



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Republique Algerienne Democratique Et Populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi- Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de génie électrique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique
En : Electrotechnique

Spécialité : électrotechnique industrielle

Protection d'un réseau électrique HTA en utilisant une protection différentielle à plusieurs cycles de ré-enclenchement

Présenté par :

- Fadel Eddine Safa
- Fartas Mofida

Présenté et soutenu publiquement , le 12/06/2022 , devant le jury composé de :

Pr. Dib Jalel

Professeur

Président

Dr. Djeddi Abdelghani

M.C.A.

Rapporteur

Dr. Moussa Med Amine

M.C.B.

Examineur

Dédicace

Je m'incline devant dieu tout puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la franchir.

Je dédie ce Modeste travail :

À ma chère et tendre: ma mère, Alleg Salima , source d'affectation de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié pour me voir atteindre ce jour.

À mon père Fadel Eddine Nour Eddine source de respect, en témoignage de ma profonde reconnaissance pour tout l'effort et le soutien incessant qui m'a toujours apporté.

À tous les enseignants qui ont participé à ma formation durant toutes mes études

À mes frères Hakou et Bilel, que j'aime le plus dans le monde , pour leur encouragement, amour , ambiance , confiance , que dieu vous garde pour moi.

À ma unique sœur chérie Houda , que j'aime beaucoup , pour sa tendresse et son soutien moral.

À ma chère binôme Fertas Mofida « allah yarhmha » ,pour son soutien et ses efforts et tout le moment de joie que j'ai vécu grâce à elle ,mais malheureusement elle m'a quittée sans voir ce jour

À mon amie d'enfance Samah , mon bras droit , celle qui était toujours là pour moi dans ma tristesse avant ma joie , et à toute son aimable famille. Que dieu bénisse notre amitié.

À ma chère voisine Chaima ,qui m'a aidée et soutenu dans les moment les plus difficiles. Mille mercis à toi.

Une spéciale dédicace à ma deuxième maman , ma tante adorée Jamila , pour m'avoir encouragé et toujours à mes cotés .Mille mercis et je prie dieu de te réunir bientôt avec ton fils Saber .

À tous mes amis de la filière électrotechniques.

À tous ceux que je porte dans mon cœur.

Fadel Eddine Safa

Dédicace

Tout d'abord, je remercie Dieu le tout puissant, de m'avoir donné le courage, la patience et la volonté afin de terminer ce travail.

Je dédie cet humble travail à :

Mes très chers parents pour leurs soutiens et sacrifices.

Mes frères Hakim ,Issam , Mohamed , Kaiss

Ma sœur Hanen

À toute ma famille

Ma binôme Fadel Eddine Safa et toute sa famille.

Sans toutefois oublier mes amis qui m'ont encouragé merci Chaima et Abir.

À tous les enseignants qui ont participé à ma formation durant toutes mes études, et À toute ma promotion de Master Electrotechnique (2012/2022). Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir ce travail.

Fartas Mofida

Remerciement

Nous tenons à remercier tout d'abord الله , seigneur de l'univers, qui a permis que ce travail voit la lumière. A lui toute louange.

En exprimant notre profonde gratitude à notre encadreur Djeddi Abdelghani qui nous a encouragé pour réaliser ce mémoire, Pour nous avoir honorés en acceptant de diriger ce travail et pour ses orientations, ses conseils et sa grande patience tout au long de la période de travail

Nous remercions aussi tout le personnel de l'entreprise SONELGAZ de TEBESSA surtout Mr.Djeffal Rafik ,Chouli Issam et tout le personnel de la Division Technique Electricité.

Nous tenons à remercier également tous les membres du jury Pr. Dib Jalel et Dr. Moussa Med Amine qui ont accepté de juger notre travail et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce dernier

Et enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail

Liste des abréviations

THT : Très haute tension

HT : Haute tension

MT : Moyen tension

TBT : Très basse tension

BT : Basse tension

VN :Tension nominale

CEI : Commission électrotechnique international

TC :Transformateur de courant

TT : Transformateur de courant

KV : kilo volt

A : Ampère

Liste des figures

- Figure 1.1** Le réseau électrique
- Figure 1.2** Schéma d'un réseau électrique
- Figure 1.3** Schéma de structure de système électrique
- Figure 1.4** Structure topologique des réseaux
- Figure 1.5** Exemple d'une structure d'un réseau maillé
- Figure 1.6** Exemple d'une structure d'un réseau radial
- Figure 1.7** Exemple d'une structure d'un réseau bouclé
- Figure 1.8** exemple de surtension
- Figure 1.9** Court-circuit monophasé terre
- Figure 1.10** Court-circuit biphasé isolé
- Figure 1.11** Court-circuit biphasé terre
- Figure 1.12** Court-circuit triphasé
- Figure 2.1** Chaîne de protection
- Figure 2.2** Constitution d'un système de protection
- Figure 2.3** Fonctionnement d'une sélectivité ampèremétrique
- Figure 2.4** Principe de la sélectivité chronométrique
- Figure 2.5** Fiabilité d'une protection
- Figure 2.6** Transformateur de courant type tore
- Figure 2.7** Transformateur de tension nominale 150 KV
- Figure 2.8** Schéma équivalent d'un transformateur Capacité de tension
- Figure 2.9** Type des relais
- Figure 2.10** Protection à temps indépendant
- Figure 2.11** Protection dépendant
- Figure 2.12** Mesure du courant résiduel par un tore
- Figure 2.13** Mesure du courant résiduel par trois transformateurs de courant
- Figure 2.14** Jeu de barres alimenté par deux sources
- Figure 2.15** Schéma de principe de la protection différentielle transformateur
- Figure 2.16** Diagramme des cycles de ré-enclenchement
- Figure 2.17** Modèle ABB Ref 620
- Figure 2.18** Modèle Schneider SEPAM série 40
- Figure 3.1** différent types de défauts
- Figure 3.2** forme générale d'un courant de court-circuit
- Figure 3.3** système déséquilibré triphasés obtenu en additionnant les trois systèmes équilibrés (direct, indirect et homopolaire)

Figure 3.4 système déséquilibré triphasés obtenu en additionnant les trois systèmes

Figure 4.1 Simulation d'une ligne triphasée

Figure 4.2 Courants réseau triphasé réseau HTA sans protection sain.

Figure 4.3 Tension triphasée réseau HTA sans protection sain

Figure 4.4 Simulation d'un court-circuit L1-N

Figure 4.5 Courants réseau HTA en présence de défaut Phase-Terre.

Figure 4.6 Tension réseau HTA en présence de défaut Phase-Terre.

Figure 4.7 Courants réseau HTA en présence de défaut Biphasé.

Figure 4.8 Tensions réseau HTA en présence de défaut Biphasé.

Figure 4.9 Courants réseau HTA en présence de défaut Triphasé.

Figure 4.10 Tensions réseau HTA en présence de défaut Triphasé.

Figure 4.11 Réseau HTA 30KV/10KV avec protection différentielle du transformateur.

Figure 4.12 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

Figure 4.13 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

Figure 4.14 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé-Terre.

Figure 4.15 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé-Terre.

Figure 4.16 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé-Terre.

Figure 4.17 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé-Terre.

Figure 4.18 Réseau HTA 30Kv/10KV avec protection différentielle de ligne.

Figure 4.19 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

Figure 4.20 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

Figure 4.21 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé -Terre.

Figure 4.22 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé-Terre.

Figure 4.23 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé-Terre.

Figure 4.24 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé -Terre.

Figure 4.25 Réseau HTA 30KV avec protection Max I en présence de défaut Phase-Terre.

Figure 4.26 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

Figure 4.27 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

Figure 4.28 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé -Terre.

Figure 4.29 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé-Terre.

Figure 4.30 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé -Terre.

Figure 4.31 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé-Terre.

Figure 4.32 Simulation d'une protection différentielle à trois cycles de ré-enclenchement.

Figure 4.33 Courant de la ligne et signal de commande suite à un défaut fugitif.

Figure 4.34 Courant de la ligne et signal de commande suite à un défaut semi-permanent.

Figure 4.35 Courant de la ligne et signal de commande suite à un défaut permanent.

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Gamma de tension utilisée par Sonelgaz .

Résumé :

Les installations électriques telles que les postes de transformations et les lignes électriques constituent tous les deux la partie essentielle d'un réseau électrique qui doit assurer la continuité de l'alimentation en électricité aux consommateurs. Ces installations sont souvent le siège de défauts qui peuvent interrompre la continuité de service. Parmi les défauts les plus persistants on trouve les défauts de type phase-terre, Biphasé et Triphasé. La protection différentielle fait l'objet du présent travail. En outre, ce travail concerne la simulation par Simulink/Matlab de la protection différentielle à trois cycles de réenclenchement. Les résultats de la simulation obtenus montrent que la protection proposée est très robuste en terme de réponse suite à l'apparition des défauts et en terme de continuité de service c.-à-d., la reproduction du régime nominal dans le cas d'un défaut phase-terre semipermanant ou fugitif.

ملخص :

تعتبر تركيبات كهربائية مثل محطات محولات وخطوط الكهرباء جزءاً أساسياً من الشبكة الكهربائية التي يجب أن تضمن لنا استمرارية إمداد الكهرباء للمستهلكين. غالباً ما تكون هذه التركيبات هي مقر العيوب التي يمكنها مقاطعة استمرارية الخدمة. ومن بين العيوب الأكثر استمرارا في الشبكة الكهربائية هي أخطاء الطور- الأرض. الحماية التفاضلية التي تحمي ضد هذه العيوب هي موضوع هذا العمل. يتعلق هذا العمل بمحاكاة / Simulink / ماتالب من الحماية التفاضلية المزودة بثلاثة دورات لإعادة الغلق، تظهر نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها أن الحماية المقترحة قوية للغاية من حيث الاستجابة بعد حدوث الأعطال ومن حيث استمرارية الخدمة، أي إعادة إنتاج السرعة المقدره في حالة خلل طوري- أرضي شبه دائم أو عابر .

Abstract:

Electrical installations such as transformer stations and power lines are both the essential part of an electrical network which must ensure the continuity of electricity supply to consumers. These installations are often the site of faults that can interrupt the continuity of service. Among the most persistent faults are faults of the phase-earth type. The differential protection which protects against the latter is the subject of this work. In addition, this work concerns the simulation by Simulink/Matlab of a differential protection with three-cycle reclosing. The results of the simulation obtained show that the proposed protection is very robust in terms of response following the appearance of faults and in terms of continuity of service, i.e. the reproduction of the nominal regime in the case of a semi-permanent or transient phase-to-earth fault.

Dédicace	II
Remerciement	III
Liste des abréviations	IV
Liste des figures et tableaux	VII
Résumé	VIII
sommaire	IX
Introduction générale	1

CHAPITRE 1 : Généralités sur les réseaux électriques

1.1 Introduction	2
1.2 Définition du réseau électrique	2
1.3 Structure générale des réseaux électriques	3
1.3.1 Réseau de production	3
1.3.2 Réseau de transport d'interconnexion	4
1.3.2.1 Réseau de transport THT	4
1.3.2.2 Réseau de transport HT	4
1.3.3 Réseau de répartition	5
1.3.4 Réseau de distribution	5
1.3.4.1 Réseau de distribution HTA (01 kv à 50 kv)	5
1.3.4.2 Réseau de distribution à base tension (130 v à 600 v)	5
1.4 Niveau de tension selon en Algérie	5
1.5 Topologiques des réseaux électriques	6
1.5.1 Réseaux maillés	6
1.5.2 Réseaux radiaux	6
1.5.2.1 Avantages des réseaux radiaux	7
1.5.2.2 Inconvénients des réseaux radiaux	7
1.5.3 Réseaux bouclés	7
1.5.3.1 Avantages des réseaux bouclés	7
1.5.3.2 Inconvénients des réseaux bouclés	7
1.6 Les défauts électriques	8
1.6.1 Définition du défaut électrique	8

1.6.2 Les différents types de défauts électriques	8
1.6.2.1 Les surcharges	8
1.6.2.2 Les surtensions	9
1.6.2.3 Les oscillations	9
1.6.2.4 Les déséquilibres	10
1.6.2.5 Les courts-circuits	10
1.7 Conclusion	13

CHAPITRE 2 : Système de protection des réseaux électriques HTA

2.1 Introduction	14
2.2 Définition de la protection	14
2.3 Objectifs de la protection du réseau électrique	15
2.4 Fonction de protection	15
2.5 Systèmes de protection	15
2.6 Qualités principales d'un système de protection	16
2.6.1 Rapidité	16
2.6.2 Sélectivité	16
2.6.2.1 Sélectivité ampère métrique	16
2.6.2.2 Sélectivité chronométrique	17
2.6.3 Sensibilité	17
2.6.4 Fiabilité	18
2.7 Eléments constitutifs d'un système de protection	18
2.7.1 Réducteurs de mesure	18
2.7.1.1 Transformateur de courant	18
2.7.1.2 Transformateur de tension TT ou TP	19
2.7.1.3 Disjoncteur	21
2.7.2 Relais de protection	21
2.7.2.1 Relais directionnel	21
2.7.2.2 Relais différentiel	22
2.7.2.3 Relais à maximum de courant	22
2.7.3 Principe de fonctionnement des relais de protection	22
2.8 Différents types de protections	23

2.8.1 Protection à maximum de courant phase	23
2.8.1.1 Protection à temps indépendant	23
2.8.1.2 Protection à temps dépendant	23
2.8.2 Protection à maximum de courant terre	24
2.8.2.1 Mesure du courant résiduel	24
2.8.3 Protection à maximum de courant phase directionnel	25
2.8.4 Protection différentielle transformateur	27
2.8.5 Protection à maximum de tension	27
2.8.6 Protection à minimum de tension	27
2.9 Les cycles de ré-enclenchement	28
2.10 Principe du disjoncteur à ré-enclenchement	29
2.10.1 Cycles du disjoncteur à ré-enclenchement	29
2.10.2 Disjoncteur à ré-enclenchement	29
2.11 Technologies de protection	30
2.11.1 ABB Ref 620	30
2.11.1.1 Définition	30
2.11.1.2 Principaux avantages	30
2.11.1.3 Caractéristiques principales	30
2.11.2 Schneider Sepam série 40	31
2.11.2.1 Définition	31
2.11.2.2 Principales fonctions	31
2.12 Conclusion	32

CHAPITRE 3 : Calcul des courants du court-circuit

3.1 Introduction	33
3.2 Définition d'un défaut	33
3.3 Types et caractéristiques des défauts	33
3.3.1 Types des défauts	33
3.3.1.1 Les défauts triphasés	34
3.3.1.2 Les défauts biphasés	34
3.3.1.3 Les défauts monophasés	34
3.4 Définition de courant de court-circuit	34

3.5 Effets des courants de court-circuit	35
3.6 Etudes des courts-circuits	35
3.7 Méthodes pour les calculs du courant du court-circuit	36
3.7.1 Méthode des composants symétrique	37
3.7.1.1 Le système Direct (Positif ou de séquence d'ordre 1)	37
3.7.1.2 Le système Inverse (Négatif ou de séquence d'ordre 2)	37
3.7.1.3 Le système homopolaire (Zéro ou de séquence d'ordre 0)	38
3.7.2 Circuit équivalent des séquences	38
3.7.3 Calcul des courants de court-circuit par la méthode des composantes symétriques	39
3.7.3.1 Court-circuit triphasé symétrique	39
3.7.3.2 Court-circuit biphasé isolé	40
3.7.3.3 Court-circuit biphasé terre	41
3.7.3.4 Court-circuit monophasé	42
3.7.3.5 Court-circuit monophasé avec impédance	43
3.8 Conclusion	44
CHAPITRE 4 :	
4.1 Introduction	45
4.2 Simulation d'une ligne triphasée	45
4.3 Résultat de la simulation	46
4.3.1 Réseaux électrique HTA 30 KV sans protection et sain	46
4.3.2 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défauts	47
4.3.2.1 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défauts phase-terre	47
4.3.2.2 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence biphasé-terre	48
4.3.2.3 Réseau électrique HTA 30 KV en présence triphasé-terre	49
4.4 Simulation d'une protection différentielle	50
4.4.1 Protection différentielle d'un transformateur HTA	50
4.4.1.1 Transformateur HTA1/HTA2 en présence de défaut phase-terre	51
4.4.1.2 Transformateur HTA1/HTA2 en présence de défaut biphasé-terre	52
4.4.1.3 Transformateur HTA1/HTA2 en présence de défaut triphasé-terre	54
4.4.2 Protection différentielle d'un ligne HTA	55
4.4.2.1 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut phase-terre	55

4.4.2.2 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut biphasé-terre	57
4.4.2.3 Réseaux réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut triphasé-terre	58
4.5 Simulation d'une protection à maximum de courant	59
4.5.1 Protection à Max de courant défaut phase-terre	59
4.5.1.1 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut phase-terre	60
4.5.1.2 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut biphasé-terre	61
4.5.1.3 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut triphasé-terre	63
4.6 Protection différentielle à trois cycles de réenclenchement	64
4.7 Conclusion	66
Conclusion générale	67
Références	
Annexe	

Introduction générale

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures 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.

Les investissements humains et matériels affectés aux réseaux électriques sont énormes. Pour cela, le réseau électrique doit répondre à trois exigences essentielles : stabilité, économie et surtout continuité du service.

Les lignes et les câbles de distribution d'énergie électrique constituent une partie essentielle d'un réseau électrique qui doit assurer la continuité de l'alimentation en électricité aux consommateurs. Ces lignes sont souvent le siège des défauts qui peuvent interrompre la continuité de service et par conséquent engendrer des pertes financières surtout pour les industriels. Parmi les défauts les plus persistants on trouve la surtension, le court-circuit et les défauts de terre. Plusieurs types de protections ont été définis et adaptés pour chaque type de défaut. C'est la protection différentielle qui protège contre les défauts terre qui fait l'objet du présent travail. En outre ce travail concerne la simulation par Simulink/Matlab d'une protection différentielle à trois cycles de réenclenchement.

Ce mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre présente des généralités sur les réseaux électriques, la structure, les niveaux de tension selon en Algérie, les topologiques, et ainsi que les différents types de défauts pouvant affecter un réseau électrique.

Le deuxième chapitre a été consacré à la protection des réseaux électriques HTA, telles que la protection par relais à maximum de courant contre les défauts de court-circuit et la protection différentielle contre les défauts de terre. Egalement, les différents Eléments constitutifs d'un système de protection

Le troisième chapitre concerne la simulation par Simulink/Matlab des différents systèmes de protections à savoir la protection contre le court-circuit et la protection contre les défauts terre. En effet, nous allons insister sur la protection différentielle à trois cycles de réenclenchement.

Ce travail se termine par une conclusion générale dans laquelle on récapitule les principaux résultats obtenus.

1.1 Introduction :

Ce premier chapitre présente des notions générales sur les réseaux électriques, les types et natures de défauts, et les principaux éléments de protection des réseaux électriques.

1.2 Définition du réseau électrique :

Un réseau électrique est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs. Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble [1].

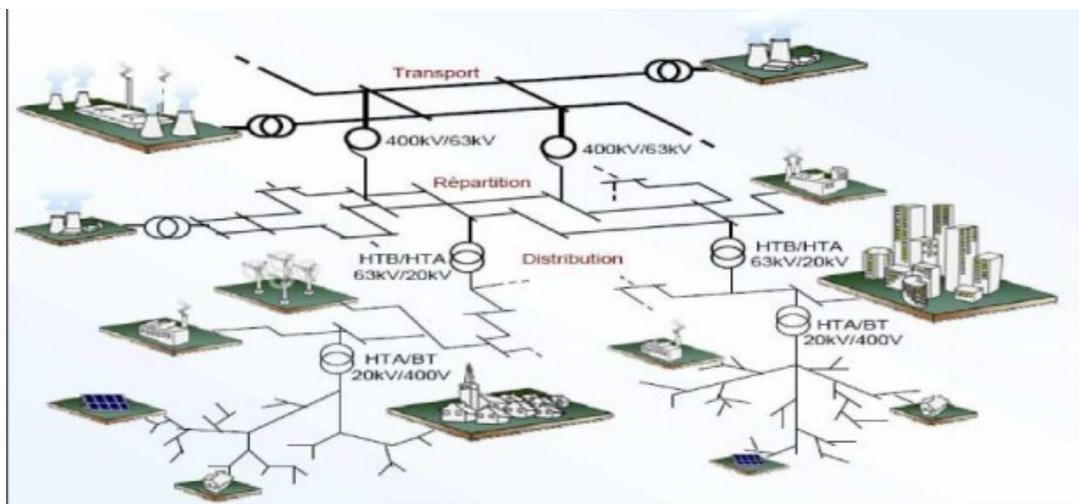


Figure 1.1 Le réseau électrique

Le réseau électrique peut se définir comme l'infrastructure permettant la mise en relation entre la production d'électricité et les usages finaux. Il permet d'acheminer l'énergie électrique, en étant la structure clé des systèmes électriques, c'est-à-dire des ensembles interconnectés production – transport/distribution – consommation. Ce réseau est principalement 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 de la production, transport et consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble [2].

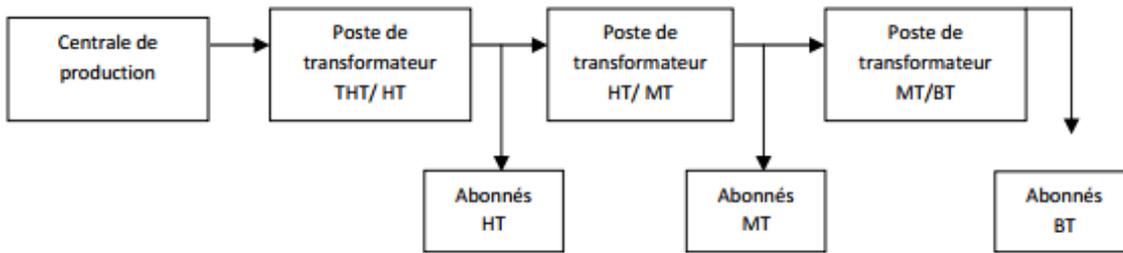


Figure 1.2 Schéma d'un réseau électrique

1.3 Structure générale des réseaux électriques :

De façon très générique, un réseau électrique est toujours dissocié en trois grandes parties production, transport et distribution[3]:

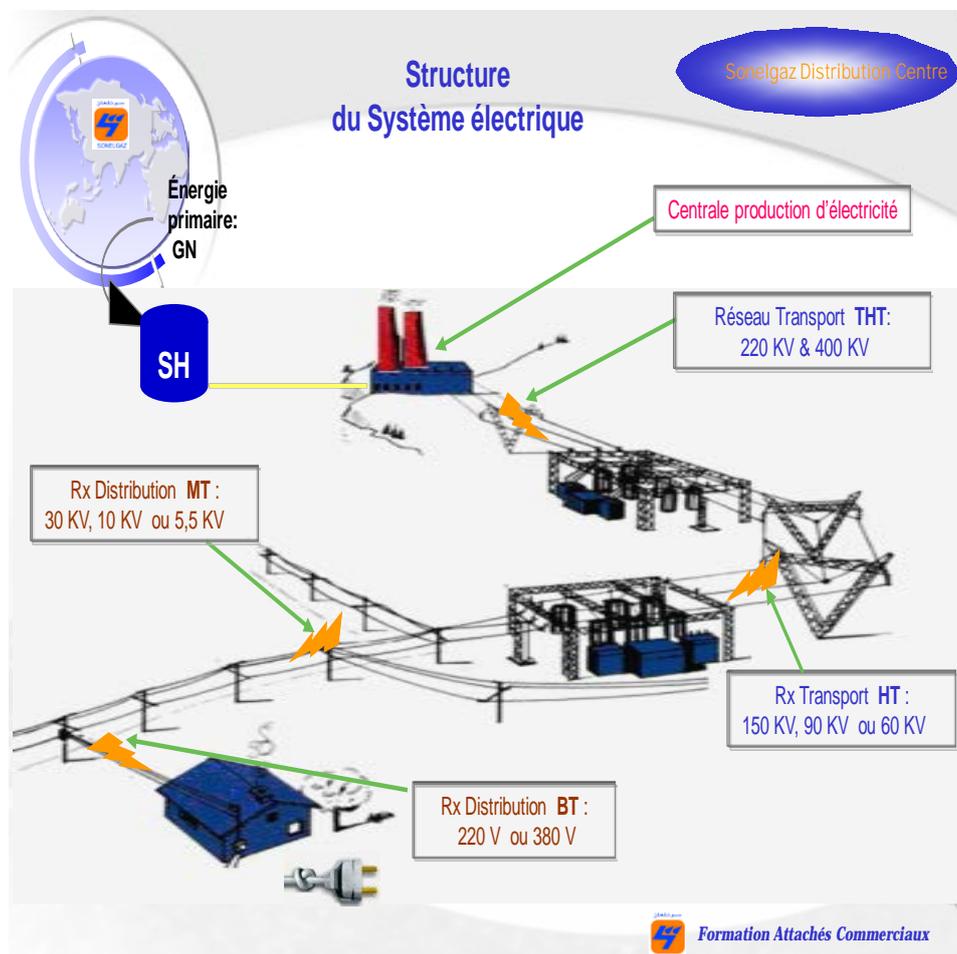


Figure 1.3 Schéma de structure de système électrique

1.3.1 Réseau de production :

Elle consiste en la génération de l'ensemble de la puissance active consommée par le réseau tout entier. En grande majorité, les tensions associées à cette production sont produites sous la forme de systèmes triphasés par l'intermédiaire d'alternateurs entraînés à partir de divers types de sources d'énergie dites « primaires » [3].

1.3.2 Réseau de transport d'interconnexion :

Un alternateur produit la puissance électrique sous moyenne tension (12 à 15 kV), et elle est injectée dans le réseau de transport à travers des postes de transformation pour être transmise sous haute ou très haute tension afin de réduire les pertes dans les lignes. Le niveau de la tension de transport varie selon les distances et les puissances transportées, plus les distances sont grandes plus la tension doit être élevée, la même chose pour la puissance. Par exemple, le réseau de transport en Algérie utilise une tension de 220 kV (voir 400 kV pour certaines lignes dans le sud notamment), le réseau européen utilise 400 kV, et le réseau nord-américain 735 KV[2].

Les réseaux d'interconnexions assurent la liaison entre les centres de production, et permettent des échanges entre différentes régions et même avec des pays voisins. Ces réseaux sont organisés de façon que toutes les lignes à THT soient reliées par des postes de transformations assurant la continuité entre les lignes de différents niveaux de tension [1].

1.3.2.1 Réseau de transport THT :

C'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation. C'est sur le réseau THT que sont en principe branchées les centrales de grandes puissances (> 300 MW). Les réseaux de transport constituent une vaste grille couvrant le territoire, à laquelle sont raccordées les sources et les utilisations (groupes, transformateurs). Chaque nœud constitue un « poste d'interconnexion ». Ce poste est en général constitué par un collecteur principal appelé « jeu de barres » sur lequel se raccordent les lignes, au moyen d'appareils. Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation, est assurée au niveau national par un centre de conduite ou dispatching à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence [3].

1.3.2.2 Réseau de transport HT :

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

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

La structure de ces réseaux est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Les protections sont de même nature que celles utilisées sur les réseaux de transport, les centres de conduite étant régionaux [3].

1.3.3 Réseaux de répartition :

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions. Ces réseaux comprennent les lignes de transport et les postes de transformation intermédiaires entre le réseau de transport et le réseau de distribution. Ce sont des réseaux haute tension, dont le rôle est de répartir l'énergie électrique au niveau régional. Ils peuvent être aériens ou souterrains [2].

1.3.4 Réseaux de distribution :

Ces réseaux alimentent un grand nombre d'utilisateurs, soit directement pour des puissances allant jusqu'à quelques MW, soit après transformation en basse tension, Il existe deux sous niveaux de tension [4].

1.3.4.1 Réseau de distribution HTA (01KV à50KV) :

Les lignes de distribution à moyenne tension (HTA) partent des postes de répartition et alimentent des postes de transformation répartis en différents endroits de la zone à desservir; Ces postes de transformation abaissent la tension à une valeur convenable pour alimenter le réseau de distribution publique auquel les abonnés sont raccordés par des branchements [5].

1.3.4.2 Réseau de distribution à basse tension (120V à 600V) :

C'est le réseau qui alimente la clientèle en basse tension (220V à380V), il peut être aérien ou souterrain. Contrairement aux réseaux de transport et de répartition, les réseaux de distribution présentent une grande diversité de solutions techniques à la fois selon les pays concernés, Ainsi que selon la densité de population [2].

1.4 Niveaux de tension selon en Algérie:

Les différentes tensions utilisées au sein de SONELGAZ sont [6] :

Tableau 1.1 Gamme de tension utilisée par Sonelgaz

Domaines de Tension		Valeur de la Tension Nominale (UN en Volts)	
		Courant Alternatif	Courant Continu
Très Basse Tension (TBT)		$UN \leq 50$	$UN \leq 120$
Basse Tension BT	BTA	$50 < UN \leq 500$	$120 < UN \leq 750$
	BTB	$500 < UN \leq 1000$	$750 < UN \leq 1500$
Haute Tension HT	HTA	$1000 < UN \leq 50000$	$1500 < UN \leq 75000$
	HTB	$UN > 50\ 000$	$UN > 75000$

1.5 Topologiques des réseaux électriques :

La structure topologique des réseaux électriques se présente comme suit [7]:

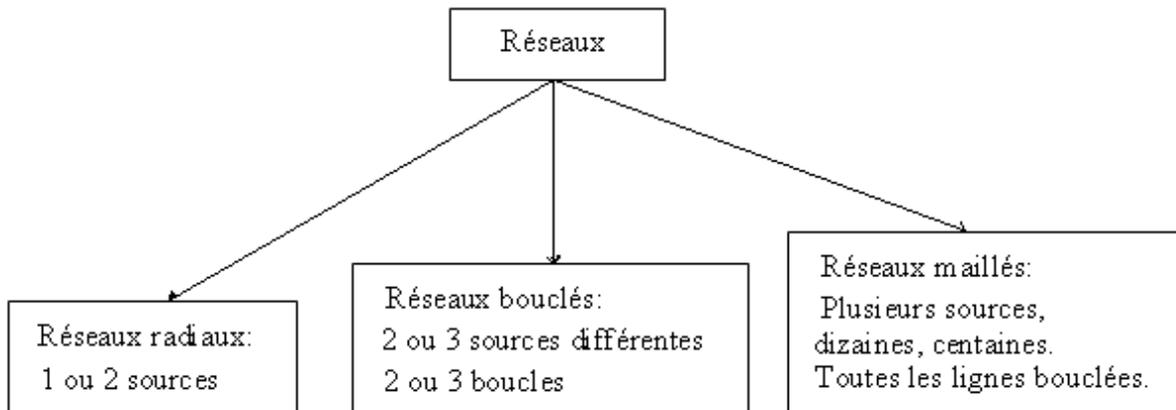


Figure 1.4 Structure topologique des réseaux

1.5.1 Réseaux maillés :

Sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées. Cette structure (figure 1.5) nécessite que tous les tronçons de lignes soient capables de surcharges permanentes, et qu'il soit muni, à leurs deux extrémités, d'appareils de coupure. On obtient ainsi la meilleure sécurité, mais au prix le plus élevé [7].

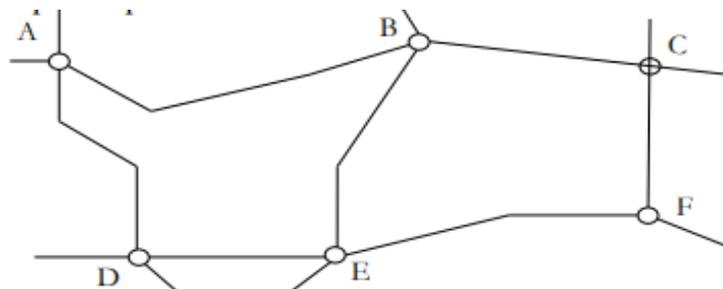


Figure 1.5 Exemple d'une structure d'un réseau maillé

1.5.2 Réseaux radiaux:

Sont, à partir d'un poste d'alimentation, constituées de plusieurs artères (figure 1.6). En pratique si l'on regarde une carte de tel réseau, on aperçoit des points communs. Mais ces réseaux sont en fait bouclables mais non bouclés car en ces points est toujours placé un appareil de coupure, ouvert en exploitation normale. Cette disposition, permet en cas d'incident sur une artère de reprendre l'alimentation de certaines dérivations par les artères voisines [7].



Figure 1.6 Exemple d'une structure d'un réseau radial.

1.5.2.1 Avantages des réseaux radiaux :

- Simple à gérer.
- Détection de défaut simple (facile).
- L'entretien n'est pas coûteux.

1.5.2.2 Inconvénients des réseaux radiaux :

- La continuité de service très faible (n'est pas bien assurée)

1.5.3 Réseaux bouclés :

Sont alimentés à la fois par plusieurs source (en général deux ou trois rarement plus). L'existence de plusieurs sources en parallèle (figure 1.7) augmente la sécurité d'alimentation, en cas d'avarie de l'une d'elles (transformateur) ou sur une boucle[7].

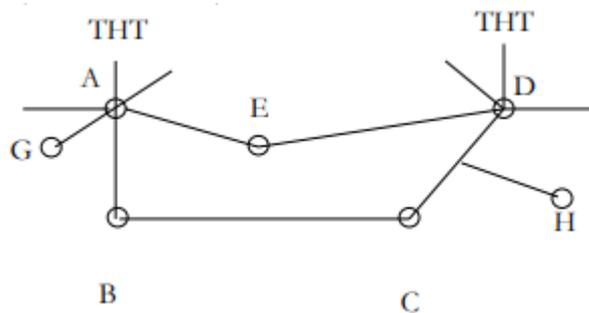


Figure 1.7 Exemple d'une structure d'un réseau bouclé

1.5.3.1 Avantages des réseaux bouclés :

- Grande continuité de service .
- Un bon rendement.
- Faible chute de tension.

1.5.3.2 Inconvénients des réseaux bouclés :

- Fort courant de court-circuit.
- Plus cher et plus difficile à exploiter.

1.6 Les défauts électriques :

1.6.1 Définition du défaut électrique:

On appelle un défaut, toute perturbation qui engendre des modifications des paramètres électriques d'un ouvrage, il est caractérisé par un phénomène non conforme au fonctionnement normal du réseau et pouvant dans certains cas conduire à un effondrement électrique de celui-ci et la mise en danger de son environnement [8].

1.6.2 Les différents types de défauts électriques:

Ils sont au nombre de 5 qu'il faudra éliminer du réseau à chaque fois qu'ils apparaissent sinon, ils seront en mesure de générer des conséquences graves sur le matériel et le personnel exploitant [3] .

- les surtensions.
- les surcharges.
- les oscillations.
- les déséquilibres.
- les courts-circuits.

1.6.2.1 Les Surcharges :

Le courant de surcharge est une surintensité de nature progressive qui se produit dans un circuit sain suite à une augmentation de la charge . Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont [3] :

- Relais thermiques.
- Fusibles.

- **Causes des surcharges :**

- Court-circuit.
- Couplages difficiles (fermeture de longues boucles d'interconnexion).
- Pointes de consommation ou de transit d'énergie.
- Report de charge suite à la coupure d'une liaison en parallèle.

- **Conséquences des surcharges :**

- Surcharges violentes mais brèves.
- Surcharges faibles mais durables.

1.6.2.2 Les surtensions :

Une surtension est toute tension entre un conducteur de phase et la terre, ou entre conducteurs de phase, dont la valeur de crête dépasse la valeur de crête correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel.[3] .

Une surtension est dite de mode différentiel si elle apparaît entre conducteurs de phase ou entre circuits différents. Elle est dite de mode commun si elle apparaît entre un conducteur de phase et la masse ou la terre [3] .

Les surtensions peuvent être d'origine externe ou d'origine interne [3]:

- Surtension interne.
- Surtension externe

Les conséquences peuvent être très diverses suivant la nature des surtensions, leur amplitude et leur durée. Elles sont résumées dans ce qui suit [3] :

- Claquage du diélectrique isolant des équipements dans le cas où la surtension dépasse leur tenue spécifiée.
- Dégradation du matériel par vieillissement, causé par des surtensions non des tractives mais répétées.
- Contraintes électrodynamiques (destruction ou déformation de matériel) et thermiques (fusion d'éléments, incendie, explosion) causées essentiellement par les chocs de foudre danger pour l'homme et les animaux suite aux élévations de potentiel et à l'apparition de tensions de pas et de toucher.

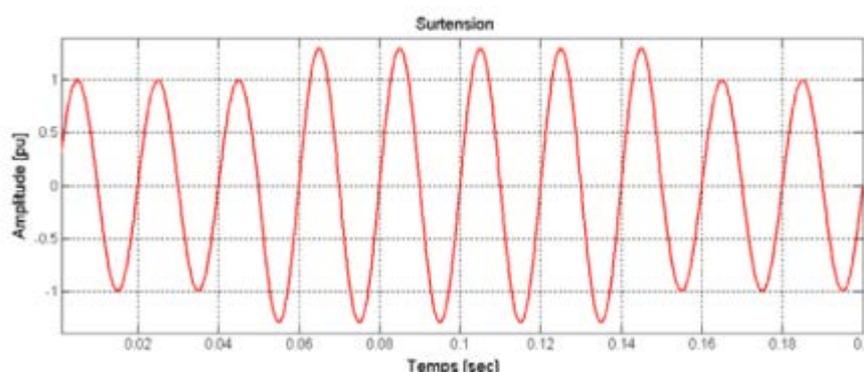


Figure 1.8 Exemple de surtension.

1.6.2.3 Les oscillations :

Elles apparaissent lorsque les alternateurs subissent des variations de charge, perdant ainsi leur synchronisme avec le réseau, ou lors de faux couplages dans les postes de transformations.

- **Conséquences des oscillations :**

Surintensités et baisses de tension périodiques, les lampes clignotent, les moteurs subissent des variations de vitesses.

1.6.2.4 Les déséquilibres :

On appelle déséquilibre sur une ligne ou dans une installation triphasée la différence entre les trois courants des phases. Généralement, il est limité au réseau BT à cause des clients alimentés en deux fils. Le taux de déséquilibre ne doit pas dépasser 15%. Ce déséquilibre crée un champ inverse au champ tournant au niveau de l'alternateur, ce qui nécessite de surveiller le déséquilibre à cause du couple freinant qu'il peut engendrer [3].

- **Causes des déséquilibres :**

Le plus souvent coupure d'une phase :

- Enclenchement ou déclenchement d'un sectionneur ou d'un disjoncteur défectueux, (Bretelle pendante).
- Coupure conducteur sans court-circuit.

- **Conséquences des déséquilibres :**

- Déséquilibre des tensions distribuées.
- Déséquilibre des courants.

1.6.2.5 Les courts-circuits :

- **Définition du court-circuit :**

Un court-circuit c'est la disparition intempestive de l'isolement de deux corps conducteurs soumis à des potentiels différents et reliés à la même source.

Le court-circuit : On peut définir les court-circuit d'après trois caractéristiques principales [8] :

- **Origines des courts-circuits:**

Elle peut être mécanique : rupture de conducteurs, liaison accidentelle entre deux conducteurs par un corps étranger tel qu'outils ou animaux.

Elle peut être électrique : suite à la dégradation de l'isolement entre phases, ou entre phase et masse ou terre, ou suite à des surtensions d'origine interne (manœuvre) ou atmosphérique (coup de foudre).

Elle peut provenir d'une erreur d'exploitation : mise à la terre d'une phase, couplage entre deux sources de tension différentes ou de phases différentes, fermeture par erreur d'un appareil de

coupure [8] .

- **Localisation des courts-circuits :**

Le court-circuit peut être interne à un matériel (câble, transfo, tableau ...), il entraîne généralement des détériorations [8].

Le court-circuit peut être externe à un matériel (câble, transfo, moteur, tableau ...) les conséquences sont limitées à des perturbations pouvant entraîner à plus au moins longue échéance des détériorations dans le matériel considéré, et conduire ainsi à un défaut interne [8] .

- **Durées des courts circuits :**

- Courts-circuits fugitifs : les courts-circuits fugitifs nécessitent une coupure très brève du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dixièmes de seconde).

- Courts-circuits permanents : Ces courts-circuits provoquent un déclenchement définitif qui nécessite l'intervention du personnel d'exploitation pour la localisation du défaut et remise en service de la partie saine.

- Courts-circuits auto-extincteurs : C'est ceux qui disparaissent spontanément en des temps très courts sans provoquer de discontinuités dans la fourniture d'énergie électrique.

- Courts-circuits semi permanents : Ces court-circuit exigent de disparaître une ou plusieurs coupures relativement à longueur du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dizaines de secondes) sans nécessité d'intervention du personnel d'exploitation [5].

- **Causes des courts circuits :**

Un court-circuit peut apparaitre de deux manières différentes :

Par contact direct :

- Contact entre deux conducteurs lors des balancements (Vents violents).

- Chute d'un corps étranger sur la ligne aérienne.

Par contact indirect :

- Casse d'un isolateur.

- Claquage de l'huile isolante d'un transformateur.

- **Caractérisation des courts-circuits :**

Plusieurs types de court-circuit peuvent se produire dans un réseau électrique :

- Court-circuit monophasé terre : il correspond à un défaut entre une phase et la terre ; il est le plus fréquent (figure 1.9).

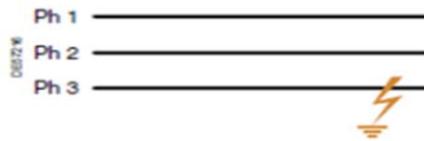


Figure 1.9 Court-circuit monophasé terre

➤ Court-circuit biphasé isolé : il correspond à un défaut entre deux phases sous tension composée. Le courant résultant est plus faible que dans le cas du défaut triphasé, sauf lorsqu'il se situe à proximité immédiate d'un générateur (figure 1.10).

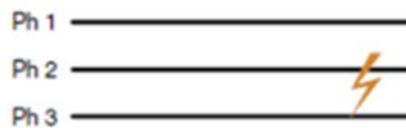


Figure 1.10 Court-circuit biphasé isolé

➤ Court-circuit biphasé terre : il correspond à un défaut entre deux phases et la terre (figure 1.11).

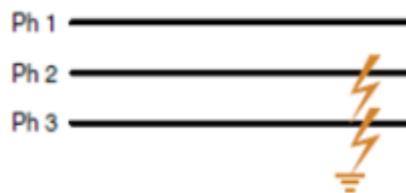


Figure 1.11 Court-circuit biphasé terre

➤ Court-circuit triphasé : il correspond à la réunion des trois phases ; il est celui provoquant généralement les courants les plus élevés (figure 1.12).

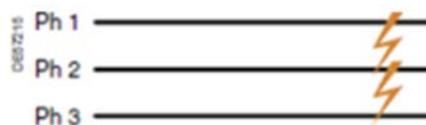


Figure 1.12 Court-circuit triphasé

• **Natures des courts-circuits :**

➤ Fugitif : On dit que c'est un DR (Déclenchement – Ré enclenchement). Il n'y a pas d'avarie matériel . Dès la coupure du courant, l'arc formé disparaît. A la fermeture du circuit, le défaut n'existe plus.

Durée maximale : 0,2 Seconde

➤ Semi-permanent : C'est un défaut fugitif qui se répète plusieurs fois, particulièrement lors des balancements de conducteurs ou de branches d'arbres près d'une ligne pendant les tempêtes de vents.

Durée maximale : 15 Secondes

➤ Permanent : Il y a avarie du matériel :

- Isolateur cassé.
- Conducteur tombé à terre.
- Avarie Transformateur.
- Support tombé à terre.
- Claquage d'un câble souterrain.

Nécessité de l'intervention de l'exploitant pour dépannage et réparation définitive.

• **Conséquences des courts-circuits :**

- Chute de tension ou Absence totale de tension.
- Surintensité considérable.

1.7 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce premier chapitre des généralités sur les réseaux électriques, la structure des réseaux électriques, les niveaux de tension utilisés en Algérie, et nous avons déployé les différents types de défauts pouvant affecter un réseau électrique.

2.1 Introduction :

Les défauts provoquent des perturbations affectant le bon fonctionnement des réseaux électriques et la qualité d'alimentation de la clientèle. Le système de protection protège les réseaux contre les effets de ces défauts. Un défaut est une situation anormale, dans la majorité de cas c'est un court-circuit. Le but du système de protection est de protéger les personnes et de limiter les dégâts d'équipements en isolant l'ouvrage en défaut du reste du réseau avec un grand degré de fiabilité et le plus vite possible.

Ce chapitre définit la protection, les concepts de bases d'un système de protection ainsi que les éléments de protection [9].

2.2 Définition de la protection :

Les dispositifs de protection surveillent en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau et provoquent leur mise hors tension (par exemple l'ouverture d'un disjoncteur), lorsque ces éléments sont le siège d'une perturbation indésirable : court-circuit, défaut d'isolement... La Commission électrotechnique 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. Les protections électriques mettent en œuvre différents éléments : des capteurs, des relais, des automates et des disjoncteurs. Elles fonctionnent typiquement en l'espace de quelques centaines de millisecondes. Chaque composant du réseau nécessite des types de protections spécifiques [10].

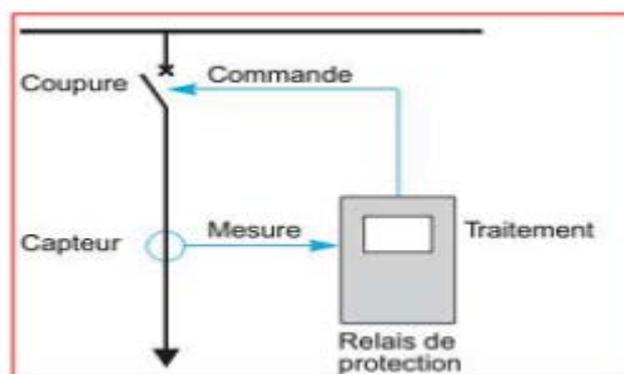


Figure 2.1 Chaîne de protection .

2.3 Objectifs de la protection du réseau électrique :

Participer à la protection des personnes contre les dangers électriques [11]:

- Eviter les détériorations de matériel (un court-circuit triphasé sur un jeu de barres moyenne tension peut faire fondre jusqu'à 50 kg de cuivre en 1 seconde, la température de l'arc peut dépasser en son centre 10000 °C) .
- Limiter les contraintes thermiques, diélectriques et mécaniques auxquelles sont soumis ces matériels.
- Préserver la stabilité et la continuité de service du réseau .
- Protéger les installations voisines (par exemple, réduire les tensions induites dans les circuits proches).

2.4 Fonctions de protection :

En générale pour protéger une installation, il faut [9] :

- Surveiller le fonctionnement du réseau.
- Détecte tout état de dysfonctionnement.

2.5 Systèmes de protection :

Le fondamentale d'un système de protection dans un réseau électrique, est de détecter les défauts possibles et mettre hors tension la protection des réseaux affecté par le défaut. Quel que soit la technologie, le système de protection est composé de trois parties fondamentales [9].

- Un système de relais de protection (Relais).
- Un appareillage de coupure (un ou plusieurs disjoncteurs).

Des capteurs ou réducteurs de mesure qui abaissent les valeurs à surveiller à des niveaux utilisables par les protections [9].

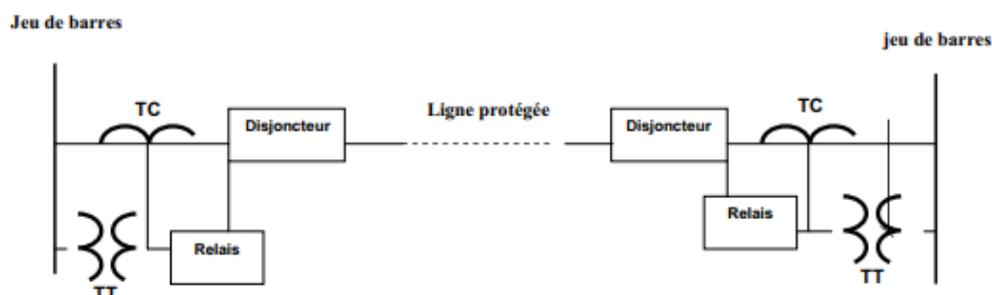


Figure 2.2 Constitution d'un système de protection

2.6 Qualités principales d'un système de protection :

2.6.1 Rapidité :

Les défauts sont des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement est des performances prioritaires. Le temps d'élimination des courts-circuits comprend deux composantes principales [12] :

- 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.

2.6.2 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 [13] :

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

2.6.2.1 Sélectivité ampèremétrique :

Une protection ampère métrique (Figure 2.3) est disposée au départ de chaque tronçon : son seuil est réglé à une valeur inférieure à la valeur de défaut minimal provoqué par un court-circuit sur la section surveillée, et supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un court-circuit situé en aval (au-delà de la zone surveillée) [13].

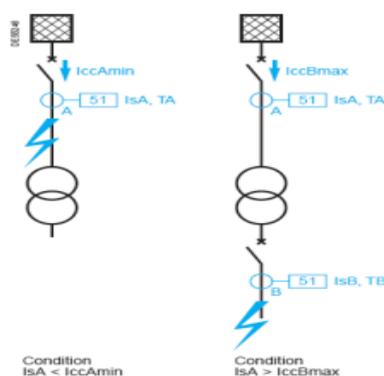


Figure 2.3 Fonctionnement d'une sélectivité ampèremétrique

Ainsi réglée, chaque protection ne fonctionne que pour le court-circuit situés immédiatement en aval de sa position, à l'intérieur de la zone surveillée, elle est insensible aux courts-circuits apparaissant au-delà [13].

2.6.2.2 Sélectivité chronométrique :

Sélectivité dans laquelle les protections sollicitées sont organisées pour fonctionner de manière décalée dans le temps. La protection la plus proche de la source a la temporisation la plus longue. Ainsi, sur le schéma (Figure 2.4), 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, revient à leur position de veille.

La différence des temps de fonctionnement ΔT entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité [13].

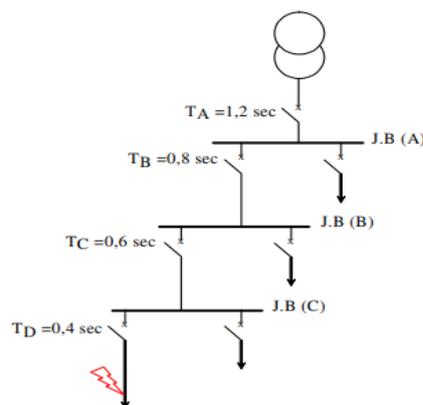


Figure 2.4 Principe de la sélectivité chronométrique.

2.6.3 Sensibilité :

La protection doit fonctionner dans un domaine très étendu de courants de court-circuit 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 [13] .

2.6.4 Fiabilité :

La fiabilité d’une protection, est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement incorrect c.-à-d. évité les déclenchements intempestifs, est une combinaison entre sûreté et sécurité. La sûreté est la probabilité de ne pas avoir de défaut de fonctionnement. Tandis que la sécurité est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement intempestif [12].

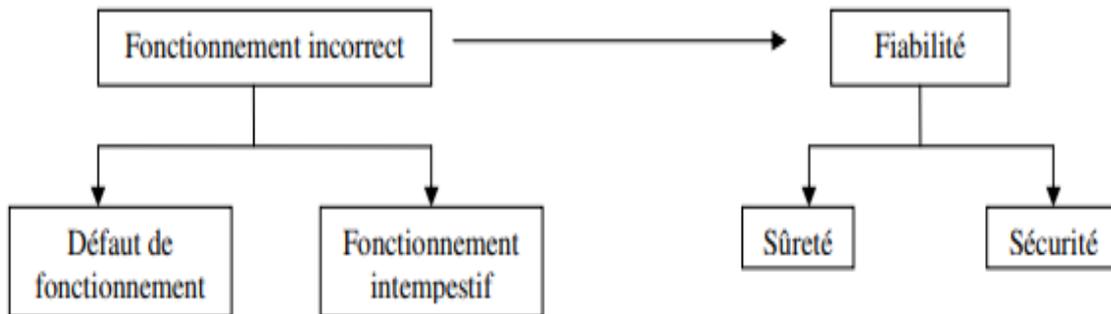


Figure 2.5 Fiabilité d’une protection.

On peut améliorer la fiabilité en associant plusieurs protections, mais, comme on peut le voir sur la figure sûreté et sécurité sont deux exigences contradictoires



a) Association en série :

b) Association en parallèle :

Sécurité augmente, Sûreté moindre

Sécurité moindre, Sûreté augmente.

2.7 Eléments constitutifs d’un système de protection :

2.7.1 Réducteurs de mesure :

Les dispositifs de protection ou de mesure nécessitent de recevoir des informations sur les grandeurs électriques du matériel à protéger. Pour des raisons techniques, économiques et de sécurité, ces informations ne peuvent pas être obtenues directement sur l’alimentation haute tension des matériels ; il est nécessaire d’utiliser des dispositifs intermédiaires dénommés réducteurs de mesure ou capteurs. Ces dispositifs sont choisis parmi les courants ou les tensions [14] .

2.7.1.1 Transformateur de courant :

Du point de vue électrique, les TC (Figure2.6) ont plusieurs rôles [15] :

- Délivrer à leur secondaire une image fidèle de l’intensité qui circule dans la ligne concernée.
- Assurer l’isolement galvanique entre la ligne et les circuits de mesure et de protection.

- Protéger les circuits de mesure et de protection de toute détérioration lorsqu'un défaut survient sur la ligne.

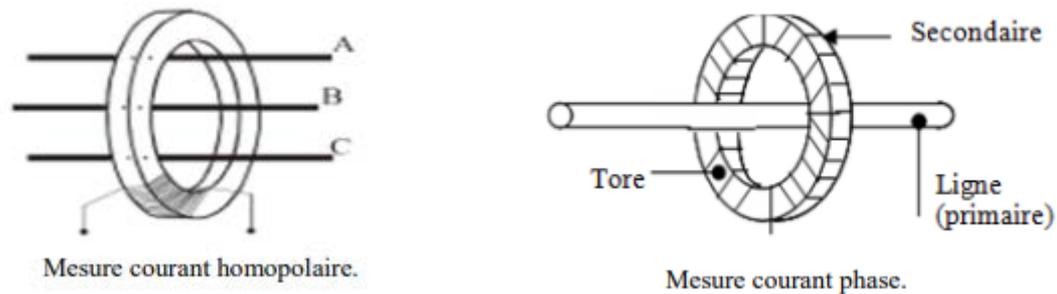


Figure. 2.6 Transformateur de courant type tore.

Les transformateurs de courant utilisés permettent de réduire le niveau des courant de milliers d'Ampères vers des sorties standards de 5A ou 1A. Durant le défaut, le niveau du courant du transformateur augmente qui rend leur choix critique pour un fonctionnement correct du relais. Avec cette image de l'intensité, le relais élabore à son tour un ordre de déclenchement en fonction du type de protection qu'il réalise et des valeurs auxquelles il a été pré-réglé (seuil, temporisation). Cet ordre est transmis à un ou plusieurs appareils de coupure (disjoncteur, contacteur, interrupteur). Suivant le type de protection à réaliser, les TC sont associés et utilisés selon des schémas différents, ils peuvent être isolés ou intégrés dans le disjoncteur [15].

2.7.1.2 Transformateur de tension TT ou TP

Le transformateur de potentiel peut être utilisé pour la transformation de la tension d'une valeur supérieure à une valeur inférieure. Ce transformateur abaisse la tension jusqu'à une valeur limite sûre qui peut être facilement mesurée par un instrument ordinaire à basse tension. Les transformateurs de tension ont le même principe que les transformateurs de puissance, mais les tensions primaires et les tensions secondaires sont en phase. Ils permettent de mesurer une tension du domaine de la H.T avec une bonne précision et sans intervention sur l'installation haute tension. L'isolation galvanique réalisée par le transformateur isole et sécurise l'utilisateur et le matériel car la tension recueillie aux bornes du secondaire appartient au domaine B.T. Le transformateur de potentiel est fabriqué avec noyau de haute qualité fonctionnant à faible densité de flux, de sorte que le courant magnétisant est faible. La borne du transformateur doit être conçue de manière à ce que la variation du rapport de tension avec la charge soit minimale et que le déphasage entre la tension d'entrée et la tension de sortie soit également minimal. L'enroulement primaire a un grand nombre de tours, et l'enroulement secondaire a un nombre de tours beaucoup plus petit. Pour réduire la réactance de fuite, l'enroulement coaxial est utilisé dans le transformateur de potentiel [16].

Le transformateur de potentiel est principalement classé en deux types, à savoir les types classiques à enroulement (types électromagnétiques) (Figure 2.7) et les transformateurs de potentiel à condensateur (Figure 2.8). Transformateur conventionnel du type à enroulement est très cher en raison des exigences d'isolation. Le transformateur de potentiel à condensateur est une combinaison d'un diviseur de potentiel à condensateur et d'un transformateur de potentiel magnétique de rapport relativement petit [16].



Figure 2.7 Transformateur de tension nominale 150 kV.

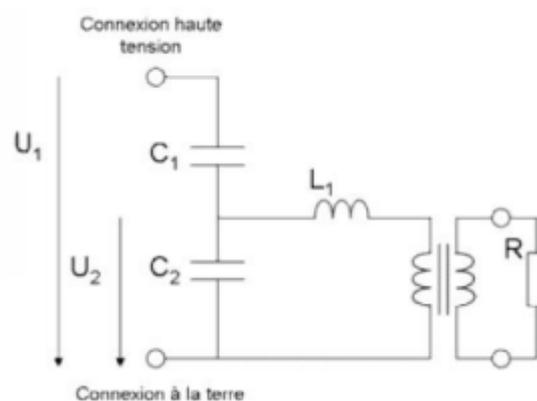


Figure 2.8 Schéma équivalent d'un transformateur capacitif de tension.

2.7.1.3 Disjoncteur :

Un disjoncteur est un organe électromécanique, voir électronique, de protection, dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court circuit dans une installation. Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique. Sa principale caractéristique par rapport au fusible st qu'il est réarmable (il est prévu pour ne subir aucune avarie lors de son fonctionnement) [17] .

2.7.2 Relais de protection :

Un relais de protection est un dispositif automatique donnant un ordre de déclenchement d'un organe de coupure, disjoncteur ou contacteur, pour la mise hors tension d'un circuit, lorsque l'état de la ou les grandeurs électriques qui l'alimentent, franchit les seuils déterminés, principalement en valeur et en temps [14] .

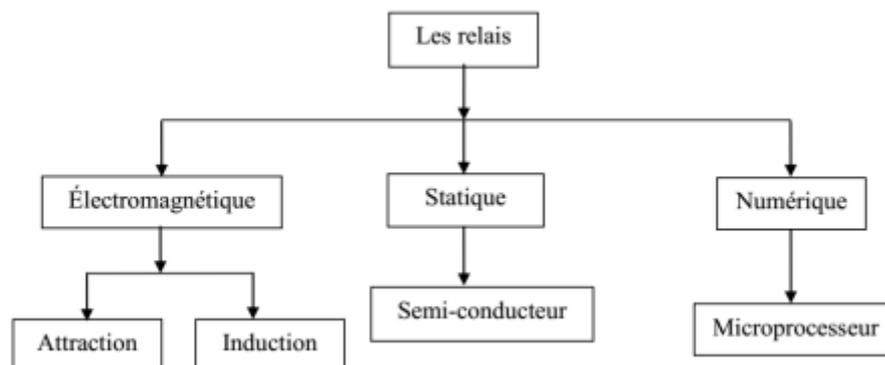


Figure 2.9 Type des relais.

2.7.2.1 Relais directionnel :

Ce type de relais apparaît aujourd'hui comme une excellente opportunité pour améliorer à la fois la puissance transitée sur un réseau et la qualité de service. Le concept direction est très important dans plusieurs applications des relais de protection. Ce type de protection fonctionne à partir du courant, de la tension et du sens de l'écoulement de l'énergie. Il agit lorsque simultanément le courant ou la puissance dépasse un seuil et que l'énergie se propage dans une direction prédéfinie. Les protections directionnelles sont utiles sur tout élément du réseau où le sens d'écoulement de l'énergie est susceptible de changer, notamment lors d'un court circuit entre phases et/ou d'un défaut à la terre (défaut monophasé). Les protections directionnelles sont un moyen complémentaire aux protections à maximum de courant, permettant d'assurer une bonne isolation de la portion du réseau en défaut [18] .

2.7.2.2 Relais différentiel :

La protection différentielle est un principe commun de protection pour les transformateurs, moteurs, et générateurs. Elle mesure la différence de courant entre deux TC branchés l'un en aval, l'autre en amont d'une partie du réseau à surveiller (un moteur, un transformateur, un jeu de barres) pour détecter et isoler rapidement tout défaut interne à cette partie. Elle est basée sur la comparaison du courant d'entrée et de sortie d'un élément, si la comparaison indique la présence d'une différence cela veut dire la présence d'un défaut et le relais doit agir. La différence mesurée doit être significative pour qu'elle soit attribuée à un défaut [18].

2.7.2.3 Relais à maximum de courant :

Les relais à maximum de courant offrent une plus simple forme de protection pour les lignes de transport. Ces relais mesurent le courant qui circule dans la ligne à protéger et compare ce courant à un courant de réglage appelé le courant de seuil, si ce courant mesuré dépasse la valeur seuil, le relais donne l'ordre au disjoncteur local pour ouvrir le circuit et isole la section en défaut. La protection à maximum de courant dans les lignes de transport peut être divisée en deux catégories : protection à maximum de courant non directionnelle et protection à maximum de courant directionnelle. 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 [18].

2.7.3 Principes de fonctionnement des relais de protection

Tous les paramètres d'un réseau électrique peuvent être utilisés pour sa surveillance et la détection de défauts. Il s'agit le plus souvent de mesure du courant et de la tension du réseau. En général, quand un défaut de court-circuit se produit le courant augmente et la tension baisse. A travers la variation de ces deux grandeurs, d'autres paramètres varient également et on obtient des mesures de paramètres plus complexes [19].

- Déphasage par comparaison des phases.
- Puissance apparente en effectuant le produit du courant par la tension.
- Puissances active et réactive à partir de la puissance apparente et du déphasage.
- Impédance en effectuant le quotient de la tension par le courant.
- Composante homopolaire par addition et composante inverse par des circuits déphaseurs

Le principe de fonctionnement d'un relais est basé sur la détection de ces variations à l'intérieur de sa zone de protection. Les relais sont caractérisés par leurs grandeurs d'entrée auxquelles ils répondent. [19].

2.8 Différents types de protections :

2.8.1 Protection à maximum de courant phase

Elle a pour fonction de détecter les surintensités monophasées, biphasées ou triphasées. La protection est activée si un, deux ou trois des courants concernés dépassent la consigne correspondant au seuil de réglage. Cette protection peut être temporisée, dans ce cas elle ne sera activée que si le courant contrôlé dépasse le seuil de réglage pendant un temps au moins égal à la temporisation sélectionnée. Cette temporisation peut être à temps indépendant ou à temps dépendant [20].

2.8.1.1 Protection à temps indépendant :

La temporisation est constante, elle est indépendante de la valeur du courant mesuré (Figure 2.10). Le seuil de courant et la temporisation sont généralement réglables par l'utilisateur [20].

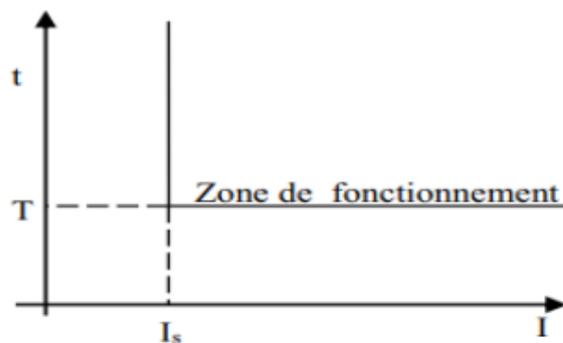


Figure 2.10 Protection à temps indépendant.

I_s : seuil de fonctionnement en courant (seuil de courant)

T : retard de fonctionnement de la protection (temporisation)

2.8.1.2 Protection à temps dépendant

La temporisation dépend du rapport entre le courant mesuré et le seuil de fonctionnement. Plus le courant est élevé et plus la temporisation est faible (Figure 2.11) [20].



Figure 2.11 Protection à temps dépendant .

I_s : seuil de fonctionnement en courant correspondant à l'asymptote verticale de la courbe.

T : temporisation pour $10 I_s$

2.8.2 Protection à maximum de courant terre

Elle est utilisée pour détecter les défauts à la terre. La protection est activée si le courant résiduel défini par dépasse le seuil de réglage pendant une durée égale à la temporisation choisie. En l'absence de défaut à la terre, la somme des trois phases est toujours nulle. Le courant résiduel donne la mesure du courant passant par la terre lors d'un défaut [20] .

$$I_{rsd} = I_1 + I_2 + I_3 \quad (2.1)$$

2.8.2.1 Mesure du courant résiduel

Deux méthodes pour mesurer un courant résiduel [20]:

- par un seul transformateur (figure 2.12) de courant de type tore enserrant les trois conducteurs de phases. Les spires du secondaire du transformateur de courant embrassent
- un flux magnétique $\Phi_{rsd} = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3$

Φ_2 et Φ_3 sont proportionnelles aux courants de phases I_1 , I_2 et I_3 respectivement. Φ_{rsd} est alors proportionnelle au courant résiduel.

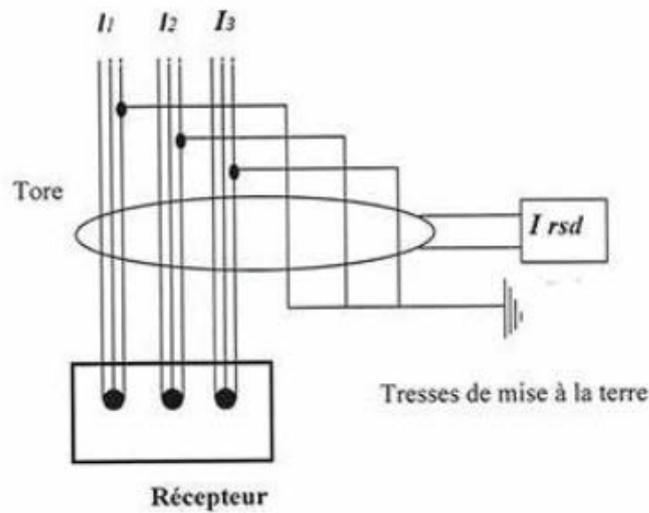


Figure 2.12 Mesure du courant résiduel par un tore.

➤ par trois transformateurs de courant, comme montre la figure :

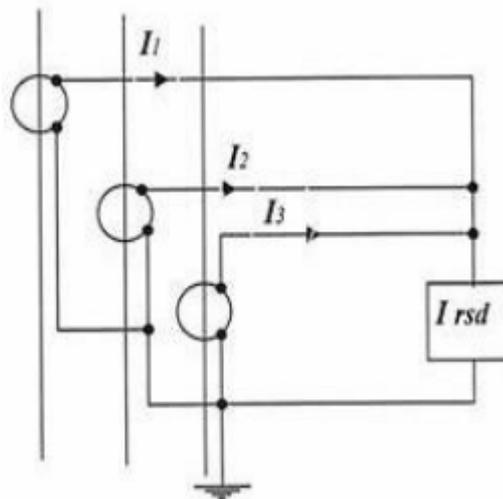


Figure 2.13 Mesure du courant résiduel par trois transformateurs de courant.

2.8.3 Protection à maximum de courant phase directionnel :

Elle possède une fonction à maximum de courant phase définie associée à une détection du sens du courant. Pour analyser son fonctionnement, nous allons montrer un exemple d'utilisation de cette protection. Considérons un jeu de barres alimenté par deux sources (figure 2.14) [20].

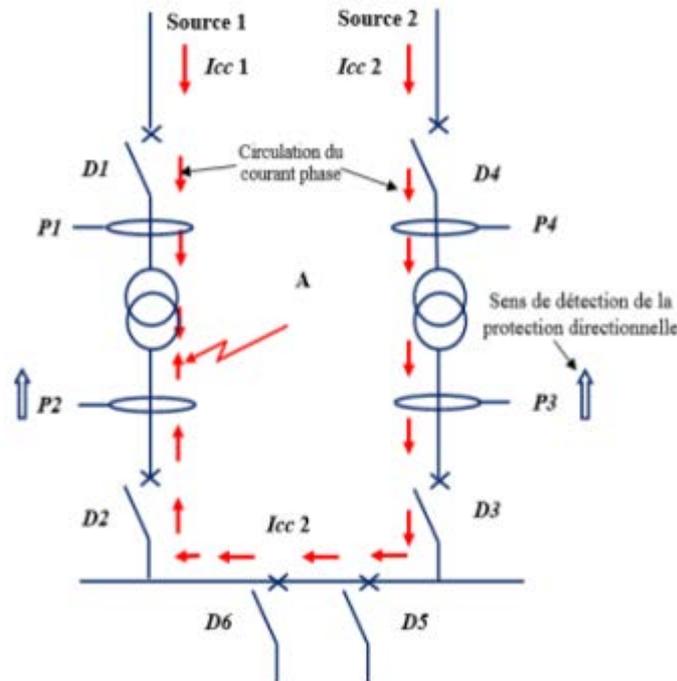


Figure 2.14 jeu de barres alimenté par deux sources.

- Circulation du courant de court-circuit.
- ↑ Sens de détection de la protection directionnelle.
- P1, P4 : protection à maximum de courant phase.
- P2, P3 : protection à maximum de courant phase directionnel.

I_{cc1} : courant de court-circuit alimenté par source 1.

I_{cc2} : courant de court-circuit alimenté par source 2.

Lors d'un défaut en A, les deux courants de court-circuit I_{cc1} et I_{cc2} s'établissent simultanément .

Les quatre protections P 1, P 4, P 2 et P 3 sont traversées par un courant de court- circuit. Pour éliminer le défaut sans coupure l'alimentation seuls les disjoncteurs D1 et D2 doivent déclencher. Pour y parvenir, on installe des protections à maximum de courant phase directionnelle en P2 et P3. Le système de protection se comporte alors de la façon suivante [20]:

- P3 n'est pas activée car elle est traversée par un courant circulant dans un sens opposé son sens de détection.
- P2 est activée car elle est traversée par un courant circulant dans le sens de sa détection. Elle provoque le déclenchement du disjoncteur D2.

- Ensuite déclenchement de D1.
- P4 n'est activée car elle est temporisée.
- Le tronçon en défaut est donc isolé.

On dit que la protection détecte le sens du courant, mais en réalité, elle détecte le signe de la puissance active [20] .

2.8.4 Protection différentielle transformateur

La protection différentielle transformateur est pour but de protéger cette machine contre les défauts d'origine interne tels que les courts circuits entre spires de la même phase ou court circuits entre phases ou encore entre phase et masse, le principe de fonctionnement de cette protection est donné par la figure sous dessous. Afin d'éviter les déclenchements intempestifs causés par les forts courants dus aux défauts d'origine externe hors de la zone protéger, cette protection est à pourcentage [20] .

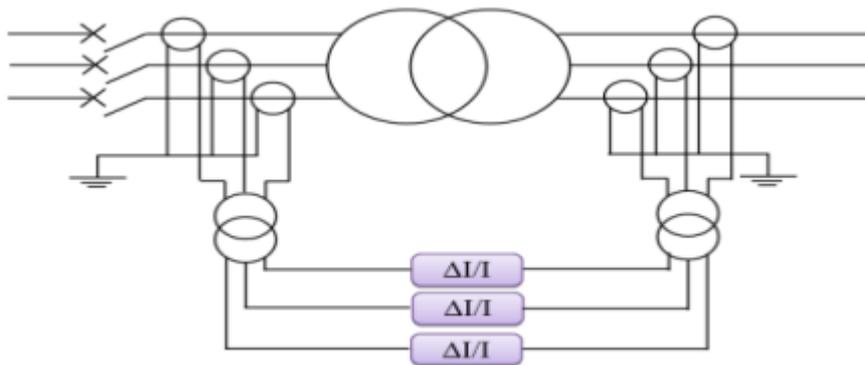


Figure 2.15 Schéma de principe de la protection différentielle transformateur.

2.8.5 Protection à maximum de tension :

Elle est utilisée pour les récepteurs contre une tension plus élevée que la tension nominale de service, la protection est activée lorsque la tension composée aux moins d'une phase est plus élevée au seuil de réglage pour une temporisation généralement constante.

Généralement le réglage se fait pour un seuil de tension supérieure à 1,1 un pour une durée de 1s, cependant cette dernière dépend du système de sélectivité employé entre les autres protections. Le contrôle de tension est surveillé par l'utilisation des transformateurs sa tension déjà étudié aux paragraphes précédent [20] .

2.8.6 Protection à minimum de tension :

Elle a pour but de protéger les installation industrielles ,les câbles et les lignes de transmission contre les surcharges causées par la diminution de tension, pour les moteurs électrique les conséquence sont plus graves notamment à l'instant de démarrage des moteurs asynchrones de fortes puissance car une

diminution de tension entraîne une diminution importante du couple de démarrage cela va entraîner un échauffement excessif de la machine accompagné par un freinage du rotor jusqu'à le calage et la machine est trouvée en court-circuit [20].

2.9 Les cycles de ré-enclenchement :

La fonction de ré-enclenchement permet d'exécuter jusqu'à quatre cycles de réenclenchement tripolaires successifs, chacun des cycles disposant d'un réglage distinct pour le temps mort, ce qui permet de réaliser des ré-enclenchements rapides ou lents (Figure 2.16). En cas de ré-enclenchement monophasé, le premier cycle sera un cycle monophasé/triphasé, les cycles suivants seront triphasés. La fonction de ré-enclenchement peut être activée plusieurs fois dans la même liste de réglage. Cette fonction contient aussi une logique additionnelle qui permet de réaliser des fonctions supplémentaires selon les spécifications du client. Ces deux facteurs ont été pris en compte au cours de la réalisation de la fonction de ré-enclenchement standard suisse. Deux fonctions de ré-enclenchement ont donc été chargées: la première fonction, avec une logique additionnelle, sert au ré-enclenchement rapide alors que la deuxième fonction effectue le ré-enclenchement lent [21].

La fonction de ré-enclenchement intégrée dans l'équipement pour lignes à haute tension est utilisée sur des lignes dépourvues d'une protection redondante locale (pas de deuxième protection principale). Lorsque deux protections principales sont prévues sur la ligne, une unité séparée permet de réaliser la fonction de ré-enclenchement. Cette dernière unité permet de raccorder à un seul système de ré-enclenchement toutes les protections de ligne modernes, prévues pour des cycles monophasés [21].

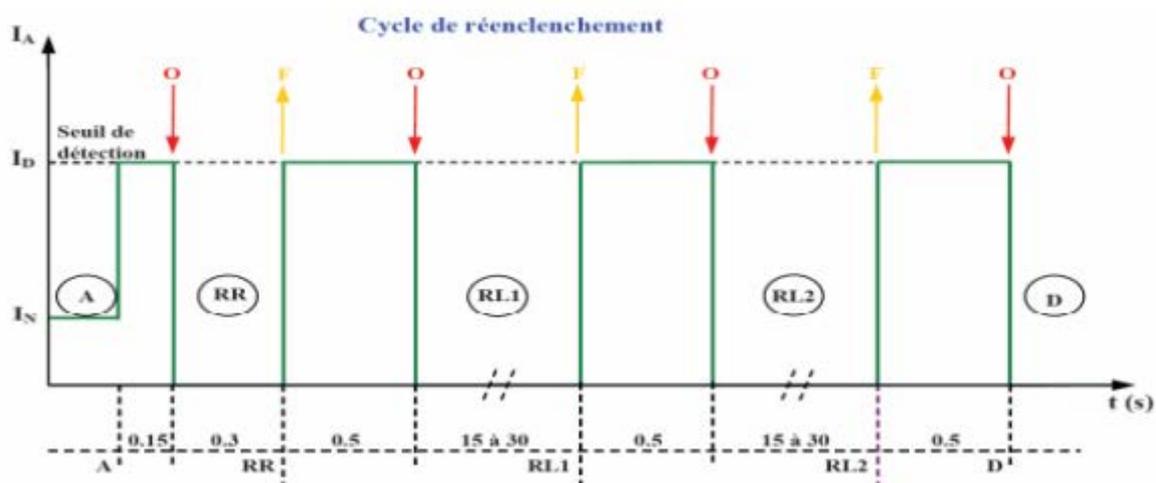


Figure 2.16 Diagramme des cycles de ré-enclenchement

- A : Apparition d'un courant de défaut sur le départ.
- D : Déclenchement définitif.
- F : Fermeture du disjoncteur .
- O: Ouverture du disjoncteur.
- RL : Ré-enclenchement lent (lent 1 et lent 2).
- RR : Ré-enclenchement rapide.

2.10 Principe du disjoncteur à ré-enclenchement :

Les disjoncteurs à ré-enclenchement sont utilisés sur des lignes aériennes ou dans des postes de transformation. En tant que disjoncteurs, ils coupent les courants en service continu et de défaut. Ils sont fournis de capteurs et d'une unité de contrôle comme dispositif de protection et de contrôle-commande. En cas d'un défaut temporaire, ils peuvent ouvrir et refermer jusqu'à quatre fois, en évitant de longues interruptions de réseaux. Comme appareillages extérieurs, ils sont fixés au poteau ou sur un cadre de montage, et par conséquent ils sont exposés aux conditions ambiantes et météorologiques. Afin d'assurer une longue durée de vie, l'aptitude du disjoncteur à ré-enclenchement pour être utilisé dans des climats différents a été vérifié par de nombreux essais au-delà de la norme du disjoncteur à ré-enclenchement [22].

2.10.1 Cycles du disjoncteur à ré-enclenchement :

En cas de défaut, le disjoncteur à ré-enclenchement ouvre et referme plusieurs fois. S'il s'agit de défauts temporaires, le ré-enclenchement automatique réduit les durées de coupure considérablement. Les déclenchements peuvent être réglés individuellement pour chaque mode de fonctionnement auquel le cycle du disjoncteur à ré-enclenchement est optimisé [22] :

- Les deux premières coupures d'un défaut sont réglées en mode instantané pour que les fusibles connectés en aval dans le réseau ne se déclenchent pas. Après quelques cycles, l'appareillage referme.
- Les coupures suivantes sont réglées en mode temporisé. De cette manière, les fusibles connectés en aval sur des lignes radiales du réseau ont la possibilité de couper le réseau partiel affecté, en rétablissant le service de l'alimentation principale.

2.10.2 Disjoncteur à ré-enclenchement automatique :

Ce dispositif ouvre le circuit lors de l'apparition d'un défaut et le referme après un délai compris entre une fraction de seconde et quelques secondes, deux ou trois fois selon l'ajustement des dispositifs de commande interne. Si le défaut ne disparaît pas après ces tentatives, le disjoncteur ouvre le circuit en permanence et une équipe de réparation doit aller sur les lieux pour le réarmer [23].

2.11 technologies de protection

2.11.1 ABB Ref 620 :

2.11.1.1 Définition :

Le REF620 est un relais de gestion d'alimentation dédié à la protection, au contrôle, à la mesure et à la supervision des systèmes de distribution d'électricité des services publics et industriels, y compris les réseaux radiaux, bouclés et maillés, avec ou sans production d'électricité distribuée.

Solution compacte et polyvalente de relais de protection d'alimentation avec intégration de la protection, du contrôle, de la surveillance et de la supervision dans un seul relais [24] .



Figure 2.17 Modèle ABB Ref 620

2.11.1.2 Principaux avantages :

- Fonctionnalités étendues de protection et de contrôle, que ce soit avec des capteurs ou des transformateurs d'instruments conventionnels
- Extensibilité fonctionnelle et possibilités étendues d'adapter facilement les configurations aux exigences spécifiques des applications
- Conception d'une unité enfichable et amovible pour une installation et des tests rapides
- Grand écran graphique pour l'affichage des SLD personnalisables, accessible localement ou via une IHM basée sur un navigateur web facile à utiliser
- Des services complets sur le cycle de vie [24] .

2.11.1.3 Caractéristiques principales :

- Large gamme de fonctionnalités de protection et de contrôle pour les alimentations entrantes et sortantes.

- Une gamme étendue de protections contre les défauts à la terre avec une protection unique basée sur l'admittance multifréquence pour une sensibilité et une sélectivité accrues.
- Plusieurs packs de fonctionnalités en option : localisation avancée et rapide des courts-circuits et des défauts à la terre, protection de l'interconnexion pour la production d'électricité décentralisée, protection des batteries de condensateurs, protection de base des moteurs et des arcs électriques.
- Prend en charge les éditions natives IEC 61850 1 et 2, y compris la redondance HSR et PRP, la messagerie GOOSE et IEC 61850-9-2 LE pour un câblage réduit et une communication supervisée.
- Prend en charge les protocoles de communication Modbus, DNP3 et IEC 60870-5-103 et différentes méthodes de synchronisation du temps, y compris la synchronisation du temps de haute précision via le protocole de temps de précision IEEE 1588 V2 [24] .

2.11.2 Schneider Sepam série 40 :



Figure 2.18 Modèle Schneider Sepam série 40

2.11.2.1 Définition :

La famille d'unités de protection et de mesures Sepam série 40 est destinée à exploiter les machines et les réseaux de distribution électrique des installations industrielles et des sous-stations des distributeurs d'énergie pour tous les niveaux de tension.

Elle se compose de solutions simples et performantes, adaptées aux applications exigeantes nécessitant la mesure des courants et des tensions [25].

2.11.2.2 Principales fonctions :

- **Protection :**

- protection phase et protection terre à temps de retour ajustable, avec basculement du jeu de réglage actif et sélectivité logique
- protection terre insensible aux enclenchements des transformateurs

- protection thermique RMS prenant en compte la température de fonctionnement extérieure et les régimes de ventilation.
- protection directionnelle de terre adaptée pour tous les systèmes de mise à la terre du neutre, isolé, compensé ou impudent.
- protection directionnelle de phase à mémoire de tension.
- protections de tension et de fréquence (mini/maxi, ...).

2.12 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons rapporté les modes de protection les plus utilisées dans les installations électriques à savoir la protection différentielle, la protection par relais à maximum de courant. Ce dernier possède l'avantage que doit répondre un système de protection : rapidité à isoler un défaut en assurant la continuité de service pour les parties saines.

3.1 Introduction :

Pour arriver au calcul des réglages à afficher sur les systèmes de protection équipent les réseaux électriques HTA, on doit d'abord calculer les courants de courts circuits. Ce chapitre est consacré au calcul des différents types des courants de court-circuit pouvant survenus dans les réseaux HTA,

3.2 Définition d'un défaut :

On appelle un défaut, toute perturbation qui engendre une modification de la valeur de courant et de la tension par rapport à une valeur nominale (dépassement de seuil). Un courant capacitif entredeux conducteurs, par exemple provoque une augmentation de l'intensité électrique et peut mettre en péril l'ensemble du circuit électrique et provoquer des incendies ou des accidents. Dans certains cas, un défaut peut conduire à l'effondrement électrique du réseau et la mise en danger de son environnement [26].

3.3 Types et caractéristiques des défauts :

Le risque d'apparition d'un incident sur le réseau n'est pas nul car il est lié à de nombreux paramètres aléatoires. Ainsi, le court-circuit peuvent avoir diverses origines [26] :

Electriques: C'est l'altération des isolants contenus dans le réseau, par exemple .En effet le matériel électrique que l'on trouve sur le réseau ou dans les postes comporte des isolants (solides, liquides ou gazeux) constitués d'assemblages plus ou moins complexes placés entre les parties sous tension et la masse. Ces isolants subissent des dégradations au cours du temps qui conduisent à des défauts d'isolement et donc du court-circuit.

Atmosphériques : Les lignes aériennes sont soumises aux perturbations extérieures telles que la foudre, les tempêtes...etc.

Mécaniques : C'est la chute d'un corps sur un conducteur ou la dégradation mécanique de conducteurs qui subissent des agressions extérieures par des engins de terrassement par exemple.

Humaines : Ce sont les fausses manœuvres telles l'ouverture d'un sectionneur en charge par exemple.

3.3.1 Types des défauts :

On trouve plusieurs catégories de défauts dans les réseaux HTA. Ceux-ci sont caractérisés par leur type, leur durée et l'intensité du courant de défaut. Ainsi, on distingue [26] :

3.3.1.1 Les défauts triphasés :

Ce sont les courts-circuits entre les trois phases avec ou sans mise à la terre.

3.3.1.2 Les défauts biphasés :

Ce sont les courts-circuits entre deux phases ou deux phases et le neutre avec ou sans mise à la terre.

3.3.1.3 Les défauts monophasés :

Ce sont des défauts entre une phase et la terre ou une phase et le neutre. Ils génèrent la circulation d'un courant homopolaire. Leur intensité est limitée par la résistance de terre et par la mise à la terre du neutre.

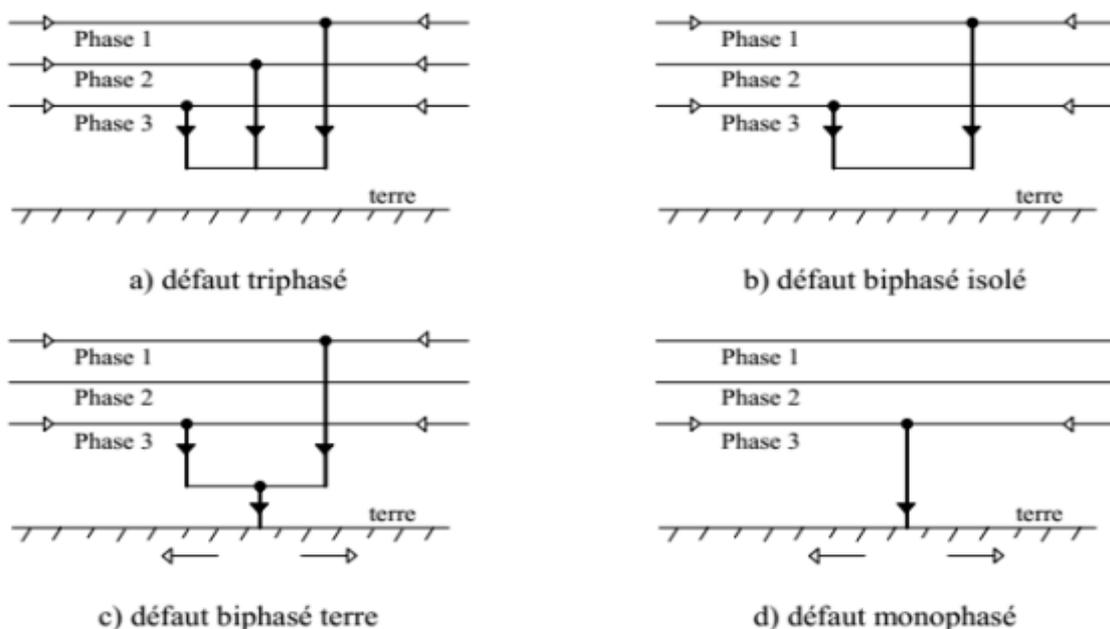


Figure 3.1 Différents types de défauts

3.4 Définition du courant de court-circuit :

Un court-circuit est une liaison accidentelle entre conducteurs à impédance nulle (court circuit franc) ou non (court-circuit impédant) . Un court-circuit peut être interne s'il est localisé au niveau d'un équipement, ou externe s'il se produit dans les liaisons. La durée d'un court-circuit est variable : auto extincteur si le défaut est trop court pour déclencher la protection, fugitif lorsque éliminé après déclenchement et réenclenchement de la protection, permanent s'il ne disparaît pas après déclenchement de la protection. Les causes de court-circuit sont d'origines mécanique (coup de pelle, branche, animal), électrique (dégradation d'isolant, surtension), humaine (erreur de l'exploitant) [23].

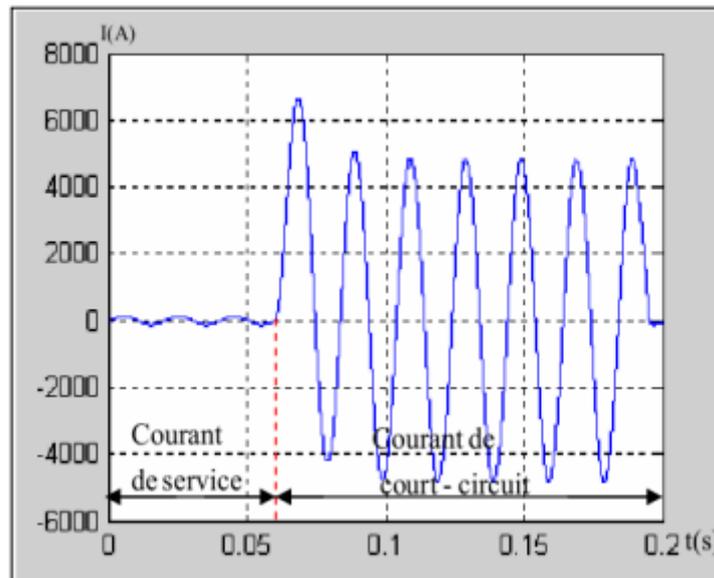


Figure 3.2 Forme générale d'un courant de court-circuit.

3.5 Effets des courants de court-circuit :

Les conséquences du court-circuit sont souvent graves sinon dramatiques [23] :

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

3.6 Etudes des courts-circuits :

L'intensité du courant de court-circuit est à calculer aux différents étages d'installation [26] :

Ceci pour pouvoir déterminer les caractéristiques du matériel qui doit supporter ou qui doit couper ce courant de défaut.

Pour choisir convenablement les appareils de coupure (disjoncteurs ou fusibles) et régler les fonctions de protections, trois valeurs du courant de court-circuit doivent être connues.

• La valeur efficace du courant de court-circuit maximal (court-circuit triphasé Symétrique) :

Elle détermine [26] :

- Le pouvoir de coupure des disjoncteurs et fusibles.
- La contrainte thermique qui doit supporter le matériel.
- Elle doit être calculée avec une bonne marge de sécurité (valeur maximale).

• La valeur crête du courant de court-circuit maximal (valeur de la première crête de la période transitoire) :

Elle détermine [26]:

- Le pouvoir de fermeture des disjoncteurs et des interrupteurs.
- La tenue électrodynamique des canalisations et de l'appareillage.

• Le courant de court-circuit minimal :

Il est dispensable au choix de la courbe de déclenchement des disjoncteurs et des fusibles ou au réglage des seuils des protections à maximum de courant, en particulier quand [26] :

- La longueur des câbles est importante ou lorsque la source a une impédance interne relativement élevée (générateur ou onduleur).
- La protection des personnes repose sur le fonctionnement des dispositifs de protection à maximum de courant de phase, c'est essentiellement le cas en basse tension pour les schémas de liaison à la terre du neutre TN ou IT.

3.7 Méthodes pour le calcul du courant de court-circuit :

Deux méthodes sont particulièrement étudiées pour le calcul des courants de court-circuit dans les réseaux [27]:

- l'une dont l'usage est surtout réservé aux réseaux BT, il s'agit de la méthode des impédances. Elle a été retenue pour la précision qu'elle permet d'obtenir, et pour son aspect didactique puisqu'elle nécessite la prise en compte de la quasi-totalité des caractéristiques du circuit concerné.
- l'autre, surtout utilisée en HT, est celle de la CEI 60909, retenue pour sa précision et pour son aspect analytique. Plus technique, elle exploite le principe des composantes symétriques .

3.7.1 Méthode des composantes symétriques :

La définition des composantes symétriques repose sur l'équivalence entre un système triphasé déséquilibré, et la somme de trois systèmes triphasés équilibrés : direct, indirect et Homopolaire figure(3.3) [27].

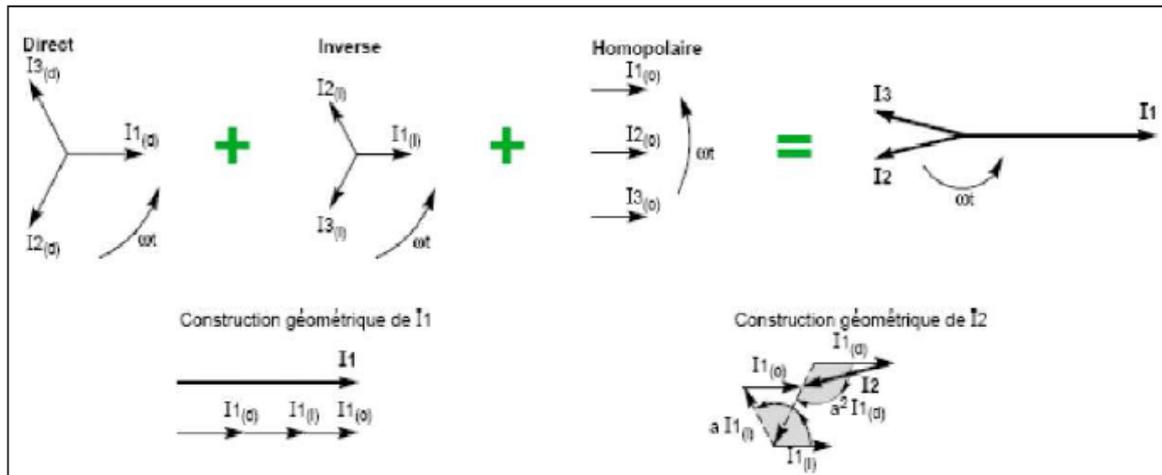


Figure 3.3 Système déséquilibré triphasé obtenu en additionnant les trois systèmes équilibrés.

3.7.1.1 Le système Direct (Positif ou de séquence d'ordre 1) :

Consiste en trois vecteurs de même module déphasé de 120° et ayant la même séquence que le système d'origine.

En prenant le vecteur V_a comme référence et sachant que l'opérateur (a) :

$$a = -0,5 + j0,866 = 1^{\angle 120^\circ}$$

Il vient alors :

$$\begin{cases} V_{a1} = V_1 \\ V_{b1} = V_1^{\angle 240^\circ} = a^2 \cdot V_1 \\ V_{c1} = V_1^{\angle 120^\circ} = a \cdot V_1 \end{cases} \quad (3.1)$$

3.7.1.2 Le système Inverse (Négatif ou de séquence d'ordre 2)

Consiste en trois vecteurs de même module déphasé de 120° mais de séquence opposée au système d'origine

$$\begin{cases} V_{a2} = V_2 \\ V_{b2} = V_2^{\angle 120^\circ} = a \cdot V_2 \\ V_{c2} = V_2^{\angle 240^\circ} = a^2 \cdot V_2 \end{cases} \quad (3.2)$$

3.7.1.3 Le système homopolaire (Zéro ou de séquence 0) :

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

$$V_{a0} = V_{b0} = V_{c0} = V_0 \tag{3.3}$$

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

$$\begin{cases} V_a = V_1 + V_2 + V_0 \\ V_b = a^2 V_1 + a V_2 + V_0 \\ V_c = a V_1 + a^2 V_2 + V_0 \end{cases} \tag{3.4}$$

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

- **1ère méthode** : On utilise la matrice inverse $[T]^{-1}$
- **2ème méthode** : On utilise $1 + a + a^2 = 0$ on aura :

$$\begin{cases} V_1 = \frac{1}{3} [V_a + a V_b + a^2 V_c] \\ V_2 = \frac{1}{3} [V_a + a^2 V_b + a V_c] \\ V_0 = \frac{1}{3} [V_a + V_b + V_c] \end{cases} \tag{3.5}$$

3.7.2 Circuit équivalent des séquences :

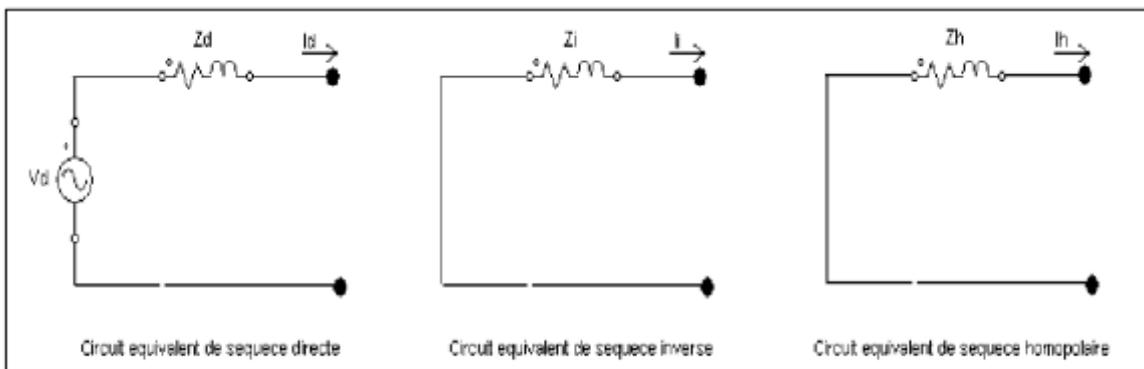


Figure 3.4 Système déséquilibré triphasé obtenu en additionnant les trois systèmes équilibrés.

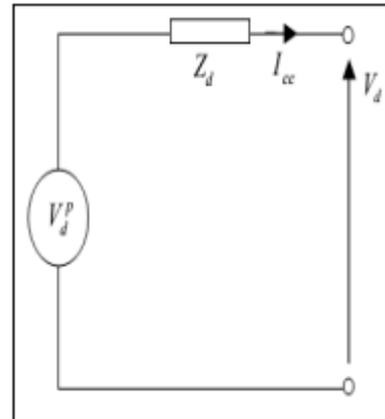
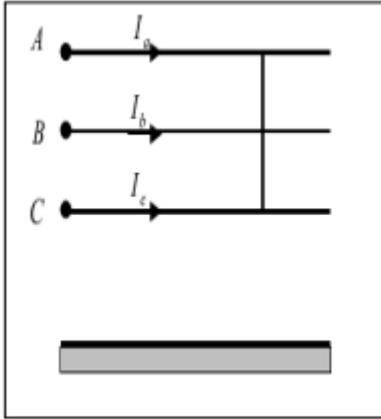
$$\begin{cases} V_d = V_d^p - Z_d \cdot I_d \\ V_i = 0 - Z_i \cdot I_i \\ V_h = 0 - Z_h \cdot I_h \end{cases} \tag{3.6}$$

Où :

V_d^p : La tension préexistante au point de défaut.

Z_d, Z_i, Z_h : Les impédances équivalentes au réseau dans les trois systèmes.

3.7.3 Calcul des courants de court-circuit par la méthode des composantes symétriques :



3.7.3.1 Court-circuit triphasé symétrique :

➤ Expression du défaut :

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

➤ Traduction en grandeurs symétriques :

$$V_d = V_i = V_h = 0$$

➤ Soit d'après (3.6) :

$$I_d = \frac{V_d^p}{Z_d}, \quad I_i = I_h = 0$$

➤ Valeur du courant de défaut triphasé :

$$I_{\text{llcc}} = I_{3\text{cc}} = I_d = \frac{V_d^p}{Z_d}$$

➤ Retour aux grandeurs de phase :

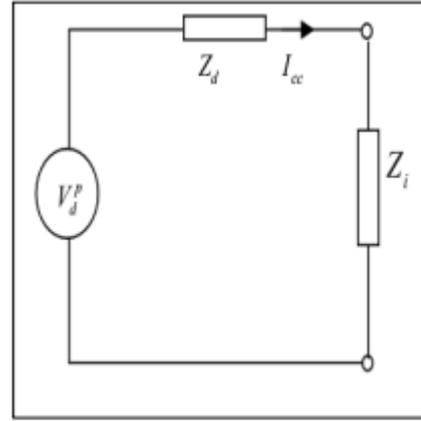
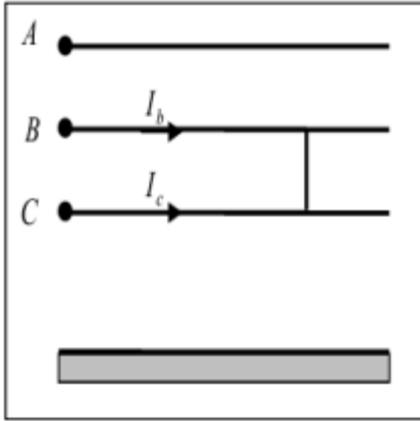
$$V_a = V_b = V_c = 0 \tag{3.7}$$

$$I_a = \frac{V_d^p}{Z_d} \tag{3.8}$$

$$I_b = a^2 \cdot \frac{V_d^p}{Z_d} \quad (3.9)$$

$$I_c = a \cdot \frac{V_d^p}{Z_d} \quad (3.10)$$

3.7.3.2 Court-circuit biphasé isolé :



➤ Expression du défaut:

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

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

➤ Traduction en grandeurs symétriques :

$$\begin{aligned} V_{bc} &= V_{bn} + V_{nc} = (a^2 V_d + a V_i + V_h) \\ &\quad - (a V_d + a^2 V_i + V_h) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{bc} &= V_d(a^2 - a) + V_i(a - a^2) + V_h(1 - 1) = 0 \\ \Rightarrow V_d(a^2 - a) &= V_i(a^2 - a) \Rightarrow V_d = V_i \end{aligned}$$

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

➤ Soit d'après (3.5) :

$$\begin{cases} I_d = \frac{1}{3}(I_a + a \cdot I_b + a^2 \cdot I_c) = \frac{1}{3}(a - a^2)I_b = j\frac{1}{\sqrt{3}}I_b \\ I_i = \frac{1}{3}(I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c) = -\frac{1}{3}(a - a^2)I_b = -j\frac{1}{\sqrt{3}}I_b \\ I_h = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = 0 \end{cases}$$

Donc : $I_d = -I_i$

➤ Soit d'après (3.6) :

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

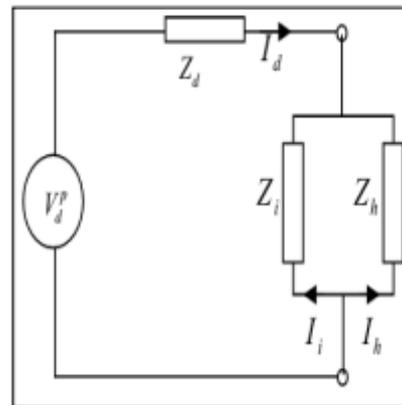
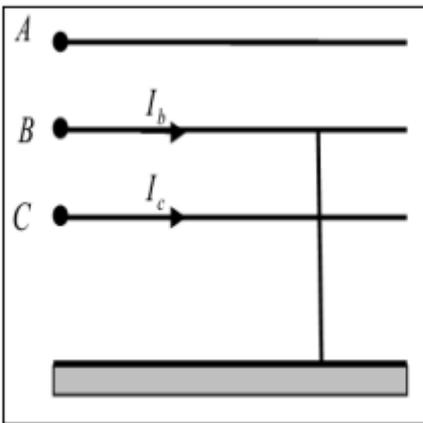
➤ Retour aux grandeurs de phase:

$$I_a = 0 \tag{3.11}$$

$$I_b = -j \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{V_d^p}{Z_d + Z_i} \tag{3.12}$$

$$I_c = j \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{V_d^p}{Z_d + Z_i} \tag{3.13}$$

3.7.3.3 Court-circuit biphasé terre :



➤ Expression du défaut:

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

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

➤ Traduction en grandeurs symétriques :

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

➤ Soit d'après (3.6) :

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

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

Donc :

$$\begin{cases} I_i = -\frac{(V_d^p - Z_{d \cdot i})}{Z_i} \\ I_h = -\frac{(V_d^p - Z_{d \cdot h})}{Z_h} \\ I_a = I_d + I_i + I_h = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow I_a = I_d - \frac{(V_d^p - Z_{d \cdot i})}{Z_i} - \frac{(V_d^p - Z_{d \cdot h})}{Z_h} = 0$$

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

➤ Retour aux grandeurs de phase:

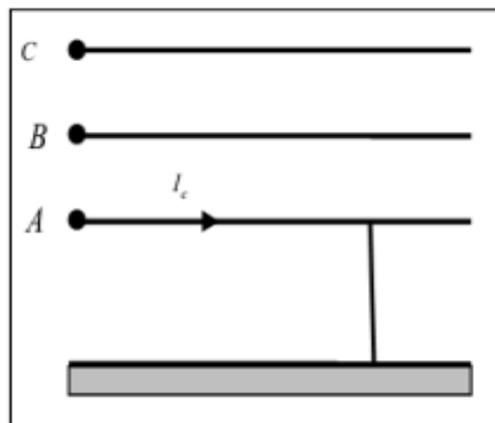
$$I_b = a^2 \cdot I_d + a \cdot I_i + I_h \Rightarrow I_b = \frac{\sqrt{3}V_d^p \cdot (Z_h \cdot 1^{L-90^\circ} + Z_i \cdot 1^{L-150^\circ})}{Z_d \cdot Z_i + Z_{d \cdot i} \cdot Z_h + Z_i \cdot Z_h} \quad (3.14)$$

$$I_c = a \cdot I_d + a^2 \cdot I_i + I_h \Rightarrow I_c = \frac{\sqrt{3}V_d^p \cdot (Z_h \cdot 1^{L+90^\circ} + Z_i \cdot 1^{L+150^\circ})}{Z_d \cdot Z_i + Z_{d \cdot i} \cdot Z_h + Z_i \cdot Z_h} \quad (3.15)$$

Le courant dans le neutre est :

$$I_n = I_b + I_c = \left| \frac{3V_d^p}{Z_d \cdot Z_i + Z_{d \cdot i} \cdot Z_h + Z_i \cdot Z_h} \right| \quad (3.16)$$

3.7.3.4 Court-circuit monophasé :



➤ Expression du défaut:

$$V_a = 0 \text{ (phase en défaut)}$$

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

➤ Traduction en grandeurs symétriques :

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

➤ Soit d'après (3.6) :

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

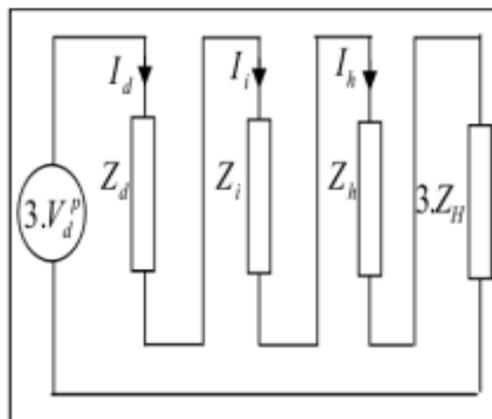
$$\begin{cases} V_d = \frac{Z_i + Z_h}{Z_d + Z_i + Z_h} \cdot V_d^p \\ V_i = -\frac{Z_i}{Z_d + Z_i + Z_h} \cdot V_d^p \\ V_h = -\frac{Z_h}{Z_d + Z_i + Z_h} \cdot V_d^p \end{cases}$$

➤ Retour aux grandeurs de phase:

$$\begin{cases} V_a = 0 \\ V_b = \frac{(a^2 - a) \cdot Z_i + (a^2 - 1) \cdot Z_h}{Z_d + Z_i + Z_h} \cdot V_d^p \\ V_c = \frac{(a - a^2) \cdot Z_i + (a - 1) \cdot Z_h}{Z_d + Z_i + Z_h} \cdot V_d^p \end{cases}$$

$$I_a = \frac{3V_d^p}{Z_d + Z_i + Z_h} I_b = I_c = 0 \quad (3.17)$$

3.7.3.5 Court-circuit monophasé avec impédance :



Dans ce cas la tension au point du défaut n'est pas nulle.

➤ Expression du défaut:

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

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

➤ Traduction en grandeurs symétriques :

$$\begin{cases} I_d = \frac{1}{3}(I_a + a \cdot I_b + a^2 \cdot I_c) = \frac{1}{3}I_a \\ I_i = \frac{1}{3}(I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c) = \frac{1}{3}I_a \\ I_h = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{1}{3}I_a \end{cases}$$

$$\Rightarrow I_d = I_i = I_h$$

Avec:

$$\begin{aligned} V_a &= V_d + V_i + V_h = Z_H \cdot I_a \\ \Rightarrow V_d &= -(V_i + V_h) + Z_H \cdot I_a \end{aligned}$$

➤ Soit d'après (3.6) :

$$V_d^p - Z_d \cdot I_d = \frac{1}{3}Z_h \cdot I_a + \frac{1}{3}Z_i \cdot I_a + Z_H \cdot I_a$$

➤ Retour aux grandeurs de phase:

$$I_a = \frac{3V_d^p}{Z_d + Z_i + Z_h + 3Z_H} I_b = I_c = 0 \quad (3.18)$$

3.8 Conclusion :

Ce troisième chapitre présente les méthodes de calcul du courant de court-circuit : la méthode des impédances et celle des composantes symétriques, en démarrant par les hypothèses de base qui simplifient le calcul, puis en calculant le courant de court-circuit pour chaque type (triphase, biphasé, ...).

4.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré à la simulation de la protection différentielle pour isoler les différents défauts susceptibles de perturber le bon fonctionnement de lignes HTA ou de transformateurs HTA1/HTA2 ; dont on va présenter et analyser la simulation d'un réseau triphasé HTA 30 KV sans défaut et sans protection, la simulation de la présence de défaut ; puis la simulation d'une protection différentielle pour isoler le défaut affectant un transformateur 30KV/10KV, et pour isoler les défauts affectant une ligne HTA 30 KV ; outre, la simulation de la protection Maximum de courant pour la protection de défauts affectant les réseaux triphasés HTA 30 KV, et en fin, la simulation de la protection différentielle à trois cycles de réenclenchement.

4.2 Simulation d'une ligne triphasée :

On considère un réseau électrique triphasé HTA (figure 4.1), avec les données suivantes:

Source HTA : $E=30 \cdot 10^3 \text{ V}$, $f=50 \text{ Hz}$; Longueur Ligne = 100 Km.

Les caractéristiques de Ligne sont: $RL= 12.73e-3 \Omega/\text{Km}$, $LL= 933.7e-6 \text{ H/Km}$, $CL= 12.74e-9 \text{ F/Km}$.

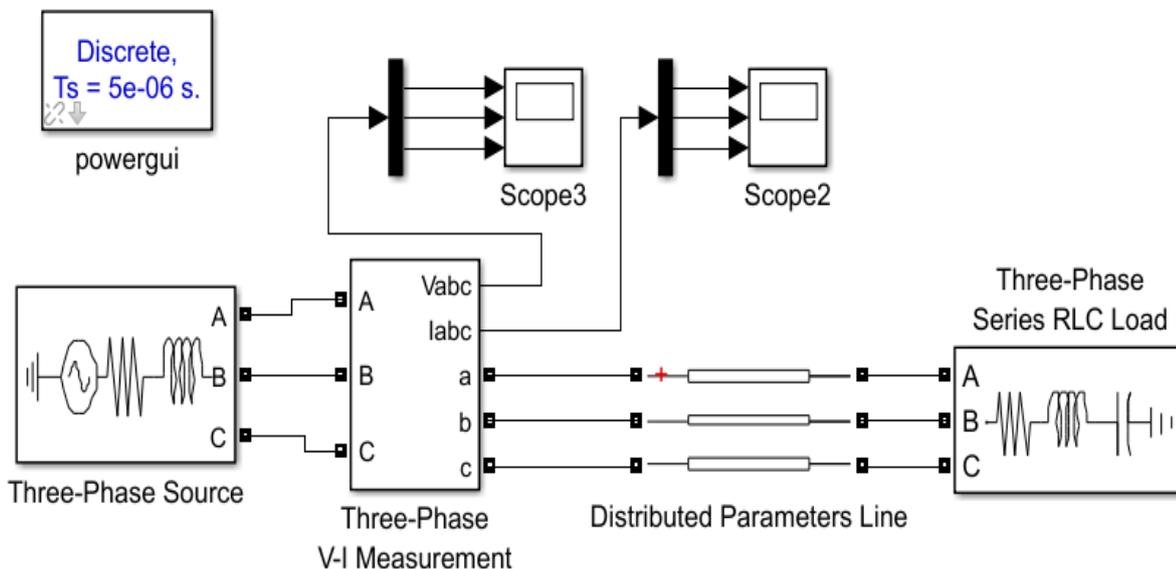


Figure 4.1 Simulation d'une ligne triphasée.

Remarque : Les différents éléments constitutifs du circuit de la simulation sont définis dans l'annexe.

4.3 Résultats de la simulation :

4.3.1 Réseaux électrique HTA 30 KV sans protection et sain :

Le tableau 4.1 rapporte les résultats de la simulation dans le cas sans défauts (valeurs efficaces des courants).

Les figures (4.2) et (4.3) représentent les courants et les tensions circulant dans les trois lignes ainsi que les tensions des trois phases. Ces résultats montrent le régime permanent établie pendant toute la période de simulation.

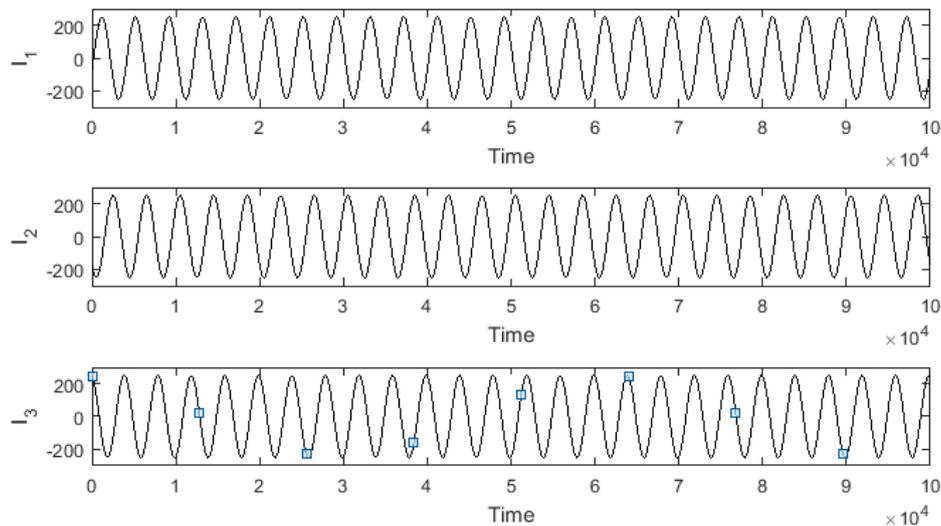


Figure. 4.2 Courants réseau triphasé réseau HTA sans protection sain.

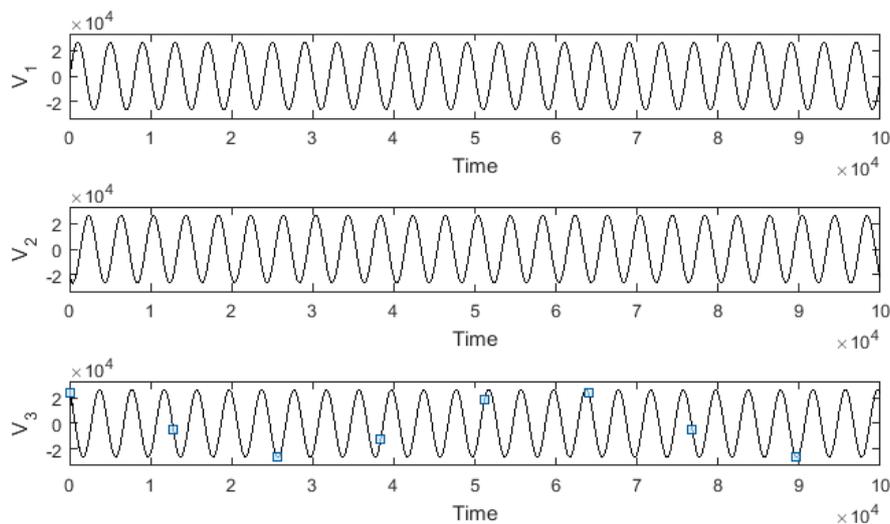


Figure 4.3 Tension triphasée réseau HTA sans protection sain

4.3.2 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défauts :

Lors du fonctionnement des réseaux électriques, ils ont exposés aux plusieurs types de défauts électriques, entre autre, les défauts Phase-Terre, les défauts Biphasé et les défauts triphasé. Le schéma Simulink de la figure (4.4) présente un réseau électrique HTA en présence de défauts.

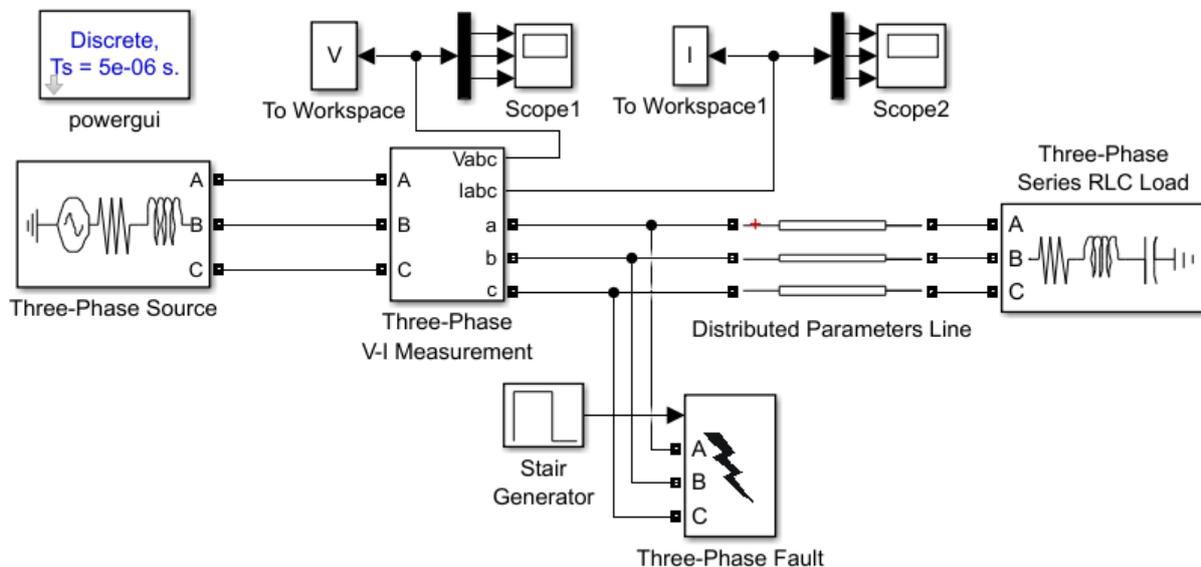


Figure 4.4 Simulation d'un court-circuit L1-N .

4.3.2.1 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut Phase-Terre :

On considère le même réseau électrique précédant, et applique un défaut Phase-Terre comme le montre les figures (4.5) et (4.6). Le schéma Simulink du réseau est devenu comme suit :

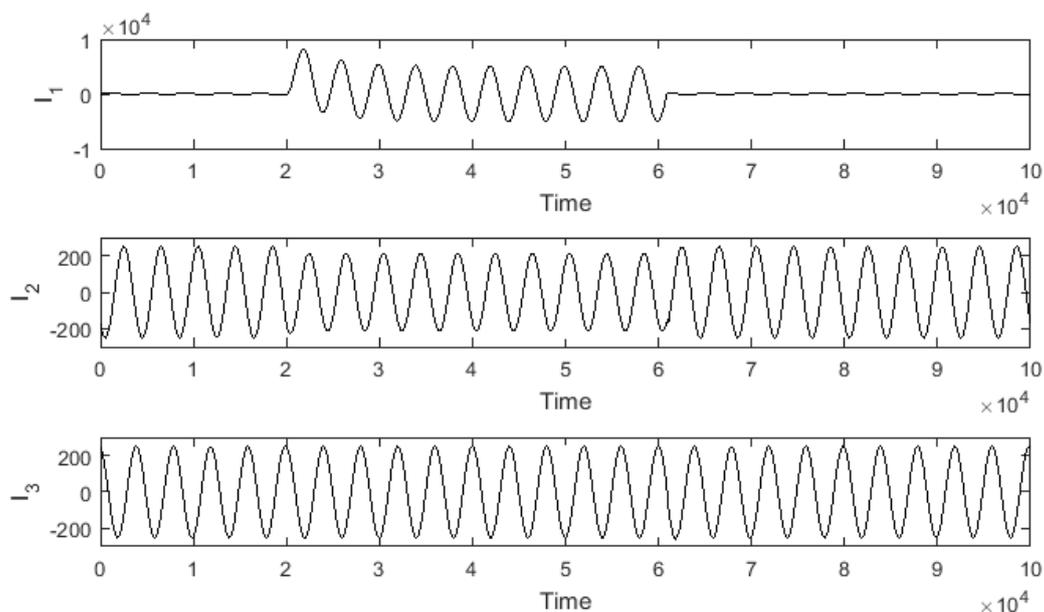


Figure 4.5 Courants réseau HTA en présence de défaut Phase-Terre.

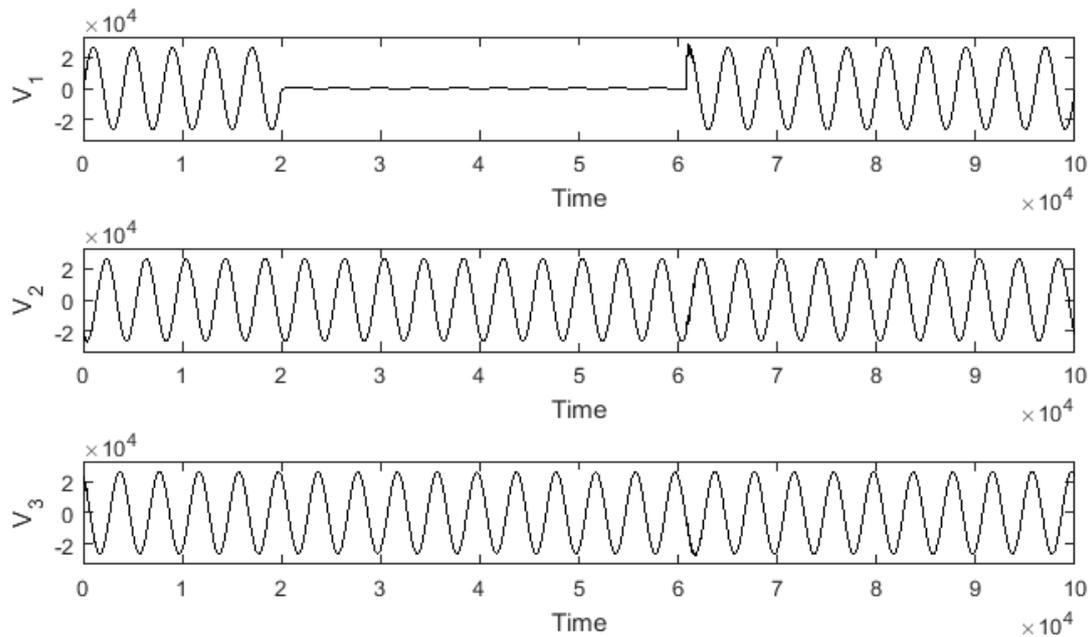


Figure 4.6 Tension réseau HTA en présence de défaut Phase-Terre.

D'après les résultats, on observe la valeur importante du courant dans la phase 1 siège du défaut. Par contre, la tension de la même phase tend vers zéro.

4.3.2.2 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence Biphase-Terre :

Dans cette simulation, un défaut biphase entre la phase 1 et la phase 2 (L1-L2) a été appliqué.

Le Tableau 4.3 représente les résultats de la simulation dans le cas d'un Défaut biphase L1- L2.

Les résultats de simulations de présentent comme suit :

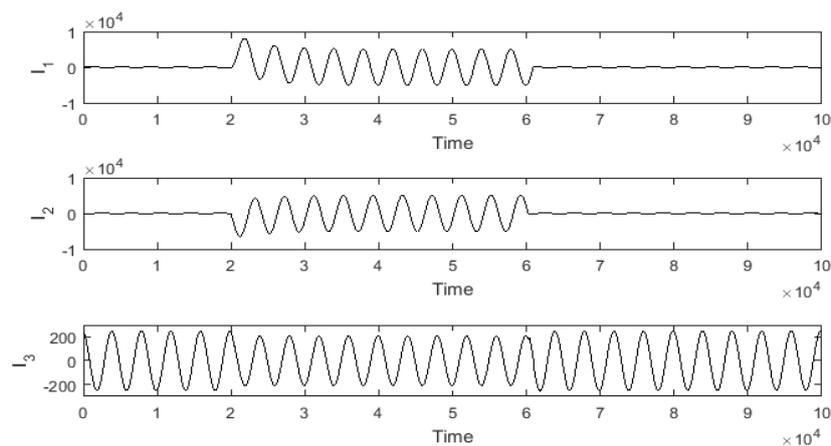


Figure 4.7 Courants réseau HTA en présence de défaut Biphase.

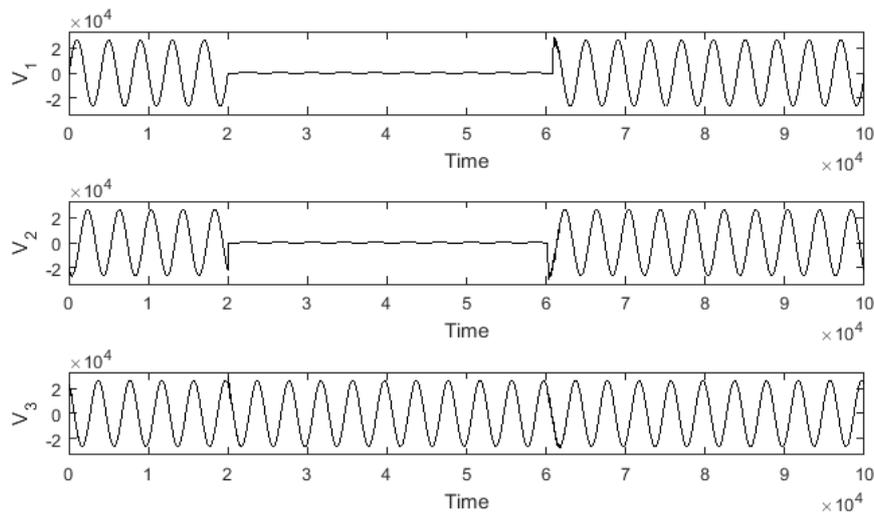


Figure 4.8 Tensions réseau HTA en présence de défaut Biphase.

D'après les résultats, on observe la valeur importante du courant dans les deux phases 1 et 2 sièges de défauts. Par contre, les tensions de ces deux phases tendent vers zéro.

4.3.2.3 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut Triphasé-Terre :

Dans cette simulation, un défaut triphasé entre la phase 1, la phase 2 et la phase 3 (L1-L2-L3) a été réalisé.

Les résultats de simulations de présentent comme suit :

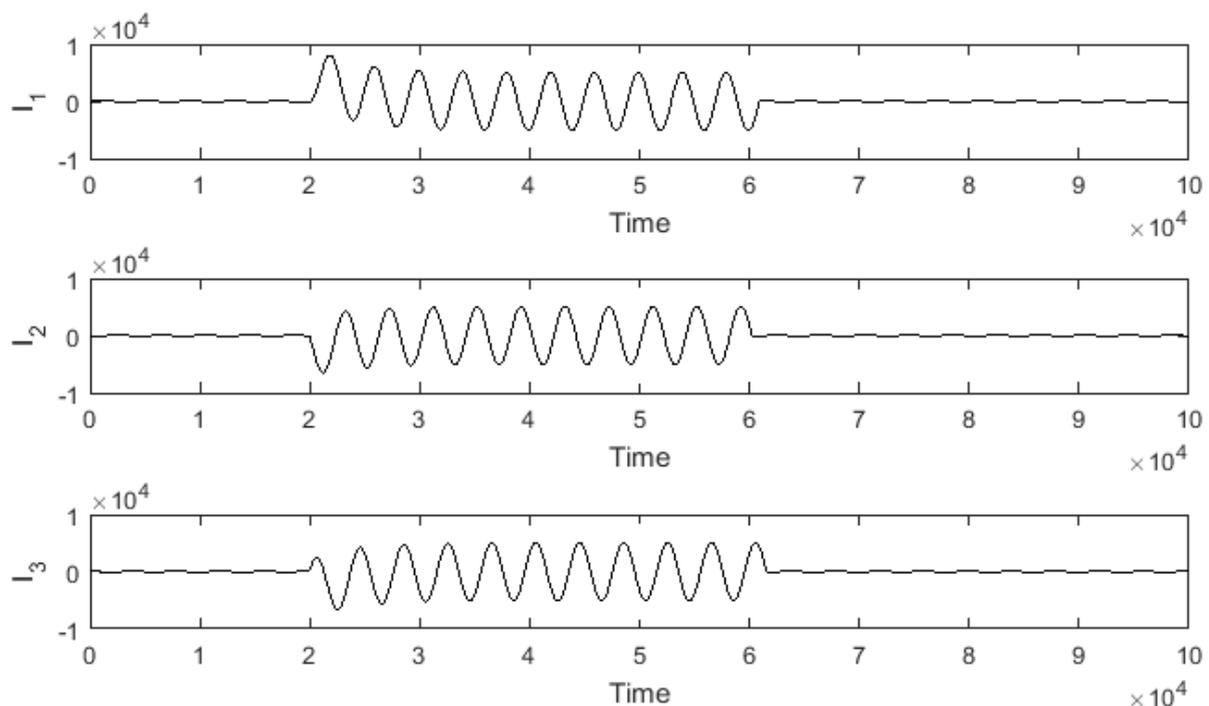


Figure 4.9 Courants réseau HTA en présence de défaut Triphasé.

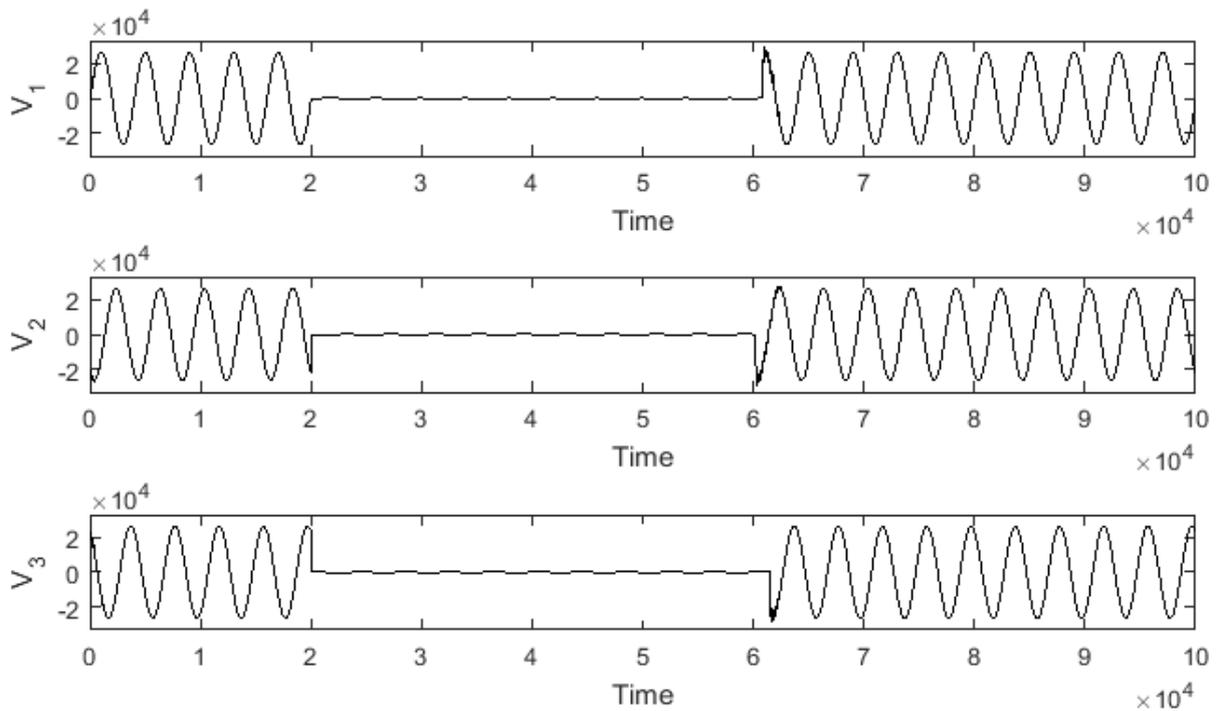


Figure 4.10 Tensions réseau HTA en présence de défaut Triphasé.

D'après les résultats, on observe la valeur importante des courants dans les trois phases 1, 2 et 3 sièges de défauts. Par contre, les tensions de ces trois phases tendent vers zéro.

4.4 Simulation d'une protection différentielle :

4.4.1 Protection différentielle d'un transformateur HTA :

Cette partie est consacrée à la simulation d'un système de protection (relais de la protection différentielle). La figure (4.11) présente le schéma de simulation de défauts d'un transformateur HTA1/HTA2.

Source : $E = 30 \times 10^3 \text{V}$, $f = 50 \text{Hz}$,

Transformateur HTA1/HTA2 : 30KV/10KV

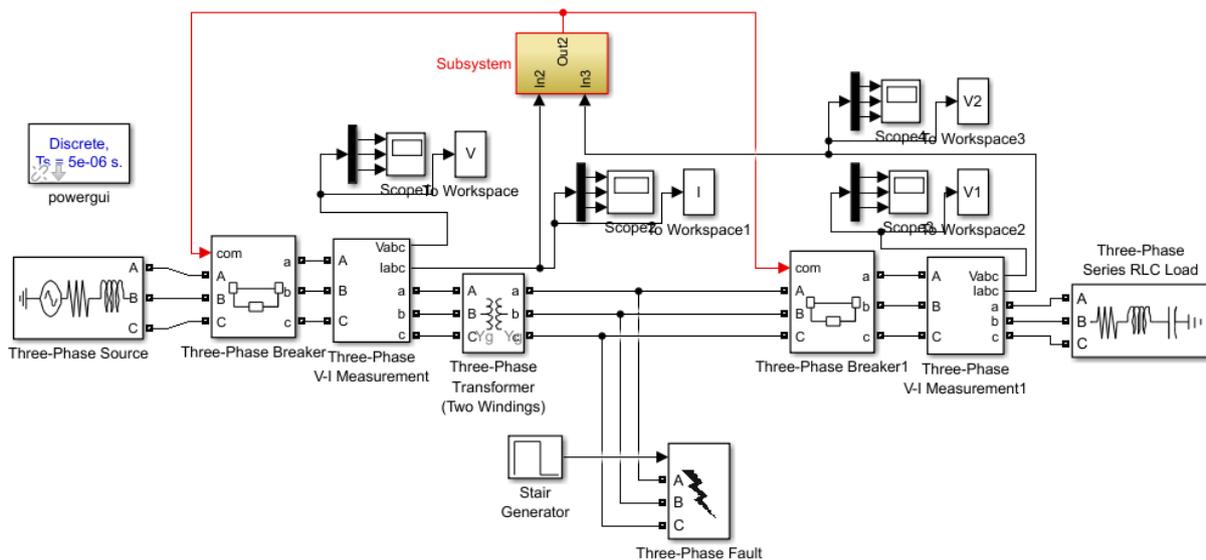


Figure 4.11 Réseau HTA 30KV/10KV avec protection différentielle du transformateur.

4.4.1.1 Transformateur HTA1/HTA2 en présence de défaut Phase-Terre :

La figure (4.11) présente le schéma de simulation de la protection différentielle d'un transformateur 30KV/10KV en présence de défaut Phase-Terre (L1-N). Les figures (4.12) et (4.13) présentent les résultats de simulation des courants et des tensions des différentes phases.

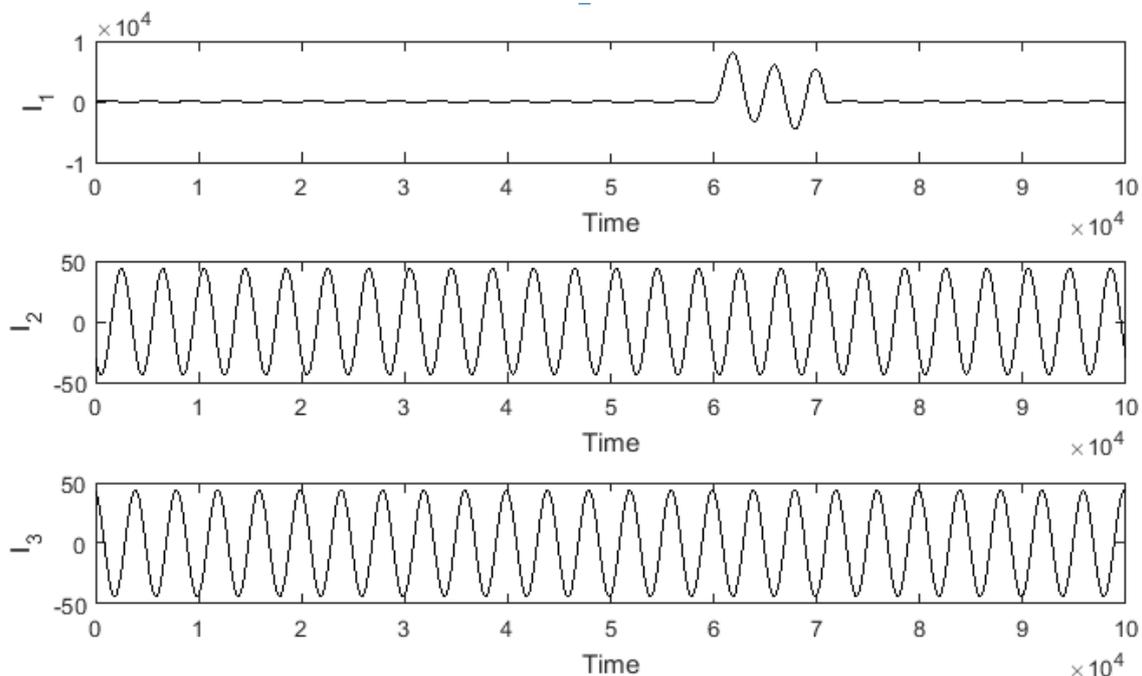


Figure 4.12 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

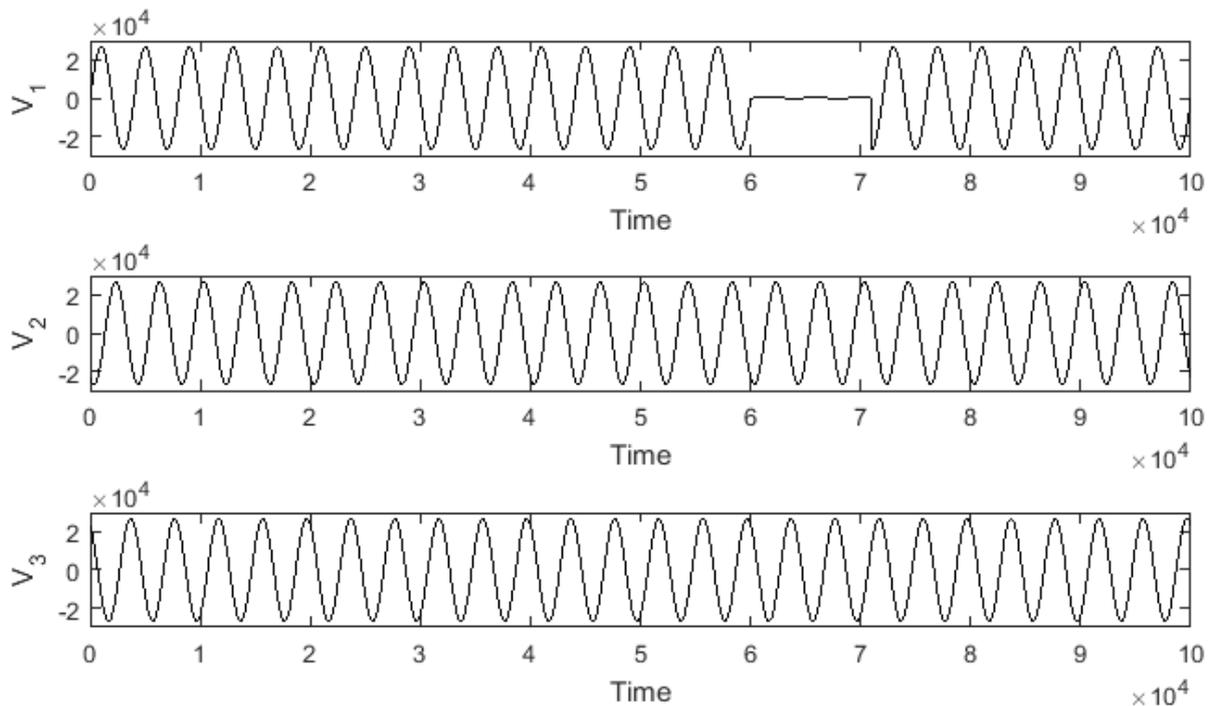


Figure 4.13 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

D'après les résultats, on observe la valeur importante du courant dans la phase 1 siège du défaut. Par contre, la tension de la même phase tend vers zéro.

4.4.1.2 Transformateur HTA1/HTA2 en présence de défaut Biphasé-Terre :

Maintenant on applique un défaut Biphasé (L1-L2) dans le schéma Simulink présenté dans la figure (4.11). Les figures (4.14) et (4.15) présentent les résultats de simulation des courants et des tensions des différentes phases.

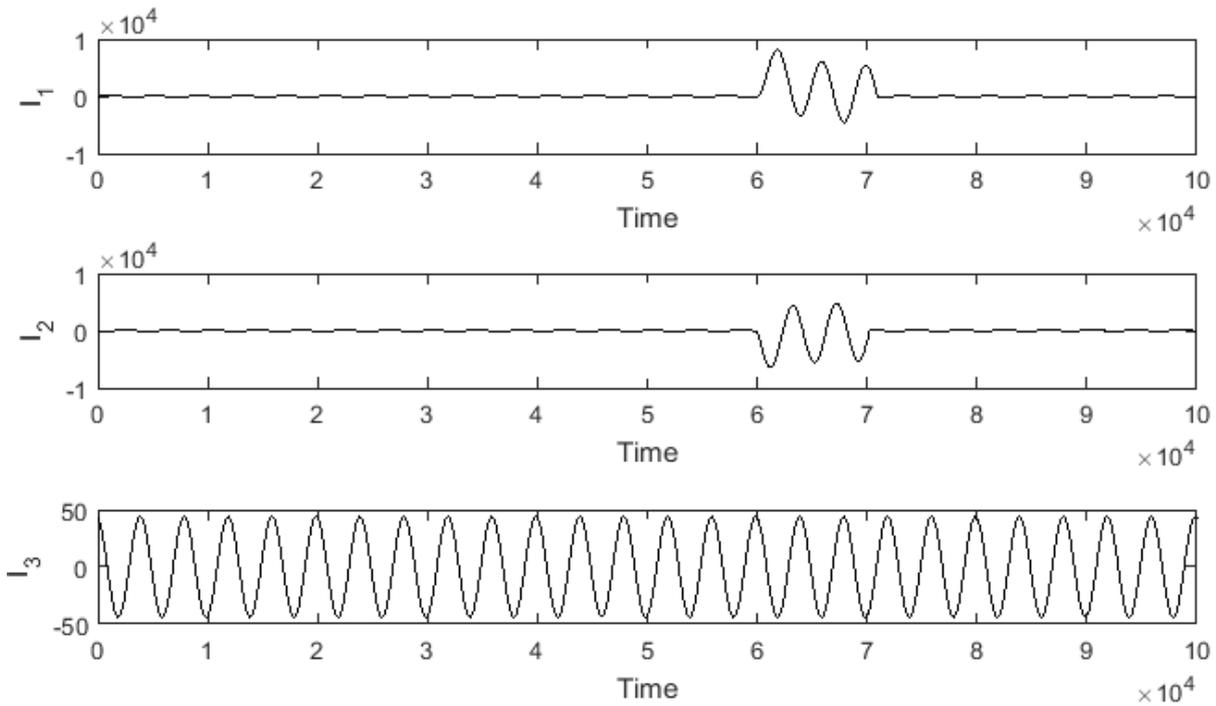


Figure 4.14 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé-Terre.

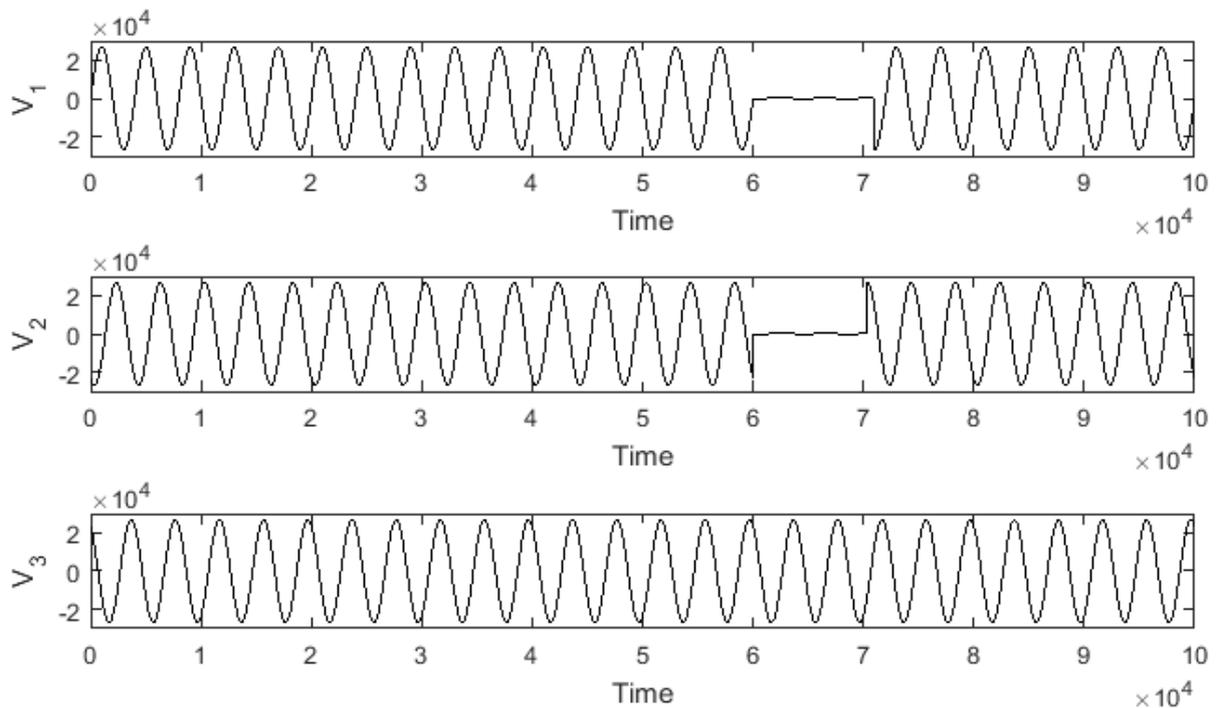


Figure 4.15 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé-Terre.

D'après les résultats, on observe la valeur importante des courants dans les deux phases 1 et 2 sièges de défauts. Par contre, les tensions de ces deux phases tendent vers zéro.

4.4.1.3 Transformateur HTA1/HTA2 en présence de défaut Triphasé-Terre :

On applique un défaut Triphasé (L1-L2-L3) dans le schéma Simulink présenté dans la figure (4.11). Les figures (4.16) et (4.17) présentent les résultats de simulation des courants et des tensions des différentes phases.

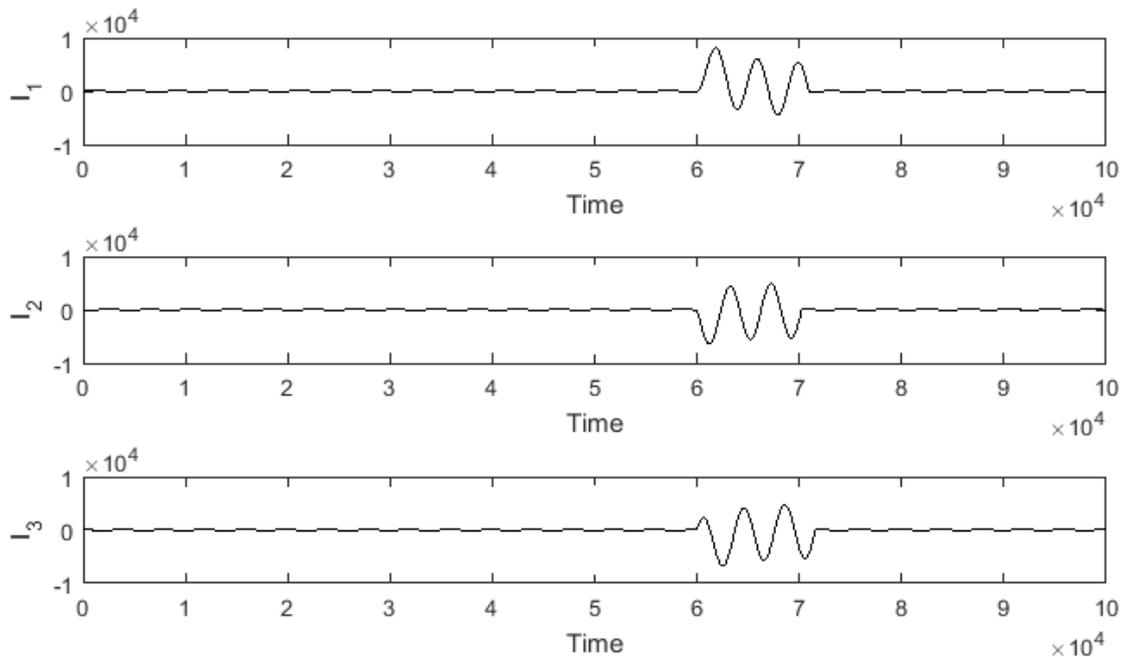


Figure 4.16 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé-Terre.

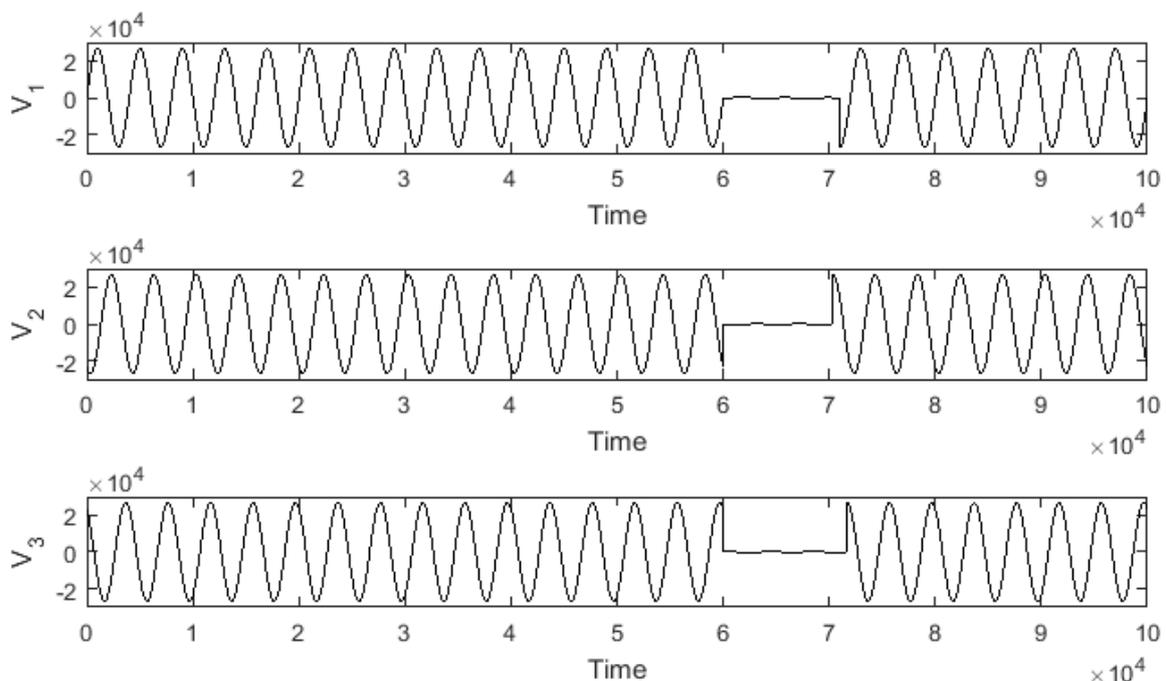


Figure 4.17 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé-Terre.

D'après les résultats, on observe la valeur importante des courants dans les trois phases 1, 2 et 3 sièges de défauts. Par contre, les tensions de ces trois phases tendent vers zéro.

4.4.2 Protection différentielle d'une ligne HTA :

Cette partie est consacrée à la simulation d'un système de protection (relais de la protection différentielle). La figure (4.18) présente le schéma de simulation de défauts d'une ligne HTA 30KV.

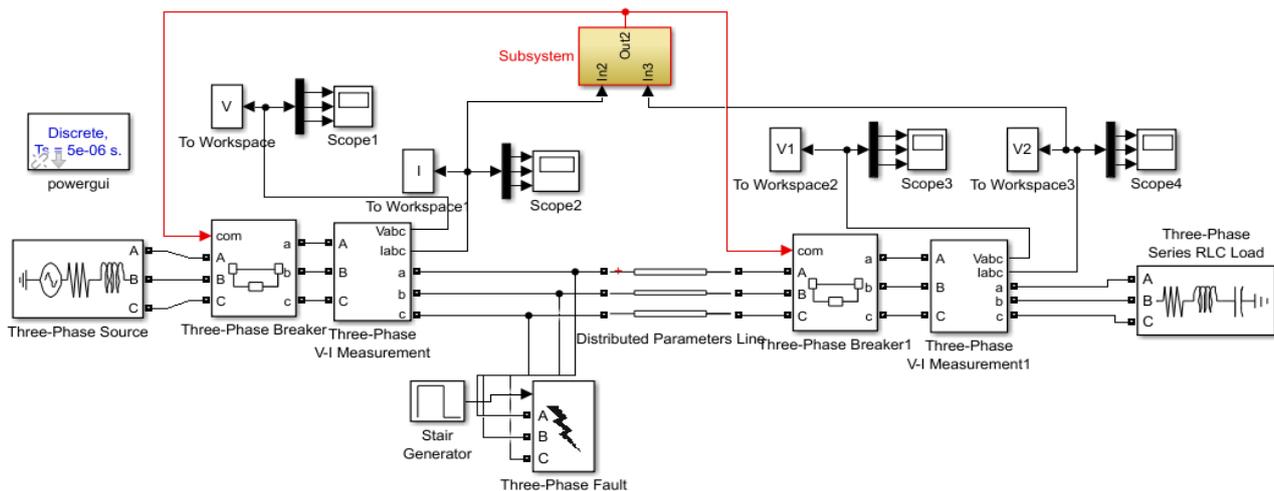


Figure 4.18 Réseau HTA 30KV/10KV avec protection différentielle de ligne.

4.4.2.1 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut Phase-Terre:

On applique un défaut Phase-Terre (L1-N) dans le schéma Simulink présenté dans la figure (4.18). Les figures (4.19) et (4.20) présentent les résultats de simulation des courants et des tensions des différentes phases.

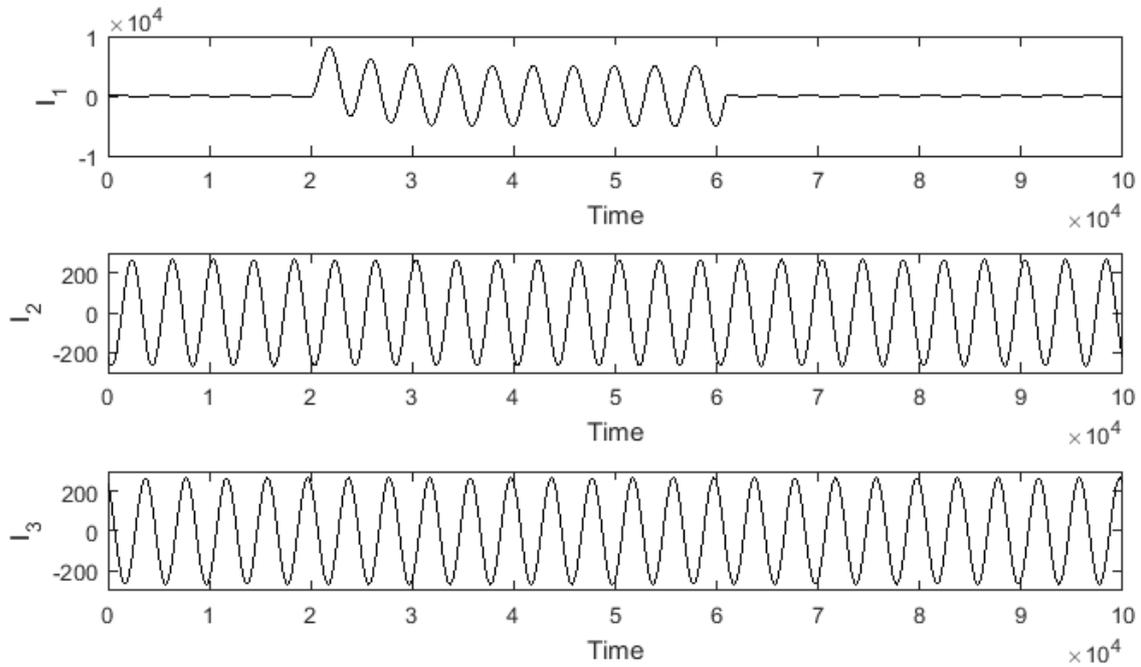


Figure 4.19 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

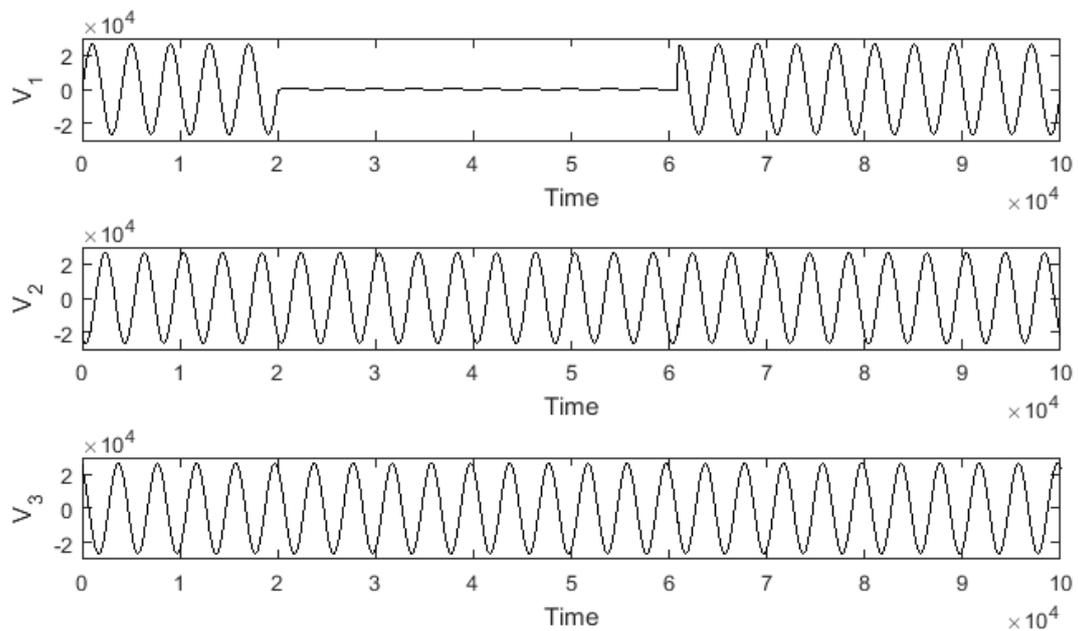


Figure 4.20 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

D'après les résultats, on observe la valeur importante du courant dans la phase 1 siège du défaut. Par contre, la tension de la même phase tend vers zéro.

4.4.2.2 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut Biphase-Terre:

On applique un défaut Biphase-Terre (L1-L2) dans le schéma Simulink présenté dans la figure (4.18). Les figures (4.21) et (4.22) présentent les résultats de simulation des courants et des tensions des différentes phases.

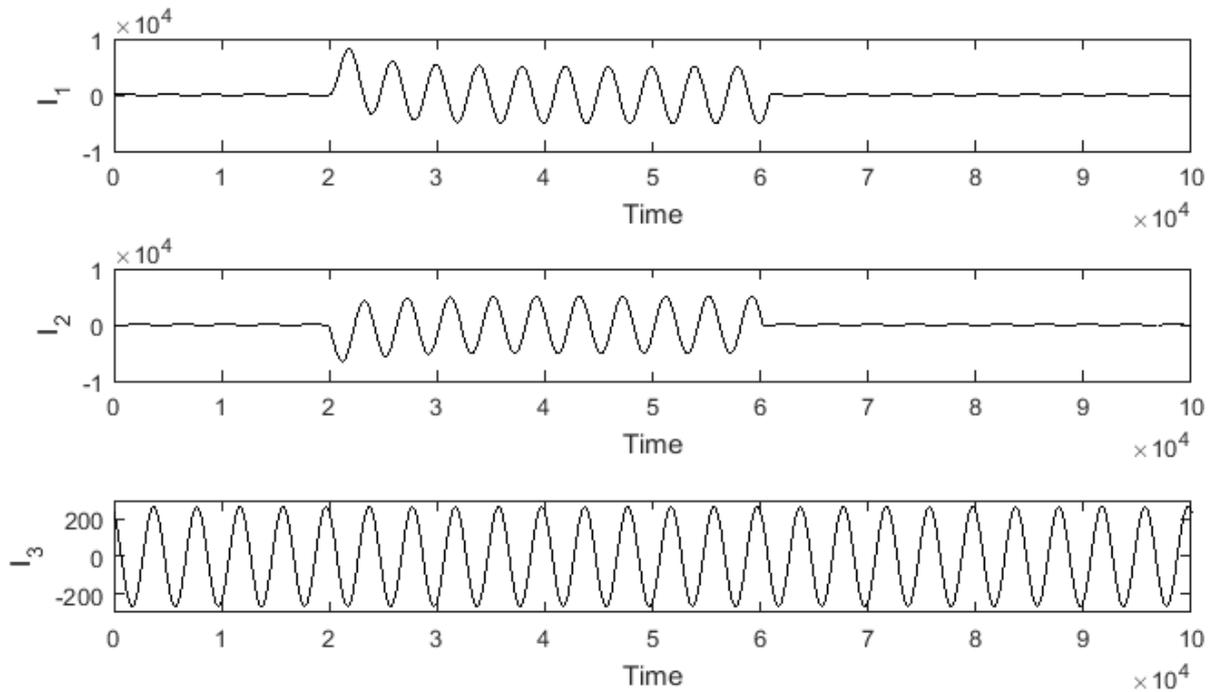


Figure 4.21 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphase -Terre.

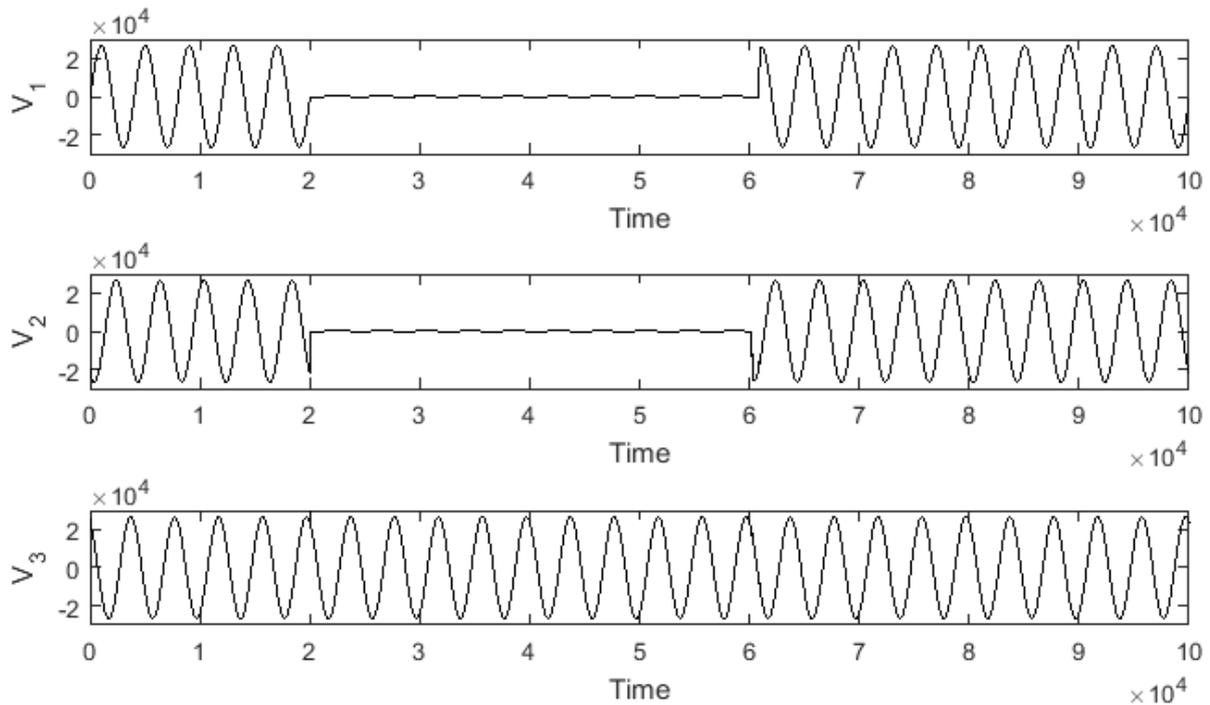


Figure 4.22 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé-Terre.

D'après les résultats, on observe la valeur importante des courants dans les deux phases 1 et 2 sièges de défauts. Par contre, les tensions de ces deux phases tendent vers zéro.

4.4.2.3 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut Triphasé-Terre:

On applique un défaut Triphasé-Terre (L1-L2-L3) dans le schéma Simulink présenté dans la figure (4.18). Les figures (4.23) et (4.24) présentent les résultats de simulation des courants et des tensions des différentes phases.

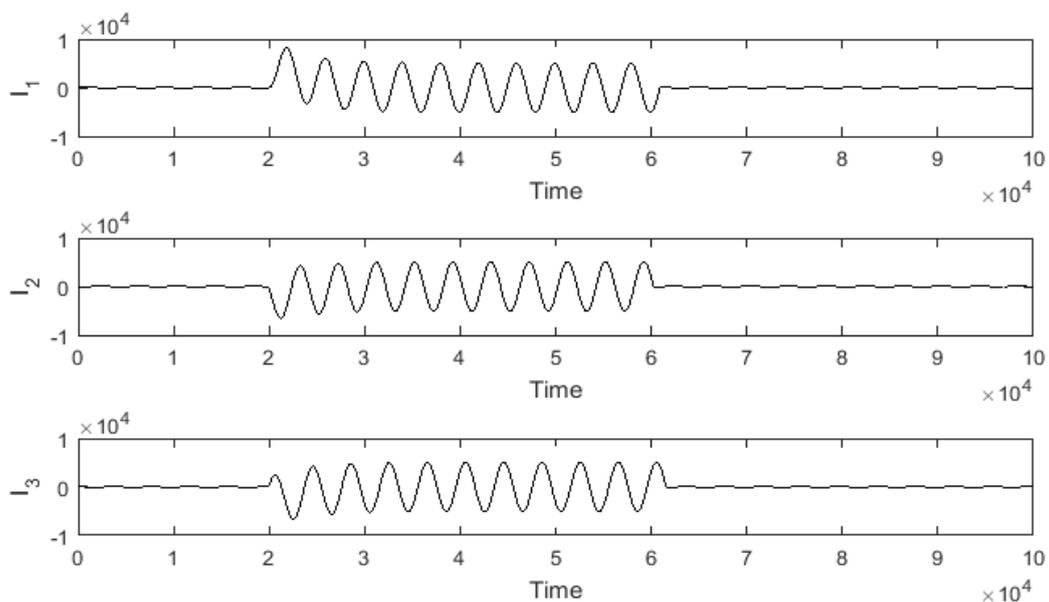


Figure 4.23 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé-Terre.

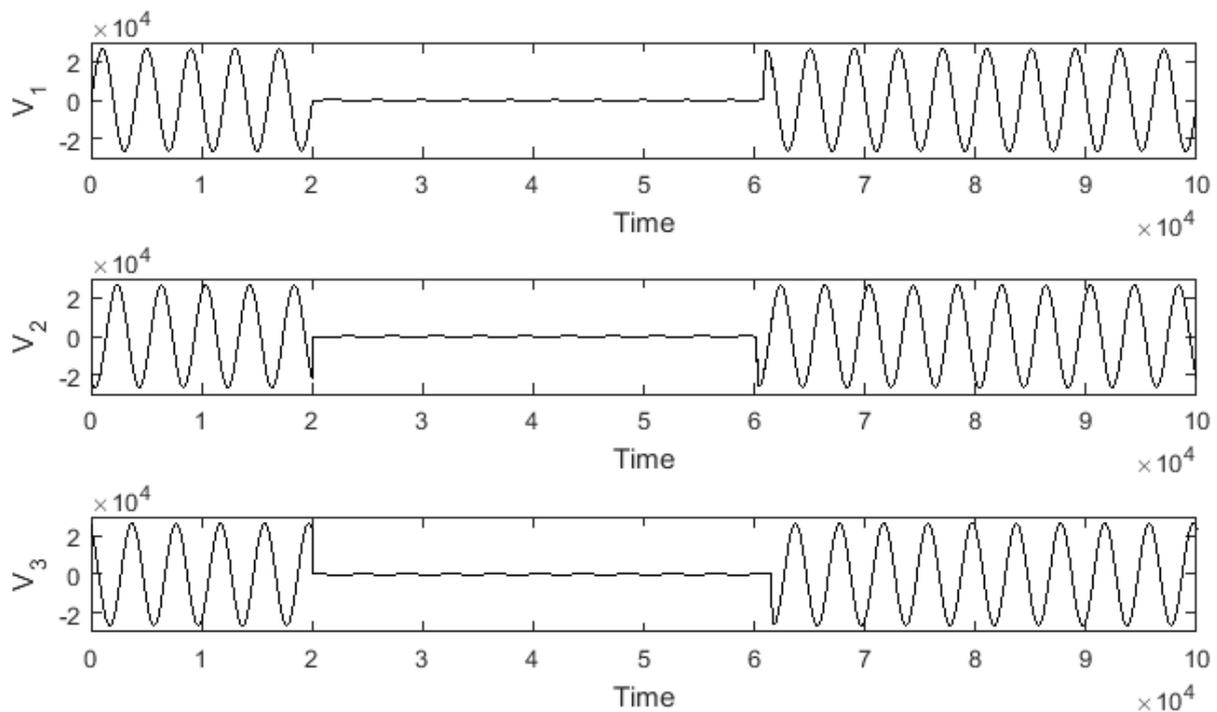


Figure 4.24 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé -Terre.

D'après les résultats, on observe la valeur importante des courants dans les trois phases 1, 2 et 3 sièges de défauts. Par contre, les tensions de ces trois phases tendent vers zéro.

4.5 Simulation d'une protection à maximum de courant :

4.5.1 Protection à Max de courant défaut Phase-Terre :

Pour la simulation de défauts affectant un réseau électrique HTA, on va utiliser la protection maximum de courant ou d'intensité (Max I), comme il est montré dans la figure (4.25), avec :

Source : $E = 30 \cdot 10^3 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$,

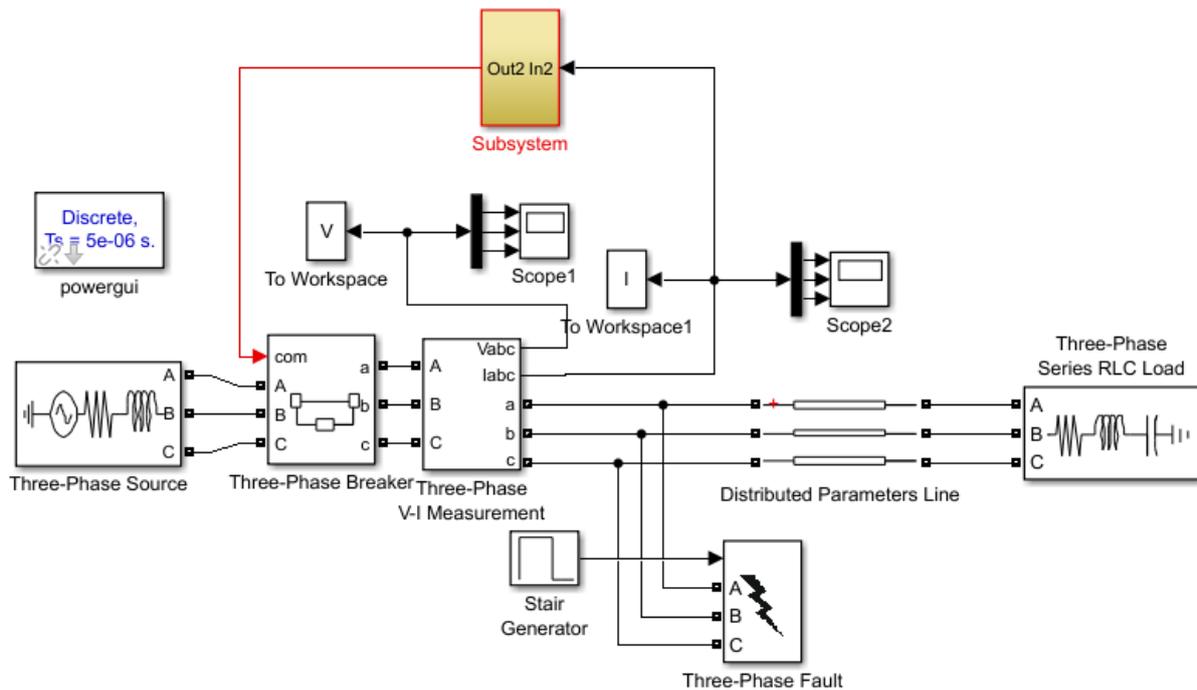


Figure 4.25 Réseau HTA 30KV avec protection Max I en présence de défaut Phase-Terre.

4.5.1.1 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut Phase-Terre :

On applique un défaut Phase-Terre (L1-N) dans le schéma Simulink présenté dans la figure (4.25). Les figures (4.26) et (4.27) présentent les résultats de simulation des courants et des tensions des différentes phases.

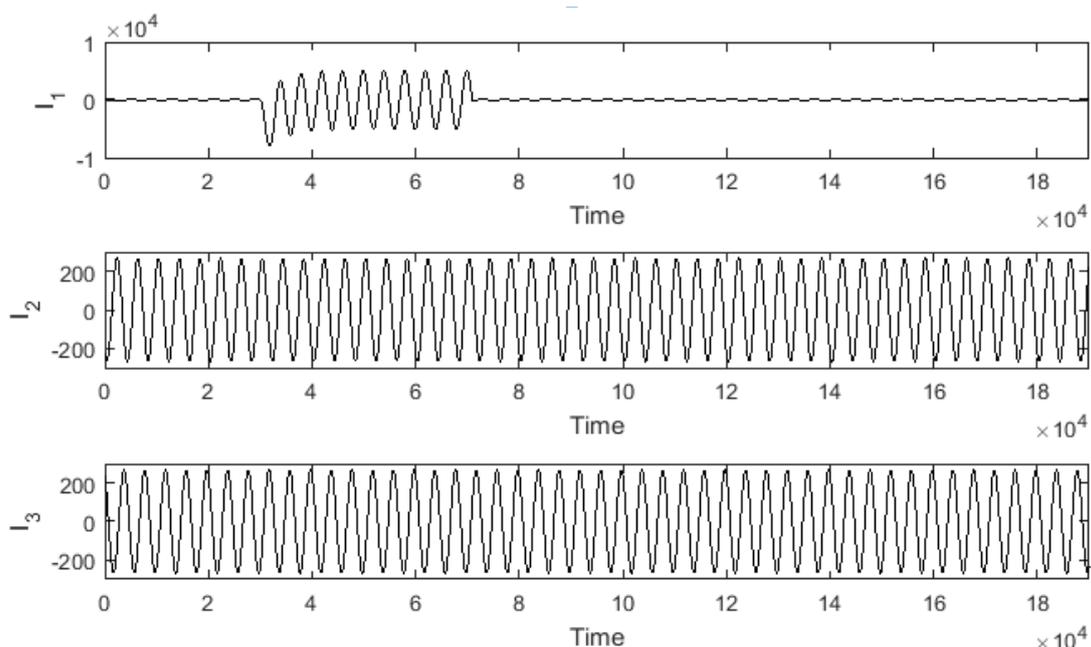


Figure 4.26 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

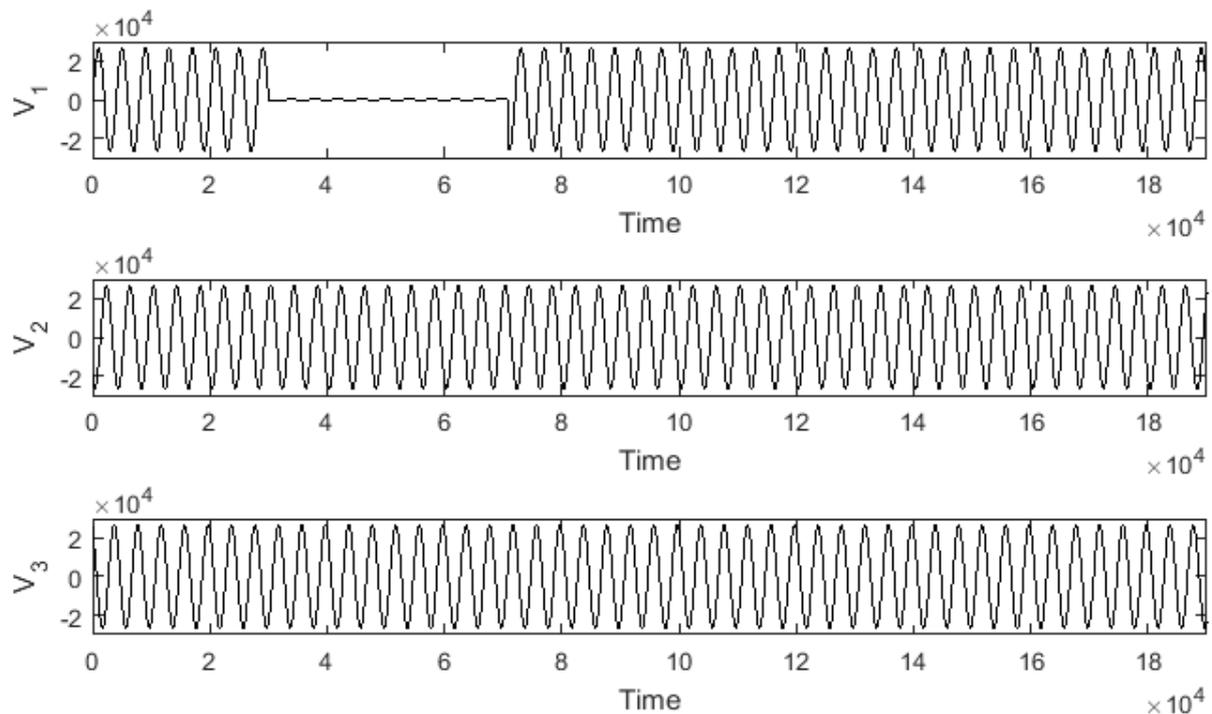


Figure 4.27 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Phase-Terre.

D'après les résultats, on observe la valeur importante du courant dans la phase 1 siège du défaut. Par contre, la tension de la même phase tend vers zéro.

4.5.1.2 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut Biphasé-Terre :

On applique un défaut Biphasé-Terre (L1-L2) dans le schéma Simulink présenté dans la figure (4.25). Les figures (4.28) et (4.29) présentent les résultats de simulation des courants et des tensions des différentes phases.

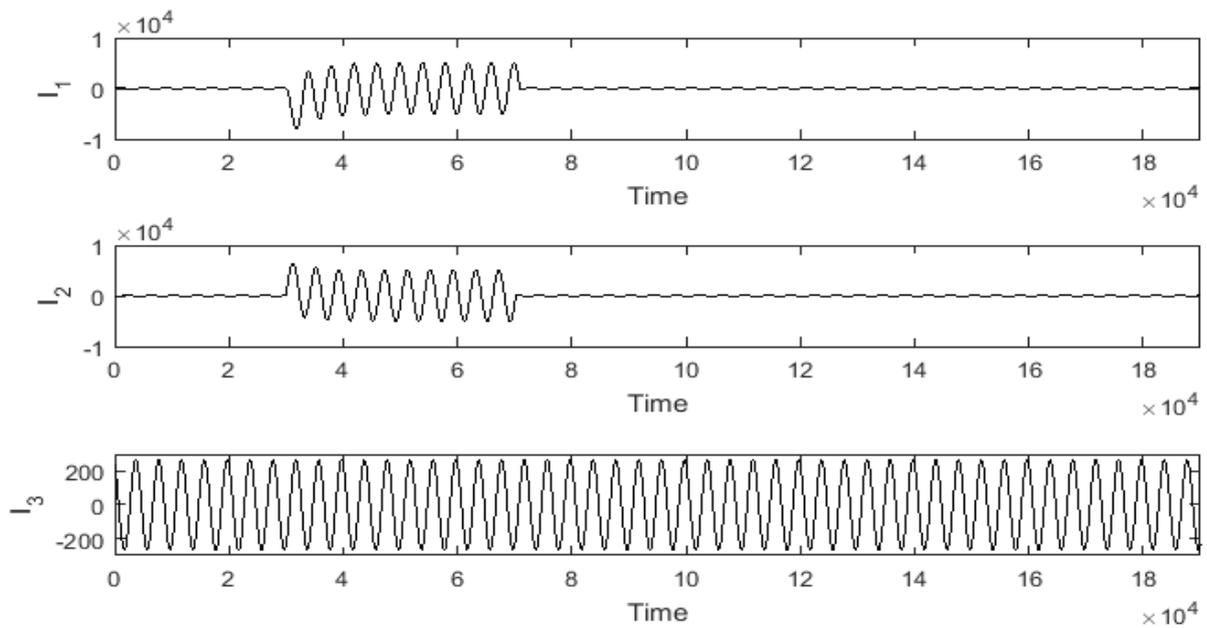


Figure 4.28 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé -Terre.

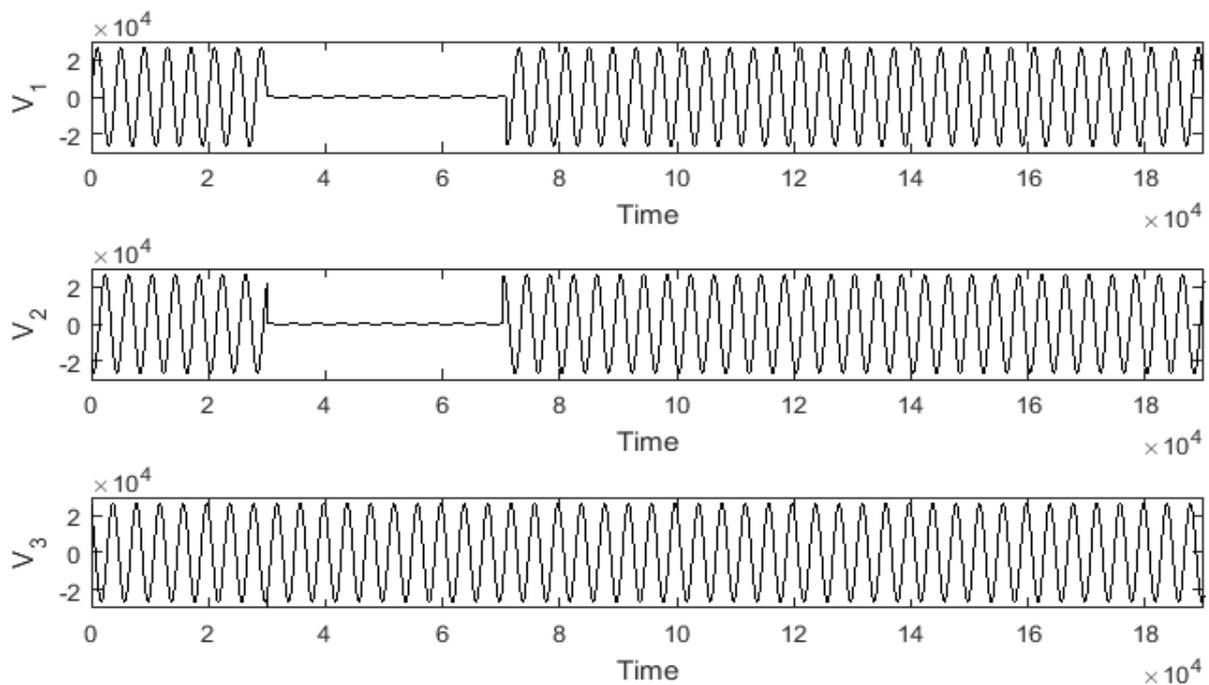


Figure 4.29 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Biphasé-Terre.

D'après les résultats, on observe la valeur importante des courants dans les deux phases 1 et 2 sièges de défauts. Par contre, les tensions de ces deux phases tendent vers zéro.

4.5.1.3 Réseaux électrique HTA 30 KV en présence de défaut Triphasé-Terre :

On applique un défaut Triphasé-Terre (L1-L2-L3) dans le schéma Simulink présenté dans la figure (4.25). Les figures (4.30) et (4.31) présentent les résultats de simulation des courants et des tensions des différentes phases.

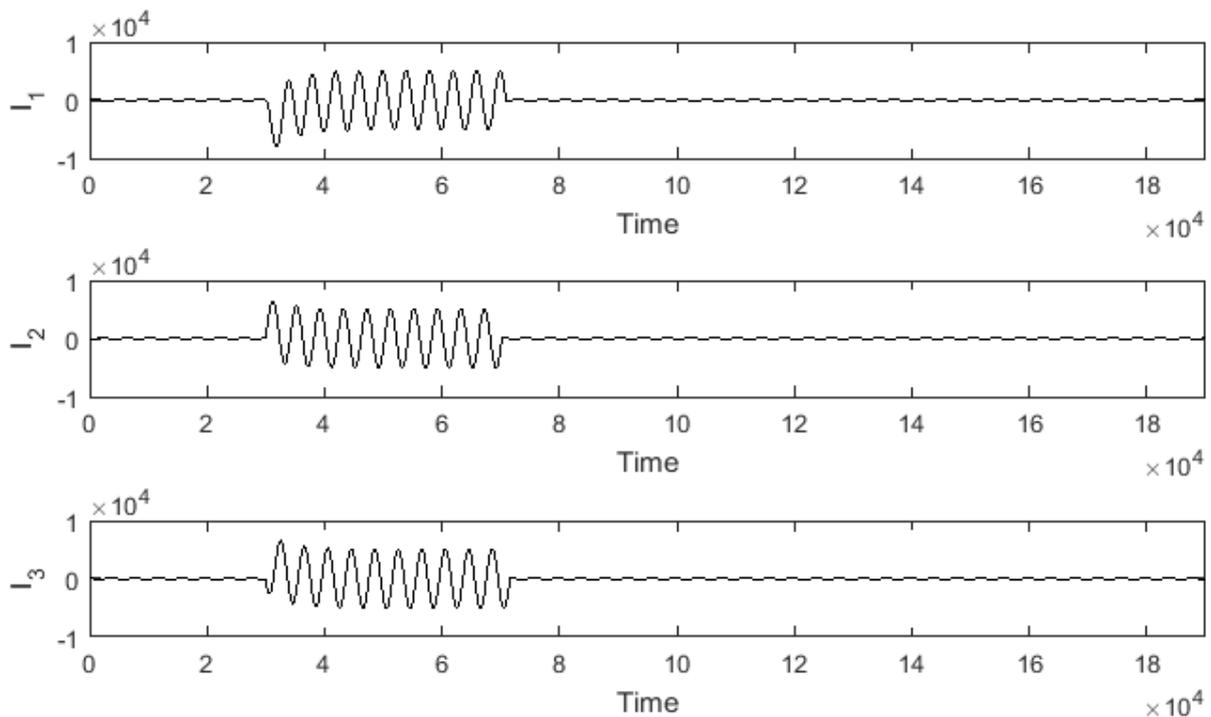


Figure 4.30 Courants réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé -Terre.

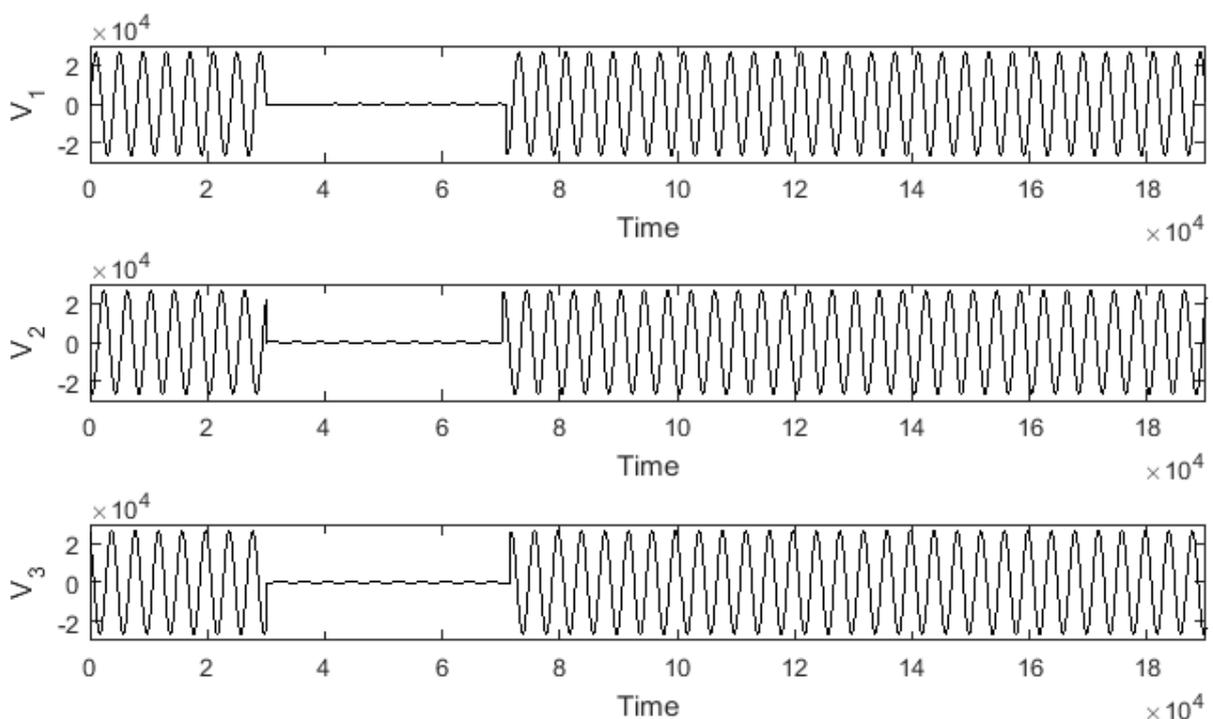


Figure 4.31 Tensions réseau HTA 30KV en présence de défaut Triphasé-Terre.

4.6 Protection différentielle à trois cycles de réenclenchement :

La Figure 4.32 représente le schéma Simulink d'une protection différentielle à trois cycles de réenclenchement. Le schéma contient des systèmes de réenclenchement pour le cycle rapide, le cycle premier lent et le cycle 2^{ème} lent.

Cette protection est utilisée pour la protection contre les défauts de terre. Dans la figure (4.32), (R Terre) représente la résistance équivalente de la terre. Le seuil de déclenchement dans ce cas est préréglé à (2.5A).

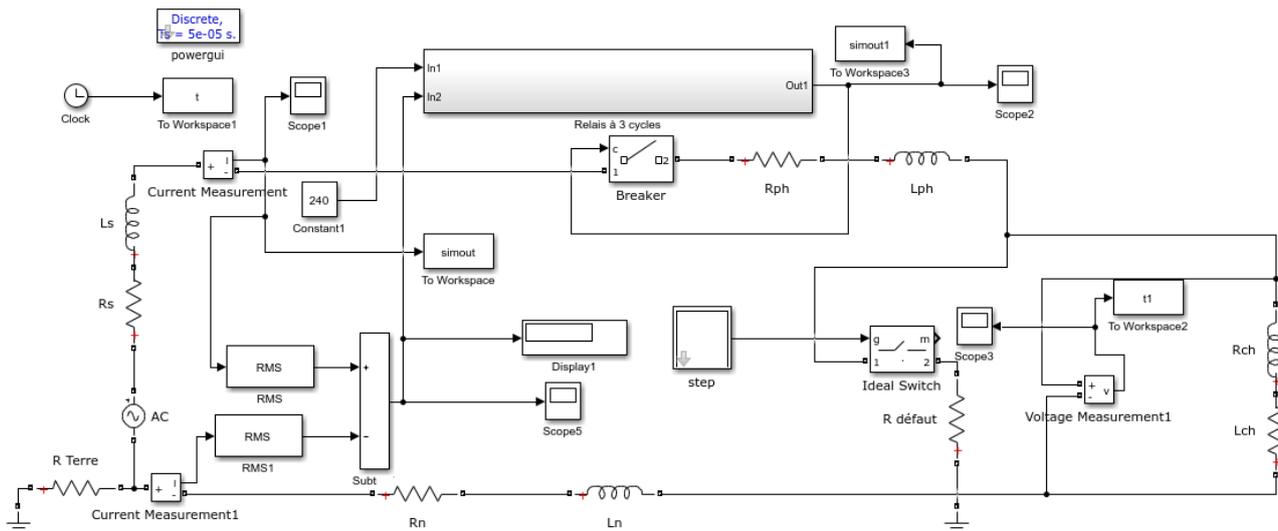


Figure 4.32 Simulation d'une protection différentielle à trois cycles de ré-enclenchement.

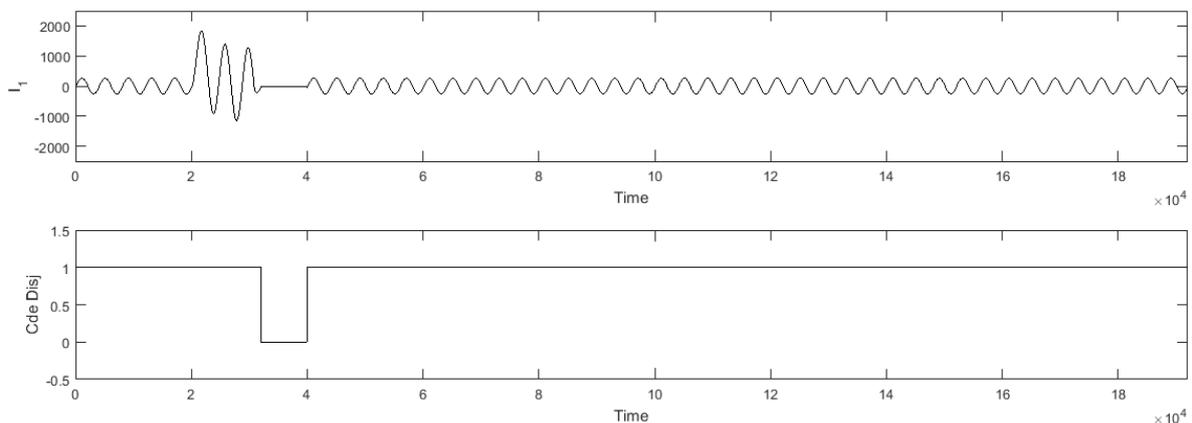


Figure 4.33 Courant de la ligne et signal de commande suite à un défaut fugitif

La figure (4.33) présente le courant et le signal de commande du disjoncteur. Le défaut fugitif est déclenché à l'instant $t=0.2s$. On remarque le rétablissement du régime nominal suite à la disparition du défaut fugitif.

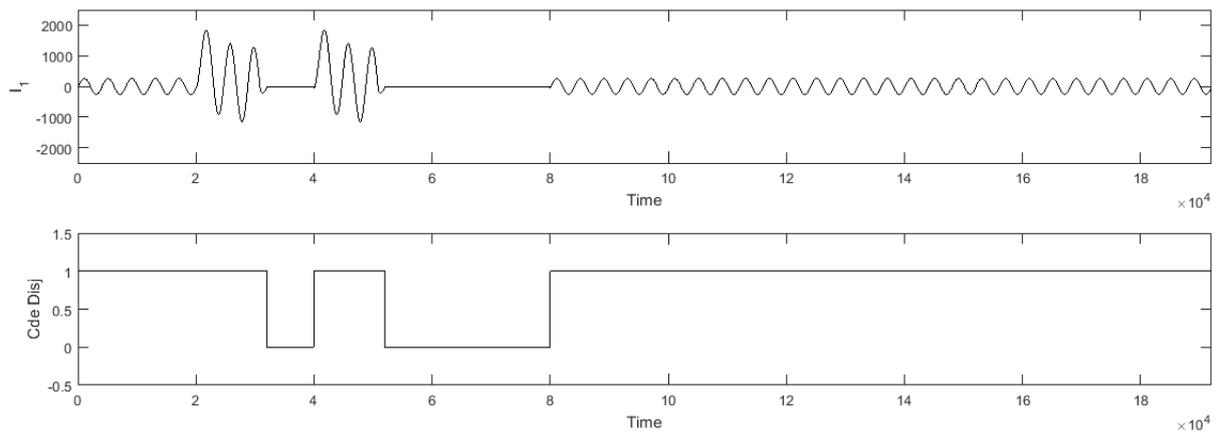


Figure 4.34 Courant de la ligne et signal de commande suite à un défaut semi-permanent

La figure (4.34) présente le courant et le signal de commande du disjoncteur. Le défaut semi-permanent est déclenché à l'instant $t=0.2$ s. On remarque le rétablissement du régime nominal suite à la disparition du défaut semi-permanent.

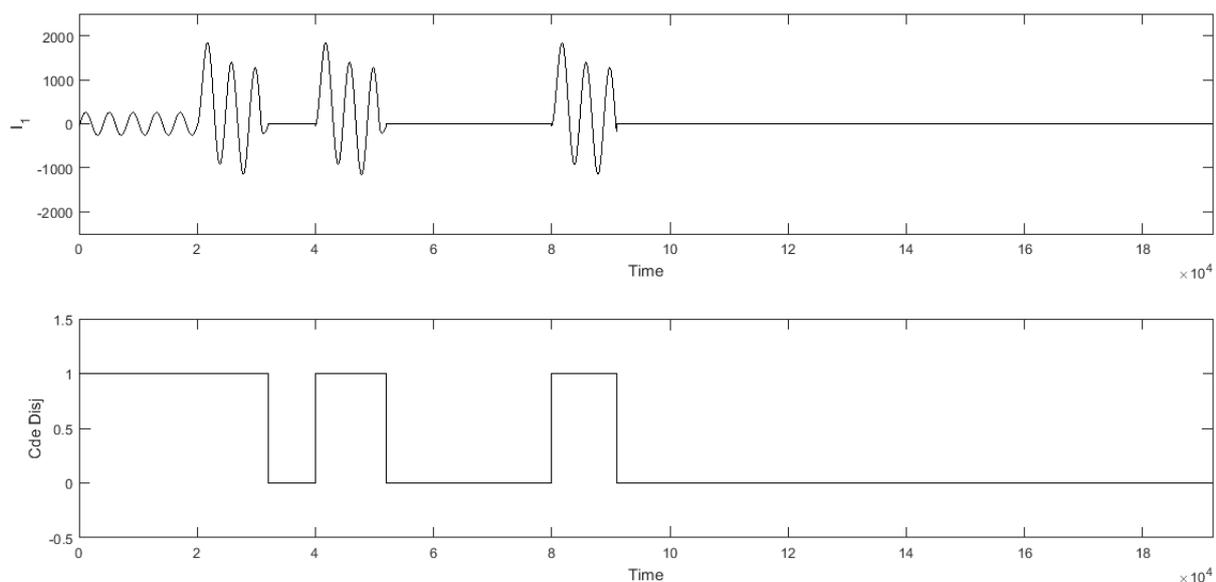


Figure 4.35 Courant de la ligne et signal de commande suite à un défaut permanent.

La figure (4.35) présente le courant et le signal de commande du disjoncteur. Le défaut semi-permanent est déclenché à l'instant $t=0.2$ s. On remarque le rétablissement du régime nominal suite à la disparition du défaut permanent.

4.7 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre la simulation d'un réseau électrique HTA 30 KV triphasé sans défaut et sans protection, un réseau sans protection et en défaut phase-terre, biphasé et triphasé, un réseau électrique équipé d'une protection et en défaut phase-terre, biphasé et triphasé. Nous avons présenté aussi l'utilisation de la protection différentielle d'un transformateur HTA1/HTA2 (30KV/10KV) et l'utilisation et la protection différentielle pour une ligne courte 30 KV. Outre, nous avons présenté la protection maximum de courant avec la présence d'un défaut phase-terre, biphasé et triphasé. Les résultats de simulations sont concluants. Finalement, nous avons présenté la protection différentielle qui assure le rétablissement du régime normale suite à la disparition des défauts fugitifs et semi-permanents.

Conclusion générale

Rappelons que l'objectif principal du présent travail été l'étude d'un système de protection différentielle d'un réseau électrique HTA. Il consiste un moyen performant de protection contre les défauts de terre. En effet, cette étude est focalisée sur la simulation par Simulink/Matlab de cette protection.

Ce travail présente des notions générales sur les réseaux électriques, avec un zoom sur les réseaux HTA, les type de défauts et la nature de défaut pouvant affecter le réseau électrique HTA. Puis, nous avons présenté les différents éléments constituant le système de protection avec diverses technologies les plus connues. Par la suite, le calcul des courts-circuits pour arriver à la dernière partie consacrée à la simulation du fonctionnement de la protection différentielle à trois cycles de réenclenchement.

D'après les résultats de simulations obtenus, on remarque que la protection différentielle est très robuste en termes de réponse suite à l'apparition des défauts fugitifs, et semi-permanents. Le régime normal est établi après la disparition des défauts fugitifs et semi-permanents. Par contre, concernant les défauts permanents, l'intervention humaine pour isoler ce type de défauts est inévitable.

En fin, on conclut que les résultats de la simulation obtenus sont très encourageants et montrent le bon fonctionnement de la protection proposée.

Comme perspectives nous comptons étudier et simuler les autres types de protections qui sont utilisées dans l'industrie pour isoler les différents types de défauts et assurer la continuité de service.

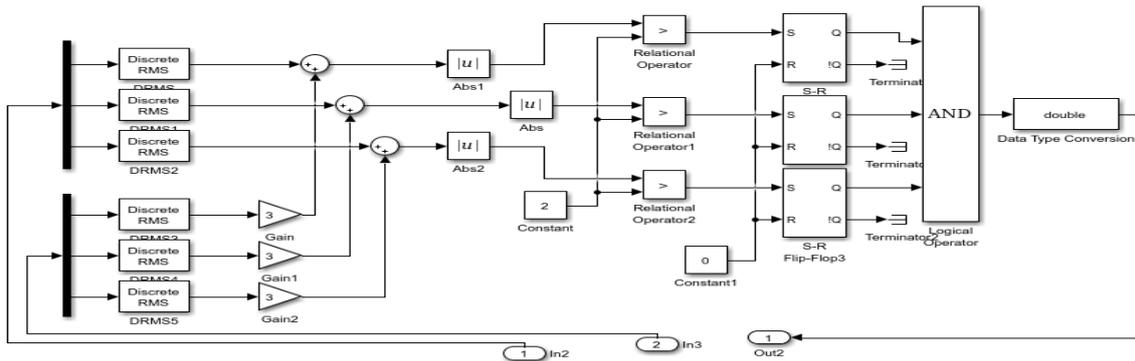
Référence :

- [1] Lilia Benarab , «Détermination des Seuils de réglage des protections des départs Moyenne Tension au complexe de L'ENIEM » , Mémoire De Master 2,Université Mouloud Mammeri De Tizi-ouzou ,2010 .
- [2] Gheniaui Taha, Bouchelaghem Foued , « Plan De Protection Et Philosophie De Protection (Sonelgaz) » Mémoire de Magistère, Université Mohamed Khider De Biskra.2019 / 2020 .
- [3] Adjabi Fadia , Mergag Besma , « Contribution à l'étude des schémas de liaison à la terre étude du cas It» Mémoire de Magistère , Université 8 Mai 1945 – Guelma , 2020/2021.
- [4] F.Amrani , R.Belkessa , «Etude des protections des départs Moyenne Tension application Poste 60 / 30 Kvde TiziMeden » Mémoire de fin d'études , Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou. 2009 .
- [5] Nouioua Mabrouk , Adoui Merwan, « Protection des réseaux électriques HTBen utilisant de relais de distance » Mémoire de fin d'études , Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2016/2017 .
- [6] Saighu Nabila , «Etude du système de protection du réseau de distribution de la ville de Bejaia » Mémoire De Master 2 , Université Abderrahmane Mira- Bejaia, 2013/2014.
- [7] Morel Amour HOUNSOU , « CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DU NIVEAU DE TENSION AU POSTE SOURCE 63/15 KV DE LA SBEE-AKPAKPA » MEMOIRE DE FIN DE FORMATION , UNIVERSITE D'ABOMEY – CALAVI , 2011/2012
- [8] Braun, Christophe , « aide à la distribution et exploitation électrique : simulation et optimisation » thèse master , Université de Namur , 2016/2017.
- [9] Abdellhak Toufik , Aoidji Oussama , Dghmane Zakaria , «Protections des réseaux électriques MTet HT» Mémoire De Master ,Universite De M'sila 2011/2012.
- [10] Dr. Bougadoom « Généralités Sur La Protection Du Réseau Électrique » Cours Licence Électrotechnique ,Université de Tébessa, 2019/2020.
- [11] M.Aoun Mohamed , M.Boulakeur Faiz , « Etude pratique du système de protection installé au niveau de réseau Sonelgaz » Mémoire de Magistère, Universite Akli Mohand Oulhadj, Bouira , 2017.
- [12] ABAIDIA FATMA ZOHRA , « Contribution du STATCOM dans l'amélioration du comportement du réseau électrique » Mémoire de Magistère, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA- , 2018.
- [13] Zellagui Mohamed, « Étude des protections des réseaux électriques MT (30 & 10 Kv)» ,Mémoire de Magistère, Université Mentouri Constantine, 2010.
- [14] Bouziani Rachid « Etude des protections du réseau électrique industriel HTA » thèse de

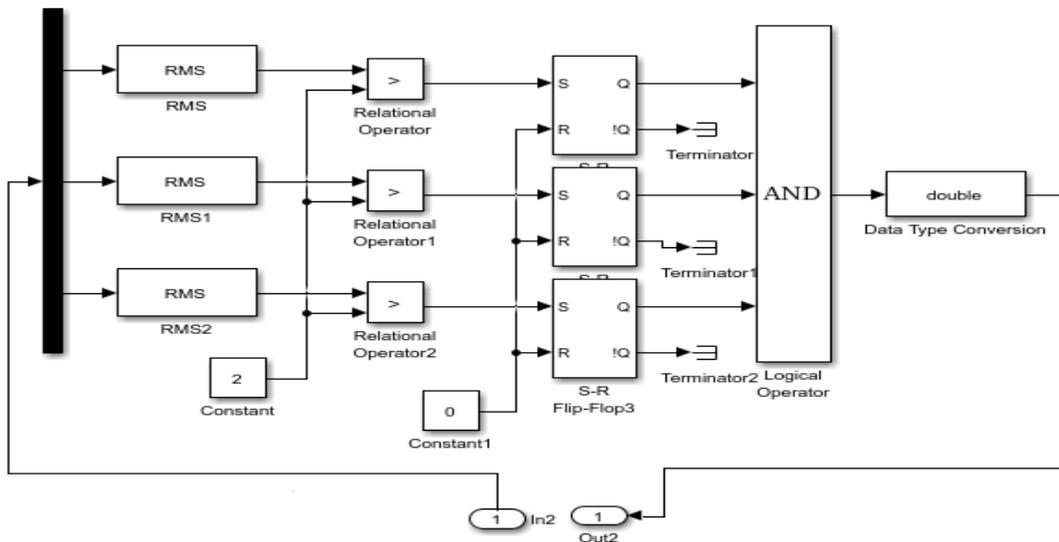
-
- doctorat , Centre Du Maroc , 2013.
- [15] YAGOUB Maroua , « Amélioration de la stabilité dynamique d'un réseau électrique utilisant les méthodes d'intelligence artificielle » Mémoire de master , université Mohamed Khider de Biskra , 2018/2019.
- [16] Mokhnache Madiha, « Etude de la stabilité d'une ferme éolienne connectée à un réseau électrique avec des dispositifs FACTS », Thèse de magister, Université Ferhat Abbas Setif 1, Faculté de Technologie, 2012.
- [17] H.belmahdi , et N.abdelli « Etude de la protection d'un réseau de distribution Moyenne Tension » Thèse de magister , Université Mouloud Mammeri, Tizi-ouzou, 2007/2008.
- [18] Tolba Amrane, "Coordination orientée objet de la protection des réseaux électriques ", Thèse de doctorat ,Université de Batna, 2007.
- [19] BousnaneMerouane, « Optimisation de la coordination des relais à maximum de courant directionnels»,Mémoire de fin d'études Master, Université Mohamed Khiderde Biskra , 2018/2019.
- [20] Abassi Karima, « Protection Des Réseaux Électriques HTAu niveau duposte source PS 30/10kv et Cabine Mobile CM 220/30kv Tolga Biskra», Mémoire de Master,Université Mohamed Khider De Biskra, 2017/2018.
- [21] Abb Suisse Sa Utility Automation « Protection De Ligne Numérique », Février 2002.
- [22] Catalogue Appareils Moyenne Tension « Disjoncteur à ré-enclenchement à coupure dans le vide 3adde Siemens », , 2016.
- [23] Ben Derradji Selsabil,«Calcul des protections d'un départ HTA (30 Kv) », Mémoire Master en Electrotechnique ,University Kasdi Merbeh, Ouargla, , 2013/2014.
- [24] Site Web : <https://new.abb.com/medium-voltage/fr/produits-et-solutions-automatisation-de-la-distribution/relais-protection/feeder-protection-and-control/protection-controle-l'alimentation-ref620-iec>, Janvier 2022
- [25] Site Web: <https://studylibfr.com/doc/2188376/sepam-s%c3%a9rie-40---schneider-electric-belgique>, Mars 2022
- [26] Reda Ait Adda , Nassim Mamou « Etude et présentation du relais de protection numérique SEPAM S80 du départ aérien 30 KvMaatkas », Mémoire de fin d'études Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2015.
- [27] Belkhiri Djamel Eddine ,Lahouassa Yacine, « Calcul De Courant De Court-circuit Dans Les Réseaux Électriques », Mémoire de fin d'études master , Universitéde M'Sila, 2011/2012.

A.1 Relais Protection différentielle et à max de I

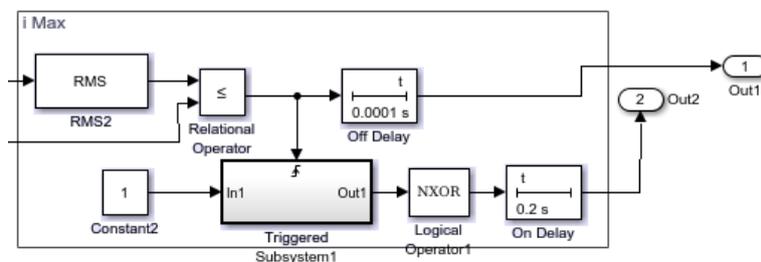
A.1.1 Relais protection différentielle

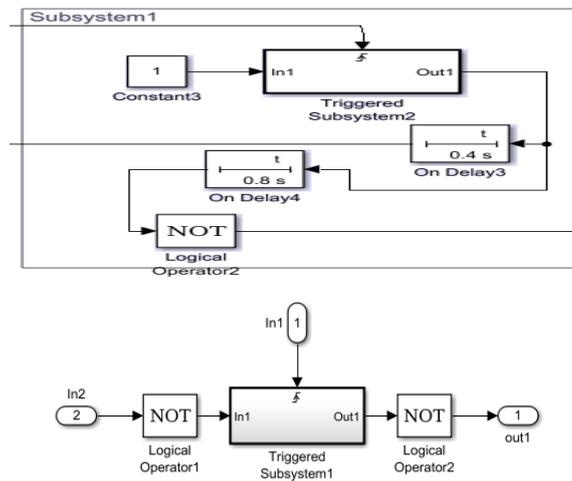


A.1.2 Relais Protection Maximum de Courant

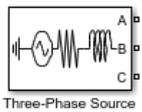


A.3 Principaux éléments du relais protection différentielle à trois cycles de réenclenchement



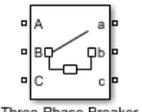


A.2. Principaux éléments utilisés dans la simulation



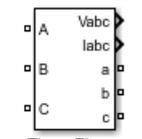
Three-Phase Source

Source HTA



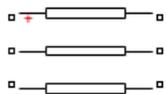
Three-Phase Breaker

Disjoncteur HTA



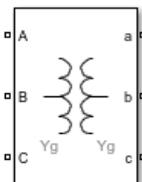
Three-Phase V-I Measurement

Système de mesure (TPs et TCs)



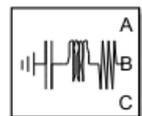
Distributed Parameters Line

Ligne triphasée HTA



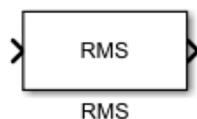
Three-Phase Transformer (Two Windings)

Transformateur de puissance HTA1/HTA2 (30Kv/10Kv)



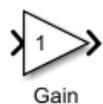
Three-Phase Series RLC Load

Charge alimentée en HTA



RMS

RMS pour calculer la valeur efficace



Gain

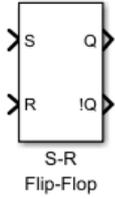
Gain



Sommeur



Démultiplexeur



Bascule S-R



Porte AND



Pour créer les défauts Monophasé, biphasé et triphasé.



Forme de défaut de simulation