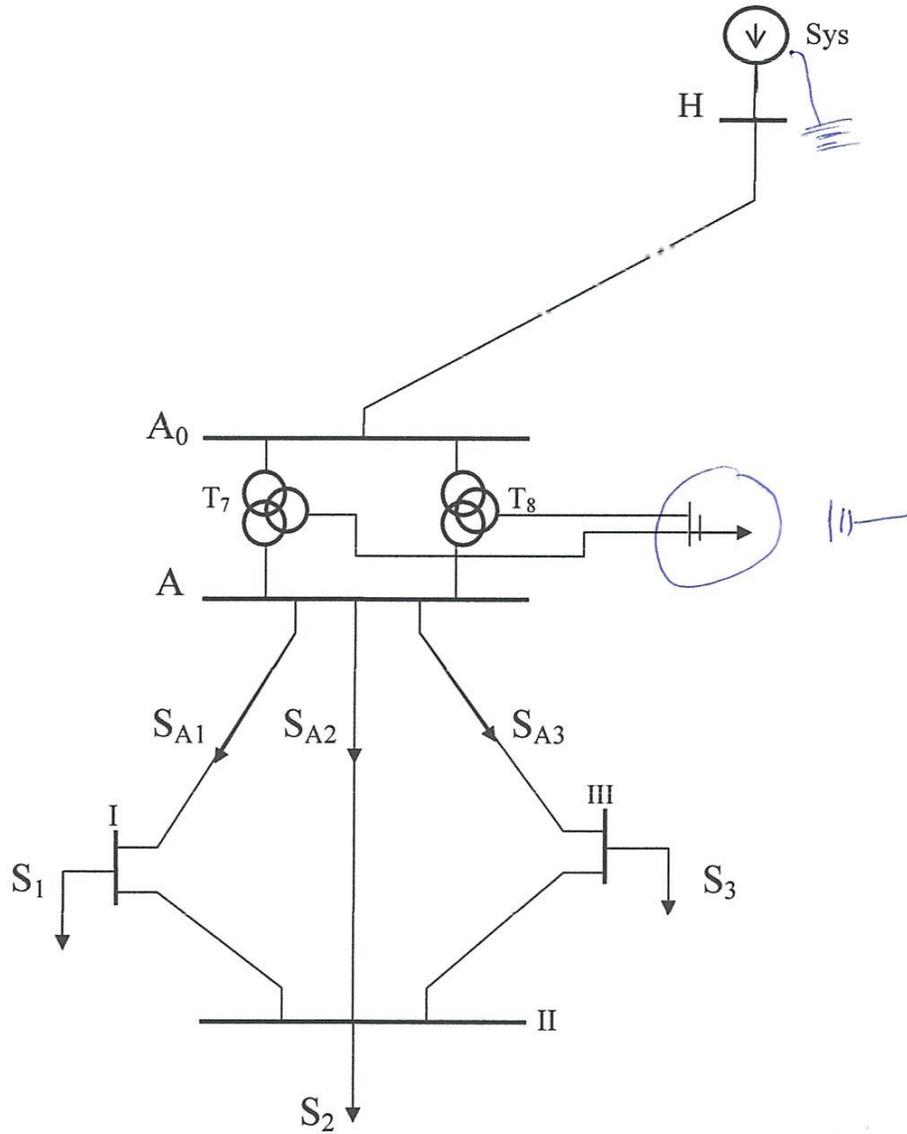


Fig.III.1 : Modèle à étudier

### III.1.2. Calcul de puissance :

$$\text{On a : } S_A = S_{A1} + S_{A2} + S_{A3}$$

$$\text{Avec : } S_{A1} = 43,28 + j 28,91 \quad \text{MVA}$$

$$S_{A2} = 63,48 + j 45,09 \quad \text{MVA}$$

$$S_{A3} = 68,24 + j46 \quad \text{MVA}$$

$$\text{Alors : } S_A = 175 + j120 \quad \text{MVA}$$

$$S_{\max} = 212,2 \quad \text{MVA}$$

### III.1.3. Les sous stations (Autotransformateur) :

On installe dans le poste d'interconnexion (sous station) du réseau haute tension ( $U_N = 400 \text{ KV}$ ) d'habitude deux autotransformateurs identiques (Fig.III.1) notés  $T_7$  et  $T_8$ , dont les caractéristiques nominales ( $S_{\text{nom}}$ ) sont saisie dans le tableau III.1. [5]

Tab: III.1

$S_N$ (MVA)	$U_1 / U_2 / U_3$ (KV)	$\Delta U_{cc}$ 1-2 / 1-3 / 2-3	$\Delta P_{cc}$ (KW)	$\Delta P_0$ (KW)	$\Delta Q_0$ (kvar)	$I_0$ %	$R (\Omega)$ $r_1 / r_2 / r_3$	$X (\Omega)$ $x_1 / x_2 / x_3$
125	500/230/38,5	10,5/24/13	330	150	625	0,5	2,9/2,9/5,8	231/0/280

### III.1.4. Choix de la section :

➤ Calcul de la puissance ( $S_{A0}$ ) :

$$S_{A0} = S_A + \Delta S_0$$

$$\text{Avec : } \Delta S_0 = \Delta P_0 + \Delta Q_0$$

$$= 150 + j625 \quad \text{KVA}$$

$$= 0,15 + j0,625 \quad \text{MVA}$$

$$S_{A0} = 175 + j120 + 0,15 + j0,625$$

$$= 175,15 + j120,625 \quad \text{MVA}$$

$$|S_{A0}| = 212,67 \quad \text{MVA}$$

➤ **Calcul du courant maximal de la branche :**

$$I_{\max} = \frac{|SA0|}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{212,67}{\sqrt{3} \cdot 400} = 306,96 \text{ A}$$

La section du conducteur est choisie d'après la formule (II.1) :

$$F = 306,96 \text{ mm}^2$$

La section normalisée la plus proche est : ACO = 400 mm<sup>2</sup>

Pour n=2 :

Tab: III.2

Ligne	L(Km)	F(mm <sup>2</sup> )	r <sub>0</sub> (Ω /Km)	X <sub>0</sub> (Ω /Km)	b <sub>0</sub> · 10 <sup>-6</sup> (Ω <sup>-1</sup> /Km)	r (Ω)	X (Ω)	b <sub>0</sub> · 10 <sup>-6</sup> (Ω <sup>-1</sup> )
L <sub>1A0</sub>	200	400	0,04	0,301	3,76	8	60,2	752

➤ **Calculs des réactances :**

✓ **La ligne :**

Soit :  $S_b = 1000 \text{ MVA}$  et  $U_b = 400 \text{ KV}$

On a :

$$x_l = x_0 * L * S_b / U_m^2$$

$$= 0,301 * 200 * 1000 / 400^2$$

$$= 0,376$$

✓ **L'autotransformateur:**

A l'aide d'autotransformateur on peut transmettre au consommateurs une puissance supérieure à celle pour un transformateur à trois enroulements de même dimensionnement, ce ci constitue un avantage technico-économique. Cet avantage est indiqué par le coefficient « α ».

Tel que :

$$x = S_c / S_N = (U_{N1} - U_{N2}) / U_{N1}$$

$$S_c = \sqrt{3} * I_{N1} * (U_{N1} - U_{N2})$$

Ou, S<sub>c</sub> : puissance typique ou caractéristique pour laquelle on calcule la bobine I, plus U<sub>N1</sub> est proche de U<sub>N2</sub> plus la puissance qui est transmise magnétiquement diminue et plus l'avantage technico-économique est amélioré. [5]

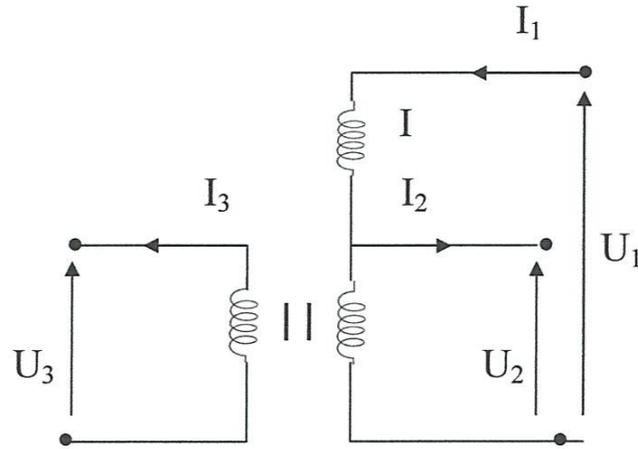


Fig.III.2: Schéma autotransformateur

Les paramètres de l'autotransformateur sont déterminés comme ceux d'un transformateur à trois enroulements à la différence que les tensions et les puissances de l'essai en court-circuit entre les enroulements (1-3) et (2-3) sont données par rapport à la puissance critique  $S_c$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{cc}(i-j) = \frac{\Delta P_{cc}'(i-j)}{\alpha^2} \\ \Delta U_{cc}(i-j) = \frac{\Delta U_{cc}'(i-j)}{\alpha} \end{array} \right. \quad \text{et} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{cc}(1-2), \Delta P_{cc}(1-3), \Delta P_{cc}(2-3) \\ \Delta U_{cc}(1-2), \Delta U_{cc}(1-3), \Delta U_{cc}(2-3) \end{array} \right.$$

On applique pour notre étude Fig.III.3 :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = \Delta U_{cc}^*_{(1)} \cdot S_b / S_N \\ X_2 = \Delta U_{cc}^*_{(2)} \cdot S_b / S_N \\ X_3 = \Delta U_{cc}^*_{(3)} \cdot S_b / S_N \end{array} \right.$$

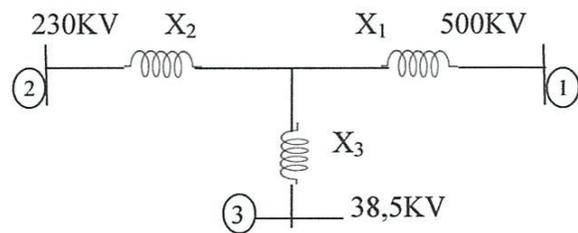


Fig.III.3

On a:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U_{cc}^*_{(1)} = \frac{1}{2} [\Delta U_{cc}^* (1-2) + \Delta U_{cc}^* (1-3) - \Delta U_{cc}^* (2-3)] \\ \Delta U_{cc}^*_{(2)} = \frac{1}{2} [\Delta U_{cc}^* (1-2) + \Delta U_{cc}^* (2-3) - \Delta U_{cc}^* (1-3)] \\ \Delta U_{cc}^*_{(3)} = \frac{1}{2} [\Delta U_{cc}^* (1-3) + \Delta U_{cc}^* (2-3) - \Delta U_{cc}^* (1-2)] \end{array} \right.$$

• *Application numérique :*

$$\alpha = 1 - (U_{N1} / U_{N2}) = 1 - (230/500) = 0,54$$

$$\Delta U_{cc}(i-j) = \alpha \cdot \Delta U_{cc}(i-j)$$

Alors :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U_{cc}(1-2) = 10,5\% \\ \Delta U_{cc}(1-3) = 24\% \\ \Delta U_{cc}(2-3) = 13\% \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Delta U_{cc}^*(1-2) = 10,5/100 = 0,105 \\ \Delta U_{cc}^*(1-3) = (24/100) \times 0,54 = 0,13 \\ \Delta U_{cc}^*(2-3) = (13/100) \times 0,54 = 0,07 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U_{cc}^*(1) = \frac{1}{2} [ 0,105 + 0,13 - 0,07 ] \\ \Delta U_{cc}^*(2) = \frac{1}{2} [ 0,105 + 0,07 - 0,13 ] \\ \Delta U_{cc}^*(3) = \frac{1}{2} [ 0,13 + 0,07 - 0,105 ] \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = 0,083 \cdot 1000 / 125 = 0,664 \\ X_2 = 0,023 \cdot 1000 / 125 = 0,184 \\ X_3 = 0,048 \cdot 1000 / 125 = 0,384 \end{array} \right.$$

✓ La réactance équivalente :

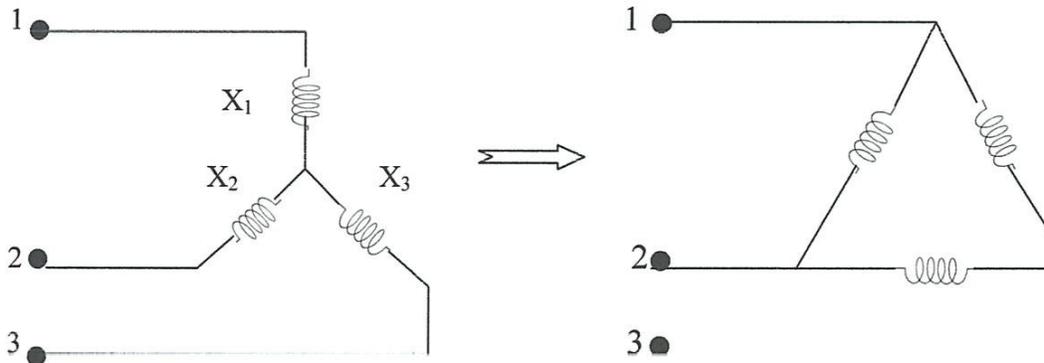


Fig.III.4 : Transformation Y\_ Δ

$$X_{12} = X_1 + X_2 + (X_1 \cdot X_2) / X_3$$

$$= 0,664 + 0,184 + (0,664 \times 0,184) / 0,384$$

$$X_{12} = X_{T7} = X_{T8} = 1,166$$

✓ **Le générateur:**

On suppose que le système est un générateur qui est défini par ses caractéristiques subtransitoires ( $E_{(N)}^{**}$ ,  $x_d^{**}$ ) en unité relative par rapport aux valeurs nominales :

$$\begin{cases} E^{**} = 1,1 \\ x_d^{**} = 0,2 \end{cases}$$

L'expression en unité relative par rapport à la valeur de base :

$$x_d^{**} = x_d^{**} (N) \cdot S_b / S_N$$

$$x_1 = x_d^{**} (b) = 0,2 \times (1000/300)$$

### III. 2. Calculs des courts-circuits :

#### III. 2. 1. Court-circuit triphasé:

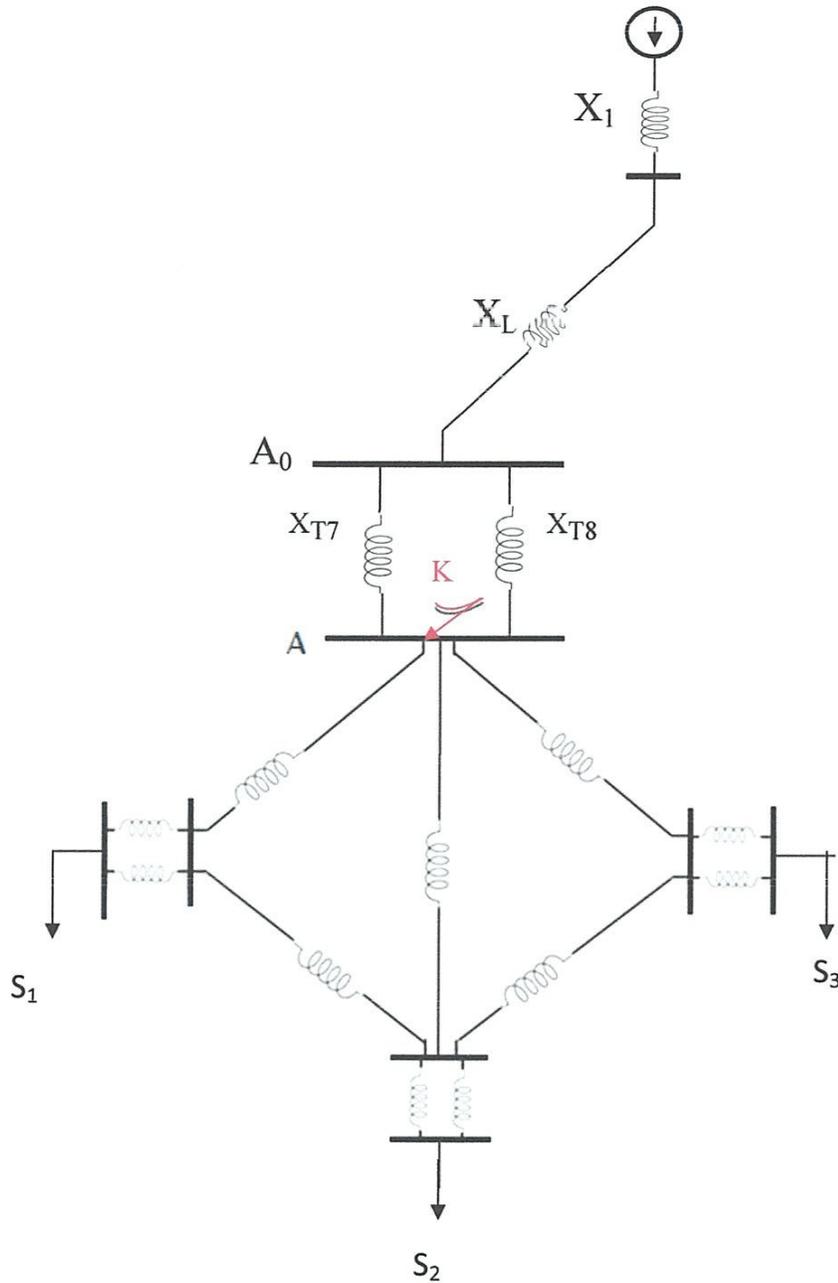
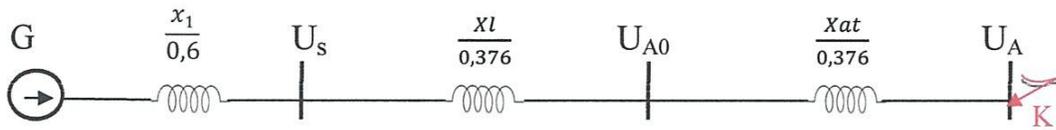
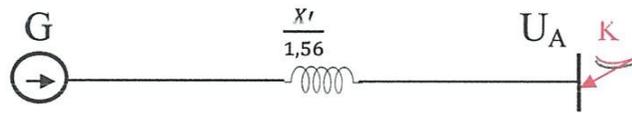


Fig.III.5 : Schéma équivalent de calcul

➤ **Courant permanent:**



Avec:  $x_{at} = x_{T7} / 2 = 1,166 / 2 = 0,583$



**Fig.III.6 : Schéma équivalent pour un défaut triphasé**

$$x' = x_1 + x_L + x_{at} = 0,6 + 0,376 + 0,583 = 1,56$$

$$I_{cc}^* = E^* / x' = 1,1 / 1,56 = 0,71$$

$$I_b = S_b / \sqrt{3} \cdot U_b = 1000 / \sqrt{3} \times 400 = 1,4 \text{ KA}$$

$$I_{cc} = I_{cc}^* \times I_b = 0,71 \times 1,4 = 1,02 \text{ KA}$$

➤ **Les tensions nodales :**

$$U_A = 0 \text{ (Puisque le nœud A est de court-circuit)}$$

$$U_{A0} = U_A + x_{at} \cdot I_{cc}^* = 0 + 0,583 \times 0,71 = 0,414$$

$$U_s = U_{A0} + x_L \cdot I_{cc}^* = 0,414 + 0,376 \times 0,71 = 0,681$$

### III.2.2. Court-circuit monophasé:

Dans ce cas le courant circulant au niveau de la phase « A » les courants de phases seront :

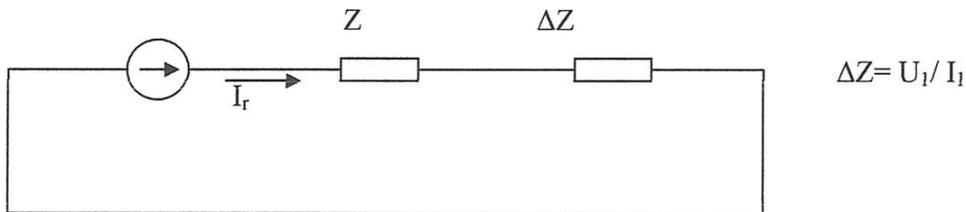
$$I_p = \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_A \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Puisque  $I_s = M^{-1} \cdot I_p$ , d'après la relation (I.8), on aura alors :

$$I_p = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = 1/3 \begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \\ 0 & a^2 & a \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_A \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = 1/3 \begin{pmatrix} I_A \\ I_A \\ I_A \end{pmatrix}$$

Donc:  $I_1 = I_2 = I_3 = 1/3 I_A$

Ce qui découle du schéma équivalent complexe de la phase « A ». (prise comme référence), qu'on peut définir comme suit :



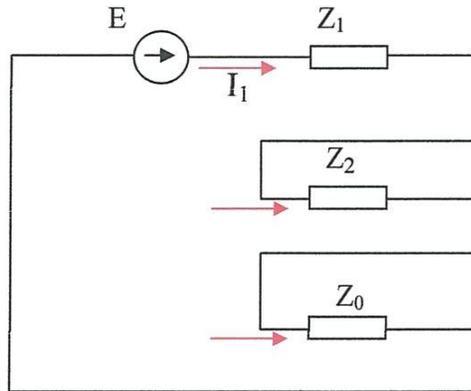
Comme,  $U_A = U_1 + U_2 + U_0 = 0$ , on peut écrire :

$$U_1 = -(U_2 + U_0)$$

Puisque  $I_1 = I_2 = I_0$ , alors :

$$\Delta Z = (-U_2 - U_0) / I_1 = -\frac{U_2}{I_2} - \frac{U_0}{I_0} = Z_2 - Z_0$$

Ce qui donne le schéma suivant:



Ce schéma permet d'écrire, avec  $Z_T = 0$  :

$$I_1 = \frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

et

$$I_A = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

On a, pour  $Z_T = 0$  :

$$I_A = \frac{E}{Z_T + \frac{1}{3}(Z_1 + Z_2 + Z_0)}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = E - Z_1 \cdot I_1 \\ V_2 = -Z_2 \cdot I_2 \\ V_0 = -Z_0 \cdot I_0 \end{array} \right. \Rightarrow I_1 = I_2 = I_0 = \frac{I_A}{3} = \frac{E}{3Z_T + (Z_1 + Z_2 + Z_0)}$$

$$\text{Et } \begin{cases} V_1 = E - Z_1 \cdot \frac{E}{3Z_T + (Z_1 + Z_2 + Z_0)} = \frac{E(3Z_T + Z_2 + Z_0)}{3Z_T + (Z_1 + Z_2 + Z_0)} \\ V_2 = -Z_2 \cdot \frac{E}{3Z_T + (Z_1 + Z_2 + Z_0)} \\ V_0 = -Z_0 \cdot \frac{E}{3Z_T + (Z_1 + Z_2 + Z_0)} \end{cases}$$

Pour trouver les tensions de phase en utilise la relation :

$$V_p = M \cdot V_s \Rightarrow \begin{pmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_0 \end{pmatrix}$$

On obtient :

$$\begin{cases} V_A = Z_T \cdot \frac{E}{Z_T + \frac{1}{3}(Z_1 + Z_2 + Z_0)} \\ V_B = E \cdot \left( \frac{3a^2 Z_T + Z_2(a^2 - a) + Z_0(a^2 - 1)}{3Z_T + (Z_1 + Z_2 + Z_0)} \right) \\ V_C = E \cdot \left( \frac{3a Z_T + Z_2(a - a^2) + Z_0(a - 1)}{3Z_T + (Z_1 + Z_2 + Z_0)} \right) \end{cases}$$

- *Application numérique :*

**1) Court-circuit monophasé impédant :**

On a :  $Z_T = 0,2$

$$Z_1 = Z_{G1} + Z_{L1} + Z_{T1} = 0,6 + 0,376 + 0,583 = 1,56$$

$$Z_2 = Z_{G2} + Z_{L2} + Z_{T2} = (0,2 \times 1,22) + 0,376 + 0,583 = 1,2$$

$$Z_0 = 3 Z_{L0} = 1,13$$

$$I_A = \frac{1,1}{0,2 + \frac{1}{3}(1,56 + 1,2 + 1,13)} = 0,73$$

et

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{1}{3} I_A = \frac{0,73}{3} = 0,24$$

Les tensions des composantes symétriques:

$$\begin{cases} V_1 = 0,72 \\ V_2 = -0,29 \\ V_0 = -0,28 \end{cases}$$

Et pour les tensions de phase on a :

$$\begin{cases} V_A = 0,15 \\ V_B = 0,86 \\ V_C = 0,79 \end{cases}$$

**2) Court-circuit monophasé franc ( $Z_T = 0$ ) :**

On obtient donc :

- Les tensions des composantes symétriques :

$$V_S = \begin{pmatrix} 0,659 \\ -0,339 \\ -0,319 \end{pmatrix}$$

- Les tensions de phase :

$$V_P = \begin{pmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1,07 \\ 0,1 \end{pmatrix}$$

### III.2.3. Calculs des courts-circuits (par un programme) :

Programme pour calculer les différents types de courts-circuits:

```
clear all
clc
zdata1=

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0.6 \\ 1 & 2 & 0 & 0.376 \\ 2 & 3 & 0 & 0.583 \end{pmatrix}$$

zdata2=

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0.244 \\ 1 & 2 & 0 & 0.376 \\ 2 & 3 & 0 & 0.583 \end{pmatrix}$$

zdata0=

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0.6 \\ 1 & 2 & 0 & 1.13 \\ 2 & 3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

zbus1=zbuild(zdata1)
zbus2=zbuild(zdata2)
zbus0=zbuild(zdata0)
symfault(zdata1,zbus1)
lgfault(zdata0,zbus0,zdata1,zbus1,zdata2,zbus2)
llfault(zdata1,zbus1,zdata2,zbus2)
dlgfault(zdata0,zbus0,zdata1,zbus1,zdata2,zbus2)
```

✓ Résultats d'exécution:

#### III.2.3.1: Court-circuit monophasé impédant : ( $Z_f=0.2$ )

$$zdata1 = \begin{pmatrix} 0 & 1.0000 & 0 & 0.6000 \\ 1.0000 & 2.0000 & 0 & 0.3760 \\ 2.0000 & 3.0000 & 0 & 0.5830 \end{pmatrix}$$

$$zdata2 = \begin{pmatrix} 0 & 1.0000 & 0 & 0.2440 \\ 1.0000 & 2.0000 & 0 & 0.3760 \\ 2.0000 & 3.0000 & 0 & 0.5830 \end{pmatrix}$$

$$zdata0 = \begin{pmatrix} 0 & 1.0000 & 0 & 0.6000 \\ 1.0000 & 2.0000 & 0 & 1.1300 \\ 2.0000 & 3.0000 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$zbus1 = \begin{pmatrix} 0 + 0.6000i & 0 + 0.6000i & 0 + 0.6000i \\ 0 + 0.6000i & 0 + 0.9760i & 0 + 0.9760i \\ 0 + 0.6000i & 0 + 0.9760i & 0 + 1.5590i \end{pmatrix}$$

$$zbus2 = \begin{pmatrix} 0 + 0.2440i & 0 + 0.2440i & 0 + 0.2440i \\ 0 + 0.2440i & 0 + 0.6200i & 0 + 0.6200i \\ 0 + 0.2440i & 0 + 0.6200i & 0 + 1.2030i \end{pmatrix}$$

$$zbus0 = \begin{pmatrix} 0 + 0.6000i & 0 + 0.6000i & 0 + 0.6000i \\ 0 + 0.6000i & 0 + 1.7300i & 0 + 1.7300i \\ 0 + 0.6000i & 0 + 1.7300i & 0 + 1.7300i \end{pmatrix}$$

• **Analyse d'un défaut monophasé impédant:**

Entrer le numéro de jeux de barre de défaut -> 3

Enter Impédance de défaut  $Z_f = 0.2$

Le défaut est au jeu de barre No. 3

Le courant de défaut = 0.6620

Les tentions de phase en unité relative:

No.	Phase a	Phase b	Phase c
1	0.6855	0.9728	0.9541
2	0.2894	1.0909	1.0382
3	0.1324	0.9984	0.9713

Les tensions des composantes symétriques :

	1	2	3
<b>Vf0</b>	0.1324	0.3817	0.3817
<b>Vf1</b>	0.8689	0.7870	0.6606
<b>Vf2</b>	0.0538	0.1368	0.2655

Les courants de ligne:

Bus	Bus	Phase a	Phase b	Phase c
1	2	0.6620	0.0000	0.0000
3	F	0.6620	0.0000	0.0000

### III.2.3.2 : Court-circuit monophasé franc : ( $Z_f=0$ )

• **Analyse d'un court-circuit monophasé franc :**

Enter le jeu de barre de défaut No. -> 3

Enter Impédance  $Z_f = 0$

Le défaut est au jeu de barre No. 3

Courant de défaut = 0.6679

Les tensions de phase:

No.	Phase a	Phase b	Phase c
1	0.6785	0.9628	0.9628
2	0.2596	1.0660	1.0660
3	0.0000	0.9847	0.9847

Les tensions des composantes symétriques:

	1	2	3
$V_{f0} =$	0.1336	0.3851	0.3851
$V_{f1} =$	0.8664	0.7827	0.6529
$V_{f2} =$	0.0543	0.1380	0.2678

Les courants des lignes:

Bus	Bus	Phase a	Phase b	Phase c
1	2	0.6679	0.0000	0.0000
3	F	0.6679	0.0000	0.0000

### **III.2.3.3: Court-circuit biphasé isolé: ( $Z_f=0$ )**

- **Analyse d'un défaut biphasé:**

Enter le jeu de barre de défaut No. -> 3

Enter Impedance de défaut  $Z_f = 0$

Le défaut est au jeu de barre No. 3

Courant de défaut = 0.6271

Les tensions de phase:

	Phase a	Phase b	Phase c
1	0.8711	0.7425	0.7425
2	0.8711	0.5687	0.5687
3	0.8711	0.4356	0.4356

Les tensions des composantes symétriques:

	1	2	3
$V_{f0} =$	0	0	0
$V_{f1} =$	0.7828	0.6466	0.4356
$V_{f2} =$	0.0883	0.2245	0.4356

Les courants de ligne :

		Phase a	Phase b	Phase c
1	2	0.0000	0.6271	0.6271
2	3	0.0000	0.6271	0.6271
3	F	0.0000	0.6271	0.6271

### **III.2.3.4: Court-circuit biphasé à la terre:**

Enter Impédance de défaut  $Z_f=0.2$

Courant de défaut = 0.5263

Les tensions de phase:

	Phase a	Phase b	Phase c
1	0.9054	0.6278	0.6839
2	1.0345	0.2759	0.4502
3	0.9346	0.1053	0.1053

Les tensions des composantes symétriques:

	1	2	3
Vf0 =	0.1053	0.3035	0.3035
Vf1 =	0.7384	0.5745	0.3212
Vf2 =	0.0652	0.1656	0.3212

Les courants de ligne:

		Phase a	Phase b	Phase c
1	2	0.0000	0.7203	0.5994
3	F	0.0000	0.7203	0.5994

### III.2.3.5: Court-circuit triphasé :

Enter Impédance de défaut  $Z_f = 0$

Le défaut est au jeu de barre No. 3

courant de défaut = 0.6414

Les tensions de jeux de barres:

No.	Tension
1	0.6151
2	0.3740
3	0.0000

Les courants de ligne:

		Courant	Angle
G	1	0.6414	-90.0000
1	2	0.6414	-90.0000
2	3	0.6414	-90.0000
3	F	0.6414	-90.0000

### III.3. Distributions des potentiels:

#### III.3.1. Potentiel d'un Court-circuit monophasé impédant $Z_f=0,2$ :

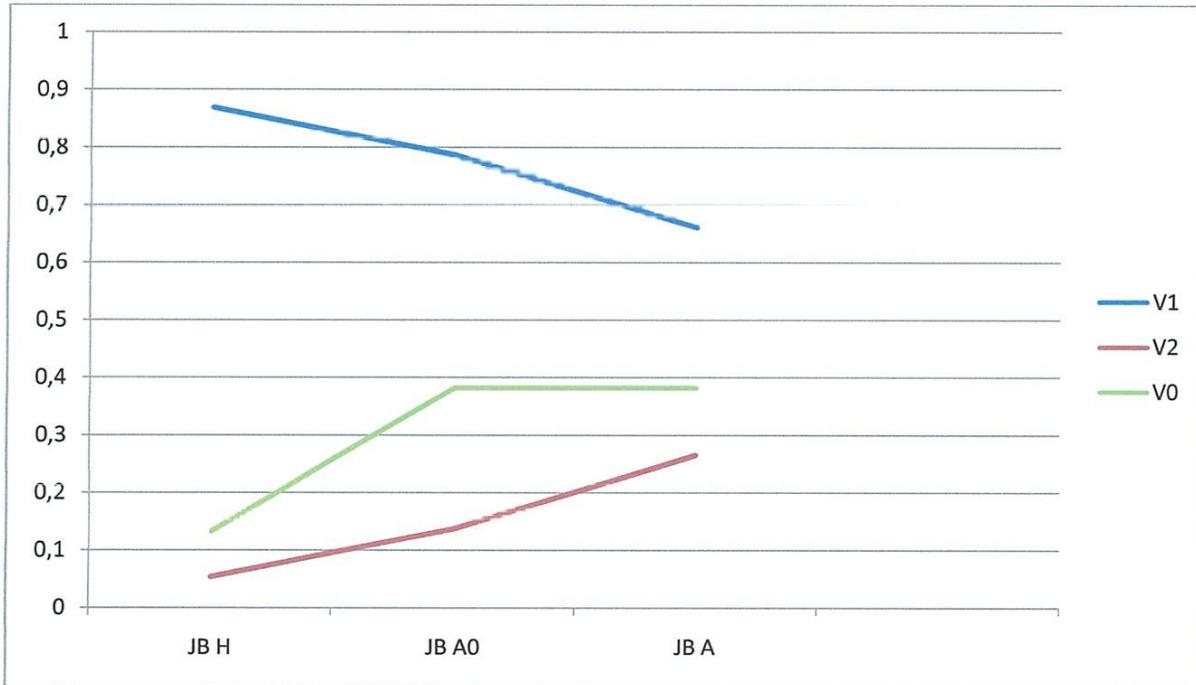
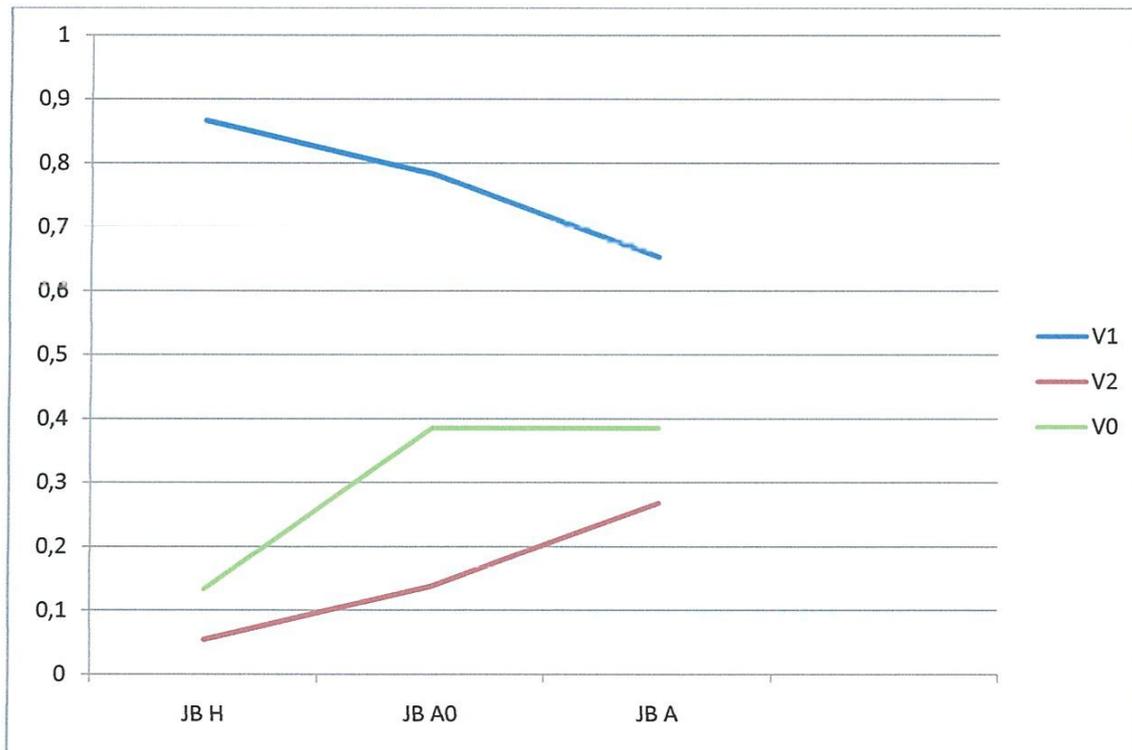


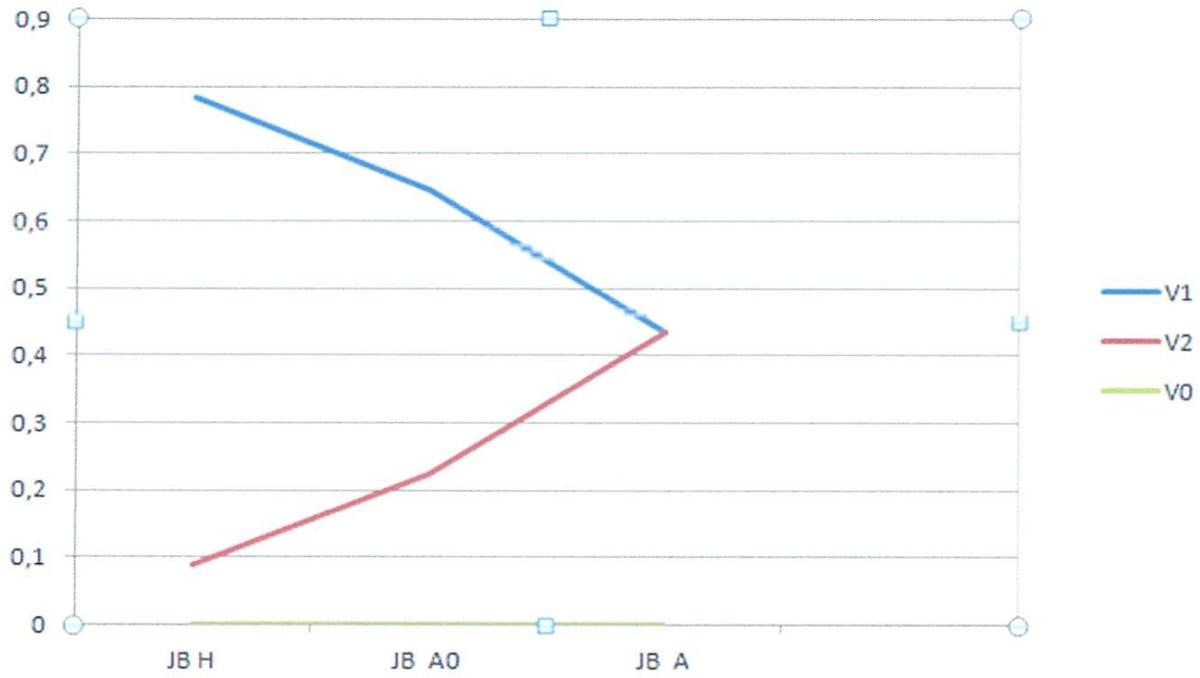
Fig.III.7 : Courbes de tensions des composantes symétriques pour un court-circuit monophasé impédant

**III.3.2. Potentiel d'un Court-circuit monophasé franc  $Z_f=0$  :**



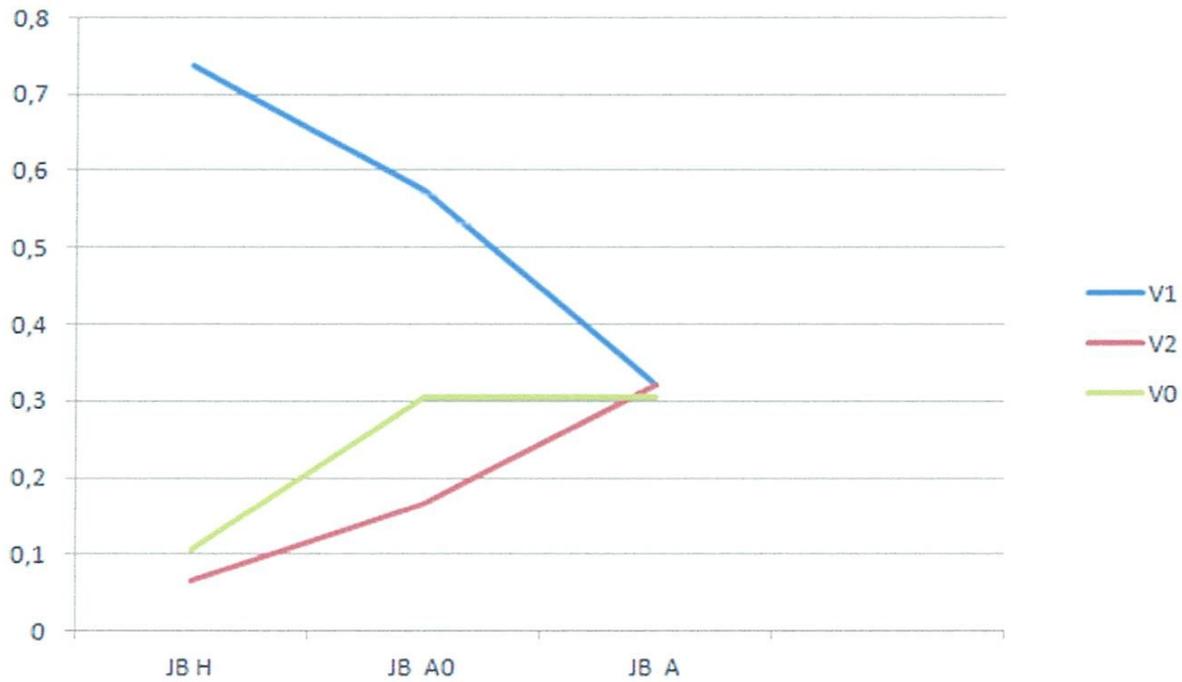
**Fig.III.8 : Courbes de tensions des composantes symétriques pour un court-circuit monophasé franc**

**III.3.3. Potentiel d'un Court-circuit biphasé isolé :**



**Fig.III.9 : Courbes de tensions des composantes symétriques pour un court-circuit biphasé isolé**

**III.3.4. Potentiel d'un Court-circuit biphasé à la terre :**



**Fig.III.10 : Courbes de tensions des composantes symétriques pour un court-circuit biphasé à la terre**

### *III.4. Les programmes utilisés :*

Copyright (C) 1998 Hadi Saadat

#### *III.4.1. Défaut monophasé:*

```
function lgfault(zdata0, Zbus0, zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2, V)
if exist('zdata2') ~= 1
zdata2=zdata1;
else, end
if exist('Zbus2') ~= 1
Zbus2=Zbus1;
else, end
nl = zdata1(:,1); nr = zdata1(:,2);
nl0 = zdata0(:,1); nr0 = zdata0(:,2);
nbr=length(zdata1(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
nbr0=length(zdata0(:,1));
R0 = zdata0(:,3); X0 = zdata0(:,4);
R1 = zdata1(:,3); X1 = zdata1(:,4);
R2 = zdata1(:,3); X2 = zdata1(:,4);
for k=1:nbr0
if R0(k)==inf | X0(k)==inf
R0(k) = 99999999; X0(k) = 99999999;
else, end
end
ZB1 = R1 + j*X1; ZB0 = R0 + j*X0;
ZB2 = R2 + j*X2;
if exist('V') == 1
if length(V) == nbus
V0 = V;
else, end
else, V0 = ones(nbus, 1) + j*zeros(nbus, 1);
end
fprintf('\nLine-to-ground fault analysis \n')
ff = 999;
```

```

while ff > 0
nf = input('Enter Faulted Bus No. -> ');
while nf <= 0 | nf > nbus
fprintf('Faulted bus No. must be between 1 & %g \n', nbus)
nf = input('Enter Faulted Bus No. -> ');
end
fprintf('\nEnter Fault Impedance Zf = R + j*X in ')
Zf = input('complex form (for bolted fault enter 0). Zf = ');
fprintf(' \n')
fprintf('Single line to-ground fault at bus No. %g\n', nf)
a = cos(2*pi/3)+j*sin(2*pi/3);
setm = [1 1 1; 1 a^2 a; 1 a a^2];
Ia0 = V0(nf)/(Zbus1(nf,nf)+Zbus2(nf, nf)+ Zbus0(nf, nf)+3*Zf); Ia1=Ia0; Ia2=Ia0;
I012=[Ia0; Ia1; Ia2];
Ifabc = setm*I012;
Ifabcm = abs(Ifabc);
fprintf('Total fault current = %9.4f per unit\n\n', Ifabcm(1))
fprintf('Bus Voltages during the fault in per unit \n\n')
fprintf(' Bus -----Voltage Magnitude----- \n')
fprintf(' No. Phase a Phase b Phase c \n')
for n = 1:nbus
Vf0(n)= 0 - Zbus0(n, nf)*Ia0
Vf1(n)= V0(n) - Zbus1(n, nf)*Ia1
Vf2(n)= 0 - Zbus2(n, nf)*Ia2
Vabc = setm*[Vf0(n); Vf1(n); Vf2(n)];
Va(n)=Vabc(1); Vb(n)=Vabc(2); Vc(n)=Vabc(3);
fprintf(' %5g',n)
fprintf(' %11.4f', abs(Va(n))),fprintf(' %11.4f', abs(Vb(n)))
fprintf(' %11.4f\n', abs(Vc(n)))
end
fprintf(' \n')
fprintf('Line currents for fault at bus No. %g\n\n', nf)
fprintf(' From To -----Line Current Magnitude---- \n')
fprintf(' Bus Bus Phase a Phase b Phase c \n')

```

```

for n= 1:nbus
for I = 1:nbr
if nl(I) == n | nr(I) == n
if nl(I) ==n    k = nr(I);
elseif nr(I) == n k = nl(I);
end
if k ~= 0
Ink1(n, k) = (Vf1(n) - Vf1(k))/ZB1(I);
Ink2(n, k) = (Vf2(n) - Vf2(k))/ZB2(I);
else, end
else, end
end
for I = 1:nbr0
if nl0(I) == n | nr0(I) == n
if nl0(I) ==n    k = nr0(I);
elseif nr0(I) == n k = nl0(I);
end
if k ~= 0
Ink0(n, k) = (Vf0(n) - Vf0(k))/ZB0(I);
else, end
else, end
end
for I = 1:nbr
if nl(I) == n | nr(I) == n
if nl(I) ==n    k = nr(I);
elseif nr(I) == n k = nl(I);
end
if k ~= 0
Inkabc = setm*[Ink0(n, k); Ink1(n, k); Ink2(n, k)];
Inkabcm = abs(Inkabc); th=angle(Inkabc);
if real(Inkabc(1)) > 0
fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
fprintf(' %11.4f', abs(Inkabc(1))),fprintf(' %11.4f', abs(Inkabc(2)))
fprintf(' %11.4f\n', abs(Inkabc(3)))

```

```

elseif real(Inkabc(1)) ==0 & imag(Inkabc(1)) < 0
fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
fprintf(' %11.4f', abs(Inkabc(1))),fprintf(' %11.4f', abs(Inkabc(2)))
fprintf(' %11.4f\n', abs(Inkabc(3)))
else, end
else, end
else, end
end
if n==nf
fprintf('%7g',n), fprintf('      F'),
fprintf(' %11.4f', Ifabc(1)),fprintf(' %11.4f', Ifabc(2))
fprintf(' %11.4f\n', Ifabc(3))
else, end
end
resp=0;
while strcmp(resp, 'n')~=1 & strcmp(resp, 'N')~=1 & strcmp(resp, 'y')~=1 & strcmp(resp,
'Y')~=1
resp = input('Another fault location? Enter "y" or "n" within single quote -> ');
if strcmp(resp, 'n')~=1 & strcmp(resp, 'N')~=1 & strcmp(resp, 'y')~=1 & strcmp(resp, 'Y')~=1
fprintf('\n Incorrect reply, try again \n\n'), end
end
if resp == 'y' | resp == 'Y'
nf = 999;
else ff = 0; end
end % end for while
%Ink0
%Ink1
%Ink2

```

**III.4.2. Défaut biphasé isolé:**

```

function llfault(zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2, V)
if exist('zdata2') ~= 1
zdata2=zdata1;
else, end
if exist('Zbus2') ~= 1
Zbus2=Zbus1;
else, end
nl = zdata1(:,1); nr = zdata1(:,2);
R1 = zdata1(:,3); X1 = zdata1(:,4);
R2 = zdata2(:,3); X2 = zdata2(:,4);
ZB1 = R1 + j*X1; ZB2 = R2 + j*X2;
nbr=length(zdata1(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
if exist('V') == 1
if length(V) == nbus
V0 = V;
else, end
else, V0 = ones(nbus, 1) + j*zeros(nbus, 1);
end
fprintf('\nLine-to-line fault analysis \n')
ff = 999;
while ff > 0
nf = input('Enter Faulted Bus No. -> ');
while nf <= 0 | nf > nbus
fprintf('Faulted bus No. must be between 1 & %g \n', nbus)
nf = input('Enter Faulted Bus No. -> ');
end
fprintf('\nEnter Fault Impedance Zf = R + j*X in ')
Zf = input('complex form (for bolted fault enter 0). Zf = ');
fprintf(' \n')
fprintf('Line-to-line fault at bus No. %g\n', nf)
a =cos(2*pi/3)+j*sin(2*pi/3);
sctm = [1 1 1; 1 a^2 a; 1 a a^2];

```

```

Ia0=0;
Ia1 = V0(nf)/(Zbus1(nf,nf)+Zbus2(nf, nf)+Zf); Ia2=-Ia1;
I012=[Ia0; Ia1; Ia2];
Ifabc = sctm*I012;
IfabcM = abs(Ifabc);
fprintf('Total fault current = %9.4f per unit\n\n', IfabcM(2))
fprintf('Bus Voltages during the fault in per unit \n\n')
fprintf('  Bus  -----Voltage Magnitude----- \n')
fprintf(' No.  Phase a   Phase b   Phase c \n')
for n = 1:nbus
Vf0(n) = 0
Vf1(n) = V0(n) - Zbus1(n, nf)*Ia1
Vf2(n) = 0 - Zbus2(n, nf)*Ia2
Vabc = sctm*[Vf0(n); Vf1(n); Vf2(n)];
Va(n)=Vabc(1); Vb(n)=Vabc(2); Vc(n)=Vabc(3);
fprintf(' %5g',n)
fprintf(' %11.4f', abs(Va(n))),fprintf(' %11.4f', abs(Vb(n)))
fprintf(' %11.4f\n', abs(Vc(n)))
end
fprintf(' \n')
fprintf('Line currents for fault at bus No. %g\n\n', nf)
fprintf(' From  To  ----Line Current Magnitude---- \n')
fprintf(' Bus  Bus  Phase a   Phase b   Phase c \n')
for n= 1:nbus
for I = 1:nbr
if nl(I) == n | nr(I) == n
if nl(I) ==n    k = nr(I);
elseif nr(I) == n k = nl(I);
end
if k ~= 0
Ink0(n, k) = 0;
Ink1(n, k) = (Vf1(n) - Vf1(k))/ZB1(I);
Ink2(n, k) = (Vf2(n) - Vf2(k))/ZB2(I);
Inkabc = sctm*[Ink0(n, k); Ink1(n, k); Ink2(n, k)];

```

```

Inkabcem = abs(Inkabc); th=angle(Inkabc);
if real(Inkabc(2)) < 0
fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
fprintf(' %11.4f', abs(Inkabc(1))),fprintf(' %11.4f', abs(Inkabc(2)))
fprintf(' %11.4f\n', abs(Inkabc(3)))
elseif real(Inkabc(2)) ==0 & imag(Inkabc(2)) > 0
fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
fprintf(' %11.4f', abs(Inkabc(1))),fprintf(' %11.4f', abs(Inkabc(2)))
fprintf(' %11.4f\n', abs(Inkabc(3)))
else, end
else, end
elsc, end
end
if n==nf
fprintf('%7g',n), fprintf('      F'),
fprintf(' %11.4f', Ifabcem(1)),fprintf(' %11.4f', Ifabcem(2))
fprintf(' %11.4f\n', Ifabcem(3))
else, end
end
resp=0;
while strcmp(resp, 'n')~=1 & strcmp(resp, 'N')~=1 & strcmp(resp, 'y')~=1 & strcmp(resp,
'Y')~=1
resp = input('Another fault location? Enter "y" or "n" within single quote -> ');
if strcmp(resp, 'n')~=1 & strcmp(resp, 'N')~=1 & strcmp(resp, 'y')~=1 & strcmp(resp, 'Y')~=1
fprintf('\n Incorrect reply, try again \n\n'), end
end
if resp == 'y' | resp == 'Y'
nf = 999;
else ff = 0; end
end % end for while

```

```

fprintf(' From To -----Line Current Magnitude---- \n')
fprintf(' Bus Bus Phase a Phase b Phase c \n')
for n= 1:nbus
for I = 1:nbr
if nl(I) == n | nr(I) == n
if nl(I) ==n k = nr(I);
elseif nr(I) == n k = nl(I);
end
if k ~= 0
Ink1(n, k) = (Vf1(n) - Vf1(k))/ZB1(I);
Ink2(n, k) = (Vf2(n) - Vf2(k))/ZB2(I);
else, end
else, end
end
for I = 1:nbr0
if nl0(I) == n | nr0(I) == n
if nl0(I) ==n k = nr0(I);
elseif nr0(I) == n k = nl0(I);
end
if k ~= 0
Ink0(n, k) = (Vf0(n) - Vf0(k))/ZB0(I);
else, end
else, end
end
for I = 1:nbr
if nl(I) == n | nr(I) == n
if nl(I) ==n k = nr(I);
elseif nr(I) == n k = nl(I);
end
if k ~= 0
Inkabc = setm*[Ink0(n, k); Ink1(n, k); Ink2(n, k)];
Inkabcm = abs(Inkabc); th=angle(Inkabc);
if real(Inkabc(2)) < 0
fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),

```

```

%fprintf(' p.u. \n\n', Ifm)
fprintf('Bus Voltages during fault in per unit \n\n')
fprintf(' Bus Voltage Angle\n')
fprintf(' No. Magnitude degrees\n')
for n = 1:nbus
if n==nf
Vf(nf) = V0(nf)*Zf/(Zf + Zbus(nf,nf)); Vfm = abs(Vf(nf)); angv=angle(Vf(nf))*180/pi;
else, Vf(n) = V0(n) - V0(n)*Zbus(n,nf)/(Zf + Zbus(nf,nf));
Vfm = abs(Vf(n)); angv=angle(Vf(n))*180/pi;
end
fprintf(' %4g', n), fprintf('%13.4f', Vfm),fprintf('%13.4f\n', angv)
end
fprintf(' \n')
fprintf('Line currents for fault at bus No. %g\n\n', nf)
fprintf(' From To Current Angle\n')
fprintf(' Bus Bus Magnitude degrees\n')
for n= 1:nbus
%Ign=0;
for I = 1:nbr
if nl(I) == n | nr(I) == n
if nl(I) ==n k = nr(I);
elseif nr(I) == n k = nl(I);
end
if k==0
Ink = (V0(n) - Vf(n))/ZB(I);
Inkm = abs(Ink); th=angle(Ink);
%if th <= 0
if real(Ink) > 0
fprintf(' G '), fprintf('%7g',n), fprintf('%12.4f', Inkm)
fprintf('%12.4f\n', th*180/pi)
elseif real(Ink) ==0 & imag(Ink) < 0
fprintf(' G '), fprintf('%7g',n), fprintf('%12.4f', Inkm)
fprintf('%12.4f\n', th*180/pi)
else, end

```

**III.4.5. Function Zbuild:**

```

function [Zbus] = zbuild(linedata)
nl = linedata(:,1); nr = linedata(:,2); R = linedata(:,3);
X = linedata(:,4);
nbr=length(linedata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
for k=1:nbr
if R(k) == inf | X(k) ==inf
R(k) = 99999999; X(k) = 99999999;
else, end
end
ZB = R + j*X;
Zbus = zeros(nbus, nbus);
tree=0; %%%new
% Adding a branch from a new bus to reference bus 0
for l = 1:nbr
ntree(l) = 1;
if nl(l) == 0 | nr(l) == 0
if nl(l) == 0    n = nr(l);
elseif nr(l) == 0    n = nl(l);
end
if abs(Zbus(n, n)) == 0  Zbus(n,n) = ZB(l);tree=tree+1; %%%new
else Zbus(n,n) = Zbus(n,n)*ZB(l)/(Zbus(n,n) + ZB(l));
end
ntree(l) = 2;
else,end
end
% Adding a branch from new bus to an existing bus
while tree < nbus %%% new
for n = 1:nbus
nadd = 1;
if abs(Zbus(n,n)) == 0
for l = 1:nbr

```

```

if nadd == 1;
if nl(I) == n | nr(I) == n
if nl(I) == n    k = nr(I);
elseif nr(I) == n k = nl(I);
end
if abs(Zbus(k,k)) ~= 0
for m = 1:nbus
if m ~= n
Zbus(m,n) = Zbus(m,k);
Zbus(n,m) = Zbus(m,k);
else, end
end
Zbus(n,n) = Zbus(k,k) + ZB(I); tree=tree+1; %%new
nadd = 2; ntree(I) = 2;
else, end
else, end
else, end
end
else, end
end
end %%new
% Adding a link between two old buses
for n = 1:nbus
for l = 1:nbr
if ntree(l) == 1
if nl(l) == n | nr(l) == n
if nl(l) == n    k = nr(l);
elseif nr(l) == n k = nl(l);
end
DM = Zbus(n,n) + Zbus(k,k) + ZB(l) - 2*Zbus(n,k);
for jj = 1:nbus
AP = Zbus(jj,n) - Zbus(jj,k);
for kk = 1:nbus
AT = Zbus(n,kk) - Zbus(k, kk);

```

```
DELZ(jj,kk) = AP*AT/DM;  
end  
end  
Zbus = Zbus - DELZ;  
ntree(I) = 2;  
else,end  
else,end  
end
```

*Conclusion générale*



# *Conclusion générale*

A l'issue du travail réalisé, on peut faire les conclusions suivantes :

1. Une bonne étude du réseau, avant son élaboration, permet de prévoir une bonne gestion du réseau pendant son fonctionnement : choix rationnel des paramètres des éléments du réseau, réserve de puissance,...
2. L'étude et l'analyse de la distribution du potentiel du réseau en régime de court-circuit (plan de tension) permet de prévoir les zones les plus affectées et de ce fait, de mieux gérer le processus de délestage éventuel....
3. Le calcul des courants de court-circuit et leur traitement aussi bien dans l'aspect transitoire que dans celui permanent, installe les conditions du choix adéquat des paramètres de seuil des protections, d'une bonne gestion des systèmes de protection, de vérification des divers équipements à diverses contraintes : thermiques, électrodynamiques....
4. L'analyse des courts-circuits asymétriques, offrent les données pour réaliser le contrôle des régimes asymétriques et améliorer ainsi la qualité de l'énergie électrique. ?
5. Le calcul des courants de court-circuit asymétrique est réalisé par un programme de traitement numérique, donc, par une procédure plus générale qu'on peut développer et élargir dans d'autres études et travaux.... ?

# Bibliographie

[1]. Mémoire de fin d'étude M<sub>2</sub> (2015 ) Réaliser par (hadda, boukhedenna) :

« Régime de court-circuit distribution du potentiel »

— Université

[2]. Mémoire de fin d'étude M<sub>2</sub> (2012) Réaliser par (Regaia, barkia) :

« Analyse des éléments de base d'un réseau HT élaborer »

sous la direction par Pr :K.bounaya

[3]. site internet : mémoire magister en électrotechnique , univ annaba :

« Généralités sur les réseaux électriques MT et HT »

[4]. site internet : mémoire de magister en électrotechnique 2007 Réaliser par

(Benhmida halim) : « contribution à l'identification des courts-circuits »

[5]. Mémoire de fin d'étude M<sub>2</sub> 2014 .réaliser par (djenah ,frihi) :

« Impact du courts circuits sur les tension nodales »

[6]. site internet :[http://www.larouse.fr/dictionnaires/France/courts\\_circuit\\_court\\_circuit/19961](http://www.larouse.fr/dictionnaires/France/courts_circuit_court_circuit/19961)

[7]. Brochure de cours M<sub>1</sub> : "Analyse des perturbations des réseau électriques" Pr :K.bounaya

[8]. Bounaya k : Eléments descriptions et d'analyse de base; réseaux électriques D.P V  
G,édition 2010

[9]. cahier technique Merlin Gerin n 181 /P.14

[10]. Mémoire de fin d'étude licence (2014).Réaliser en par (Nigri cheghib et boudfel) :

« Elaboration d'un réseau électrique » Sous la direction de M<sub>r</sub>.boudfel amar

[11]. Mémoire Magister en électrotechnique (univ Constantine) titre :

« Étude des protections des réseaux électrique MT (30 et 10 KV) »

[12]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/protection-diff%c3%A9rentielle>

[13]. [http://fr.wikipedia.org/wiki/protection-des-r % %C3% A9eseaux\\_%C3%A9electriques](http://fr.wikipedia.org/wiki/protection-des-r%C3%A9seaux_%C3%A9lectriques)

[14]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/protection-de-distance>

[15]. [http://fr.wikipedia.org/wiki/protection- %C3%AO-maximum-de courant](http://fr.wikipedia.org/wiki/protection-%C3%A0-maximum-de_courant)

[16]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/protection-directionnelle>

[17]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/transformateur-de-courant>

[18]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/transformateur-de-tension>

[19]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/parafoudre>

[20]. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fusible-\(% C3%A9%lecricity%C3%A9\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fusible-(%C3%A9%lecricity%C3%A9))

