



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Filière : électrotechnique
Option : Réseaux Electriques

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Labed Khaled

Le : dimanche 24 juin 2018

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

Jury :

Mr.	Kamel Srairi	Pr	Université Mohamed Khider Biskra	Président
Mr.	Cheriet Ahmed	Pr	Université Mohamed Khider Biskra	Encadreur
Mr.	Benmeddour Mostefa	MCA	Université Mohamed Khider Biskra	Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : électrotechnique
Option : Réseaux Electriques

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**Simulation d'une protection différentielle à
trois cycles de ré-enclenchement**

Présenté par :

Labed khaled

Avis favorable de l'encadreur :

Mr.CHERIET Ahmed

signature

Avis favorable du Président du Jury

Mr. Kamel Srairi

Signature

Cachet et signature

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire de master à:

A ma mère Saida

Mon père Lakhdare

A mes frères : Mohamed, Hamza, Bachir, Hicham

A toute ma famille

A toute mes amis

Et à mon fils et mon frère Labed Mouhamed Amine « Mino »

Je lui souhaite la guérison si Dieu le veut

L. KHALED

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et Miséricordieux,
Qui m'a donné la force et la patience d'accomplir Ce Modeste travail
A mes parents pour m'avoir encouragé. Sans eux, je n'en serais
Pas là.

Je tiens à remercier mon encadreur à Monsieur CHERIET Ahmed notre
enseignant et encadreur de ce projet pour son disponibilité à chaque fois
que nous l'avons sollicité et qui nous a constamment guidé par ces conseils,
Ces remarques et ces critiques.

Je remercie également tous les enseignants de département
d'électrotechnique de l'université Mohamed Khider de Biskra qui ont
Participé à ma formation pendant tout le cycle universitaire.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt
qu'ils ont porté à notre travail en acceptant d'examiner notre mémoires de
L'enrichir par leurs recommandations.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et
Amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce
Mémoire.

SOMMAIRE

- ❖ Dédicace
- ❖ Remerciements
- ❖ Listes des tableaux
- ❖ Listes des figure
- ❖ BIBLIOGRAPHIE
- ❖ Résumé

Introduction Générale	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I : Généralités sur les réseaux électriques

I.1 Introduction	3
I.2. Différents types de réseaux électriques.....	3
I.2.1. Gamme des tensions utilisées par le groupe SONELGAZ.....	4
I.2.2. Types de lignes :	4
I.2.3. Modèles de lignes de transmission	5
I.3. Les défauts dans les réseaux :	7
I.3.1. Origines des défauts :	7
I.3.2. Types et caractéristiques des défauts :.....	8
I.3.3. Caractéristiques des défauts	9
I.3.4. Les anomalies dans un réseau électrique:	10
I.3.4.1. Les courts-circuits :.....	10
I.3.4.2. Les surtensions.....	12
I.3.4.3. Les surcharges.....	13
I.3.4.4. Les oscillations.....	13
I.3.4.5. Les déséquilibres.....	13
I.3.4.6. Les harmoniques	14
I.3.5. Nature d'un défaut	14
I.3.6. Conséquences des défauts sur le réseau électrique.....	15
I.3.7. Les effets des défauts	15
I.3.8 Détection des défauts :	16
I.3.9. Elimination des défauts :	17
I.9. Conclusion.....	18

Chapitre II : protection différentielle

II.1.Introduction.....	19
II.2. Définition d'un système de protection.....	19
II.3. Qualités principales d'un système de protection	20
II.3.1. Rapidité	20
II.3.2. Sélectivité.....	20
II.3.3. Sensibilité.....	21
II.3.4. Fiabilité	21
II.4. Eléments constitutifs d'un système de protection.....	21
II.5. Fonctionnement des relais de protection.....	22
II.5.1. Relais directionnel.....	23
II.5.2. Relais différentiel	23
II.5.3. Relais à maximum de courant	24
II.6. Caractéristiques d'une protection	24
II.6.1. Protection à Temps Indépendant	24
II.6.2. Protection à Temps Inverse	25
II.6.3. Protection Combiné.....	26
II.6.4. Protection par relais de distance.....	26
II.7. La protection différentielle	27
II.7.1. Protection différentielle locale	27
II.7.2. Protection différentielle longitudinale.....	29
II.7.3. Protection différentielle transversale équilibrée.....	29
II.7.4. Conditions d'une protection différentielle	29
II.7. 5. Les composantes principales de la protection différentielle	30
II.8. Les cycles de ré-enclenchement.....	31
II.9. Principe du disjoncteur à ré-enclenchement	32
II.9.1. Cycles du disjoncteur à ré-enclenchement	33
II.9.2. Le disjoncteur à ré-enclenchement automatique.....	33
II.10. Conclusion	33

Chapitre III : Simulation d'une protection différentielle

III.1.Introduction.....	34
III.2. Simulation d'une ligne triphasée.....	34
III.3. Résultats de la simulation.....	35
III.3.1. Sans défauts.....	35
III.3.2. Avec défauts : 1 ^{er} cas court-circuit monophasé L1-N	37
III.3.3. Avec défauts: 2 ^{ème} cas court-circuit biphasé L1-L2	39
III.3.4. Avec défauts : 3 ^{ème} cas court-circuit triphasé L1-L2-L3	41
III.4. Simulation d'une protection à max de courant.....	44
III.4.1. Protection à max de courant à 1 cycle.....	44
III.4.2. Protection à max de courant à trois cycles de ré-enclenchement	47
III.5. Simulation d'une protection différentielle à trois cycles de ré-enclenchement.....	49
III.6.Conclusion.....	55

Annexe: sous-système simulink

A.1 Principaux éléments utilisés dans la simulation	56
A.2. Relais à trois cycles de ré-enclenchement	57
Conclusion Générale	58

LISTE DES FIGURE

CHAPITRE I

Figure. I.1. hiérarchisation des réseaux électrique	3
Figure I.2. Modèle en Pi d'une ligne électrique.....	6
Figure. I.3.Modèle d'une ligne a paramètres distribués ligne longue	6
Figure. I.4. .Modèle d'une ligne courte.....	7
Figure. I.5.Différentes types de défauts.....	9
Figure. I.6.Allure d'un défaut réamorçant.....	10
Figure. I.7.Différents types de court-circuit.	12

CHAPITRE II

Figure. II.1. les zone de protection	19
Figure. II.2. Type des relais	22
Figure. II.3. Protection à maximum de courant à temps indépendant.	25
Figure. II.4. Protection à maximum de courant à temps inverse.	25
Figure. II.5 .Combinaison d'une protection à temps indépendant et à temps inverse.	26
Figure. II.6. Protection différentiels pendant un défaut externe	27
Figure. II.7. Protection différentielle pendant un défaut interne.	28
Figure. II.8. Diagramme des cycles de réenclencher.....	32

CHAPITRE III

Figure. III. 1. Simulation d'une ligne triphasée.....	34
Figure. III.2.A. courant de la première phase.....	35
Figure .III.2.B. Courant de la deuxième phase.	35
Figure. III.2.C. Courant de la troisième phase.	36

Figure .III.2.D. Tension de la première phase.....	36
Figure .III.2.E. Tension de la deuxième phase.....	36
Figure .III.2.F. Tension de la troisième phase.....	37
Figure .III.3. Simulation d'un court-circuit L1-N.....	37
Figure .III.4.A. Courant de la première phase.....	38
Figure .III.4.B. Courant de la deuxième phase.	38
Figure .III.4.C. Courant de la troisième phase.	39
Figure .III.5. Simulation d'un court-circuit L1-L2	40
Figure .III.6.A. Courant de la première phase.....	40
Figure .III.6.B. Courant de la deuxième phase.	41
Figure .III.6.C. Courant de la troisième phase	41
Figure .III.7. Simulation d'un court circuit triphasé	42
Figure .III.8.A. Courant de la première phase.....	43
Figure .III.8.B. Courant de la deuxième phase.	43
Figure .III.8.C. Courant de la troisième phase.	43
Figure.III.9.Simulation d'un relai à max de courant	45
Figure.III.10 .Courant de la ligne, cas sans défauts.	46
Figure.III.11. Simulation d'un défaut de court circuit.	46
Figure.III.12. Courant de la ligne lors d'un court circuit.	47
Figure.III.13. Simulation d'une protection à trois cycles de ré-enclenchement.....	46
Figure.III .14.A . Courant de la ligne suite à l'apparition d'un court-circuit.	48
Figure.III.14.B. Signal de commande envoyé du relais vers le disjoncteur	49
La figure.III.15. Simulation d'une protection différentielle à trois cycles de réenclenchement.	50
Figure.III.16.A. courant de la ligne suite à l'apparition d'un défaut phase-terre permanent.	51
Figure.III.16.B. Tension de la ligne suite à l'apparition du défaut	51
Figure.III.16.C. Signal de commande de l'élément du disjoncteur.....	51
Figure.III.17.A. Simulation d'un défaut phase-terre semi-permanent	52
Figure.III.17.B. Tension de la ligne pour le défaut semi-permanent	53
Figure.III.17.C. Signal de commande d'élément de coupure de la protection	53
Figure.III.18.A. Courant de la ligne suite à un défaut phase-terre fugitif	54
Figure.III.18.B. Tension de la ligne dans le cas d'un défaut phase-terre fugitif	54
Figure.III.18.C. Signal de commande de l'élément de coupure de la protection	55

LISTE DES TABLEAU

CHAPITRE I

Tableau I.1. Tableau des domaines de tension.....	4
---	---

CHAPITRE III

Tableau I.1. Les résultats de la simulation sans défauts.....	35
Tableau I.2. Résultats de la simulation pour un court-circuit L1-N.....	38
Tableau I.3. Résultats de simulation pour un court-circuit L1-L2	40
Tableau I.4. Tableau des résultats de la simulation pour un court circuit triphasé	42

Introduction Générale

Les systèmes d'énergie électrique se sont développés avec une grande rapidité au cours du dernier siècle. Puisque la demande de l'énergie électrique a augmenté le système d'alimentation est devenu très complexe et difficile à contrôler. Sachant que la fonction principale d'un réseau électrique consiste à acheminer l'énergie aux consommateurs, alors sa disponibilité ainsi que sa qualité constituent deux points primordiaux.

En effet, les investissements humains et matériels affectés aux réseaux électriques sont énormes. Pour cela, le réseau électrique doit répondre à trois exigences essentielles qui sont la stabilité, économie et surtout la 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 protection ont été définis et adaptées pour chaque type de défaut. C'est la protection différentielle qui protège contre les défauts terre qui fait l'objet du présent travail. En contre ce travail concerne la simulation par Simulink/Matlab d'une protection différentielle à trois cycles de ré-enclenchement.

Ce mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre présente les types de réseaux, les origines ainsi que les conséquences des principales perturbations qui peuvent être apparaissent dans les réseaux électriques. Sont donc étudiés les types et caractéristiques des défauts, la nature d'un défaut, les anomalies dans un réseau électrique ainsi que les types de lignes.

Le deuxième chapitre traite différents types de protections électrique, 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 éléments définissons la qualité d'un système de protection sont décrits.

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 ré-enclenchement. Pour vérifier le fonctionnement de cette dernière, nous allons considérer plusieurs types de défauts de terre ; défaut terre permanent, semi-permanent et fugitif.

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

I.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter les types de réseaux, les origines ainsi que les conséquences des principales perturbations qui peuvent être apparaitent dans les réseaux électriques. Sont donc étudiés les types et caractéristiques des défauts, la nature d'un défaut, les anomalies dans un réseau électrique ainsi que les types de lignes.

I.2. Différents types de réseaux électriques [1].

Les réseaux électriques sont partagés en trois types (Figure I-1) :

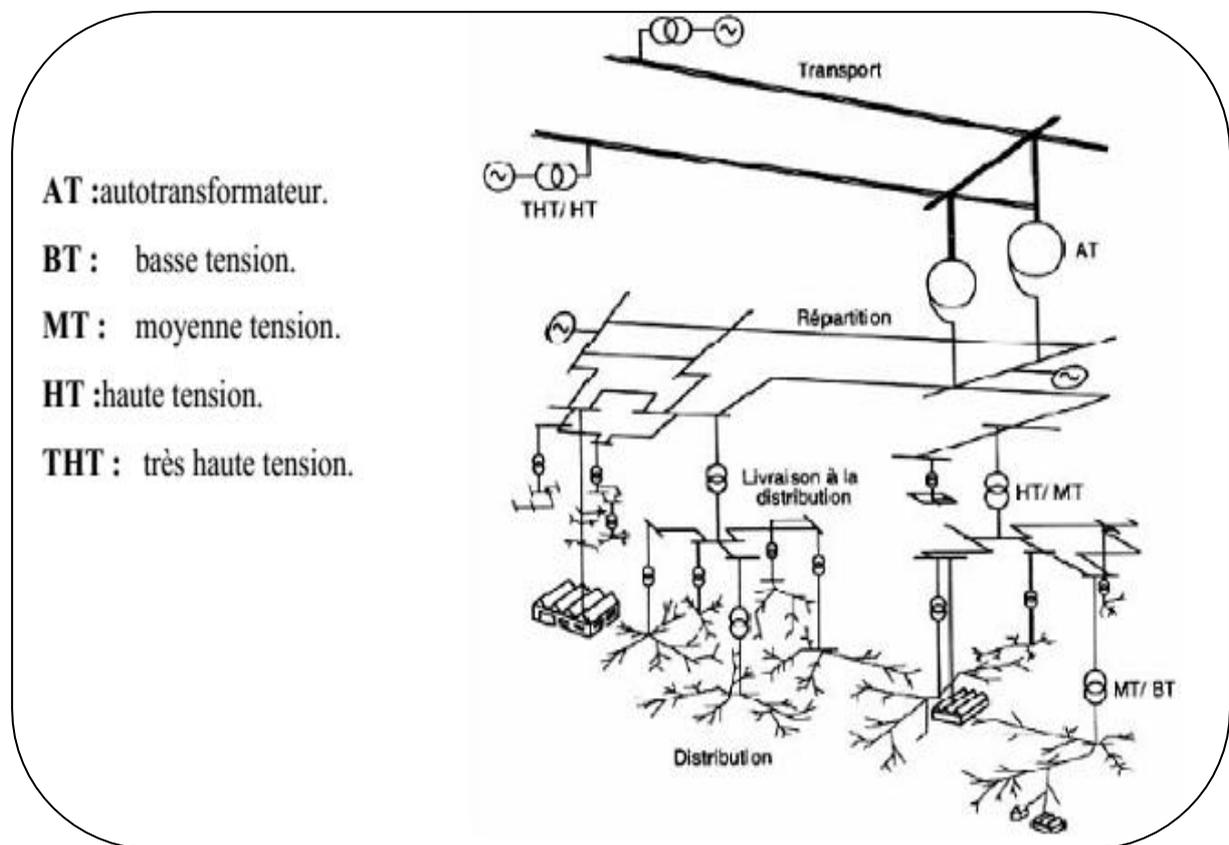


Figure. I.1. Hiérarchisation des réseaux électriques.

- a. **Les réseaux de transport (THT ou HT) :** transportent l'énergie des gros centres de production vers les régions consommatrices. Ces réseaux sont souvent interconnectés, réalisant la mise en commun de l'ensemble des moyens de production à disposition de tous les consommateurs.
- b. **Les réseaux de répartition :** à haute tension (HT) assurent, à l'échelle régionale, la desserte des points de livraison à la distribution. Ces réseaux sont, en grande partie, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres.
- c. **Les réseaux de distribution :** sont les réseaux d'alimentation de l'ensemble de la clientèle, à l'exception de quelques gros clients industriels alimentés directement par les réseaux HT/MT [2].

I.2.1. Gamme des tensions utilisées par le groupe SONELGAZ:

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

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

Tableau I.1. Tableau des domaines de tension [3].

I.2.2. Types de lignes :

Le type de ligne utilisée est imposé par les facteurs suivants :

- puissance active à transporter
- distance de transport

- coût
- esthétique, encombrement et la facilité d'installation

On distingue les types suivants :

- Lignes de distribution BT:** ce sont les lignes et la filerie installées à l'intérieur des usines et maisons pour alimenter les moteurs, cuisinières, lampes,... etc. Le tableau électrique d'entrée constitue la source, et les lignes sont habituellement des câbles ou des barres omnibus fonctionnant à des tensions inférieures à 600 V. Dans certaines régions métropolitaines, on utilise un réseau maillé comprenant une grille de câbles souterrains fonctionnant à 600 V ou moins.
- Lignes de distribution MT:** ce sont des lignes qui relient les clients aux postes de transformation principaux de la compagnie d'électricité. Leur tension est comprise entre 2,4 kV et 69 kV [1] [2].
- Lignes de transport HT:** ce sont les lignes reliant les postes de transformation principaux aux centrales de génération. Elles sont constituées de fils aériens ou de câbles souterrains fonctionnant à des tensions généralement inférieures à 230 kV.
- Lignes de transport THT:** ce sont les lignes qui relient les centrales de produits éloignées aux centres d'utilisation. On les place dans une catégorie distincte à cause de leurs propriétés spéciales. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs de 1000 km et elles fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 765 kV. Les lignes à courant continu à haute tension sont également incluses dans ce groupe.

I.2.3. Modèles de lignes de transmission

La résistance, la réactance inductive, la réactance capacitive et la conductance, sont les quatre paramètres qui affectent la capacité d'une ligne de transmission de pouvoir remplir correctement sa fonction. Généralement la conductance est négligée dans les lignes (aériennes) de transport de l'énergie électrique lorsqu'il s'agit de calculer les courants et les tensions. Les modèles des lignes de transmission utilisés dans l'analyse dynamique des réseaux électriques sont habituellement classés en trois groupes, en fonction des longueurs des lignes (l) : longues, moyennes et courtes.

- Modèle en Pi :** La modélisation en Pi des lignes électriques permet de représenter le comportement électrique attendu de celles-ci (Figure I.2). Le calcul des paramètres électriques utilisé pour la modélisation repose sur les équations de Maxwell. Le

modèle avec une seule section en Pi n'est valable que pour de faibles fréquences et des lignes électriques courtes, dans le cas contraire plusieurs sections en Pi doivent être connectées en série. Avec une seule section, le modèle en Pi n'est valable qu'en basse fréquence pour de faible longueur de ligne. Quand la longueur ou la fréquence augmente, le nombre de sections en Pi à connecter en série pour avoir une modélisation correcte doit être augmenté. Une ligne peut être considérée comme "courte", c'est-à-dire modélisable avec une seule section en Pi, jusqu'à 200 km pour une ligne aérienne en 50 Hz et de 100 km pour un câble

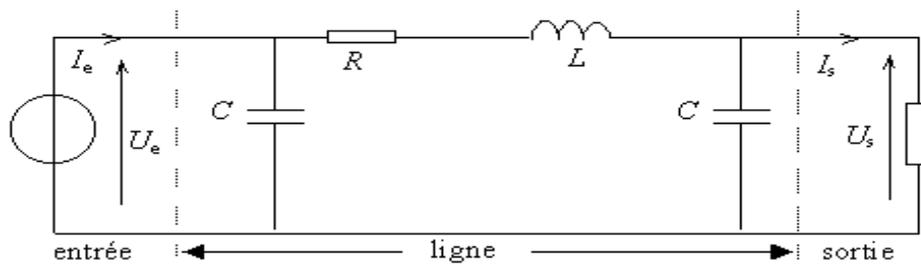


Figure I.2. Modèle en Pi d'une ligne électrique [4].

- b. Ligne longue :** Les lignes longues sont celles dont la distance est supérieure à 300 km leurs paramètres doivent être considérés distribués et non concentrés comme dans la modélisation des lignes courtes et moyennes (Figure. I.3). La ligne est représentée par des éléments de circuit (résistances, inductances et condensateurs donnés par unité de longueur) distribués sur toute sa longueur. La conductance shunt de la ligne est négligée car elle est généralement très faible pour les lignes de transport.

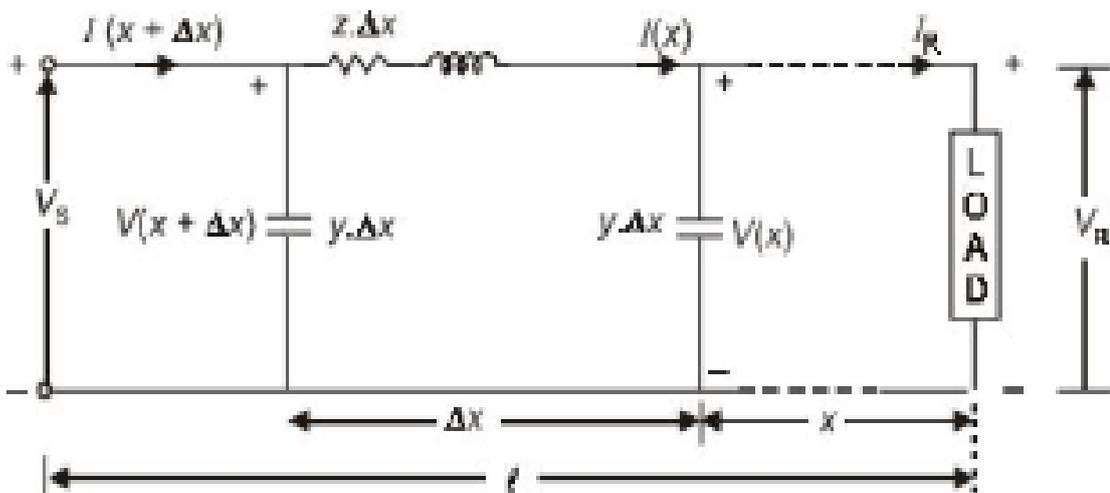


Figure. I.3. Modèle d'une ligne longue [5].

V_S : tension ligne-neutre à la source.

V_R : tension ligne-neutre à la réception.

I, I_R : courants de ligne à la source et à la réception, respectivement.

- c. **Ligne courte** : Ce sont des lignes dont la longueur est inférieure à 100 km; les capacités sont tellement petites qu'elles peuvent être négligées sans perte de précision. Une ligne courte est représentée par une résistance R mise en série avec une inductance L , pour une phase (Figure. I.4).

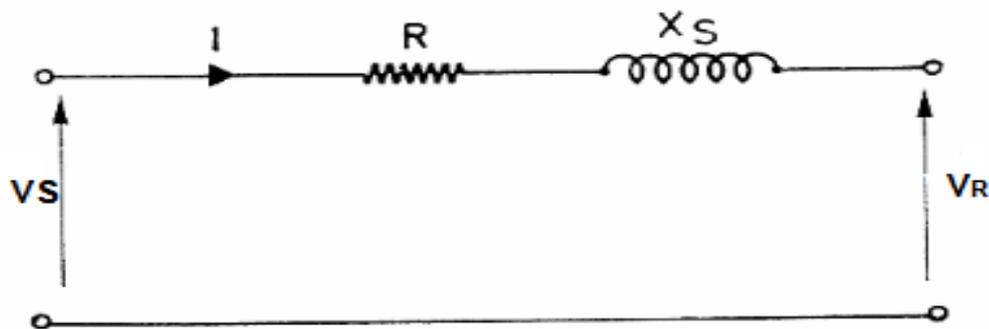


Figure. I.4. Modèle d'une ligne courte [6].

V_S : tension à la source

V_R : tension la réception.

I : courant de ligne à la source

I.3. Les défauts dans les réseaux :

Un défaut est caractérisé par un phénomène non conforme au fonctionnement normal de réseau et pouvant, dans certains cas, conduire à un effondrement électrique de celui-ci et à la mise en danger de son environnement.

I.3.1. Origines 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, les courts-circuits peuvent avoir diverses origines :

- **Electriques** : C'est l'altération des isolants des matériels de réseau, par exemple. En effet, les matériels électriques que l'on trouve sur le réseau ou dans les postes

comportent 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 des courts-circuits.

- **Atmosphériques** : Les lignes aériennes sont soumises aux perturbations extérieures telles que la foudre ou les tempêtes.
- **Mécaniques** : C'est la chute d'un corps sur un conducteur ou la dégradation mécanique de conducteurs consécutive à 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. 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 :

I.3.2. Types et caractéristiques des défauts :

Les défauts sont caractérisés par leur forme, leur durée et l'intensité du courant.

- **Les défauts triphasés** : Ce sont les courts-circuits entre les trois phases avec ou sans mise à la terre.
- **Les défauts biphasés** : Ce sont les courts-circuits entre deux phases ou une phase et le neutre avec ou sans mise à la terre.
- **Les défauts monophasés** : Ce sont des défauts entre une phase et la terre ou une phase et le neutre (Figure. I.5). 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

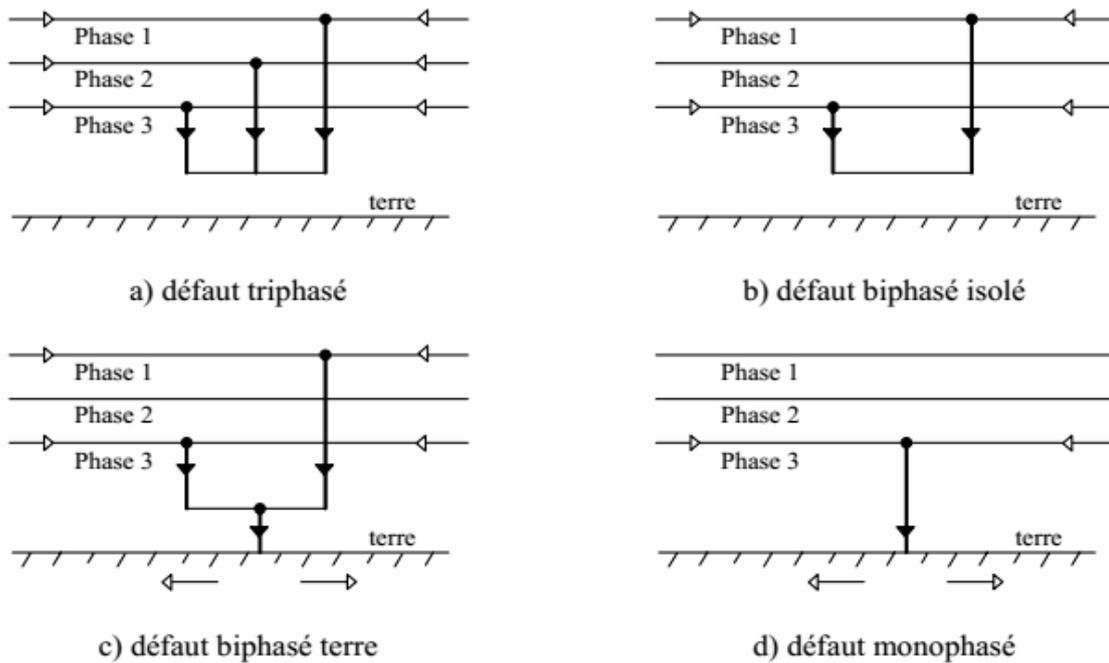


Figure. I.5. Différents types de défauts.

- **Défaut double** : Ce sont deux défauts d'isolement phase terre simultanés entre deux phases différentes d'un même réseau alimenté par un même transformateur HTB/HTA sur des terres différentes éloignées géographiquement. Les deux défauts peuvent se trouver sur le même départ HTA ou sur deux départs HTA différents.
- **Défaut évolutif** : C'est un défaut d'un type donné qui évolue vers un nouveau type dans un temps variable de quelques millisecondes à plusieurs centaines de millisecondes.

I.3.3. Caractéristiques des défauts

- **Défaut auto-extincteur** : Un défaut monophasé auto-extincteur est un défaut qui s'élimine seul sans coupure de l'alimentation ou fermeture d'un disjoncteur. Ces défauts existent sur les réseaux à neutre avec impédance (environ 10% des défauts). Mais ils existent surtout sur les réseaux à neutre compensé dans des proportions importantes (jusqu'à 80%).
- **Défaut réamorçant** : Un défaut réamorçant est un défaut monophasé auto-extincteur, qui réapparaît périodiquement (dans environ 90% de cas, le défaut monophasé auto

extincteur est constitué d'un seul amorçage). Le temps entre deux réamorçages peut varier de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes (Figure. I.6).

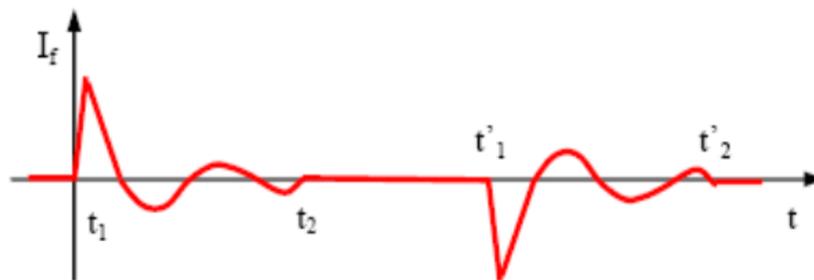


Figure. I.6. Allure d'un défaut réamorçant [7].

I.3.4. Les anomalies dans un réseau électrique: [8]

Les différents composants des réseaux sont conçus, construits et entretenus de façon à réaliser le meilleur compromis entre coût et risque de défaillance. Ce risque n'est donc pas nul et des incidents ou défauts viennent perturber le fonctionnement des installations électriques. Une augmentation ou une diminution anormale des grandeurs nominales dans un circuit électrique constitue un défaut ou une perturbation. Ce sont le plus souvent les variations anormales de la tension, de l'intensité et de la fréquence qui sont à l'origine de ces perturbations.

I.3.4.1. Les courts-circuits :

Les courts-circuits sont des phénomènes transitoires, ils apparaissent lorsque l'isolement entre deux conducteurs de tensions différentes ou entre un conducteur sous tension et la terre est rompu. Ils engendrent des courants très importants dans les éléments constituant le réseau. Les courts-circuits sont de natures et de types différents:

- Les courts-circuits monophasés à la terre.
- Les courts-circuits biphasés à la terre où isolés.
- Les courts-circuits triphasés à la terre où isolés.

Les courts-circuits peuvent provoquer des dégâts économiques importants s'ils ne sont pas éliminés rapidement par les systèmes de protection.

a. Origines d'un défaut de courts-circuits :

Selon la nature du réseau électrique, on cite les origines des défauts de court-circuit comme suit :

- Pour les lignes aériennes, sont en particulier les perturbations atmosphériques (foudre, tempêtes,...etc.) qui peuvent enclencher un défaut de court-circuit. Aussi les défauts d'isolement et les agressions mécaniques peuvent conduire à un CC.
- Pour les câbles souterrains, sont les agressions extérieures, engins mécaniques de terrassement par exemple, qui entraînent des défauts de CC.
- Le matériel du réseau et des postes peuvent être aussi le siège d'un défaut de court-circuit. Ce matériel comporte des isolants placés entre pièces sous tensions et masses. Alors, les isolants subissent des dégradations conduisant à des défauts.

b. Caractéristiques :

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

- **Court-circuit monophasé** : Il correspond à un défaut entre une phase et la terre, c'est le plus fréquent.
- **Court-circuit triphasé** : Il correspond à la réunion des trois phases, c'est le courant de CC le plus élevé.
- **Court-circuit biphasé isolé** : Il correspond à un défaut entre deux phases. Le courant résultant est plus faible que dans le cas du défaut triphasé, sauf lorsqu'il se situe à proximité immédiate d'un générateur.
- **Court-circuit biphasé terre** : Il correspond à un défaut entre deux phases et la terre (Figure. I.7).

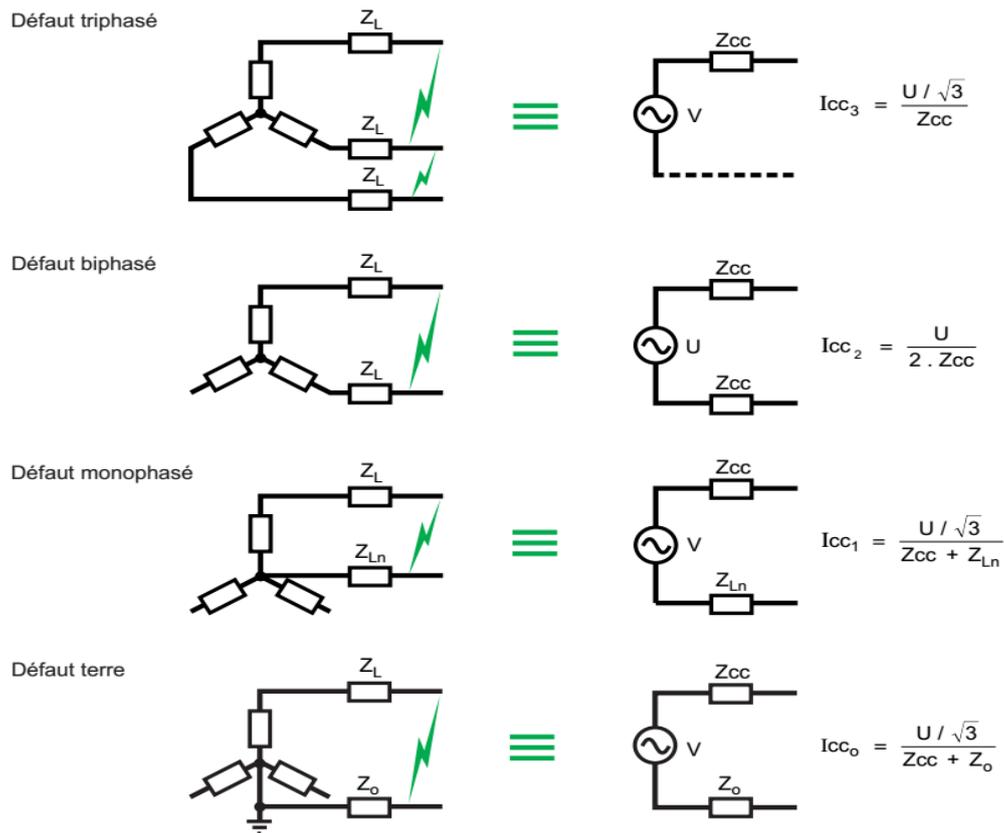


Figure. I.7. Différents types de court-circuit [9].

I.3.4.2. Les surtensions

Il existe deux classes des surtensions:

a. Surtensions par décharges électriques atmosphériques :

Les orages sont des événements très habituels, et aussi très dangereux. On estime que sur notre planète se produisent simultanément quelques 2000 orages et qu'environ 100 coups de foudre se déchargent sur la terre chaque seconde. Au total, cela représente environ 4000 orages quotidiens et 9 millions de décharges atmosphériques chaque jour. Au moment de l'impact, la foudre provoque une impulsion de courant qui arrive à atteindre des dizaines de milliers d'ampères. Cette décharge génère une surtension dans le système électrique qui peut provoquer des incendies et la destruction des équipements électriques

b. Surtensions de commutation :

Ces surtensions sont générées dans les lignes électriques, principalement en raison des commutations de machines de grande puissance. Les moteurs électriques sont des charges très inductives dont la connexion et le débranchement provoque des surtensions. Il existe de même d'autres processus capables de les produire, comme par exemple l'allumage et l'extinction de la soudure à l'arc.

I.3.4.3. Les surcharges

La surcharge d'un appareil est caractérisée par un courant supérieur au courant admissible, les origines de surcharges sont :

- Les courts-circuits.
- Les pointes de consommation.
- L'enclenchement des grandes charges.

Les surcharges provoquent des chutes de tension importantes dans le réseau et accélère le vieillissement des équipements.

I.3.4.4. Les oscillations

Les oscillations de la tension et du courant sont dues aux variations plus ou moins rapides de la charge qui agit directement sur la vitesse de rotation (fréquence) des machines de production de l'énergie électrique. Elles sont liées directement à la mécanique des machines électriques, c'est la raison pour laquelle on les appelle phénomènes transitoires électromécaniques.

I.3.4.5. Les déséquilibres

Les déséquilibres sont généralement dus à la mauvaise répartition des charges sur les trois phases. Ils apparaissent surtout dans les réseaux de distribution, ils donnent naissance à la composante inverse du courant, cette composante provoque :

- Des chutes de tension supplémentaires.
- Des pertes de puissance.
- Des échauffements [10].

I.3.4.6. Les harmoniques

Dans la plupart des cas, les harmoniques présentés sur les réseaux électrique proviennent de l'utilisation de charge non linéaire. Ces charges approximativement comme des sources de courant harmonique c'est –à-dire que le courant harmonique est fixé par la charge et non par l'impédance ou la tension du réseau auquel elles sont raccordées.

I.3.5. Nature d'un défaut

- **Défaut fugitif**

Ce défaut nécessite une coupure très brève du réseau d'alimentation de l'ordre de quelques dixièmes de seconde, Par exemple : balancement des conducteurs sous l'effet du vent, objets divers charriés par le vent, brouillard givrant, pluie en zone polluée, branche d'arbre proche d'une ligne, et brûlée par l'arc.

- **Défaut permanent**

C'est un défaut qui n'a pu être éliminé par les différents cycles de ré-enclenchements. Il a entraîné un déclenchement définitif du disjoncteur.

- **Défaut auto- extincteur**

C'est le défaut qui disparu spontanément en des temps très courts sans qu'il provoque le fonctionnement de la protection.

- **Défaut semi- permanentent**

Ce défaut exige une ou plusieurs coupures relativement longues de l'ordre de quelques dizaines de secondes. Il ne nécessite plus l'intervention du personnel d'exploitation.

Au niveau des réseaux aériens de transport de SONELGAZ, les statistiques sur les défauts sont :

- De 70% à 90% fugitifs.
- De 5% à 15% semi permanents.
- De 5% à 15% permanents [11].

I.3.6. Conséquences des défauts sur le réseau électrique

Les effets néfastes des courts-circuits sont surtout à craindre sur les réseaux électriques THT sur lesquels débitent des groupes générateurs de forte puissance. Les courts-circuits, surtout polyphasés et proches des centrales de production, entraînent une rupture de l'équilibre entre le couple moteur et le couple résistant de la machine, s'ils ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de stabilité de groupes générateurs et à des fonctionnements hors synchronisme. Des temps d'élimination des courts-circuits de l'ordre de 100 à 150 ms sont généralement considérés comme des valeurs à ne pas dépasser sur les réseaux électriques THT. Les défauts de court-circuit amènent à deux types de contraintes :

- **Contraintes thermiques** : Sont dues aux dégagements de chaleur par effet Joule dans les conducteurs électriques.
- **Contraintes mécaniques** : Sont dues aux efforts électrodynamiques entraînent le balancement des conducteurs aériens et le déplacement des bobinages des transformateurs. Ces efforts s'ils dépassent les limites admises sont souvent à l'origine d'avaries graves. De plus l'arc électrique consécutif à un défaut met en jeu un important dégagement local d'énergie pouvant provoquer d'important dégât au matériel.

I.3.7. Les effets des défauts [12]

- **Effets sur le bon fonctionnement des réseaux** : Lorsqu'ils sont polyphasés et proches des centrales, ils entraînent une diminution du couple résistant des machines et donc une rupture de l'équilibre entre celui-ci et le couple moteur. Si les défauts ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de la stabilité des groupes générateurs et à des endommagements du matériel dans le réseau électrique
- **Effets sur la tenue diélectrique des matériels** : Dans le cas d'un défaut triphasé, les défauts provoquent des surintensités violentes qui peuvent dépasser 20 à 30 fois le courant de service normal. Ces surintensités amènent deux types de contraintes : des contraintes mécaniques dues aux efforts électrodynamiques qui entraînent le balancement des conducteurs aériens et le déplacement des bobinages des

transformateurs et des contraintes thermiques dues au dégagement de chaleur par effet joule dans les conducteurs.

- **Effets sur la qualité de la tension :** Les défauts se traduisent pour les utilisateurs par des chutes de tension dont l'amplitude et la durée sont fonction de différents facteurs tels que nature du défaut, la structure du réseau affecté, mode d'exploitation du réseau, mode de mise à la terre du neutre et les performances de la protection. Les perturbations peuvent aller du creux de tension jusqu'à l'interruption complète de la tension.
- **Effets sur les circuits de télécommunication :** La présence d'un court-circuit dissymétrique entre une ou deux phases d'une ligne d'énergie et la terre entraîne la circulation d'un courant homopolaire qui s'écoule à la terre par les points neutre du réseau. La tension induite longitudinale, proportionnelle à ce courant apparaît sur les lignes de télécommunications qui ont un trajet parallèle à la ligne d'énergie. Cette tension peut atteindre des valeurs dangereuses pour le personnel et les installations de télécommunications.
- **Effets sur la sécurité des personnes :** La mise sous tension accidentelle des masses entraîne l'élévation de potentiel des masses, cette élévation est liée à l'écoulement des courants de défaut à la terre. Les conducteurs tombés au sol présentent des risques pour les personnes. Le mode de mise à la terre des points neutre joue de ce fait un rôle essentiel dans la protection des personnes contre les chocs électriques.

I.3.8 Détection des défauts :

Les protections contrôlent en permanence l'état électrique du réseau en surveillant un certain nombre des grandeurs électriques caractéristiques (courant, tension, fréquence) ou des combinaisons de ces grandeurs (puissance, etc.). Ces grandeurs électriques sont fluctuantes du fait notamment des variations de la charge ou de topologie des réseaux, néanmoins elles évoluent dans un domaine normalement fixé par les règles générales d'exploitation des réseaux. Par exemple les tensions peuvent varier dans un domaine exceptionnel (0.7 à 1.1 Un) et les courants ne dépassent jamais 1.1 à 1.3In selon les installations. Le fait que les grandeurs sortent brusquement de ces domaines est caractéristique de la présence d'une anomalie et utilisé comme critère de détection et ceci s'accompli par l'accueil d'information par les

transformateur de mesures (transformateur de tension « TT » et de courant « TC ») qui traduisant la variation des grandeurs principales du réseau. On retiendra ici qu'en régime de fonctionnement normal les réseaux triphasés sont sensiblement équilibrés. Les courants et les tensions ne comportent que des composantes directes. L'apparition de composante inverse est caractéristique d'un fonctionnement déséquilibré du soit à un court-circuit dissymétrique, soit au raccordement d'une charge déséquilibrée. De plus l'apparition de composante homopolaire est caractéristique de présence d'un déséquilibre avec écoulement de courant à la terre via les points neutres du réseau.

I.3.9. Elimination des défauts :

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

- Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).
- Le temps d'ouverture des disjoncteurs.

La protection d'un réseau électrique consiste à détecter tout défaut (défaut à la terre ou entre phases) qui surviendrait sur le réseau afin de protéger les éléments du réseau contre des surintensités destructrices. Une fois le défaut est détecté, il faut pouvoir le localiser au mieux afin de ne mettre hors tension que la partie du réseau la plus proche du défaut. Les protections doivent :

- Détecter la présence d'un défaut.
- Identifier l'ouvrage atteint.
- Commander les organes de coupure, dont l'ouverture conduira à l'isolement de cet ouvrage (et seulement celui-là) par rapport au reste du réseau.

Cette tâche fait appel à un processus comprenant plusieurs opérations tel que la mesure des tensions et des courants ainsi le filtrage et l'échantillonnage pour terminer avec un traitement numérique qui résulte par la localisation de défaut et la possibilité de l'élimination rapide par les organes de commande [12].

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné des informations sur les différents types des réseaux électriques et les différents types de lignes ainsi que les lignes de transmission utilisées dans les réseaux électriques, les défauts dans les réseaux électriques ainsi que leurs conséquences. Egalement, les anomalies du réseau électrique ainsi que la détection et l'élimination de ces défauts.

II.1.Introduction

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

II.2. Définition d'un système de protection

La Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I) définit la protection comme l'ensemble des dispositions destinées à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs disjoncteurs et, si nécessaire d'élaborer d'autres ordres de signalisations (Figure. II.1). Pour la protection, on divise le réseau électrique en zones délimitées par les disjoncteurs. Chaque zone doit être correctement protégée. Les zones se recouvrent pour ne pas laisser aucun point du réseau sans protection.

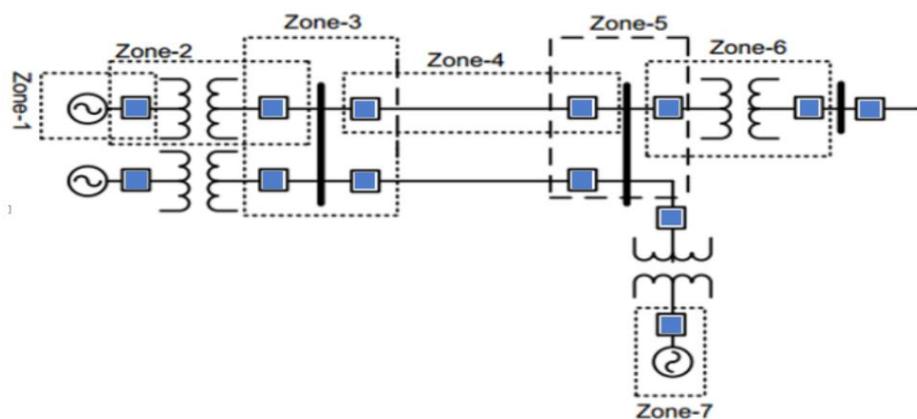


Figure. II.1. Les zones de protection [13].

- Pour les relais de la zone 1 : Responsables de défaut qui est situé à l'intérieur du générateur.
- Pour les relais de la zone 2 : Responsables de tous les défauts qui se trouvent dans le transformateur.
- Pour les relais de la zone 3 : Responsables de tous les défauts qui se trouvent dans les jeux de bars.

- Pour les relais de zone 4 : Responsables de tous les défauts qui se trouvent sur les lignes de transport d'énergie.

Les fonctions de protection sont réalisées par des relais ou des appareils multifonctions. A l'origine, les relais de protection étaient de type analogique et effectuaient généralement une seule fonction. Actuellement, la technologie numérique est la plus employée. Elle permet de concevoir des fonctions de plus en plus évoluées et un même appareil réalise généralement plusieurs fonctions. C'est pourquoi, on parle plutôt d'appareils multifonctions.

II.3. Qualités principales d'un système de protection

II.3.1. Rapidité

Les défauts sont donc 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 :

- 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.

II.3.2. Sélectivité

Les protections constituent entre elles un ensemble cohérent dépendant de la structure du réseau et de son régime de neutre. Elles doivent donc être envisagées sous l'angle d'un système reposant sur le principe de sélectivité. Elle consiste à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affectée et uniquement cette partie, en laissant sous tension toutes les parties saines du réseau. Différents modes de sélectivité peuvent être mis en œuvre :

- La sélectivité ampérométrique par les courants.
- La sélectivité chronométrique par le temps.
- La sélectivité logique par échange d'informations.

La sélectivité a pour but d'assurer d'une part la continuité de service d'alimentation en énergie électrique et d'autre part la fonction secours entre les protections

II.3.3. Sensibilité

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

- Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations et est donc parfaitement connu,
- Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit se produisant dans des conditions souvent exceptionnelles. La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner [11].

II.3.4. Fiabilité

Une protection a un fonctionnement correct lorsqu'elle émet une réponse à un défaut sur le réseau en tout point conforme à ce qui attendu. L'inverse, le fonctionnement incorrect comporte deux aspects qui sont le défaut de fonctionnement et le fonctionnement intempestif. Le défaut de fonctionnement ou non fonctionnement lorsqu'une protection qui aurait de fonctionner n'a pas fonctionné. Le fonctionnement intempestif est un fonctionnement non justifié, soit en l'absence de défaut, soit en présence d'un défaut pour la quelle la protection n'aurait pas à fonctionner. En effet, la fiabilité d'une protection, qui 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.

II.4. Eléments constitutifs d'un système de protection

- **Réducteurs de mesure :**

Pour des raisons de dimensionnement et de coût, les relais de protection sont prévus pour des courants et des tensions de valeurs réduites. De plus, pour assurer la sécurité des opérateurs, il faut interposer une séparation galvanique entre le réseau surveillé qui se trouve à tension élevée et le circuit de mesure à tension réduite mis à la terre en un point. On utilise pour cela des transformateurs de courant (TC) et des transformateurs de tension (TT). Afin d'assurer une bonne protection contre les défauts, la caractéristique essentielle d'un réducteur de mesure est sa précision.

- **Relais de protection**

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations à caractère analogique (courant, tension, puissance,... etc.) et le transmettent à un ordre de fermeture ou ouverture d'un circuit de commande lorsque ces informations reçues atteignent des valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées d'avance. En effet, le rôle des relais de protection consiste à détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que les défauts de court-circuit. Les relais peuvent être classés en trois familles (Figure. II.2).

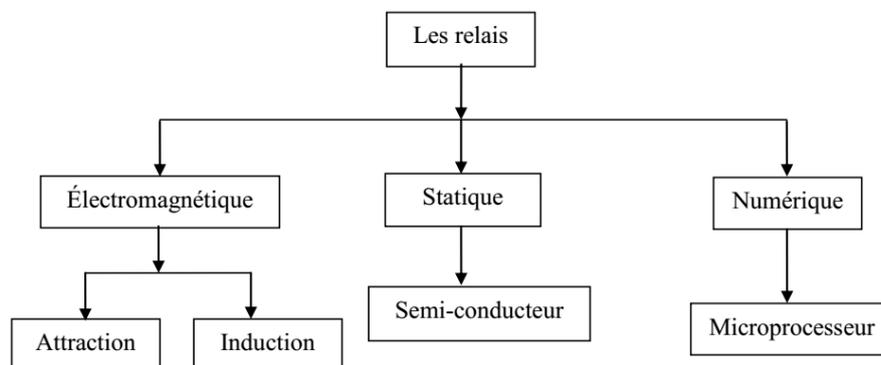


Figure. II.2. Type des relais [8].

- **Élément de coupure :**

Cette fonction est assurée souvent par un disjoncteur afin d'isoler le plus vite possible la partie du réseau en défaut.

II.5. 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 :

- 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. La majorité des relais de protection utilisés dans les réseaux électriques sont décrit ci dessous.

II.5.1. 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.

II.5.2. 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 [14].

II.5.3. 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. Les types de cette protection sont :

- **Les protections à maximum de courant de phase:** Des protections utilisées pour détecter les défauts monophasés, biphasés et triphasés. Lorsqu'un, deux ou trois des courants concernés dépassent la consigne correspondant au seuil, la protection de vient activée déclenche.
- **Les protections à maximum de courant de terre:** Les protections ampère-métriques de terre sont utilisées pour détecter les défauts à la terre. Elles sont activées lorsqu'il y a un courant résiduel qui circule dans la terre [11].

II.6. Caractéristiques d'une protection

II.6.1. Protection à Temps Indépendant

Une protection à temps indépendant est une protection pour laquelle le seuil ne dépend pas du temps. Elle est instantanée, si le courant mesuré (I_m) dépasse le courant maximal (I_{max}) alors la protection déclenche. S'il y a une temporisation, un certain intervalle de temps sera respecté avant le déclenchement dans la Figure. II.3. Cela donne le temps à d'autres protections, plus proches du défaut, de réagir et ainsi évite d'ouvrir une partie du réseau saine.

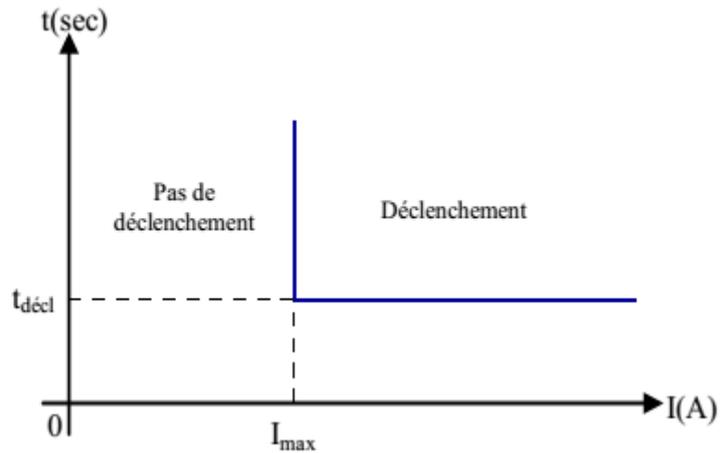


Figure. II.3. Protection à maximum de courant à temps indépendant.

II.6.2. Protection à Temps Inverse

Une protection à temps inverse à un seuil dépendant du temps (IDMT: Inverse Définites Minimum Time), la temporisation diminue quand le courant mesuré augmente (Figure. II.4). L'idée est qu'en cas de fort courant, il est important que la protection déclenche rapidement pour éviter des dommages à l'équipement. Par contre quand le courant est relativement faible par rapport à ce que peut supporter l'équipement, la temporisation doit être longue afin d'éviter un déclenchement intempestif [14].

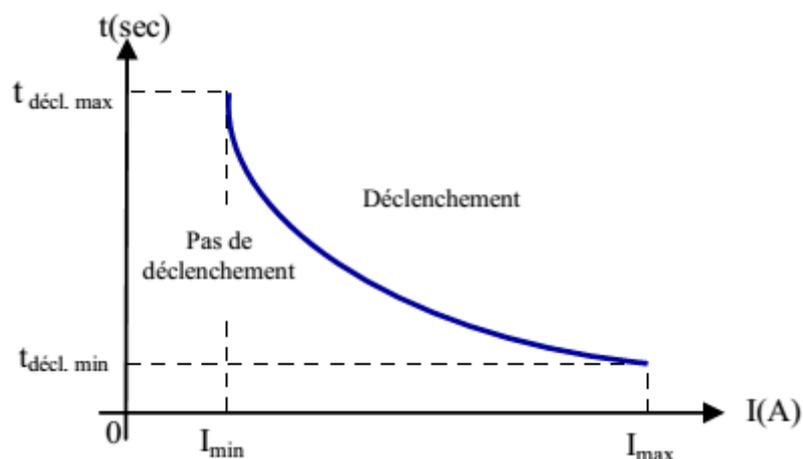


Figure. II.4. Protection à maximum de courant à temps inverse.

II.6.3. Protection Combiné

Une combinaison de protection à temps indépendant et à temps inverse est parfois utilisée (Figure. II.6). La temporisation décroît à mesure que le courant augmente puis passe brutalement à zéro pour un certain I_{max} . Cela permet de combiner les avantages des deux systèmes.

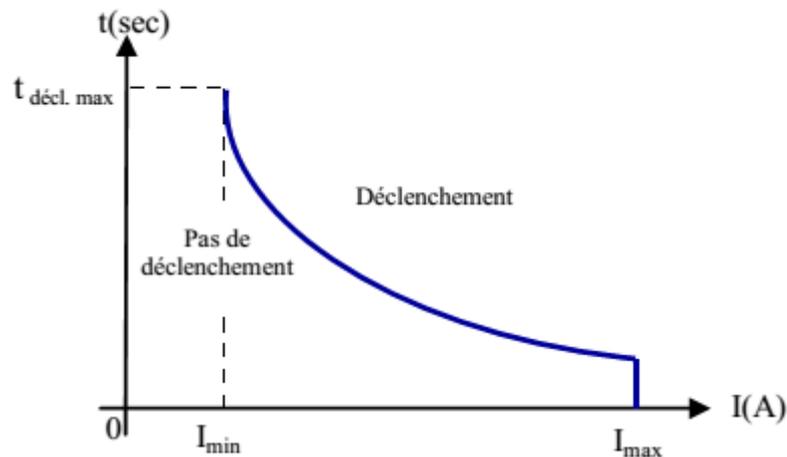


Figure. II.5 .Combinaison d'une protection à temps indépendant et à temps inverse.

II.6.4. Protection par relais de distance

On considère la protection de distance le type le plus populaire du principe de protection appliqué généralement pour protéger les lignes de transport dû à leur capacité de remplir les exigences de fiabilité et la vitesse nécessaire pour protéger ces lignes. Le principe de base du relais de distance se fonde sur le fait que l'impédance de la ligne est assez constante suivant le long de la ligne et proportionnelle à la longueur de la ligne. Cette particularité est pratiquement vraie et indépendante des amplitudes de la tension et du courant. Donc, l'impédance vue à partir de l'endroit du relais à n'importe quel point de défaut suivant le long de la ligne est proportionnelle à la distance entre le relais et le point de défaut et l'endroit de défaut peut être déterminé s'il fait partie de la ligne protégée. En conséquence, le relais protecteur, qui fonctionne en basant sur la mesure de distance, est désigné sous le nom du relais de distance. Bien que les techniques qui sont utilisés pour traités et calculés les signaux soient différentes d'un fabricant à l'autre, tous les relais de distance fonctionnent de la même manière en calculant l'impédance à partir des

tensions et des courants des trois phases de la ligne. Le principe de base de fonctionnement des relais de distance est que si l'impédance mesurée par le relais est moins que l'impédance d'arrangement (normalement sa valeur est un pourcentage de la valeur de l'impédance de la ligne de transport à protégée), alors le relais conclurait qu'il y a un défaut dans la ligne de transport à protégée. Parfois les relais de distance sont aussi appelés comme relais à minimum d'impédance pour cette raison [12].

II.7. La protection différentielle

II.7.1. Protection différentielle locale

La Protection différentielle, c'est un type de protection qui compare les courants entrant et sortant la zone protégée et fonctionne quand la différence entre ces courants dépasse une grandeur prédéterminée, la protection différentielle devrait fonctionner en cas de défauts internes et ne devrait pas fonctionner en cas de défauts externes (Figure. II.7). La zone de protection est éliminée par deux ou trois transformateurs de courant. Les conducteurs apportant le courant des transformateurs de courant au relais différentiel sont dans quelques situations appelées les fils pilotes.

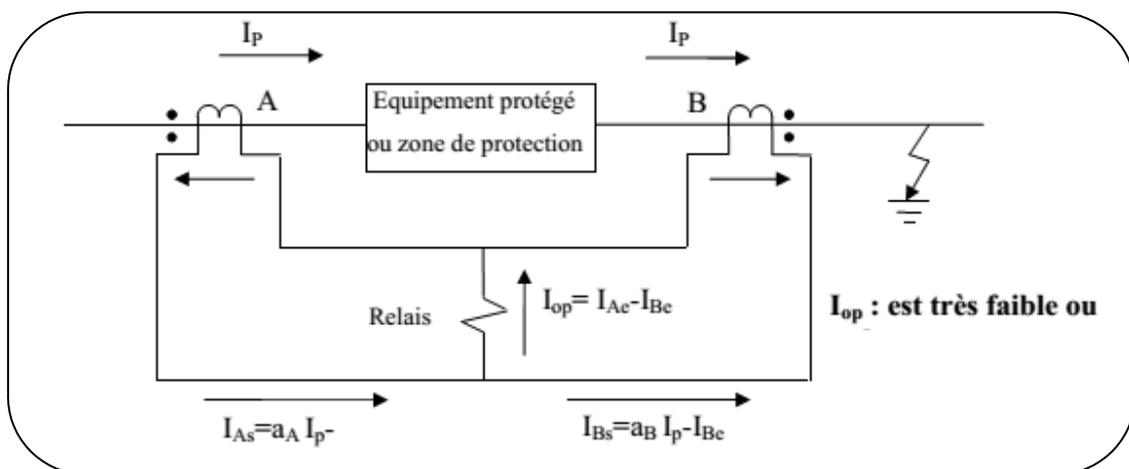


Figure. II.6. Protection différentiels pendant un défaut externe [12].

Dans les conditions normales, le courant I_p à l'entrée de l'unité protégée serait égal au courant sortant à chaque instant. Le courant secondaire dans le fil pilote du transformateur de courant A est égal à :

$$I_{As} = a_A I_p - I_{Ae} \quad (7.1)$$

Où :

a_A : est le rapport de transformation du transformateur de courant A.

I_{Ae} : est le courant d'excitation du transformateur de courant A dans le secondaire.

Pour le transformateur de courant B, l'équation est semblable et est comme suit :

$$I_{Bs} = a_B I_p - I_{Bc} \quad (7.2)$$

En assumant que les rapports de transformation sont égaux, $a_A = a_B = a$, le courant d'opération I_p du relais est donné par :

$$I_{OP} = I_{Ae} - I_{Be} \quad (7.3)$$

Pendant le régime normal ou pendant les défauts externes, le courant d'opération du relais est très faible, mais j'aimais égale à zéro. En cas d'un défaut dans la zone de protection, le courant d'entrée n'est plus égal au courant de sortie. Le courant d'opération du relais différentiel est maintenant la somme des courants d'entrée alimentant le défaut suivant les indications de la Figure (II.7).

$$I_{OP} = a(I_{F1} + I_{F2}) - I_{Ae} - I_{Be} \quad (7.4)$$

Ce courant actionne le relais pour isoler la zone en défaut.

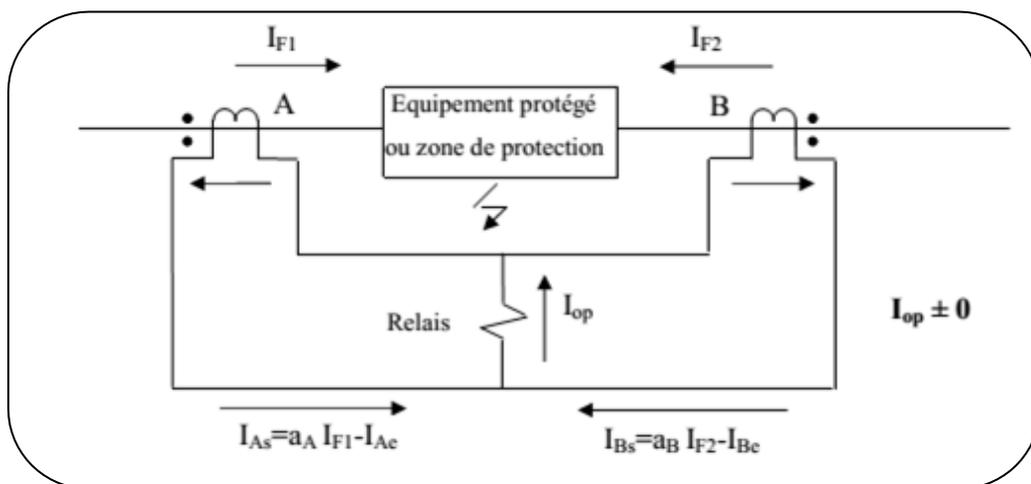


Figure. II.7. Protection différentielle pendant un défaut interne [12].

II.7.2. Protection différentielle longitudinale

Ce type de protection est utilisé dans des sections de petite longueur (jusqu'à 5km dans les réseaux 35 kV et jusqu'à 10 km dans les réseaux 110 kV) dans le cas où la protection de distance ne répond pas aux exigences de la vitesse, la sélectivité et de la sensibilité. Les fils pilotes le long de la voie de la ligne de transport effectuent la comparaison courante à l'extrémité de la section protégée. La fonction de protection différentielle permet de protéger :

- des lignes aériennes.
- des câbles.
- des lignes équipées d'un transformateur de puissance.

II.7.3. Protection différentielle transversale équilibrée

La protection équilibrée est un type de protection différentielle transversale qui est utilisée dans les lignes en parallèles. Elle est basée sur une comparaison des amplitudes des courants passant par les lignes. Pour des lignes en parallèles avec la même impédance et dans des conditions normales, ou en présence d'un court-circuit externe, les relais ne fonctionneront pas en raison de la répartition équilibrée des courants. Par contre si un court-circuit est signalé sur une des lignes en parallèles, la plus grande partie du courant de la source passe à travers la ligne défectueuse, alors que la partie la plus petite passe à travers le long de la ligne saine. Dans cette circonstance, le relais déclenchera la ligne défectueuse. A l'autre extrémité des lignes en parallèles et sans source additionnelle d'alimentation, les courants en présence du court-circuit sur une de ces lignes sont égaux en grandeur mais opposé dans la direction. Un relais équilibré qui a réagi au rapport des intensités de courant et pas à leur direction ne réagit pas.

II.7.4. Conditions d'une protection différentielle [15].

Les conditions de base du système de protection différentielle sont :

- **Fiabilité:** Elle peut être définie comme la capacité de fonctionnement du système de protection quand le défaut se produit sur le système. Ici nous avons deux aspects différents le premier est la fiabilité (ou disponibilité) du système de protection qui signifie que le système de protection doit fonctionner dans des conditions de panne. Le second est la sécurité qui signifie que le système de protection ne doit pas

fonctionner dans les conditions normales ou le défaut est externe. La fiabilité peut être réalisée en choisissant les composants fiables pour toute la chaîne à savoir:

- ✓ Transformateur.
 - ✓ Relais.
 - ✓ Câblage du système de protection.
 - ✓ Circuits de commande.
 - ✓ Approvisionnements de puissance auxiliaire.
-
- **Sélectivité** : C'est la capacité du système de protection d'isoler seulement la partie défectueuse ; de sorte que la pièce restante reliée toujours au système selon cette condition que le système d'alimentation continuera la fourniture d'énergie à toutes les parties saines du système.
 - **Sensibilité** : C'est la capacité du système de protection de détecter la réponse à tout défaut à un point quelconque sur la zone protégée dans toutes les conditions de fonctionnement.
 - **Vitesse** : Le système de protection doit se déclencher pour les défauts instantanément c.-à-d. sans retard pour réduire au minimum les dommages dans le système d'alimentation et pour fournir la stabilité pour le système d'alimentation.
 - **Economie**: Il est fondamental qu'il faut obtenir une protection maximale pour un coût minimum. Le système qui à coût de protection minimum peut ne pas être le plus fiable; en outre, il peut entraîner de plus grandes difficultés dans l'installation et l'opération, aussi bien que des coûts de maintenance plus élevés.

II.7. 5. Les composantes principales de la protection différentielle

Les composantes principales de la protection différentielle sont :

- **Transformateur de Courant (T.C)** : particulièrement conçu pour refléter exactement les images des courants primaire et secondaire, dans des dispositifs régulateurs, des relais de contrôle, et des relais de protection.
- **Conducteurs** : les fils qui reliaient les transformateurs de courant aux relais différentiels.

- **Disjoncteur** : C'est un dispositif de déclenchement utilisé pour l'interruption de l'écoulement du courant pour actionner des parties du système (commutation) en conditions normales ou en conditions de pannes.
- **Relais Différentiels** : C'est un type de relais qui compare le courant du côté primaire et du côté secondaire du transformateur de puissance ou de n'importe quel dispositif protégé. Les relais de protection provoquent la coupure de l'alimentation du réseau à surveiller afin de protéger :
 - ✓ les personnes contre les contacts indirects et de façon complémentaire contre les contacts directs.
 - ✓ les biens contre les risques d'incendie.
 - ✓ les moteurs.

Les relais commandent l'ouverture du disjoncteur auquel ils sont associés lorsque le seuil de sensibilité du courant de fuite est dépassé. Selon les relais, le seuil de sensibilité peut être fixe, réglable. Le déclenchement peut être instantané ou temporisé. Certains appareils permettent le réglage de cette temporisation. Les relais de protection mémorisent le défaut différentiel. Après élimination du défaut, le relais est prêt à nouveau à fonctionner, après réarmement manuel du contact de sortie [15].

II.8. Les cycles de ré-enclenchement

La fonction de ré-enclenchement permet d'exécuter jusqu'à quatre cycles de ré-enclenchement 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. II.8). 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 [16].

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

climats différents a été vérifié par de nombreux essais au-delà de la norme du disjoncteur à ré-enclenchement.

II.9.1. 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 :

- 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 [17].

II.9.2. Le 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 [18].

II.10. 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 et la protection différentielle à cycles de ré-enclenchement, et on a insisté sur la protection différentielle à cycles de ré-enclenchement qui constitue le sujet de ce travail. 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.

III.1.Introduction

Ce chapitre est consacré à la simulation d'un système de protection différentielle à trois cycles de ré-enclenchement. Dans un premier temps nous avons calculé les courants de défauts dans un système triphasé, ensuite la simulation de la protection en tenant compte de plusieurs types de défauts, et cela dans un système monophasé simplifié. L'environnement de la simulation est le programme Simulink de Matlab.

III.2. Simulation d'une ligne triphasée

On considère un réseau électrique triphasé (Figure III.1), avec les données :

Source : $E=220\text{ V}$, $f=50\text{ Hz}$

Ligne : $R_{1L}= R_{2L}= R_{3L}=2\ \Omega$, $L_{1L}= L_{2L}= L_{3L}=10^{-4}\text{ H}$.

Charge: $R_{ch1}= R_{ch2}= R_{ch3}=100\ \Omega$, $L_{ch1}= L_{ch2}= L_{ch3}=10^{-2}\text{ H}$.

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

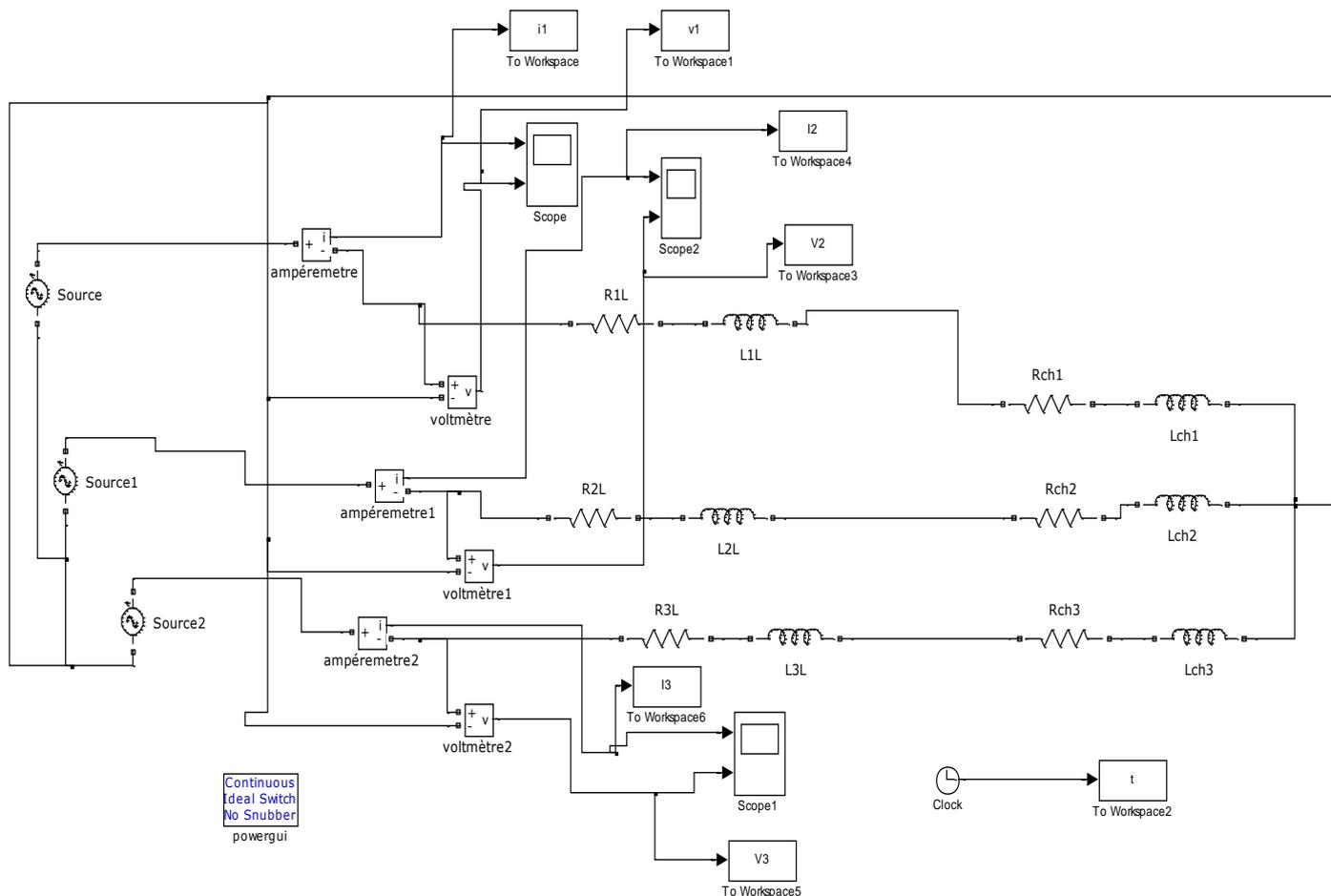


Figure. III. 1. Simulation d'une ligne triphasée.

III.3. Résultats de la simulation

III.3.1. Sans défauts

Le tableau III.1 rapporte les résultats de la simulation dans le cas sans défauts (valeurs efficaces des courants).

$I_{L1\text{eff}}(\text{A})$	$I_{L2\text{eff}}(\text{A})$	$I_{L3\text{eff}}(\text{A})$	$V_{L1\text{eff}}(\text{V})$	$V_{L2\text{eff}}(\text{V})$	$V_{L3\text{eff}}(\text{V})$
1.52	1.52	1.52	155.56	155.56	155.56

Tableau III.1. Les résultats de la simulation sans défauts.

La figure III.2 représente les courants circulants dans les trois lignes ainsi que les tensions des trois phases. Ces résultats montrent le régime permanent établie pendant toute la période de simulation.

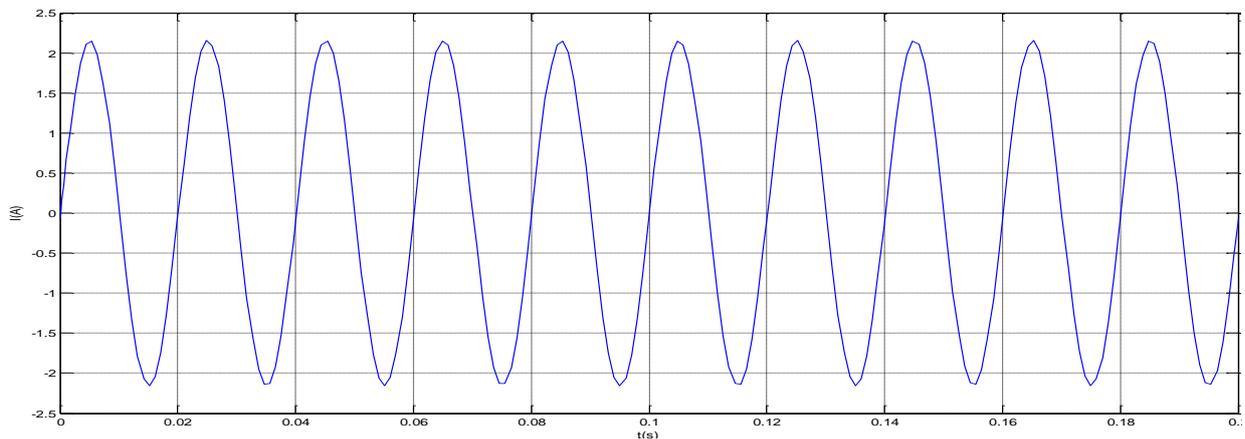


Figure. III.2.A. Courant de la première phase.

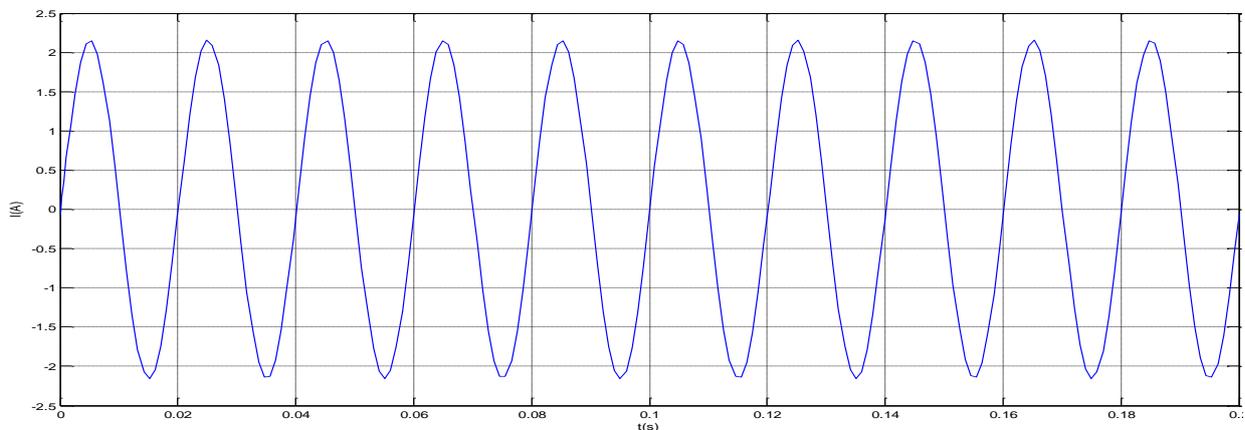


Figure .III.2.B. Courant de la deuxième phase.

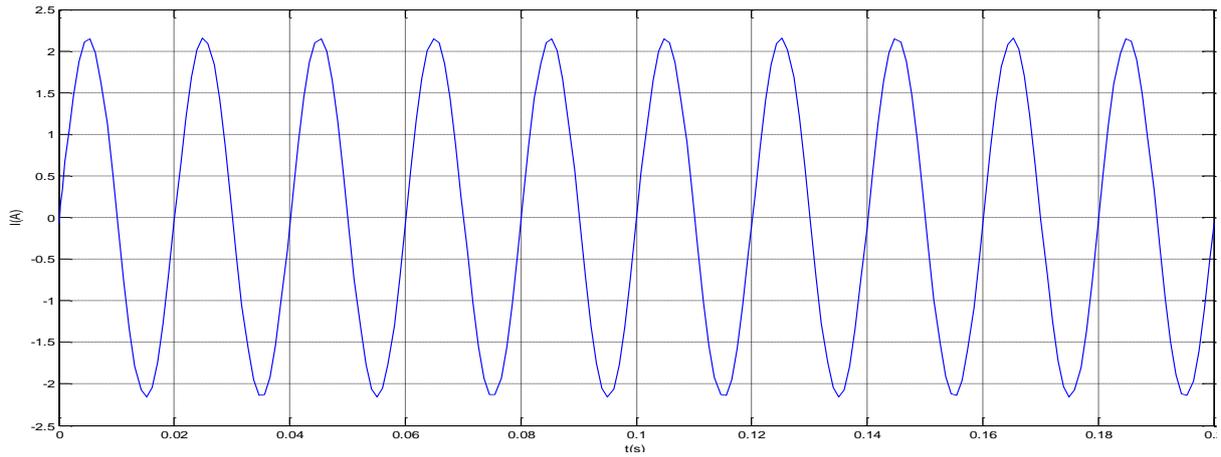


Figure .III.2.C. Courant de la troisième phase.

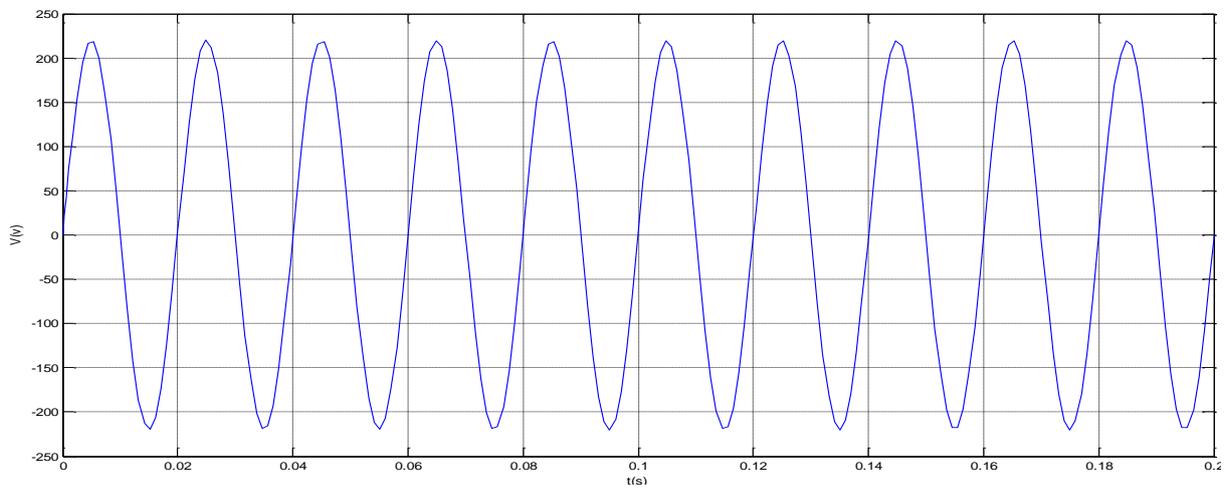


Figure .III.2.D. Tension de la première phase.

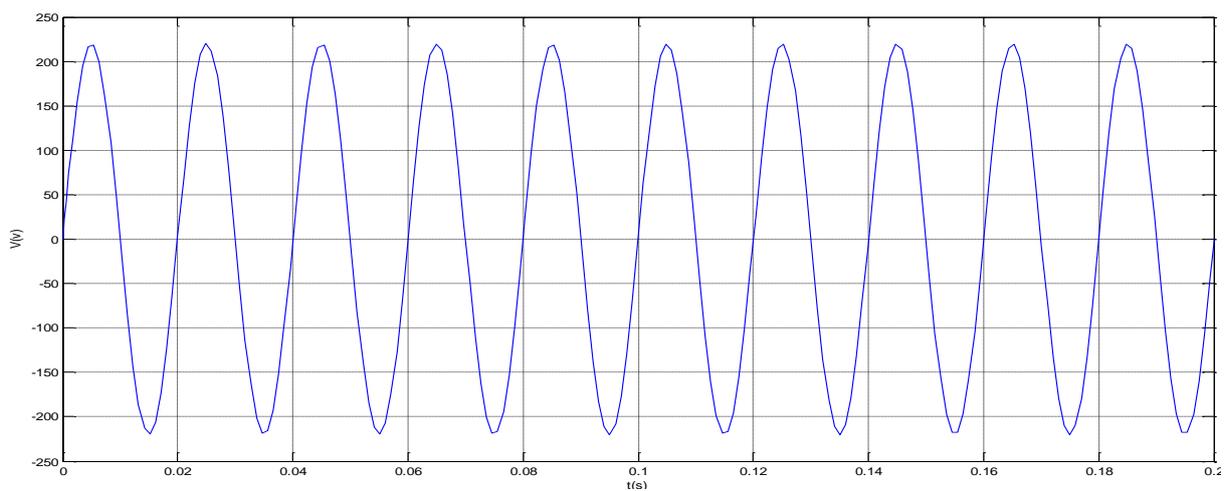


Figure .III.2.E. Tension de la deuxième phase.

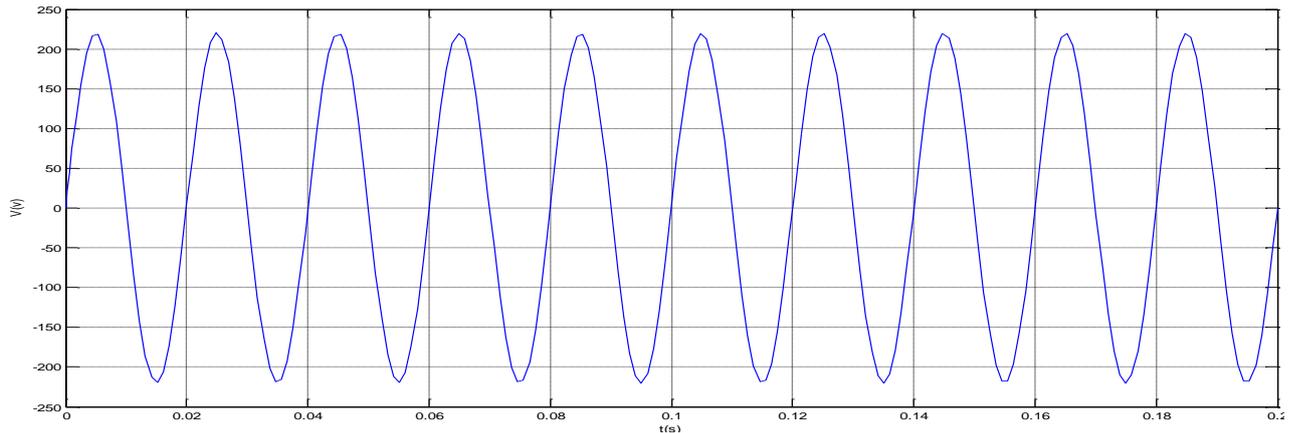


Figure .III.2.F. Tension de la troisième phase.

III.3.2. Avec défauts : 1^{er} cas court-circuit monophasé L1-N

Dans cette simulation, un défaut monophasé entre la phase 1 et le neutre (L1-N) a été réalisé. Le défaut est déclenché à l'instant $t_{cc}=0.1s$. Pour ce faire, nous avons inséré les deux éléments « timer + idéal Switch » dans le circuit de la simulation (Figure III.3). Le Tableau III.2 représente les résultats de la simulation dans ce cas. D'après les résultats, on observe la valeur importante du courant dans la phase 1 siége du défaut.

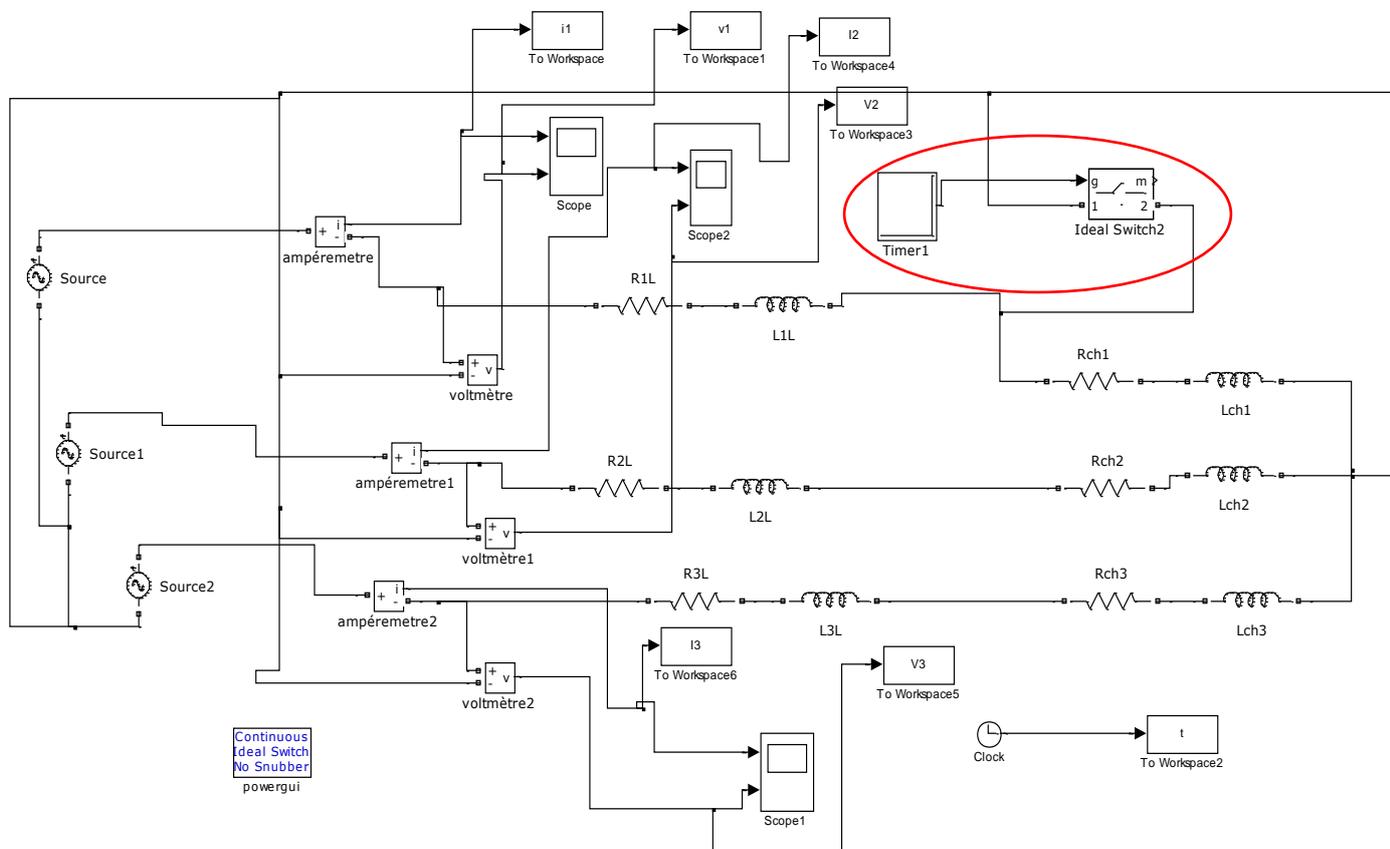


Figure .III.3. Simulation d'un court-circuit L1-N

$I_{L1eff}(A)$	$I_{L2eff}(A)$	$I_{L3eff}(A)$
77.34	1.52	1.52

Tableau III.2. Résultats de la simulation pour un court-circuit L1-N

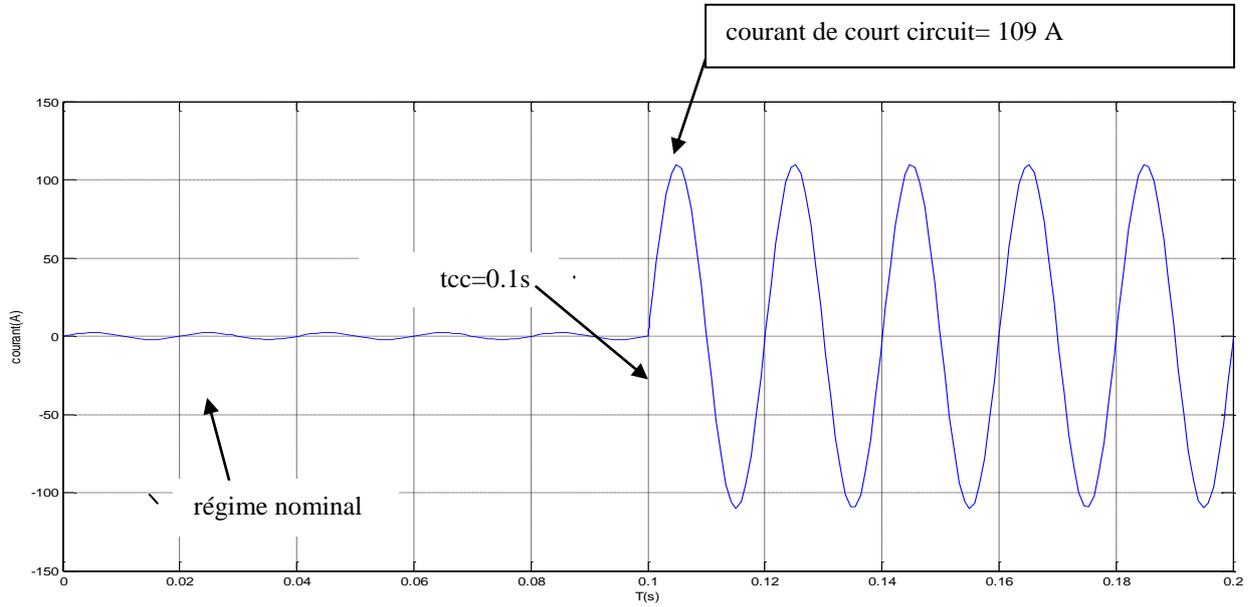


Figure .III.4.A. Courant de la première phase.

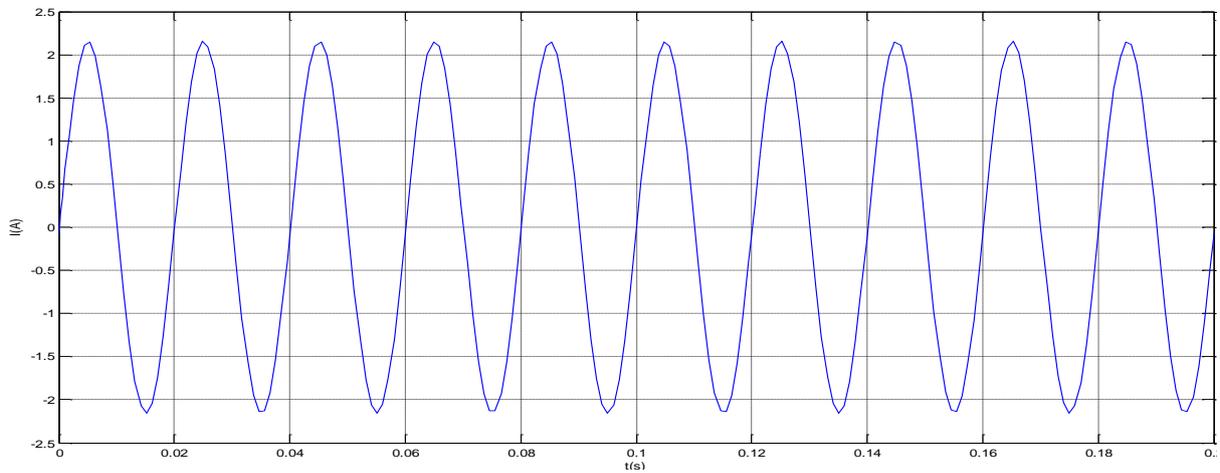


Figure .III.4.B. Courant de la deuxième phase.

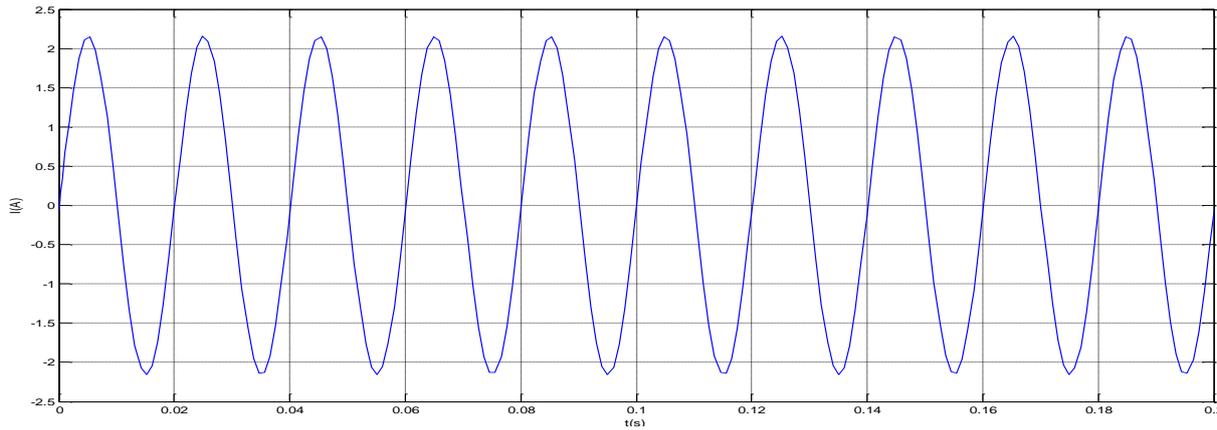


Figure .III.4.C. Courant de la troisième phase.

III.3.3. Avec défauts: 2^{ème} cas court-circuit biphasé L1-L2

Dans cette simulation, un défaut biphasé entre la phase 1 et la phase 2 (L1-L2) a été réalisé. Le défaut est déclenché à l'instant $t_{cc}=0.1s$. Pour ce faire, nous avons déplacé les deux éléments « timer + idéal Switch » dans le circuit de la simulation, comme indiqué dans la Figure III.5. Le Tableau III.3 représente les résultats de la simulation dans le cas d'un défaut biphasé L1- L2. D'après les résultats, on observe la valeur importante du courant dans les deux phases 1 et 2, qui est moins importante que dans le cas précédent.

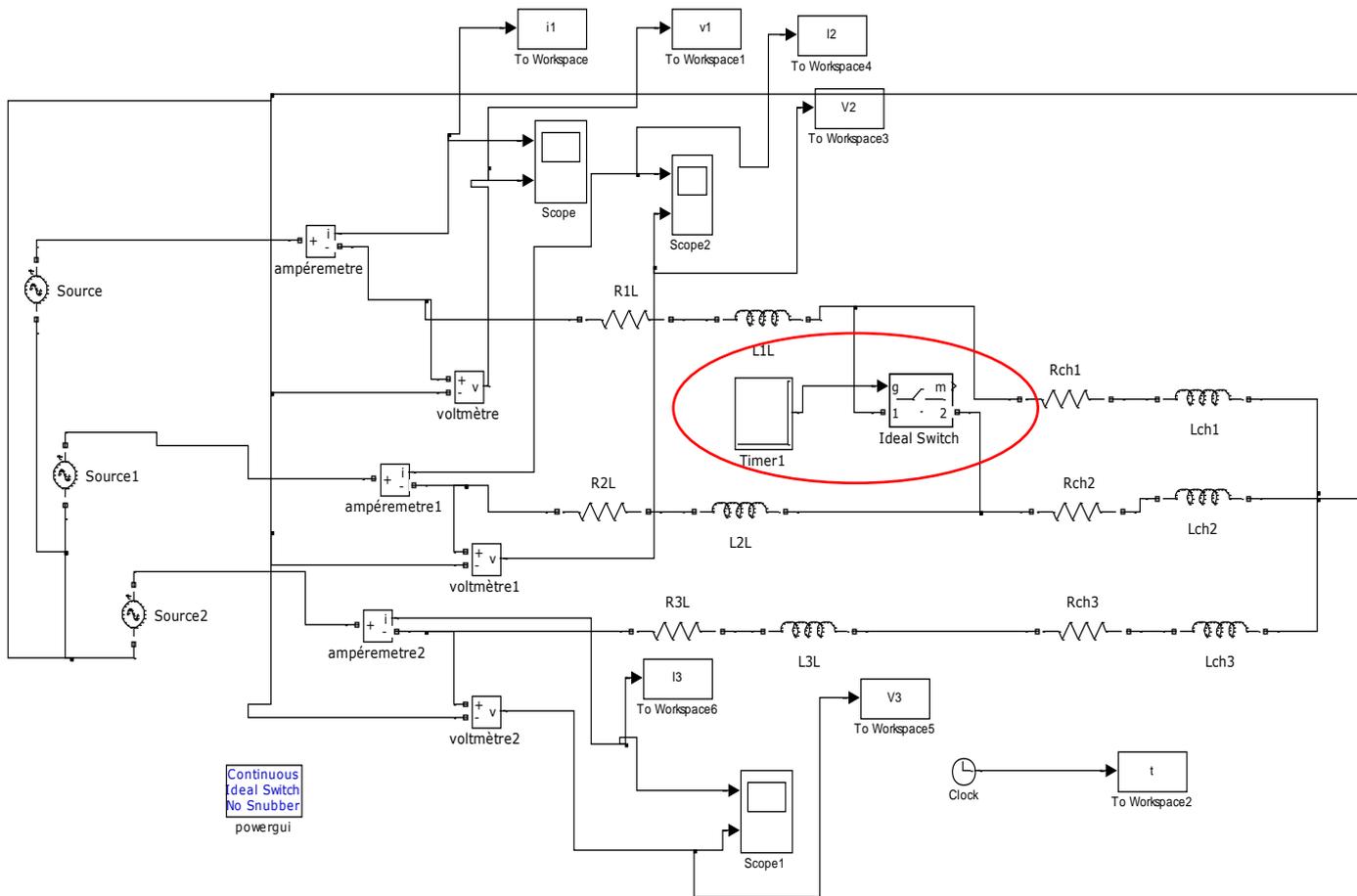


Figure III.5. Simulation d'un court-circuit L1-L2

$I_{L1eff}(A)$	$I_{L2eff}(A)$	$I_{L3eff}(A)$
67.35	67.35	1.52

Tableau III.3. Résultats de simulation pour un court-circuit L1-L2

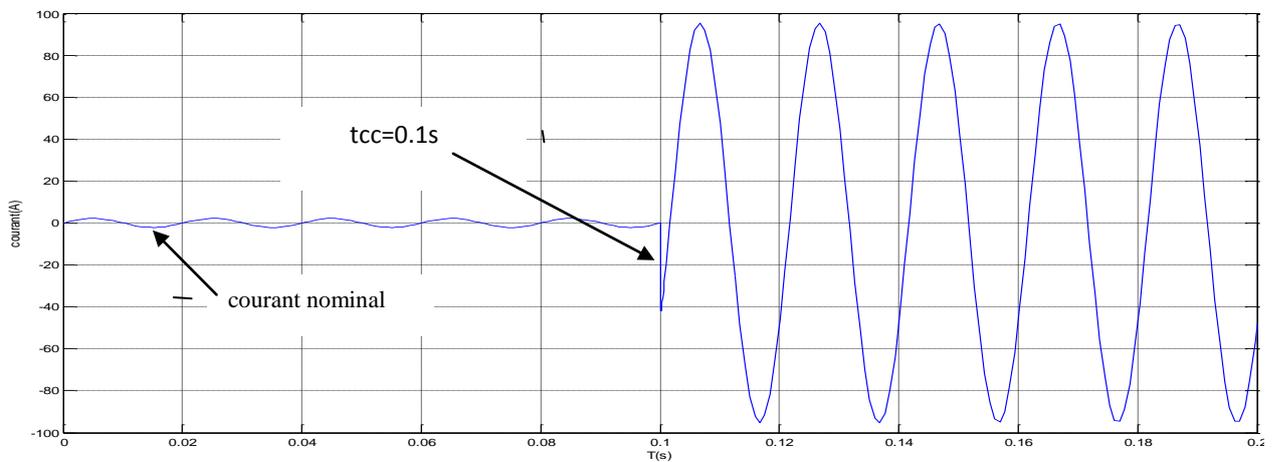


Figure III.6.A. Courant de la première phase.

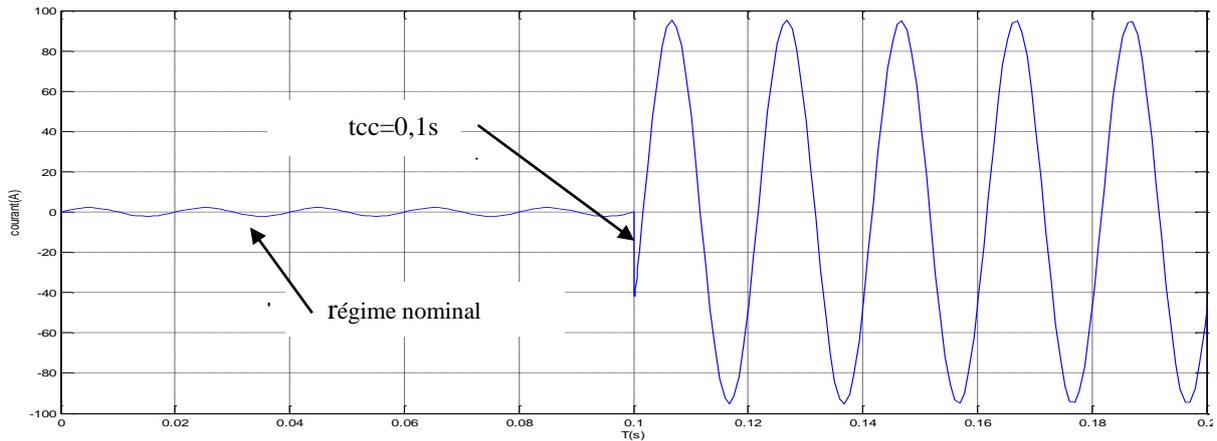


Figure .III.6.B. Courant de la deuxième phase.

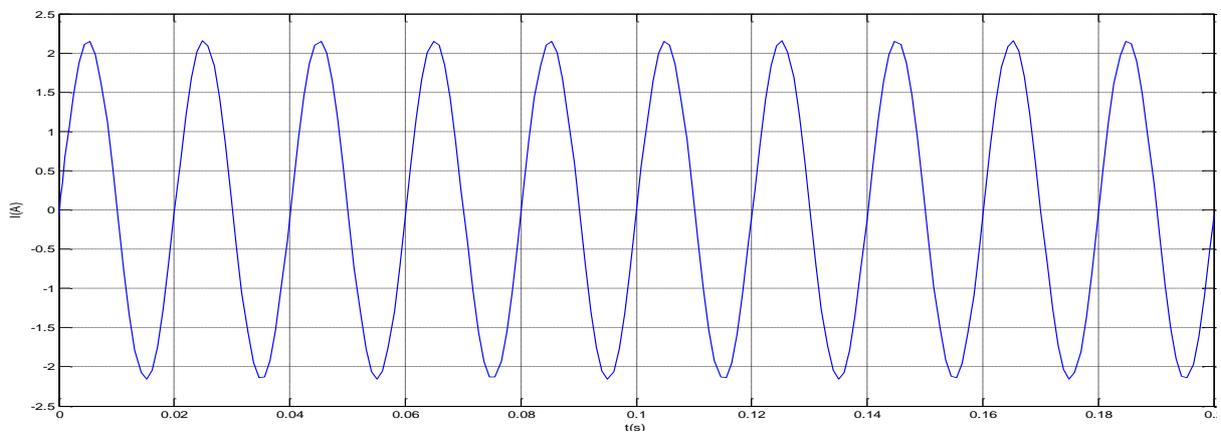


Figure .III.6.C. Courant de la troisième phase

III.3.4. Avec défauts : 3^{ème} cas court-circuit triphasé L1-L2-L3

Dans cette simulation, un défaut triphasé entre la phase 1 et la phase 2 et la phase 3 (L1-L2-L3) a été réalisé. Le défaut est déclenché à l'instant $t_{cc}=0.1s$. Pour ce faire, nous avons inséré un élément « timer » + deux éléments « idéal Switch » dans le circuit de la simulation (Figure III.7). Le Tableau III.4 représente les résultats de la simulation dans ce cas. On remarque, que le courant de défaut dans ce cas est similaire à celui dans le cas d'un défaut L1-N.

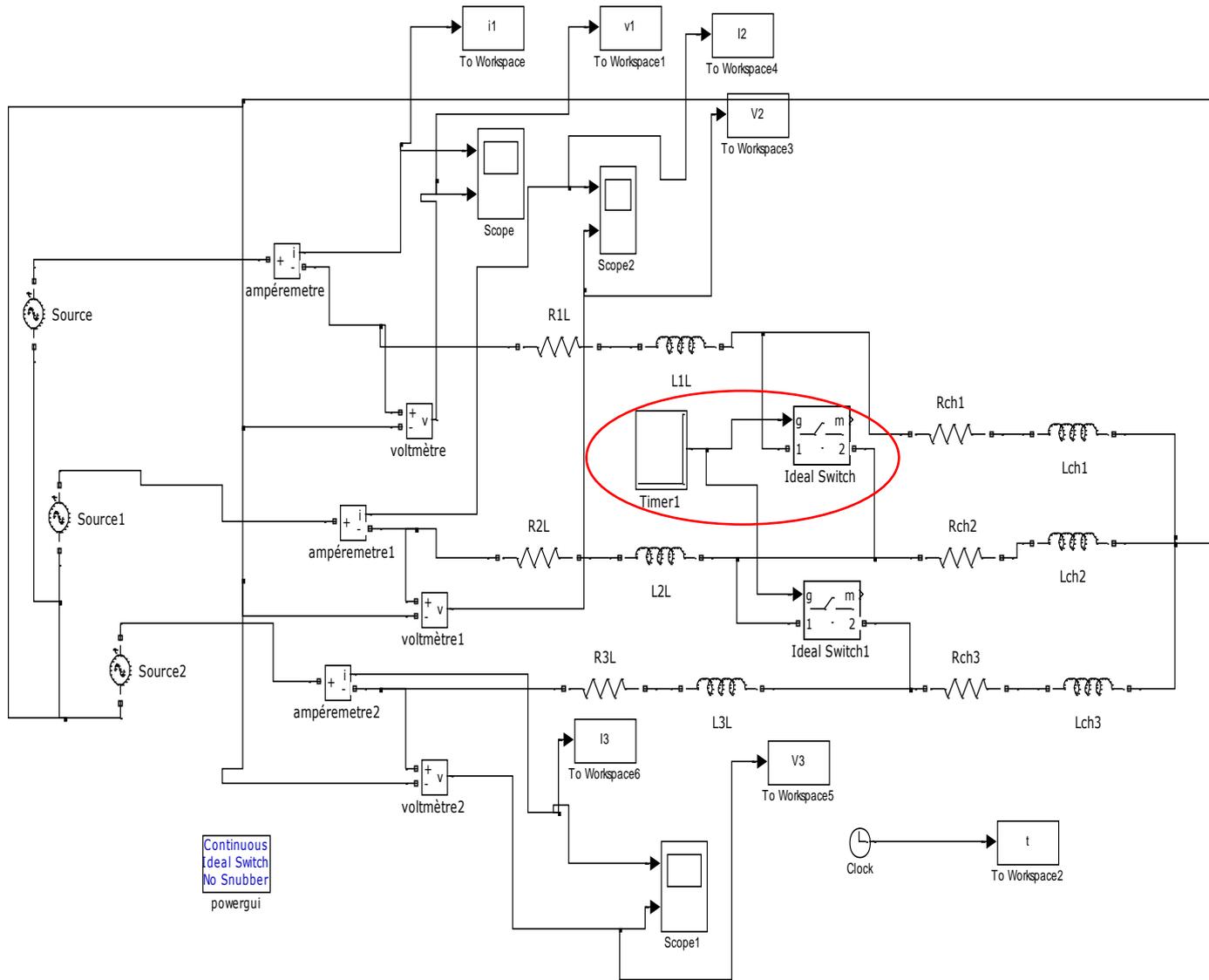


Figure .III.7. Simulation d'un court circuit triphasé

$I_{L1eff}(A)$	$I_{L2eff}(A)$	$I_{L3eff}(A)$
77.34	77.71	77.71

Tableau III.4. Résultats de la simulation pour un court circuit triphasé

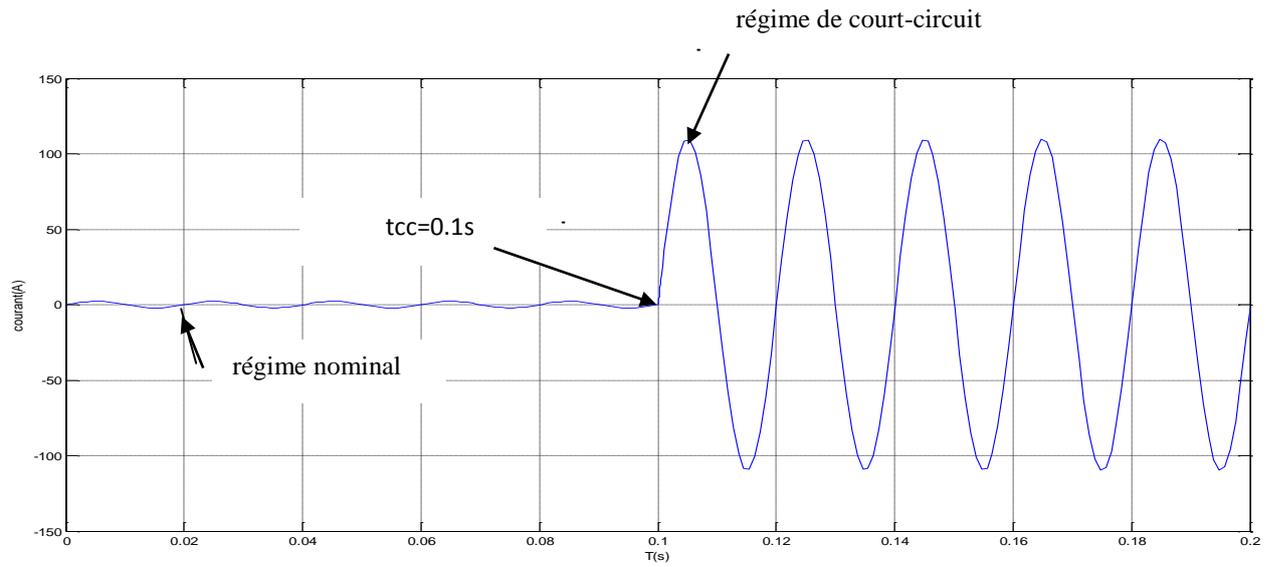


Figure .III.8.A. Courant de la première phase.

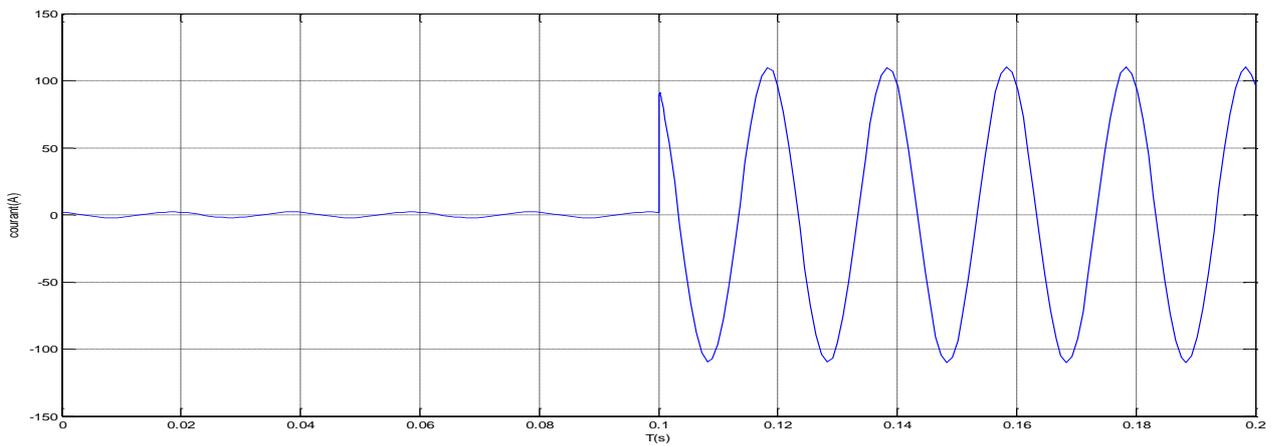


Figure .III.8.B. Courant de la deuxième phase.

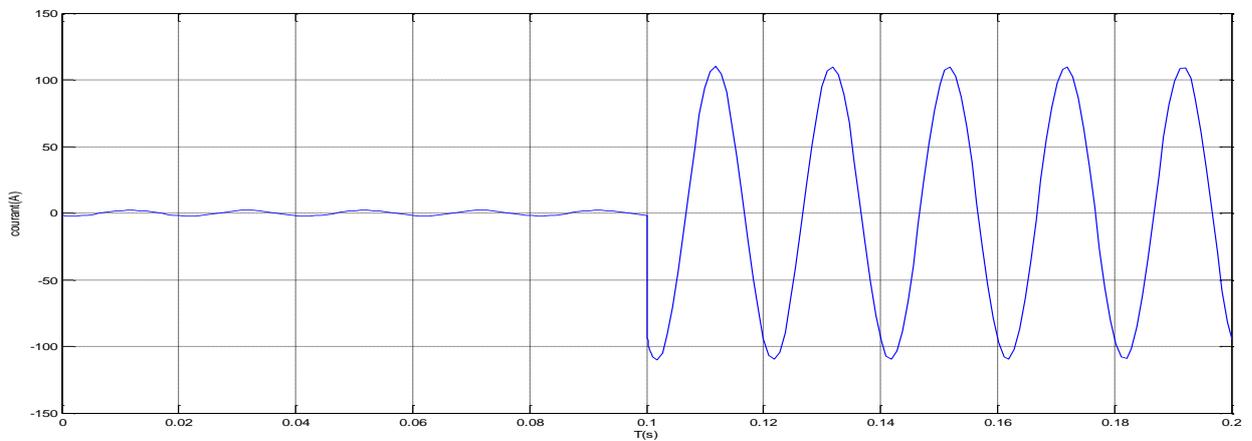


Figure .III.8.C. Courant de la troisième phase.

III.4. Simulation d'une protection à max de courant

III.4.1. Protection à max de courant à 1 cycle

Cette partie du chapitre est consacrée à la simulation d'un système de protection (relais à max de courant), dont on considère seulement un réseau monophasé. Alors, soit le circuit monophasé de la Figure III.9, avec :

Source : $E = 220V$, $f = 50Hz$,

Ligne : $R_{1L} = R_{2L} = R_{3L} = 2 \Omega$, $L_{1L} = L_{2L} = L_{3L} = 10^{-4} H$.

Charge: $R_{ch1} = R_{ch2} = R_{ch3} = 100 \Omega$, $L_{ch1} = L_{ch2} = L_{ch3} = 10^{-2} H$.

Les deux principaux éléments constitutifs du relais sont mentionnés par un cercle dans la Figure III.9 ; un élément « constant 2 » qui représente le seuil de déclenchement réglé à $I_s = 20A$ et un élément « comparateur » qui assure la fonction principale du relais qui est la comparaison entre le courant réel de la ligne et le seuil préréglé (I_s). L'élément « trigger » inséré à la sortie du « comparateur » joue le rôle d'un élément mémoire afin d'assurer un déclenchement définitif lors de l'apparition d'un défaut de court circuit. L'élément « constant 1 » représente le rapport d'un transformateur de courant TC, ici 1/100. Dans cette simulation le disjoncteur est représenté par un élément « breaker ».

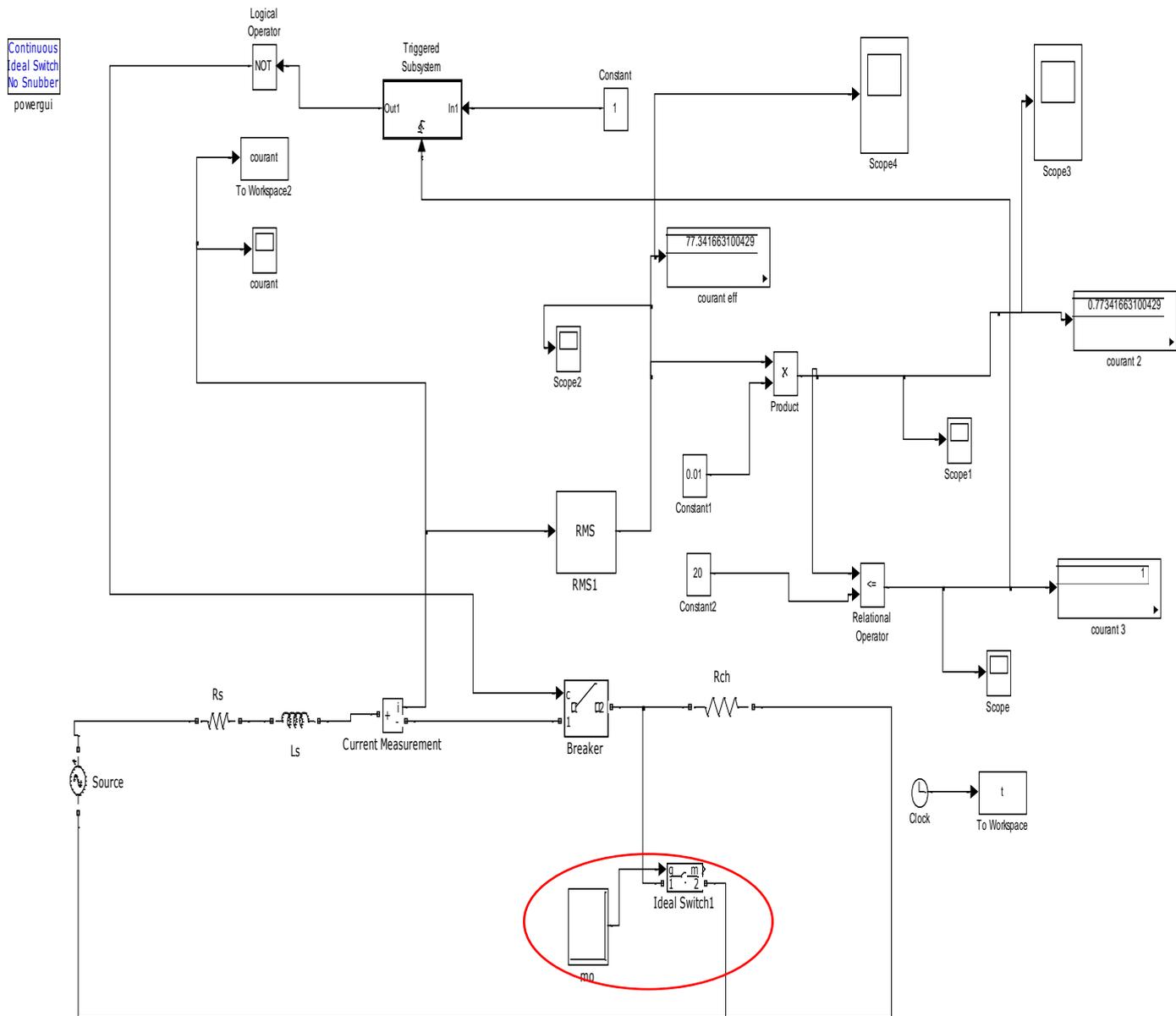


Figure.III.9. Simulation d'un relai à max de courant

• 1^{er} cas : sans défauts :

Dans ce premier test, aucun défaut de court-circuit ne se produit. Les résultats de la simulation (courant de la phase) sont montrés dans la Figure III.10.

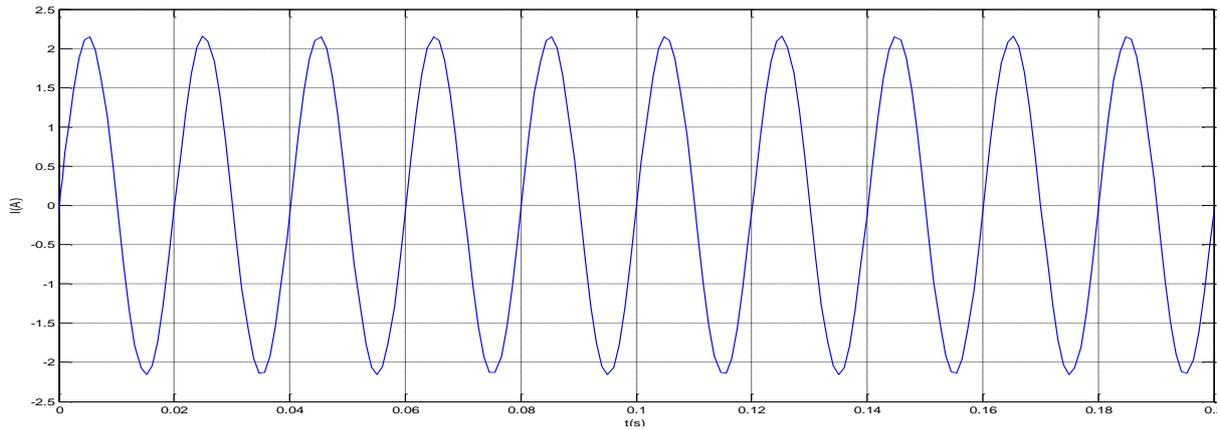


Figure.III.10 .Courant de la ligne, cas sans défauts.

• 2^{ème} cas : défaut de court circuit phase-neutre :

Dans cette simulation, un défaut monophasé entre la phase et le neutre (L-N) a été réalisé (Figure III.11). Le défaut est déclenché à l’instant $t_{cc}=0.1s$ (Figure III.12).

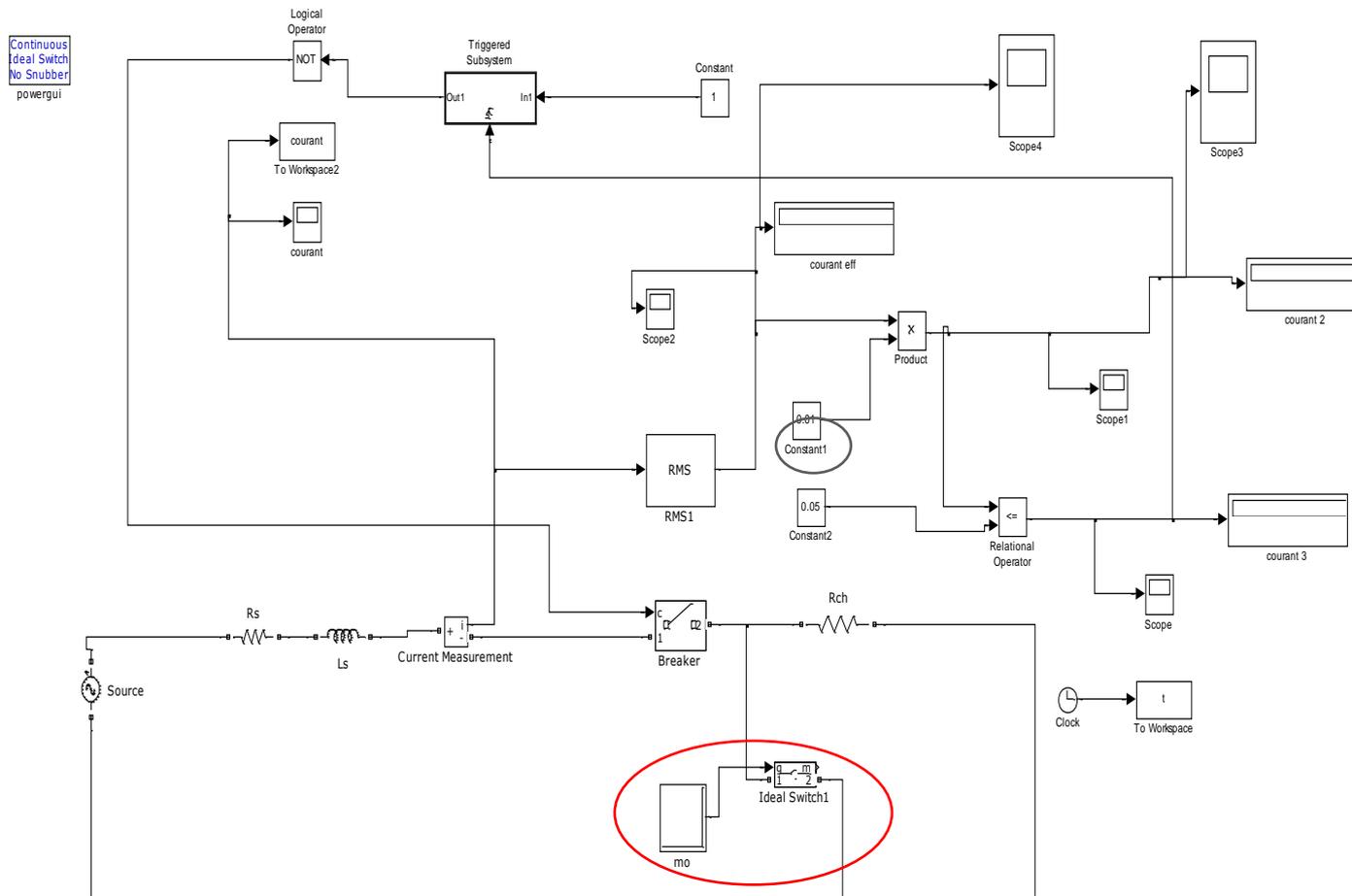


Figure.III.11. Simulation d'un défaut de court circuit.

D'après la Figure.III.12, on observe trois régimes de fonctionnement :

- ✓ Régime nominal, le courant vaut 2.15 A (valeur max).
- ✓ Court-circuit, le courant est élevé à 109.26 A (pic).
- ✓ Déclenchement définitif de la protection, le courant égale 0 A (ouverture du circuit).

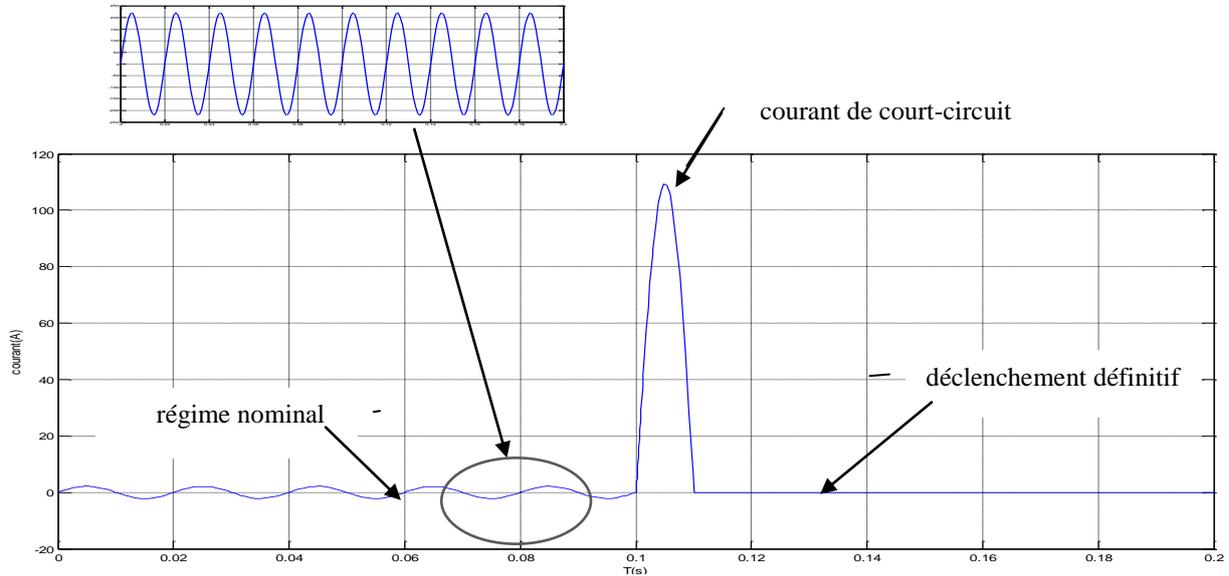


Figure.III.12. Courant de la ligne lors d'un court circuit.

III.4.2. Protection à max de courant à trois cycles de ré-enclenchement

La Figure III.13 représente le schéma Simulink d'une protection à max de courant à trois cycles de ré-enclenchement. Pour ce faire, nous avons inséré deux sous-systèmes supplémentaires « 2 » et « 3 » assurant la fonction des 2^{ème} et 3^{ème} cycles de ré-enclenchement. Notons que le premier sous-système « iMax » assure la fonction du 1^{er} cycle, ses éléments constitutifs sont les mêmes montrés dans la section précédente (comparateur + trigger). Pour les éléments constitutifs des sous-systèmes « 2 » et « 3 » voir l'annexe.

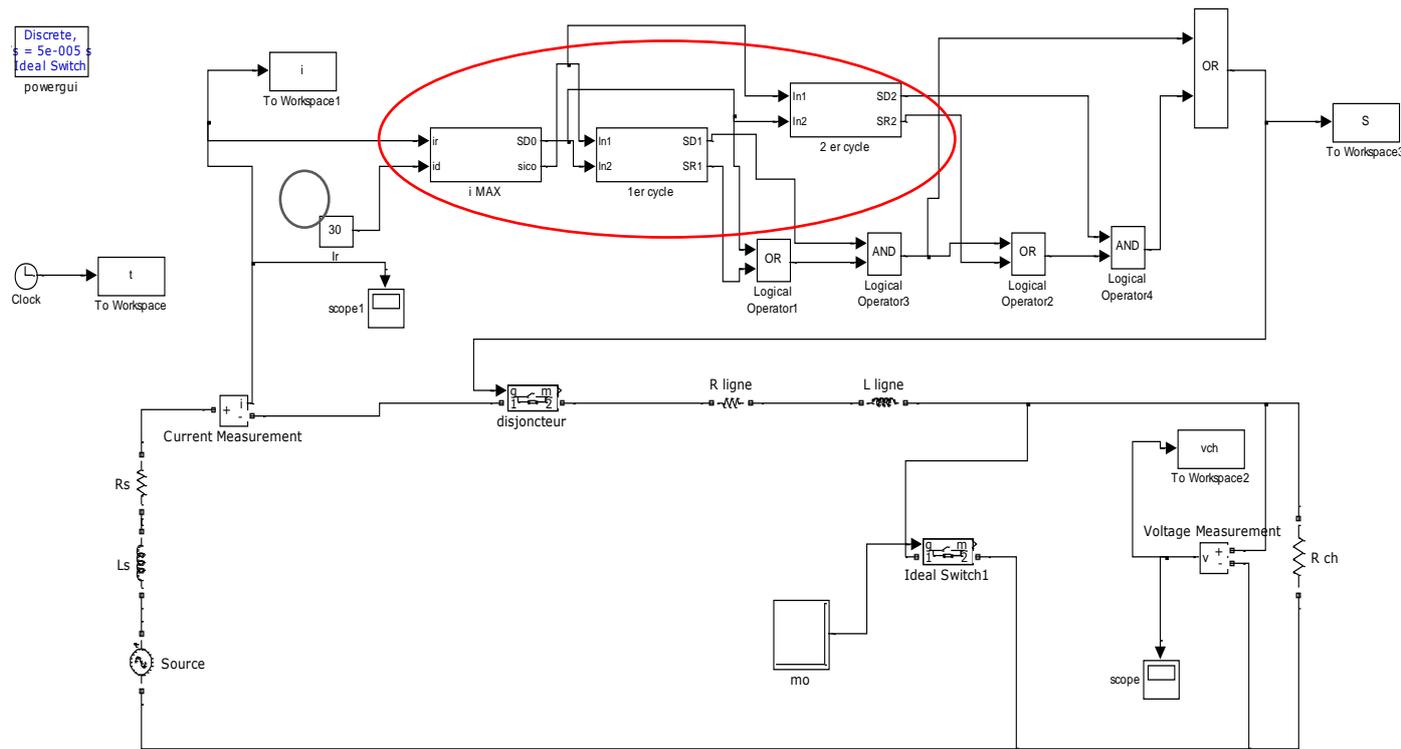


Figure.III.13. Simulation d'une protection à trois cycles de ré-enclenchement.

La Figure.III.14.A représente le courant de la ligne suite à l'apparition du défaut. La Figure.III.14.B représente le signal de commande envoyé du relais (composé par les trois sous-systèmes) vers le disjoncteur. Dans cette dernière figure, on observe clairement la bonne réponse du relais et de la protection. Les temporisations des trois cycles sont montrés dans la Figure 14.A. Par exemple le premier cycle se produit dans l'intervalle 0.1s-0.5s.

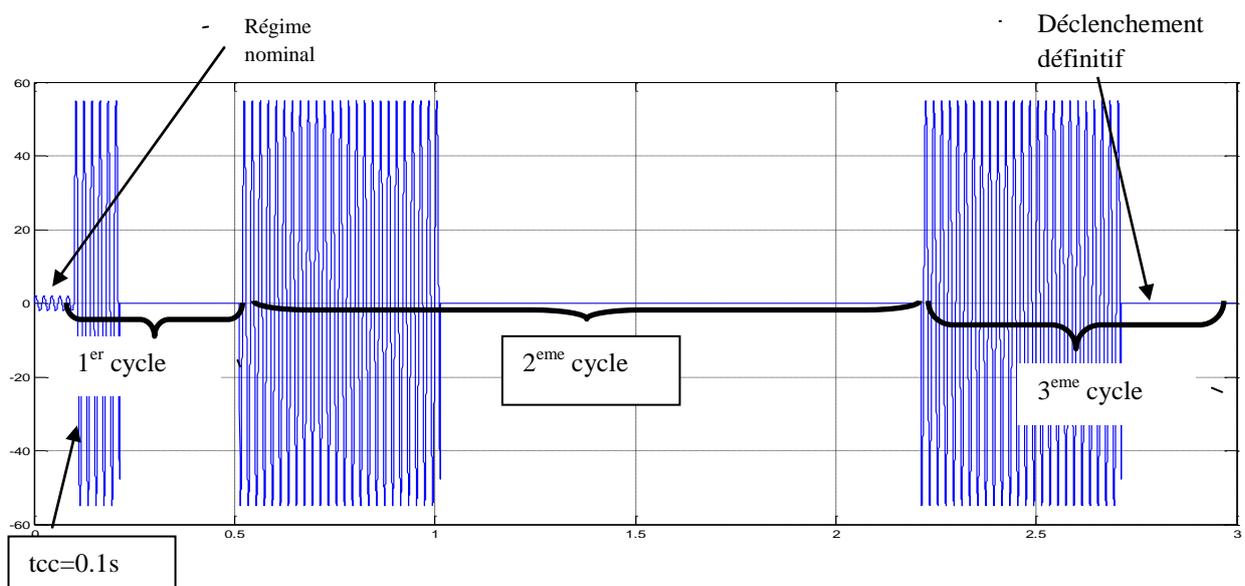


Figure.III .14.A . Courant de la ligne suite à l'apparition d'un court-circuit.

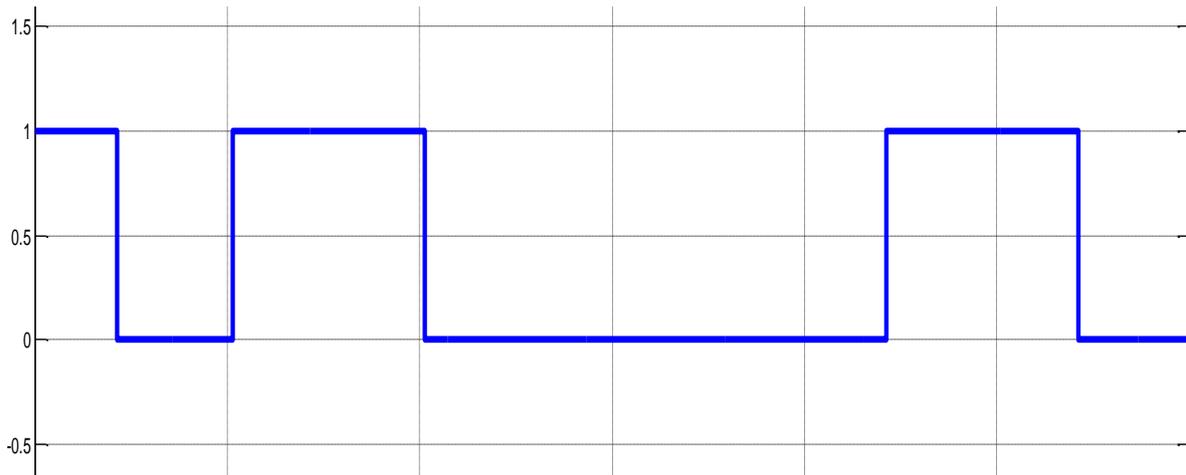


Figure.III.14.B. Signal de commande envoyé du relais vers le disjoncteur

Dans la section suivante, le relais à trois cycles de ré-enclenchement sera exploité dans une protection différentielle d'une ligne. L'objectif sera la protection contre les défauts phase-terre.

III.5. Simulation d'une protection différentielle à trois cycles de ré-enclenchement

Cette partie du chapitre concerne la simulation d'un système de protection différentielle à trois cycles de ré-enclenchement (Figure III.15). Pour alléger le schéma, les trois sous-systèmes constituant les trois cycles (définis précédemment) sont intégrés dans un seul sous-système indiqué par un cercle. Le courant d'entrée de ce dernier est récupéré de la sortie d'un élément de « soustraction : \pm » afin de surveiller la différence des courants $I_{\text{phase}} - I_{\text{neutre}}$ (fonction d'une protection différentielle). Le seuil de déclenchement dans ce cas est pré-réglé à $\Delta i = 2.19\text{A}$. Sachant que cette protection a pour objectif de protéger contre les défauts de terre. La résistance encadrée par un rectangle représente la résistance équivalente de la terre.

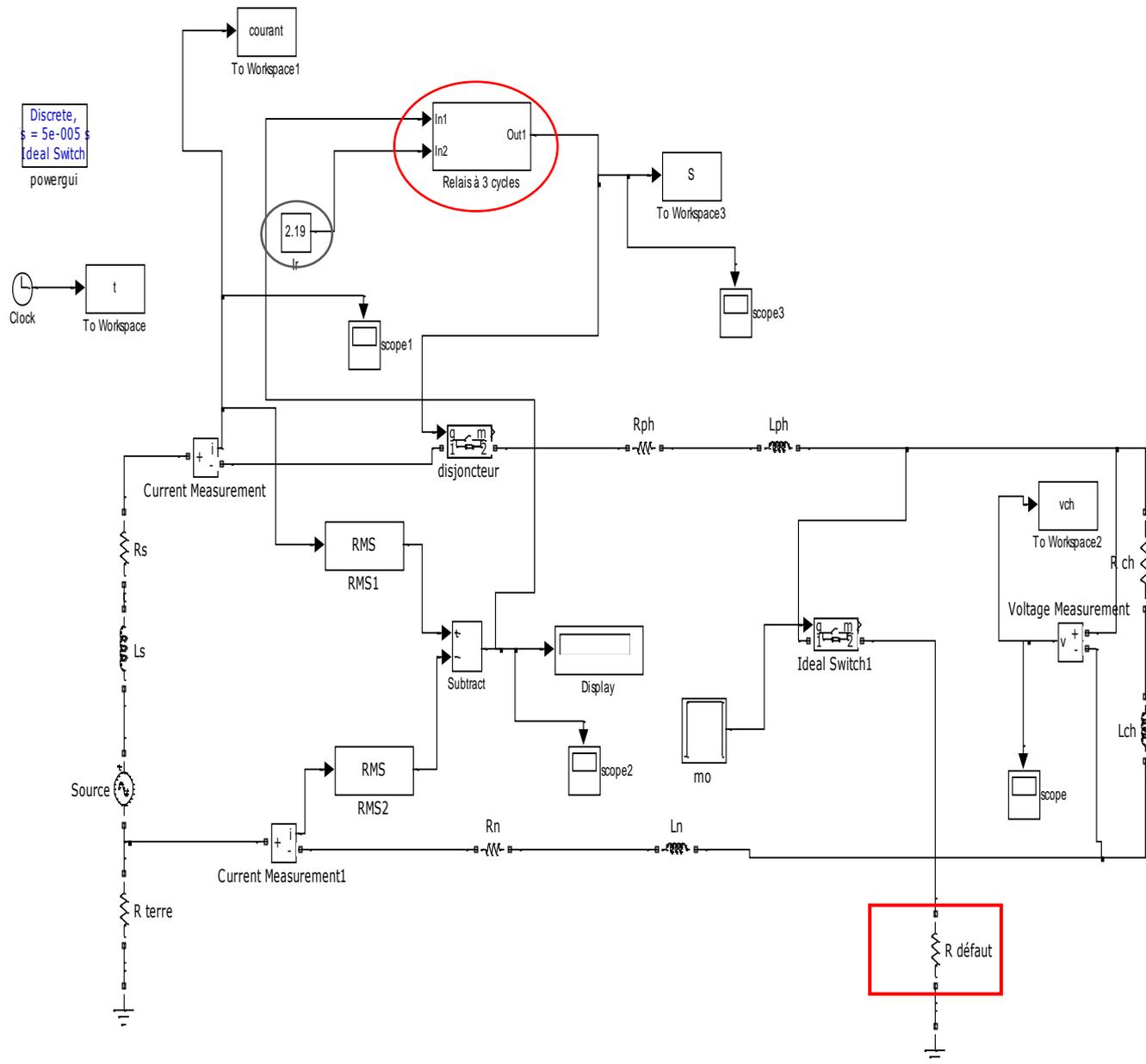


Figure.III.15. Simulation d'une protection différentielle à trois cycles de ré-enclenchement.

- **1^{er} cas : défaut phase-terre permanent**

Dans cette simulation, un défaut phase-terre permanent a été réalisé. Le défaut est déclenché à l'instant $t_{cc}=0.1s$ (Figure.III.16.A).

La Figure.III.16.B représente la tension de la ligne dans le cas d'un défaut phase-terre permanent. On observe, que la réponse de la protection différentielle à trois cycles est parfaite.

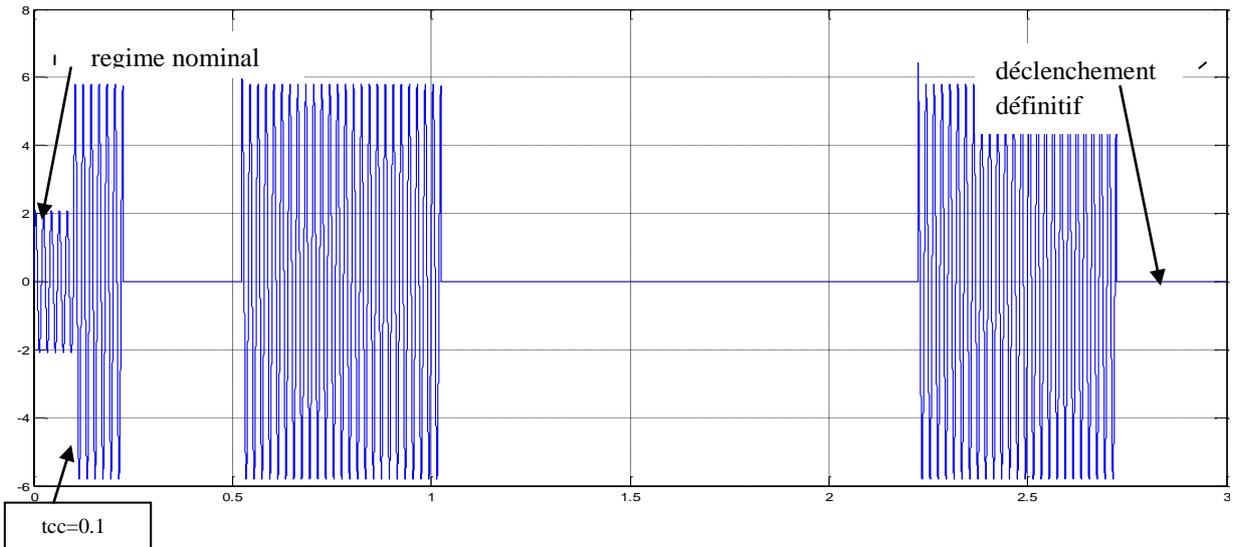


Figure.III.16.A. Courant de la ligne suite à l'apparition d'un défaut phase-terre permanent.

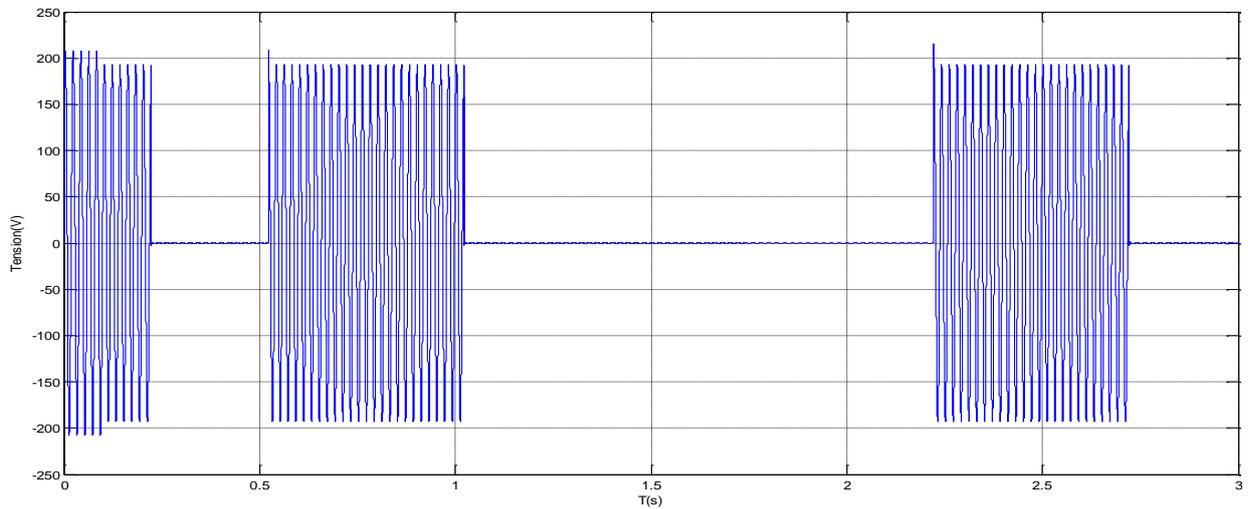


Figure.III.16.B. Tension de la ligne

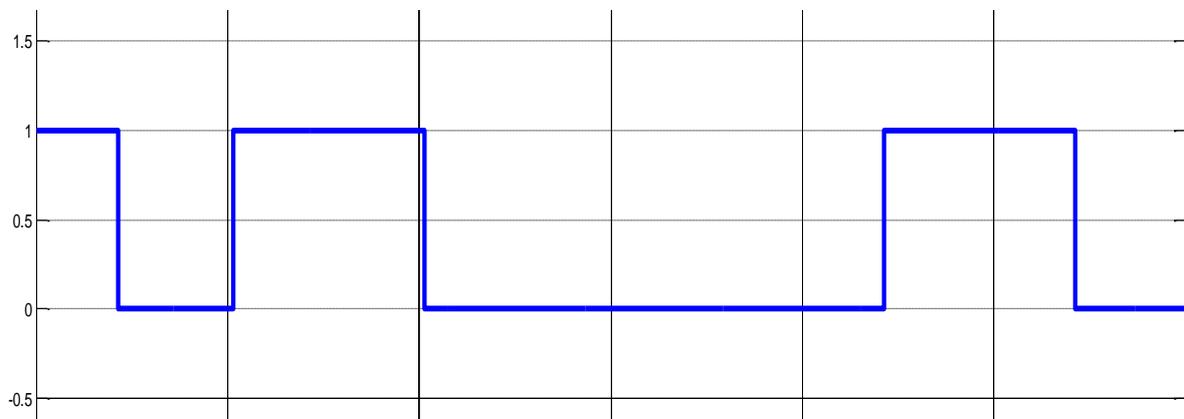


Figure.III.16.C. Signal de commande du disjoncteur

D'après les résultats de la simulation (Figures .III .16), nous soulignons que le courant et la tension de la ligne passent par quatre phases. La première phase de 0 à 0.1s : fonctionnement normal de l'installation (régime nominal). La deuxième phase de 0.1s à 0.55 s : établissement d'un courant de défaut terre important (régime transitoire) avec une chute brusque de la tension de la ligne qui provoque l'ouverture du disjoncteur (cycle 1). La troisième phase de 0.55s à 2.2s : ré-fermeture du disjoncteur avec la présence du défaut terre ensuite son réouverture (cycle 2). La quatrième phase se manifeste de 2.2 s à 3 s : ré-fermeture du disjoncteur sous le courant de défaut avec une chute brusque de la tension de la ligne, ensuite la réouverture du disjoncteur c.-à-d. déclenchement définitif (cycle 3). Les résultats de la simulation ainsi obtenus montrent le bon fonctionnement du système de la protection différentielle à trois cycles ré-enclenchement.

- **2^{ème} cas : défaut phase-terre semi-permanent**

Dans cette simulation, un défaut phase-terre semi-permanent a été réalisé. Le défaut est déclenché également à l'instant $t_{cc}=0.1s$ (Figure.III.17.A).

La Figure.III.17.B représente la tension de la ligne dans ce cas. On observe, que la réponse de la protection différentielle à trois cycles est parfaite, le régime nominal est reproduit suite à la disparition du défaut.

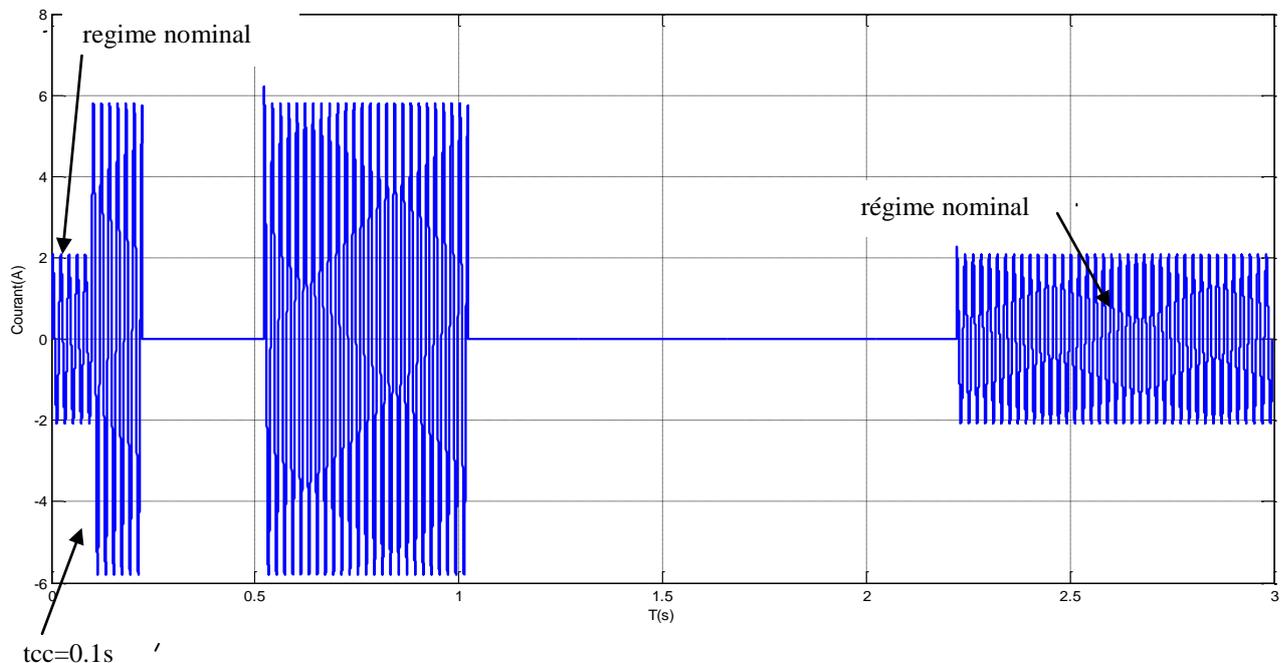


Figure.III.17.A. Simulation d'un défaut phase-terre semi-permanent : courant de la ligne

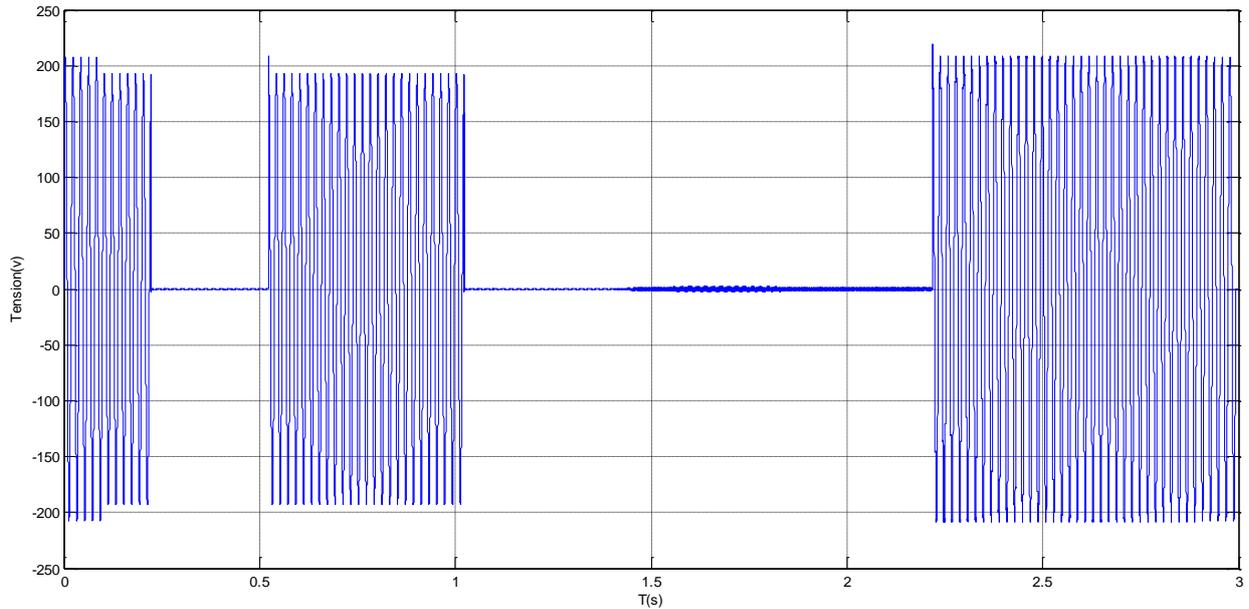


Figure.III.17.B. Tension de la ligne

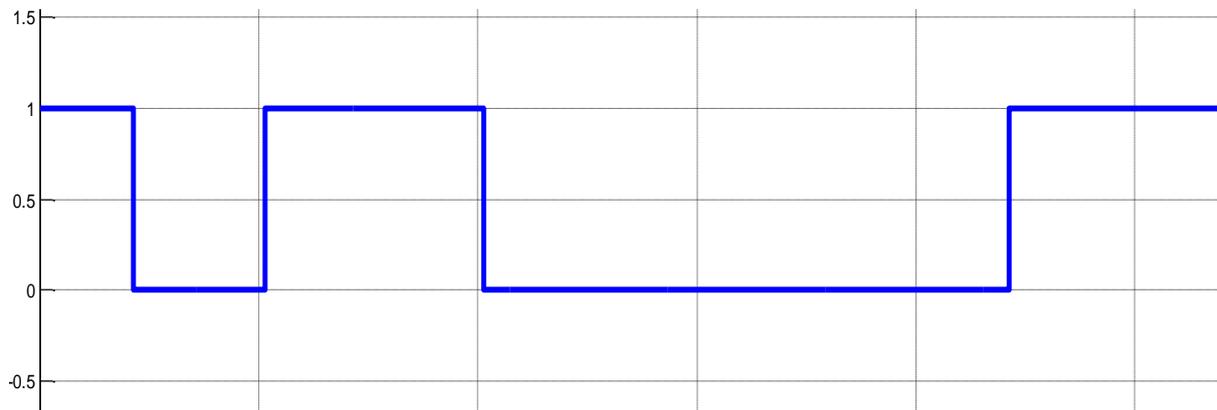


Figure.III.17.C. Signal de commande d'élément de coupure

D'après les résultats de la simulation (Figures III.17), nous remarquons que le courant et la tension de la ligne passe par quatre phases. La première phase de 0 à 0.1 s : fonctionnement normal de l'installation (régime nominal). La deuxième phase de 0.1s à 0.55 s : établissement d'un courant de défaut important (régime transitoire) avec une chute brusque de la tension de la ligne. La troisième phase de 0.55 s à 2.2 s : fermeture, ensuite réouverture du disjoncteur. Le régime nominal est reproduit suite à la disparition du défaut semi-permanent. Ces résultats montrent le bon fonctionnement du système de protection différentielle à cycles ré-enclenchement en cas d'un défaut terre semi-permanent.

- 3^{ème} cas : défaut phase-terre fugitif

Dans ce dernier cas, un défaut phase-terre fugitif a été réalisé (Figure.III.18.A).

La Figure.III.18.B représente la tension de la ligne dans ce cas. On observe, que la réponse de la protection différentielle à trois cycles est parfaite même dans le cas d'un défaut fugitif. Le régime nominal est reproduit suite à la disparition du défaut. Sachant que la durée du défaut fugitif est de l'ordre de 0.2 s.

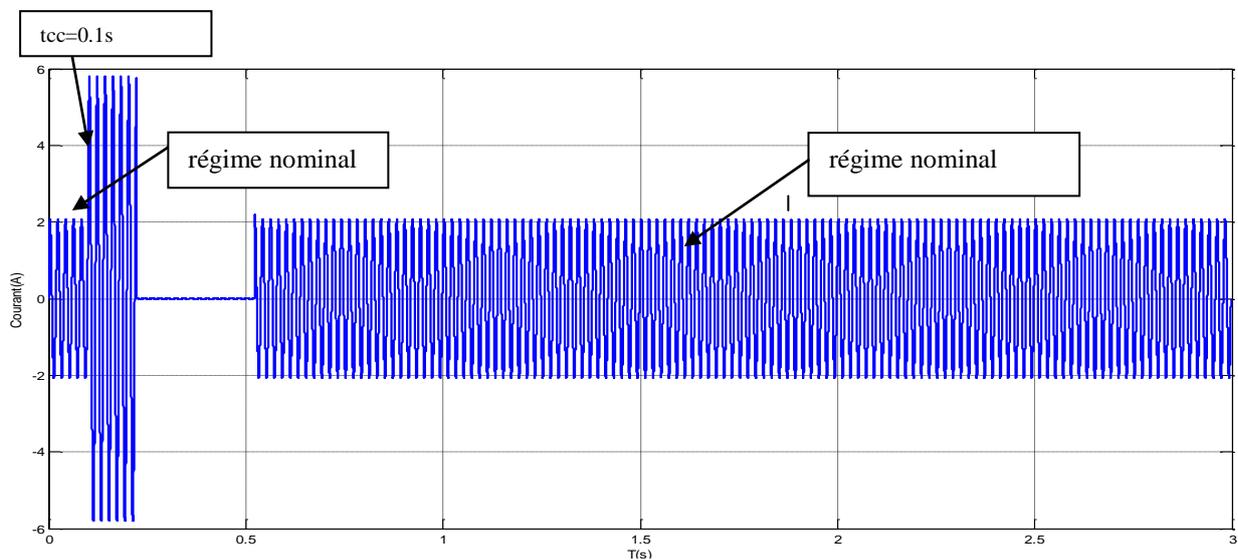


Figure.III.18.A. Courant de la ligne suite à un défaut phase-terre fugitif

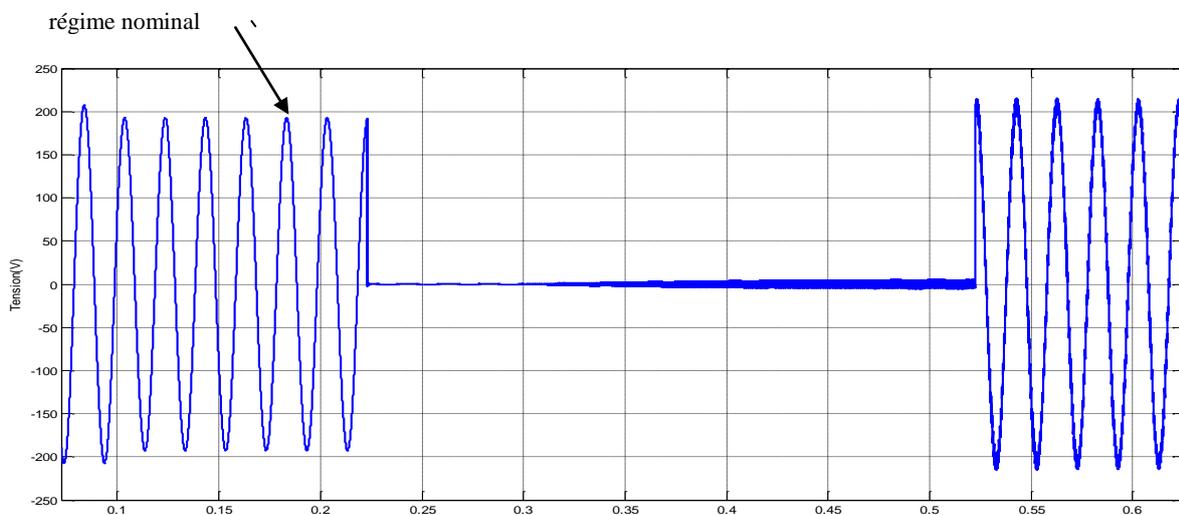


Figure.III.18.B. Tension de la ligne

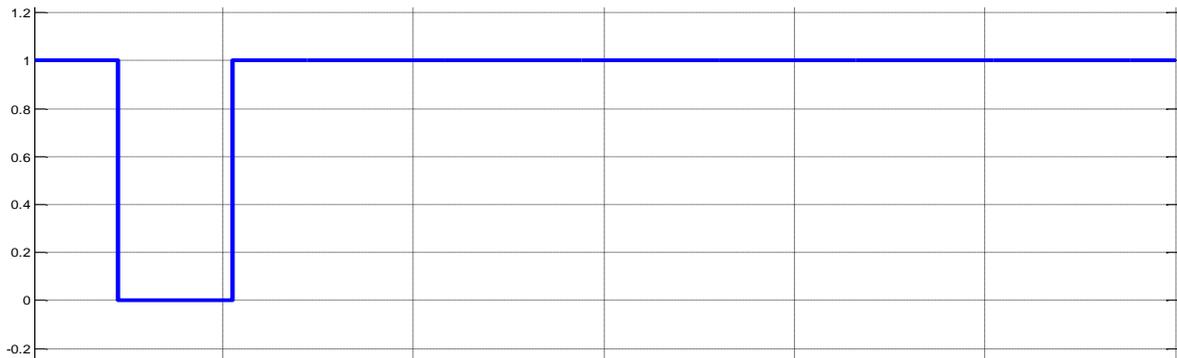
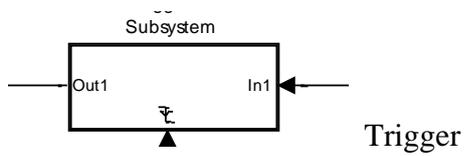


Figure.III.18.C. Signal de commande de l'élément de coupure

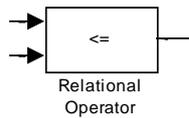
III.7. Conclusion

Ce chapitre a concerné principalement la simulation d'un système de protection différentielle à trois cycles de ré-enclenchement. D'après les résultats de la simulation obtenus, on remarque que la protection différentielle à cycles ré-enclenchement est très robuste en terme de réponse suite à l'apparition des défauts et en terme de continuité de service c.-à-d., reproduction du régime nominal dans le cas d'un défaut phase-terre semi-permanent ou fugitif.

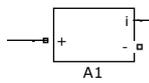
A.1 Principaux éléments utilisés dans la simulation



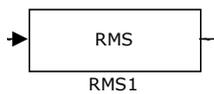
Trigger



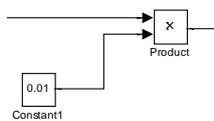
Comparateur



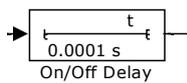
Ampèremètre



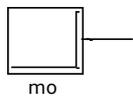
Valeur efficace



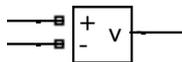
Multiplication par constant



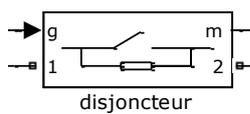
Temporisation



Timer

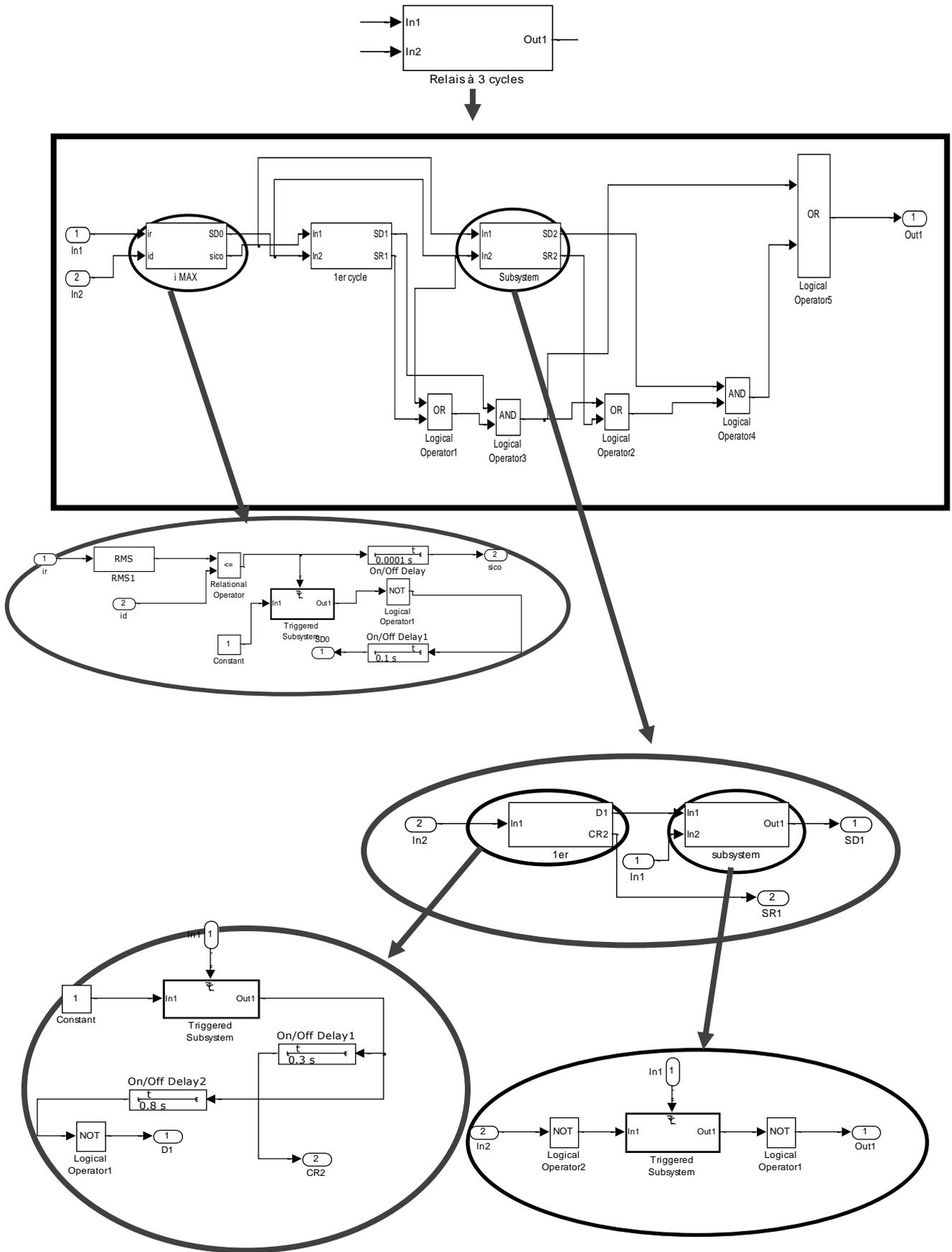


Voltmètre



Disjoncteur

A.2. Relais à trois cycles de ré-enclenchement



Conclusion Générale

Rappelons que l'objectif principal du présent travail été l'étude d'un système de protection différentielle à cycles ré-enclenchement. 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.

Plusieurs types de défauts de terre possibles qui peuvent survenir dans une ligne électrique ont été simulés. Par exemple, dans le cas d'un défaut phase-terre semi-permanent, on remarque quele courant et la tension de la ligne passe par quatre phases. La première phase de 0 à 0.1 s : fonctionnement normal de l'installation (régime nominal). La deuxième phase de 0.1 s à 0.55 s : établissement d'un courant de défaut important (régime transitoire) avec une chute brusque de la tension de la ligne. La troisième phase de 0.55 s à 2.2 s : fermeture, ensuite réouverture du disjoncteur. Le régime nominal est reproduit suite a la disparition du défaut semi-permanent. Ces résultats montrent le bon fonctionnement du système de protection différentielle à cycles ré-enclenchement en cas d'un défaut terre semi-permanent.

D'après les résultats de la simulation obtenus, on remarque que la protection différentielle à cycles ré-enclenchement est très robuste en terme de réponse suite à l'apparition des défauts et en terme de continuité de service c.-à-d., reproduction du régime nominal dans le cas d'un défaut phase-terre semi-permanent ou fugitif.

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

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Schneider Electric, "**Architecture de réseau de distribution** ", 2007
- [2] H. Benchikh El Hocine, « Les étages Moyenne Tension », Institut de Formation en Electricité et Gaz (IFEG), Centre Ain M'lila, Groupe SONELGAZ, Décembre2009.
- [3] Mr. ZELLAGUI Mohamed «**ÉTUDE DES PROTECTIONS DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES MT (30 & 10 kV)**», mémoire magistère en électrotechnique université mentouri Constantine, 2010
- [4] Electric Power Transmission «**Modeling of Transmission Lines**» consulté le 14 janvier 2013
- [5] Houari BOUDJELLA « **Contrôle des puissances et des tensions dans un réseau de transport au moyen de dispositifs FACTS (SVC)** » Magister en Electrotechnique option conversion d'énergie et commande, Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbes, 2008
- [6] Thierry MISHAMI « **Modélisation et calcul des courants de défaut dans un réseau multi-machines** » Ingénieur civil électricien 2011, Université de Kinshasa
- [7] Cong Duc PHAM « **Détection et localisation de défauts dans les réseaux de distribution HTA en présence de génération d'énergie dispersée** » docteur de l'institut national polytechnique de Grenoble en Génie Electrique, Le 19 septembre 2005
- [8] Michel Crappe, "Electric Power Systems", Faculté Polytechnique, Mons, Belgium, Mars 2008 .
- [9] B. de Metz-Noblat, F. Dumas, G. Thomassen, "**Calcul des courants de courts circuits**", Schneider Electric, Cahier technique No. 158, 2000.
- [10] Mr. BOUCHAHDANE Mohamed « **ETUDE DES EQUIPEMENTS DE PROTECTION DE LA NOUVELLE LIGNE 400 kV EN ALGERIE** » mémoire magister en électrotechnique université mentouri .Constantine, 2009

[11] HOUHOU Mohamed Badr Eddine « **Pilotage sous LabView d'un système de protection à sélectivité logique : Réalisation pratique** » Mémoire master en Electrotechnique, Université Mohamed Khider Biskra, 2015

[12] Mr. DAAOU Yassine « **CLASSIFICATION ET LOCALISATION DES DÉFAUTS DANS LES LIGNES DE TRANSPORT À THT EN TEMPS RÉEL** » mémoire magistère en électrotechnique université des sciences et de technologie MOHAMED BOUDIAF d'Oran, 2011

[13] Mr. CHERIF Med Foudhil et CHERIF Khayr Eddine, « **CALCUL DES PROTECTIONS D'UNE LIGNE DE TRANSPORT ELECTRIQUE HTB-220KV**» mémoire master en électrotechnique université kasdi merbah- Ouargla, 2014

[14] Tolba Amrane, "Coordination orientée objet de la protection des réseaux électriques ", Thèse de doctorat, Université de Batna, 2007.

[15] Mr: MIDA Dris «**modélisation et simulation de la protection différentielle d'un transformateur de puissance** » mémoire master en réseaux électrique, université d'EL-Oued Faculté des Sciences et de Technologie,2014

[16] ABB Suisse SA Utility Automation « **Protection de ligne numérique** », Février 2002

[17] « **Disjoncteur à ré-enclenchement à coupure dans le vide 3AD** » de Siemens, Appareils moyenne tension Catalogue HG, 2016

[18] BEN DERRADJI Selsabil «**Calcul des protections d'un départ HTA (30 KV)** » Mémoire Master en Electrotechnique University Kasdi Merbeh Ouargla, 2014

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 des défauts qui peuvent interrompre la continuité de service. Parmi les défauts les plus persistants on trouve les défauts de type phase-terre. La protection différentielle qui protège contre ce dernier fait l'objet du présent travail. En outre, ce travail concerne la simulation par Simulink/Matlab d'une protection différentielle à trois cycles de ré-enclenchement. 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 semi-permanent 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 استمراراً في الشبكة الكهربائية هي أخطاء الطور-الأرض. الحماية التفاضلية التي تحمي ضد هذه العيوب هي موضوع هذا العمل. يتعلق هذا العمل بمحاكاة Simulink/Matlab من الحماية التفاضلية مع دورات إعادة تعيين (قواطع إعادة الإغلاق)، 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 المقدرة في حالة خلل طوري-أرضي شبه دائم أو عابر.