

وزارة التعليم العالي والبحث 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 : Electrotechnique
Option : Réseaux électriques

Réf:.....

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

MASTER

Thème

Protection à maximum de courant à
caractéristique de déclenchement
programmable

Présenté par :
DJEDIDI Imene

Soutenu le : 04 Juin 2017

Devant le jury composé de :

Mr. ROUINA Abdelhafid
Mr. CHERIET Ahmed
Md. BECHA Habiba

M.C.B
Pr
M.A.A

President
Encadreur
Examineur

Année universitaire: 2016/ 2017

وزارة التعليم العالي والبحث 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 : Electrotechnique
Option : Réseaux électriques

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

MASTER

Thème

*Protection à maximum de courant à caractéristique
de déclenchement programmable*

Présenté par :

DJEDIDI Imene

Avis favorable de l'encadreur :

Mr. CHERIET Ahmed

Signature

Avis favorable du Président du Jury

Mr. ROUINA Abdelhafid

Signature

Cachet et signature



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

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

MASTER

Thème

Protection à maximum de courant à caractéristique de déclenchement programmable

Proposé et Dirigé par: Pr. CHERIET Ahmed

RESUME

La protection des réseaux électriques désigne l'ensemble des appareils de surveillance et de protection assurant la stabilité d'un réseau électrique. Dans ce contexte, l'objectif principal d'un système de protection consiste à éviter la destruction accidentelle d'équipements coûteux et d'assurer une alimentation électrique ininterrompue. Ce travail concerne la simulation et à la réalisation pratique d'un système de protection à max de courant à différents caractéristiques de déclenchement à savoir à temps indépendant et à temps dépendant. La simulation a été effectuée sous l'environnement Simulink/Matlab, tandis qu'un programme LabVIEW a été développé pour le pilotage en temps réel de la protection réalisée.

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire de Master à :

À ma mère Hayett

Mon père Abd elhamid

À mes sœurs et à leurs enfants: Dounia ‘‘Chaker’’

Moufida et Mounira ‘‘Chahine Tadj eddine’’

Mon frère : Mohamed El Khamess

À toute mes familles : DJEDIDI& BANNI

À tous mes amis chacun de son nom

À tous mes collègues de promotion2017

À tous les enseignants de ma période d'étude

À tous ceux que j'aime et m'aiment

Sont oublier mes chères amis :Soumia,Majda,Fares,

Aziz,Roufeida,Assia,Hanine,Wafaa,Salah,Rima.....

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah, le tout puissant, qui m'a donné la force, la patience et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

Également, mon encadreur de mémoire Monsieur CHERIET Ahmed, professeur à l'université Mohamed khider Biskra pour son encadrement, ses directives et sa disponibilité.

Aussi, je le remercie pour ses encouragements et sa sympathie durant toute la période de la préparation de mon mémoire.

Mes remerciements s'adressent également aux membres de jury, le Monsieur ROUINA Abdelhafid et madame BECHA Habiba pour leur présence et pour le temps qu'ils ont bien voulu consacrer pour l'évaluation de ce travail.

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

Enfin je ne peux oublier de remercier les membres du laboratoire du département génie électrique Biskra, de m'avoir tout aidé et encouragé pour accomplir ce travail.

Djedidi Imene .



Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les perturbations	
I. 1. Différents types de réseaux électriques	3
I.1.1. Réseau de transport THT	3
I.1.2. Réseau de répartition HT	4
I.1.3. Réseau de distribution MT	5
I. 2. Nature d'un défaut	7
I. 3. Surintensité	7
I.3.1. Court-circuit	7
I.3.1.1. Types et natures de court-circuit	7
I.3.1.2. Origines	8
I.3.1.3. Effets et conséquences d'un courant courts-circuits	9
I.3.1.4. Caractéristiques d'un courant de court-circuit	9
I.3.1.5. Calcul d'un courant de court-circuit	10
I.3.2. Surcharge	12
I. 4. Surtension	12
I.4.1. Surtension par décharges électriques atmosphériques	13
I.4.1.1. La foudre	13
I.4.1.1.1. Effets de la foudre	13
I. 5. Creux de tension	15
I.5.1. Provenances des creux de tension	16
I.5.2. Conséquences des creux de tension	16
I. 6. Fluctuation de tension	17
I. 7. Déséquilibre de tension et de courant	17
I. 8. Tension et/ou courant transitoire	19
I. 9. La chute de tension	19
I. 10. Les harmoniques	19

Chapitre II : Les fonctions de la protection

II. 1. Description d'un système de protection.....	21
II. 2. Role de protection	22
II.3. Eléments constitutifs d'un système de protection	22
II.3. 1. Réducteurs de mesure	22
II.3. 2. Transformateur de courant.....	22
II.3.2. 1. Types industriels	23
II.3.2. 2. Courbe magnétisante	25
II.3. 3. Transformateur de tension	26
II.3. 4. Relais de protection	26
II.3.4. 1. Différents types des relais.....	27
a). Relais numérique.....	27
b). Relais statiques.....	28
c). Relais électromagnétiques	28
d). Relais de mesure	30
II.3. 5. Disjoncteur moyenne tension.....	30
II. 4. Protection ampèremétrique	31
II.5. Protection à maximum de courant phase	31
II.5.1. Protection à maximum de courant phase à temps indépendant.....	31
II.5. 2. Protection à maximum de courant phase à temps dépendant.....	32
II.5.2.1. Protection à maximum de courant à temps inverse.....	32
II.6. Protection à maximum de courant terre.....	34
II.7. Le régime du neutre.....	35
II.7.1. Type du régime du neutre.....	35
II.7.1.1. Le régime TT.....	35
II.7.1.2. Le régime TN.....	35
II.7.1.3. Le régime IT.....	36

Chapitre III : Simulation

III. 1. Calcul d'un courant de court-circuit	38
III.1.a. Sans défaut.....	39
III.1.b. Défaut CC au début de la ligne.....	41
III.1.c. Défaut CC à la fin de la ligne	44
III. 2. Simulation d'un système de protection à maximum de courant	46
III.2.a. Défaut CC au début de la ligne	47
III.2.b. Défaut CC à la fin de la ligne	51
III. 3. Simulation d'un système de protection à max de courant temporisée.....	53
III. 4. Simulation d'un système de protection à max de courant à temps dépendant	57
III.4.a. Premier cas : caractéristique à temps dépendant 'très inverse'.....	58
III.4.b. Deuxième cas : caractéristique à temps dépendant 'inverse'	61

**Chapitre IV : Réalisation pratique de la protection à maximum de courant à
temps dépendant**

IV. 1. Logiciel LabView	65
IV.1. 1. Historique de LabVIEW	66
IV.1. 2. Création d'un VI	66
IV.1. 3. Les palettes.....	67
IV.1. 4. Palette de commandes.....	67
IV. 2. Partie expérimentale.....	72
IV. 3. Les essais pratiques.....	75
IV. 3.1. Premier cas : fonctionnement normal du circuit.....	75

IV. 3.2. Deuxième cas : avec défaut.....	78
Conclusion générale.....	80
Références bibliographiques.....	81
Résumé.....	83

Liste de figures

Figure I.1. Exemple d'un réseau de transport	4
Figure I.2. Architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie	5
Figure I.3. Différents types du court-circuit	8
Figure I.4. Schéma équivalent d'un réseau au court-circuit	10
Figure I.5. Décomposition du courant du court circuit	11
Figure I.6. Exemple de surtension	12
Figure I.7. La foudre	13
Figure I.8. Surtensions directes.....	14
Figure I.9. Surtensions indirectes.....	15
Figure I.10. Creux de tension.....	16
Figure I.11. Exemple de variation rapide de la tension	17
Figure I.12. Forme d'onde illustrant un déséquilibre de tension	18
Figure II.1. Chaîne de protection	21
Figure II.2. Schéma de principe d'un transformateur de courant à noyau de fer	23
Figure II.3. Bobine de rogowski avec circuit de mesure	24
Figure II.4. Courbe de magnétisation (excitation) d'un TC.....	25
Figure II.5. Types des relais.....	27
Figure II.6. Relais électromagnétique à induction par disque simple.....	29
Figure II.7. Protection à temps indépendant	32
Figure II.8. Protection à temps dépendant	32
Figure II. 9. Protection à maximum de courant à temps inverse.....	33
Figure II.10. Types de caractéristique de la protection à max de courant à temps dépendant défaut.....	33
Figure II.11. Schéma unifilaire du système TT	35
Figure II.12. Défaut d'isolement sur un réseau exploité en TN-C (a), TN-S (b).....	36
Figure II.13. Schéma unifilaire du système TT.....	36

Figure III.1. Schéma de simulation d'un court-circuit au début de la ligne	39
Figure III.2.A. La tension de la source sans défaut	40
Figure III.2.B. Le courant de la source sans défaut.....	40
Figure III.2.C. La tension de la charge sans défaut.....	40
Figure III.2.D. Le courant de la charge sans défaut.....	40
Figure III.3.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	41
Figure III.3.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	41
Figure III.3.C. La tension de la charge , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	41
Figure III.3.D. Le courant de la charge ,CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	41
Figure III.4.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	42
Figure III.4.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	42
Figure III.4.C. La tension de la charge , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	42
Figure III.4.D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	42
Figure III.5.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.043s$	43
Figure III.5.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$	43
Figure III.5.C. La tension de la charge , CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$	43
Figure III.5.D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$	43
Figure III.6.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	44
Figure III.6.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	44
Figure III.6.C. La tension de la charge , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	44
Figure III.6.D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	44
Figure III.7. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	45
Figure III.8. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	45
Figure III.9. Schéma de simulation d'un système de protection à max de courant	46
Figure III.10. Éléments constitutifs du relais à max de courant.....	47

Liste de figure

Figure III.11.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	48
Figure III.11.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	48
Figure III.11.C. La tension de la charge , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	48
Figure III.11.D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	48
Figure III.12.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	49
Figure III.12.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	49
Figure III.12.C. La tension de la charge , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	49
Figure III.12.D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	49
Figure III.13.A. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$	50
Figure III.13.B. Signal de commande envoyé par le relais vers le disjoncteur, pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$	50
Figure III.14.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	51
Figure III.14.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	51
Figure III.14.C. La tension de la charge , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	51
Figure III.14.D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	51
Figure III.15. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	52
Figure III.16.A. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$	52
Figure III.16.B. Signal de commande envoyé par le relais;CC à l'instant $t_{cc}=0.045$..	52
Figure III.17. Schéma de simulation d'une protection à max de courant temporisée..	53
Figure III.18.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	54
Figure III.18.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	54
Figure III.18.C. La tension de la charge , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	54
Figure III.18.D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	54
Figure III.19.A. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	55
Figure III.19.B. Signal de commande du disjoncteur.....	55

Liste de figure

Figure III.19.C. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	55
Figure III.20.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	56
Figure III.20.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	56
Figure III.20.C. Signal de commande du disjoncteur.....	56
Figure III.21. Schéma de simulation d'une protection à max de courant à temps dépendent.....	57
Figure III.22.Caractéristiques d'une protection à max de courant à temps dépendant	58
Figure III.23.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	59
Figure III.23.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	59
Figure III.23.C. La tension de la charge , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	59
Figure III.23.D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	59
Figure III.24.A. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	60
Figure III.24.B. Signal de commande du relais	60
Figure III.25. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$	60
Figure III.26.A. La tension de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	61
Figure III.26.B. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	61
Figure III.26.C. La tension de la charge , CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	61
Figure III.26.D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$	61
Figure III.27.A. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$	62
Figure III.27.B. Signal de commande du relais	62
Figure III.28. Le courant de la source , CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$	62
Figure IV.1. Un VI de LabVIEW est composé d'un diagramme (fenetre blanche) et d'une face avant et représenté par une icone.....	67
Figure IV.2. Palette de commandes :à gauche sous forme de menu.....	68

Liste de figure

Figure IV.3. La palette d'outils permet de choisir la fonctionnalité de la souris.....	70
Figure IV.4. Schéma du montage réalisée	73
Figure IV.5. Photo du montage réalisée	73
Figure IV.6. Générateur de tension variable.....	74
Figure IV.7. Charge résistive	74
Figure IV.8. Transformateur de courant	74
Figure IV.9. Élément de coupure réalisée au laboratoire	75
Figure IV.10. Bornes de la carte d'acquisition	75
Figure IV.11. Caractéristique de déclenchement à temps dépendant.....	75
Figure IV.12. Diagramme LabVIEW du relais à max de courant à temps dépendant	76
Figure IV.13. Interface LabVIEW de la protection réalisée.....	77
Figure IV.14. Interface LabVIEW avec courant charge $I_{eff}=0.52A$	78
Figure IV.15. Interface LabVIEW avec courant charge $I_{eff}=0.65A$	78
Figure IV.16. Interface LabVIEW de la protection pour une temporisation=10294ms	79

Liste des tableaux

Tableau I.1. Caractéristiques des architectures.....	6
Tableau II.1. Courbes de déclenchements typiques des protections à temps dépendant.....	34

Introduction générale

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus largement répandue car elle est facilement transportable à un rendement élevé et un coût raisonnable. Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures dont le but est d'acheminer de l'énergie électrique à partir de centres de production vers les consommateurs d'électricité. Les investissements humains et matériels affectés aux réseaux électriques sont énormes. Pour cela, le réseau électrique doit répondre à trois exigences essentielles [5]:

- Stabilité,
- Économie,
- Continuité du service.

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

Le développement technique progressif, l'extension continue, et l'interconnexion régionale et internationale des réseaux électriques rendent sa protection compliquée de plus en plus, où l'intervention des nouveaux modes de protection sophistiquées, sélectives, et plus rapides était nécessaire. En effet, c'est le défaut de court-circuit qui représente le défaut portant toute l'attention des investisseurs du réseau électrique [13].

La protection à max de courant est la plus utilisée pour protéger contre les défauts de court-circuit. La protection à maximum de courant est une protection électrique qui consiste à comparer le courant mesuré dans le réseau à une valeur limite dite seuil de déclenchement. Si le seuil est dépassé, la protection conclut qu'un court-circuit ou une surcharge, a lieu. Elle provoque alors l'ouverture du réseau électrique. Elle est utilisée pour protéger les transformateurs et les lignes. On peut différencier

deux familles de protection à maximum de courant, celle à temps indépendant et celle à temps dépendant.

Ce travail concerne la simulation et la réalisation pratique d'une protection à maximum de courant à caractéristique de déclenchement programmable en utilisant des grandeurs électriques réduites telles que la tension d'alimentation et le courant de défaut. La simulation a été effectuée sous l'environnement Simulink/Matlab, tandis qu'un programme LabVIEW a été développé pour le pilotage en temps réel de la protection à maximum de courant. Ce mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre rappelle les différents types des réseaux électriques ainsi que les perturbations affectant ce dernier.

Le deuxième chapitre est consacré au concept général de la protection du réseau électrique et ses différents éléments, avec les différents types de protection.

Le troisième chapitre concerne la simulation sous l'environnement Simulink/Matlab des protections à max de courant à temps indépendant et à temps dépendant.

La réalisation pratique de la protection à maximum de courant à caractéristique de déclenchement programmable (à temps dépendant) fait l'objet du quatrième chapitre. Une application LabVIEW a été développée pour la commande en temps réel de cette protection.

Introduction

Dans ce chapitre on va étudier les différents types des réseaux électriques, ainsi que les conséquences des principales perturbations les plus répandus qui peuvent affectées ce dernier. Sont donc étudier les caractéristiques d'un court-circuit, la surcharge, la surintensité et la chute de tension. On rappelle également le calcul des courants de court-circuit qui fait l'objet de la définition d'un système de protection.

I. 1. Différents types de réseaux électriques

D'une façon générale, les réseaux électriques sont classés selon ses niveaux de tensions :

- Un réseau de transport THT 220/800 KV
- Un réseau de répartition HT 60 /170 KV
- Un réseau de distribution MT 5 /36 KV
- Un réseau de livraison BT 400/230 V

Cette hiérarchie varie considérablement d'un pays à l'autre [1][2].

I.1.1. Réseau de transport THT

C'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation. C'est sur le réseau THT que sont en principe branchées les centrales de grandes puissances (plus de 300 MW). Les réseaux de transport constituent une vaste grille couvrant le territoire, à laquelle sont raccordées les sources et les utilisations (groupes, transformateurs). Chaque nœud A, B et C (Fig. I.1) constitue un « poste d'interconnexion ». Ces postes sont en général constitués par un collecteur principal appelé « jeu de barres » sur lequel se raccordent les lignes, au moyen d'appareils.

Ces réseaux sont pour la plupart aériens et souterrains dans les villes ou à leur approches. Ils sont étudiés pour un transit donné correspondant en général à la limite thermique de la ligne. Une attention particulière doit être portée à l'effet couronne qui peut donner lieu en THT, à des pertes très significatives suivant le climat et l'attitude.

Les pylônes de lignes sont équipés en général de deux ternes (2 fois 3 phases) voir quatre et même six ternes. Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation, elle est assurée au niveau national par un centre de conduite ou dispatching à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence [2].

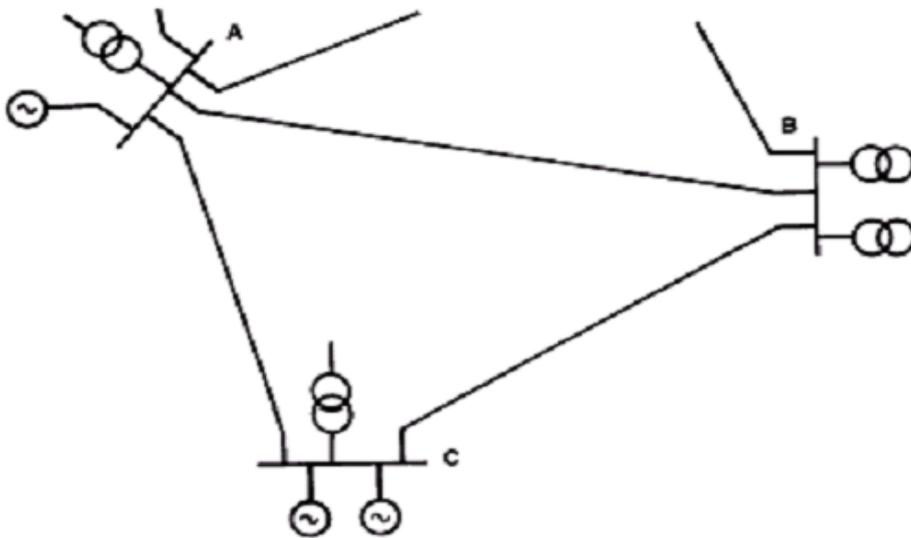


Figure I. 1. Exemple d'un réseau de transport

I.1.2. Réseau de répartition HT

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

- Soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution MT,
- Soit du domaine privé avec l'accès aux abonnés à grande consommation (supérieure à 10 MVA) livrés directement en HT.

I.1.3. Réseau de distribution MT

Les utilisateurs peuvent être groupés d’une façon très dense comme dans les villes ou bien séparés les uns des autres par des distances plus ou moins grandes comme dans les campagnes. Ils sont desservis par un réseau de distribution alimenté par un poste de répartition qui reçoit l’énergie, provenant de centrales éloignées, par l’intermédiaire du réseau de transport. Des lignes de distribution à moyenne tension (MT) partent des postes de répartition et alimentent des postes de transformation répartis en différents endroits de la zone à desservir, ces postes de transformation abaissent la tension à une valeur convenable pour alimenter le réseau de distribution publique auquel les abonnés sont raccordés par des branchements.

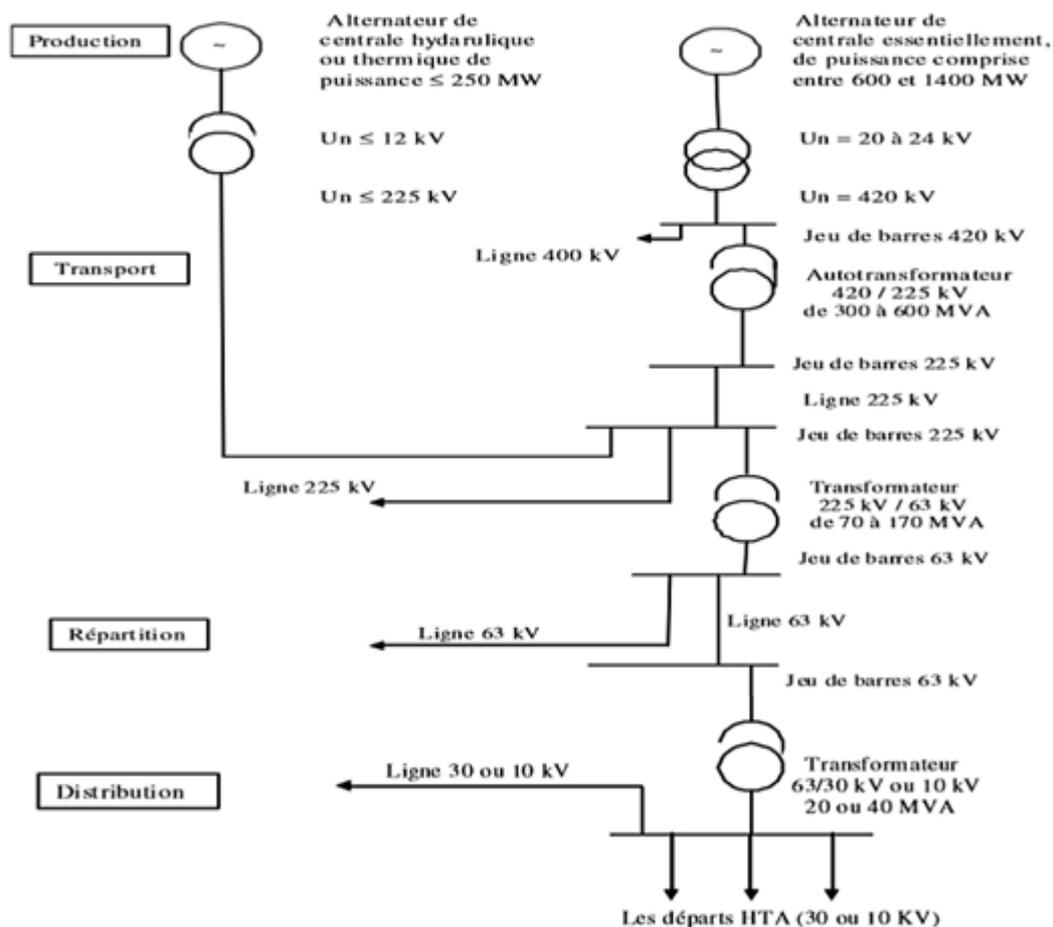


Figure I. 2. Architecture générale de réseaux d’énergies électrique en Algérie [5]

Caractéristiques des différents types d'architectures :

Le tableau I.1 représente les caractéristiques des architectures

Architecture		Utilisation	Avantages	Inconvénients
Radiale	Simple antenne	Processus peu exigeant en continuité de service	Structure la plus simple Facile à protéger Coût minimal	Faible disponibilité d'alimentation Temps de coupure sur défaut long Un seul défaut entraîne la coupure de l'alimentation d'antenne
	Double antenne	Processus continu : sidérurgie, pétrochimie	Bonne continuité d'alimentation Maintenance possible du jeu de barres du tableau principal	Solution coûteuse Fonctionnement partiel du jeu de barres en cas de maintenance
	Double dérivation	Réseaux urbains Extensions futures limitées	Bonne continuité d'alimentation Simplicité des protections	Nécessité de fonctions d'automatisme
	Double jeu de barres	Processus à grande continuité de service Processus avec forte variation des charges	Bonne continuité d'alimentation Souplesse d'utilisation : transferts sans coupure Souplesse de maintenance	Solution coûteuse Nécessité de fonctions d'automatisme
En boucle	Boucle ouverte	Réseaux très étendus Extensions futures importantes Charges concentrées sur différentes zones d'un site	Moins coûteux que la boucle fermée Simplicité des protections	Coupure d'alimentation d'un tronçon sur défaut pendant reconfiguration de boucle Nécessité de fonctions d'automatisme
	Boucle fermée	Réseaux à grande continuité de service Réseaux très étendus Charges concentrées sur différentes zones d'un site	Bonne continuité d'alimentation Pas de nécessité de fonctions d'automatisme	Solution coûteuse Complexité du système de protection
Production interne d'énergie	Production locale	Sites industriels avec processus auto producteur d'énergie Ex. : papeterie, sidérurgie	Bonne continuité d'alimentation	Solution coûteuse
	Remplacement (normal/secours)	Sites industriels et tertiaires Ex. : hôpitaux	Bonne continuité d'alimentation des départs prioritaires	Nécessité de fonctions d'automatisme

Tableau I. 1. Caractéristiques des architectures [5].

I. 2. Nature d'un défaut

- **Défaut fugitifs** : Les défauts fugitifs nécessitent une coupure très brève du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dixièmes de seconde),
Exemple : la foudre [6].
- **Défaut permanent** : Ces défauts ne disparaissent pas après le déclenchement des protections plusieurs fois ce qui provoque un déclenchement définitif, où l'intervention du personnel d'exploitation est indispensable pour la localisation du défaut et remise en service de la partie concernée.
Exemple : rupture de conducteur [6].
- **Défaut auto-extincteurs** : c'est le défaut qui disparaît spontanément en des temps très courts sans qu'il provoque le fonctionnement de la protection.
Exemple : oiseau dans une ligne [6].
- **Défauts semi-permanents** : 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.

I. 3. Surintensité

I.3.1. Court-circuit

Définition : Un courant électrique de court-circuit est une valeur anormale de courant ayant une grande intensité provoquée par un contact franc entre phases ou entre phase et terre généralement accidentel [3].

I.3.1.1. Types de court-circuit

Un court-circuit dans les réseaux électriques peut être :

- **Monophasé** (Fig. I.3.d) : entre une phase et la terre ou une masse, il représente 80% des cas.

- **Biphasé** (Fig. I.3.b et c) : entre deux phases raccordées ensemble, peut être un court-circuit biphasé mis à la terre ou biphasé isolé, il représente 15% des cas.
- **Triphasés** (Fig. I.3.a) : entre trois phases de la ligne ou les trois phases et la terre, il représente 5% des cas.

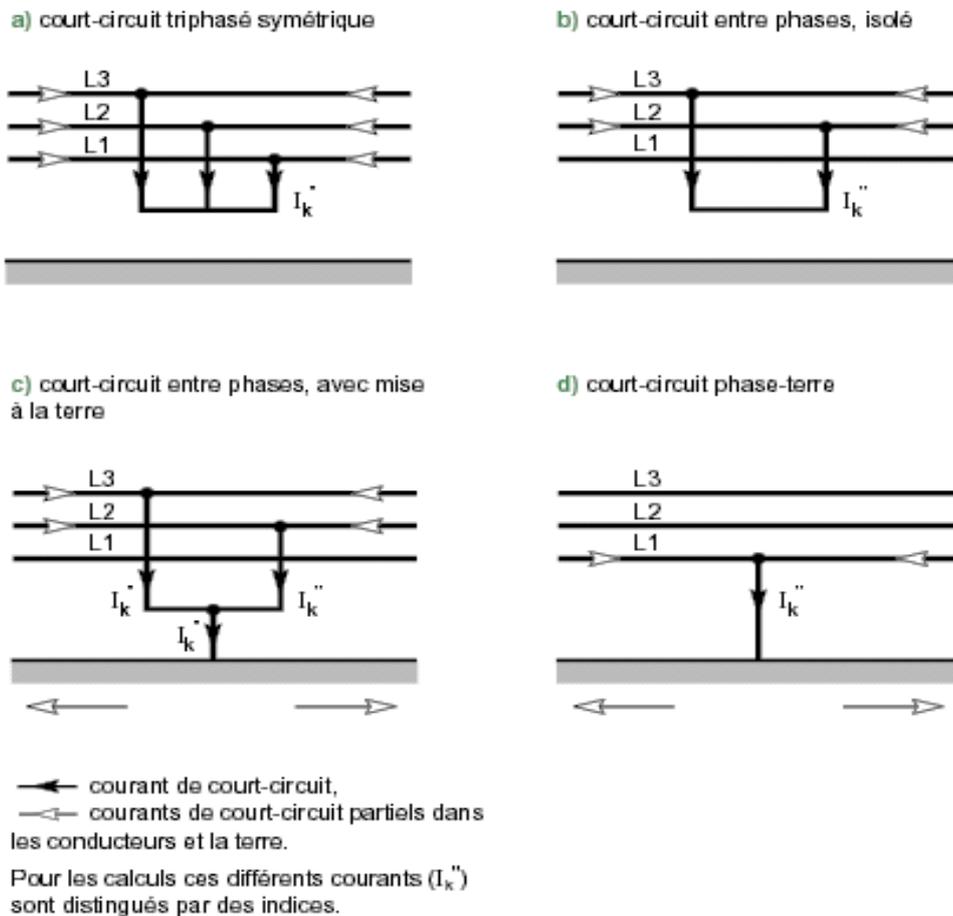


Figure I. 3. Différents types du court-circuit

Un court-circuit peut être également de natures différentes [4].

I.3.1.2. Origines

Les causes d'un court-circuit peuvent être diverses:

- Conditions atmosphériques : coup de foudre, vent, tempête, ... etc. dans ces conditions climatiques sévères, des claquages diélectriques ou la destruction partielle de matériel.

- Vieillessement du matériel: ce phénomène engendre des ruptures ou défaillances locales pouvant engendrer des courts-circuits;
- Défaut d'isolation: ce défaut est souvent l'origine des courts-circuits. Dans ce cas l'isolant n'est plus en mesure d'assurer sa fonction d'isolation conduisant à un contact entre phases ou entre spires d'un transformateur par exemple.
- Défaut de manœuvre et erreurs humaines.
- Animaux : les oiseaux sont souvent à l'origine de court-circuit. Le cas de la cigogne du Portugal est célèbre. En effet, en mai 2000, une des ailes d'une cigogne s'est coincée entre deux phases d'une ligne aérienne du réseau électrique portugais. Une réaction inappropriée des protections a conduit à une panne électrique englobant environ la moitié des réseaux portugais.

I.3.1.3. Effets et conséquences d'un courant courts-circuits

Les effets et conséquences d'un courant de court-circuit sont extrêmement néfastes pour le matériel et les équipements du réseau électrique. En effet, le matériel électrique installé sur les réseaux électriques n'étant pas dimensionnés pour supporter des valeurs de courant très élevées. Ces courants vont donc faire subir au matériel des contraintes d'échauffement excessives pouvant entraîner leur destruction. Des dysfonctionnements divers, notamment au niveau des matériels de mesure ou des transformateurs de courant ainsi que de télécommunication, peuvent aussi être observés. Il est donc indispensable de protéger ce matériel contre le court-circuit. Cette fonction est assurée généralement par un appareil pouvant couper des courants très élevés : les disjoncteurs. Cependant, ces appareils sont liés aux protections [5].

I.3.1.4. Caractéristiques d'un courant de court-circuit

Une connaissance précise du courant de court-circuit sur tout point d'un réseau est indispensable pour plusieurs raisons [6].

- La valeur efficace du courant de court-circuit maximum, définit le pouvoir de coupure des disjoncteurs et fusibles, et les contraintes thermiques,

- Valeur crête du courant de court-circuit maximum, définie le pouvoir de fermeture, et les contraintes électrodynamique,
- Valeur du courant de court-circuit minimum, définie le réglage des protections (seuil de déclenchement).

I.3.1.5. Calcul d'un courant de court-circuit

La connaissance des valeurs des courants de court-circuit est indispensable pour le dimensionnement des matériels de protection. Pour les disjoncteurs ces valeurs sont requises pour leur dimensionnement au regard du pouvoir de coupure. Ce pouvoir de coupure doit être suffisant pour couper les courants de court-circuit les plus élevés. Le calcul des courants de court-circuit n'implique pas seulement la connaissance de ces courants au point de défaut, mais également la répartition de ces courants sur les autres lignes et phases du réseau ainsi que leurs conséquences sur les tensions.

Le réseau amont d'un court-circuit peut se mettre sous la forme d'un schéma équivalent constitué d'une source de tension alternative d'amplitude constante E et d'une impédance en série Z_{cc} (Fig. I.4). Où Z_{cc} est l'impédance de court-circuit, elle est égale à l'impédance équivalente aux lignes et aux transformateurs parcourus par le courant de court-circuit :

Où :

$$Z_{cc} = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (I.1)$$

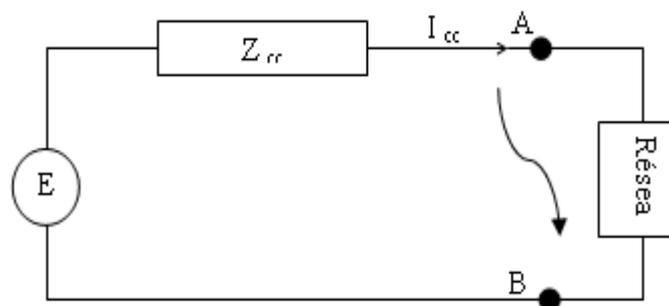


Figure I. 4. Schéma équivalent d'un réseau au court-circuit

Lors d'un court-circuit on applique une tension :

$$e = E\sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha) \quad (I.2)$$

À un circuit composé d'une réactance et d'une résistance en série. α est l'angle d'enclenchement du court-circuit, il définit la phase de la tension à l'instant d'apparition du court-circuit (Fig. I.5), Soit φ le déphasage entre la tension et le courant en régime établi :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R} \quad (I.3)$$

L'expression du courant de court-circuit est :

$$I_{cc} = \frac{E\sqrt{2}}{Z_{cc}} \left[\sin(\omega t + \alpha - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{R}{X}\omega t} \right] \quad (I.4)$$

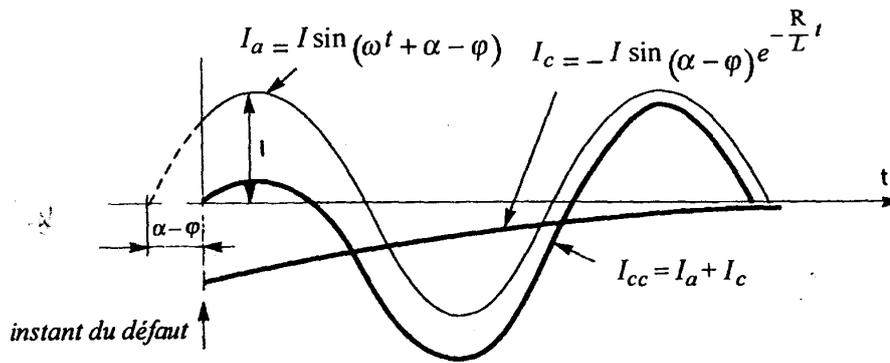


Figure I. 5. Décomposition du courant du court-circuit

Le courant I_{cc} est donc la somme du deux courants suivants :

$$I_a = \frac{E\sqrt{2}}{Z_{cc}} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) \quad (\text{Courant sinusoïdal}) \quad (I.5)$$

$$I_c = -\frac{E\sqrt{2}}{Z_{cc}} \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{R}{X}\omega t} \quad (\text{Courant apériodique}) \quad (I.6)$$

La valeur efficace du courant en régime établi est :

$$I_{\text{eff}} = \frac{E}{Z_{cc}} \quad (I.7)$$

Plusieurs cas sont envisagés :

- 1^{er} cas : si l'angle d'enclenchement du court-circuit $\alpha = \varphi$, la composante apériodique est nulle, le régime est dit symétrique.

- 2^{ème} cas : si $\alpha - \varphi = \frac{\pi}{2}$, la composante apériodique est maximale, le régime est dit asymétrique maximal. C'est la condition qui entraîne la plus grande valeur de crête du courant.

$$I_{cc} = \frac{E\sqrt{2}}{Z_{cc}} \left[\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) - e^{-\frac{R}{X}\omega t} \right] \quad (\text{I.8})$$

Le courant atteint la valeur crête maximale (1^{re} crête) lorsque :

$$\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = -1 \quad \text{d'où} \quad \omega t = \pi \quad (\text{I.9})$$

La valeur crête maximale du courant est :

$$\hat{I} = \frac{E\sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + X^2}} \left[1 + e^{-\frac{R}{X}\pi} \right] \quad (\text{I.10})$$

I.3.2. Surcharge

Au sens général, le mot surcharge désigne l'élévation de l'intensité de 1 à 10 In d'un circuit due par exemple à une Surabondance des récepteurs. Ses conséquences peuvent provoquées l'échauffement lent et progressif des parties actives, des masses métalliques, et des isolants.

I.4. Surtension

Une surtension est une impulsion ou une onde de tension qui se superpose à la tension nominale du réseau, comme elle est montrée sur la (Fig. I.6).

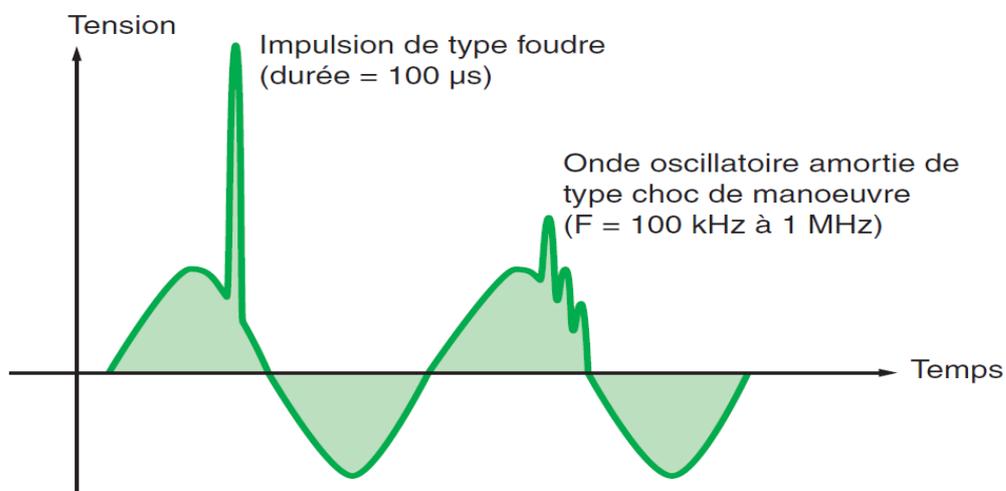


Figure I. 6 . Exemple de surtension

Par la nature même de leur origine, il existe deux façons de classer les surtensions :

I.4.1. Surtension 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 [7].

I.4.1.1. La foudre

Le coup de foudre est une décharge électrique se produisant dans un Grand intervalle dont les « électrodes » sont d'une part un nuage Orageux chargé et d'autre part la terre. L'impact de la foudre sur une installation est équivalent à un Générateur de courant très fort (10 à 100 kA et plus). Il produit une Surtension considérable.

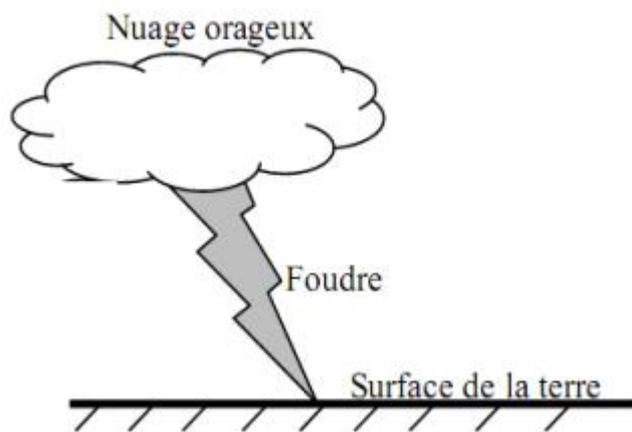


Figure I. 7. La foudre

I.4.1.1.1. Effets de la foudre

- Effets thermiques : Fusion d'éléments au point d'impact (30000°C) et risque d'incendie dû à la circulation d'un courant important.

- Effets électrodynamiques : Lorsque les courants de la foudre circulent dans des conducteurs parallèles, la force magnétique qui en résulte (attraction et répulsion) peut entraîner des déformations mécaniques et même des ruptures.
- Surtensions directes : L'impact direct sur une ligne électrique ou téléphonique, génère une onde de tension qui se propage. Cette onde, qui est amortie par l'effet couronne et la longueur de la ligne, est coupée soit par l'isolateur à cornes soit par les moyens de protection au poste. Comme le courant de la foudre est rarement inférieur à 10kA, et que l'impédance caractéristique d'une ligne aérienne est environ 300R, l'onde de tension atteindra 1500kV [2].

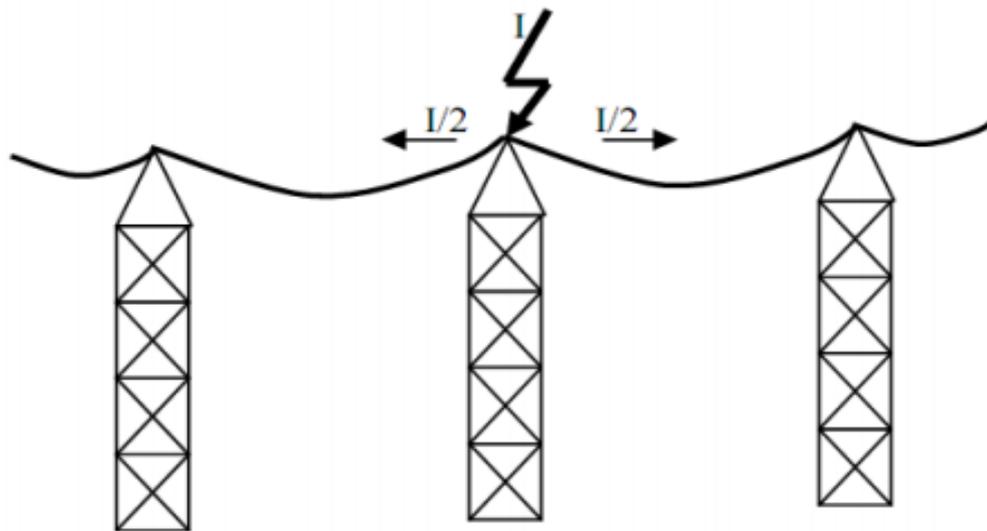


Figure I. 8. Surtensions directes

- Surtensions induites (indirectes) : Si la foudre tombe à proximité de la ligne, le courant provoque une variation extrêmement rapide du champ électromagnétique. A cause des ondes électromagnétiques générées par la foudre, des surtensions sont induites dans des conducteurs situés loin du point d'impact. Ses effets se font sentir à plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres [2].

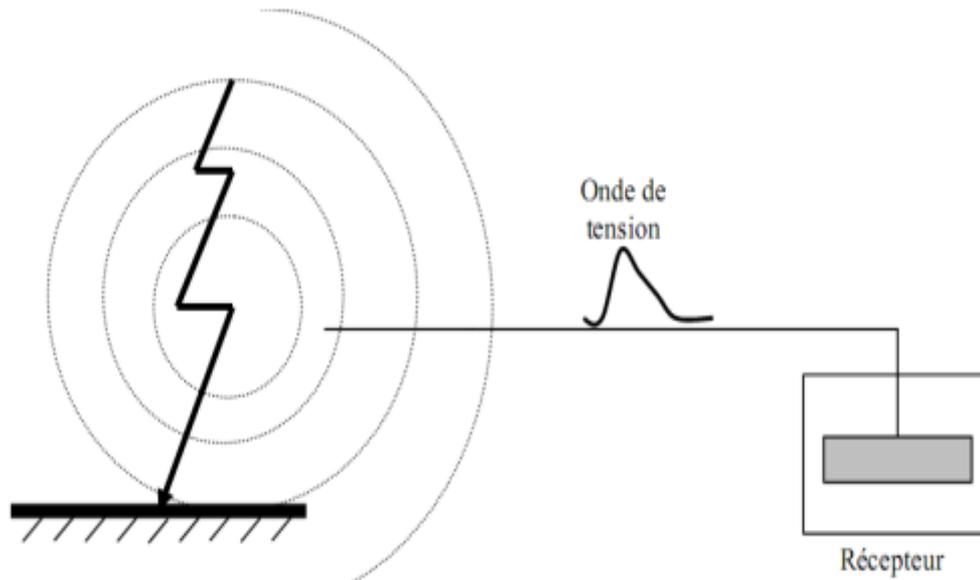


Fig. I. 9. Surtensions indirectes

Les ondes induites sur la ligne sont similaires en forme et en amplitude à celles obtenues par choc de foudre direct. Leur caractéristique principale est leur front très raide (de l'ordre de la microseconde), et leur amortissement très rapide. Ce rayonnement est d'autant plus important que le front de montée est raide (20 à 100 kA/Q s). Un coup de foudre tombant à proximité d'une ligne développe un champ d'induction magnétique suffisamment important pour y créer une surtension induite.

I.5. Creux de tension

Un creux de tension est défini comme une baisse soudaine de 10 % ou plus de la tension nominale, touchant une ou plusieurs phases, d'une durée comprise entre huit millisecondes (un demi-cycle) et une minute. Généralement, les creux de tension sont des perturbations (et non des pannes ou des interruptions) de moins d'une seconde présentant une baisse de tension de 60 % ou moins (Fig. I.10) [8].

Aucun réseau électrique n'est à l'abri des perturbations indésirables telles que les creux de tension. Puisqu'il s'agit de phénomènes aléatoires et imprévisibles, aucune norme n'en restreint le nombre, l'amplitude ni la durée.

Le nombre, l'amplitude et la durée des creux de tension varient grandement d'un point de raccordement à un autre et dépendent de facteurs tels que le type de réseau (aérien ou souterrain, réseau de transport ou de distribution, etc.

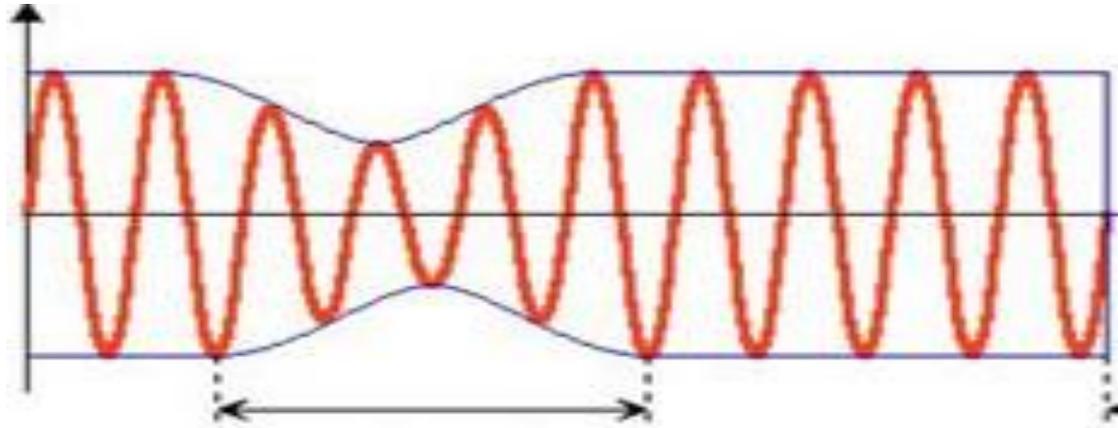


Figure I. 10. Creux de tension

I.5.1. Provenances des creux de tension

Les creux de tension proviennent soit du réseau électrique, soit des installations des clients.

➤ Installations des clients

- Démarrage de moteur,
- Variation de charge soudaine,
- Défaits électriques.

➤ Réseau électrique

- Contact avec la végétation, un animal, un oiseau, etc,
- Conditions climatiques (vent, foudre, pluie, verglas, etc.),
- Galop (effet du vent sur les câbles),
- Bris d'équipement (isolateur, transformateur, joint de câble, etc.).

I.5.2. Conséquences des creux de tension

Tout creux de tension peut causer l'arrêt imprévu d'équipements et, dans certains cas, entraîner des dysfonctionnements, selon le type d'équipement et de

procédé utilisés. L'impact financier est aussi en fonction du secteur d'activité en cause et du niveau de protection déjà en place.

I.6. Fluctuation de tension

Des variations rapides de tension, répétitives ou aléatoires, sont provoquées par des variations rapides de puissance absorbée ou produite par des installations telles que les soudeuses, fours à arc, éoliennes, etc [9].

L'illustration de ces fluctuations est montrée sur (Fig. I.11)

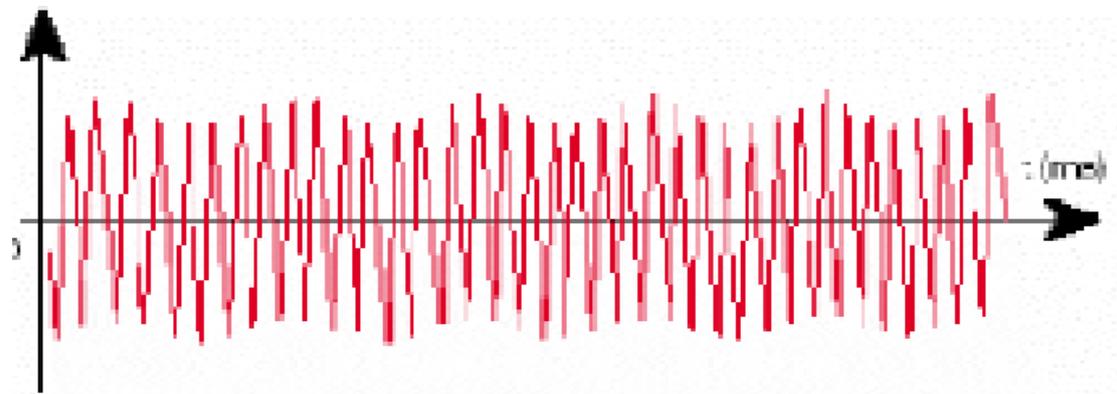


Figure I. 11. Exemple de variation rapide de la tension

Ces fluctuations de tension peuvent provoquer un papillotement de l'éclairage (flicker), gênant pour la clientèle, même si les variations individuelles ne dépassent pas quelques dixièmes de pour-cent. Les autres applications de l'électricité ne sont normalement pas affectées par ces phénomènes, tant que l'amplitude des variations reste inférieure à quelque 10 %.

I.7. Déséquilibre de tension et de courant

Dans un réseau triphasé, on a idéalement des amplitudes égales de la tension et du courant respectivement sur chacune des trois phases et un angle de phase de 120 degrés. Lorsque les tensions ou les courants présentent une différence d'amplitude, il y a un déséquilibre (Fig. I.12), Et cela peut causer des problèmes pour les équipements triphasés branchés au réseau. L'impact le plus courant du déséquilibre

est la surchauffe des équipements et, par conséquent, la dégradation de l'isolation électrique et la réduction de la durée de vie [10].

Il existe trois types de circuits triphasés déséquilibrés :

1. Charge déséquilibrée : Il peut exister un court-circuit dans la charge, ou une mauvaise répartition des charges monophasées sur le réseau (3~Ph)
2. Source déséquilibrée : Court-circuit à la source ou dans un transformateur.
3. Combinaison de source et charge déséquilibrées.

De façon pratique, on retrouve des charges déséquilibrées plus souvent que des sources déséquilibrées. Alors on conçoit les sources pour qu'elles soient le plus équilibrées possibles.

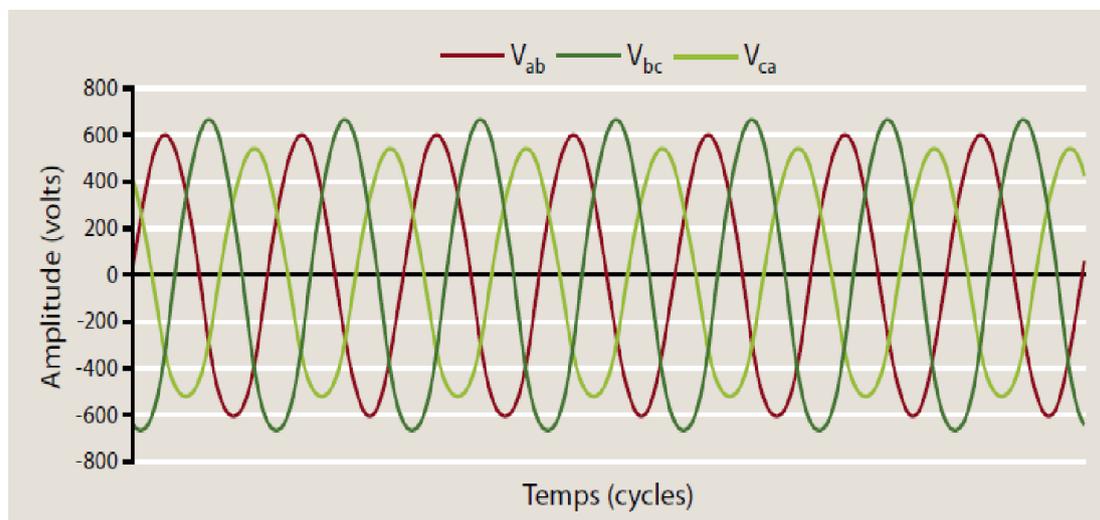


Figure I. 12. Forme d'onde illustrant un déséquilibre de tension

De plus, Les déséquilibres de tension influent sur tous les équipements triphasés et en particulier sur les moteurs, car ceux-ci subissent alors un couple de freinage indésirable qui se traduit par une surchauffe. Tout déséquilibre de tension supérieur à 2 % entraîne une surchauffe des équipements, ce qui oblige à sur dimensionner ceux-ci pour compenser cette surchauffe et éviter une dégradation prématurée.

I.8. Tension et/ou courant transitoire

Les surtensions transitoires illustrées sur (Fig. I.6) sont des phénomènes brefs, dans leur durée et aléatoires dans leur apparition. Elles sont considérées comme étant des dépassements d'amplitude du niveau normal de la tension fondamentale à la fréquence 50Hz ou 60Hz pendant une durée inférieure à une seconde. Quelques équipements tels que les dispositifs électroniques sont sensibles aux courants/tensions transitoires.

I.9. La chute de tension

Lorsque le transit dans une ligne électrique est assez important, la circulation du courant dans la ligne provoque une chute de tension, La tension est alors plus basse au bout de la ligne qu'en son origine, et plus la ligne est chargée en transit de puissance, plus la chute de tension sera importante.

Un réseau dans lequel la consommation est éloignée de la production, présentera un profil de tension différent de celui d'un réseau dans lequel la production et la consommation sont uniformément réparties.

Chaque centrale impose une tension à sa sortie, et la tension évolue dans le réseau en fonction de la consommation alimentée, C'est pourquoi dans les réseaux maillés THT, la tension est différente suivant l'endroit où l'on se trouve. À la pointe de consommation, la tension est forte aux nœuds du réseau où les centrales débitent, et relativement basse aux points de consommation éloignés des centrales [9].

I.10. Les harmoniques

L'utilisation des équipements électriques comportant des convertisseurs statiques dans les installations de conversion d'énergie électrique a entraîné ces dernières années une augmentation sensible du niveau de pollution harmonique[2].

Ils ont contribué à la détérioration de la qualité du courant et de la tension des réseaux de distribution, Les principales sources à l'origine des harmoniques sont les appareils d'éclairage fluorescent, les appareillages informatiques, les appareils domestiques (téléviseurs, appareils électroménagers en grand nombre), les arcs électriques et tous les convertisseurs statiques raccordés aux réseaux tels que les redresseurs et les onduleurs.

Tous ces systèmes contribuent à la pollution harmonique du réseau auquel ils sont connectés. En effet, ces systèmes absorbent des courants non sinusoïdaux, même s'ils sont alimentés par une tension sinusoïdale [2].

Ces équipements électriques sont considérés comme des charges non linéaires émettant des courants harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers ou non entiers de la fréquence fondamentale. La présence d'harmoniques de courant ou de tension conduit à des effets néfastes sur le réseau de distribution, comme par exemple L'échauffement des conducteurs, des câbles, des condensateurs et des machines dû aux pertes cuivre et fer supplémentaires.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rappelé les différents types des réseaux électriques ainsi que les perturbations qui peuvent survenir au réseau électrique et qui sont : le court-circuit, la foudre ; les harmoniques,...etc. Sont rappelés également les origines et les conséquences de chaque type de défaut. On note que les défauts de court-circuit sont les défauts les plus persistants par rapport aux autres types de défauts.

Introduction

La commission Électrotechnique Internationale (CEI) définit la protection comme ensemble des dispositions destinées pour permettre 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'autre ordre de signalisations. Ce chapitre rapporte le concept général d'un système de protection avec ses principaux éléments, ainsi que les différents types de protection.

II. 1. Description d'un système de protection

Un système de protection repose sur la structure globale du réseau électrique et coordonne ses différents éléments de protection. Les protections individuelles se composent d'une chaîne constituée des éléments suivants (Fig. II.1) :

Capteurs de mesure : – de courant et de tension – qui fournissent les informations nécessaires à la détection des défauts.

Relais de protection : qui surveillent en permanence l'état électrique du réseau et qui élaborent des ordres de commande au circuit de déclenchement.

Appareillages qui ont le rôle de coupure : disjoncteurs, interrupteurs-fusibles, contacteurs-fusibles.

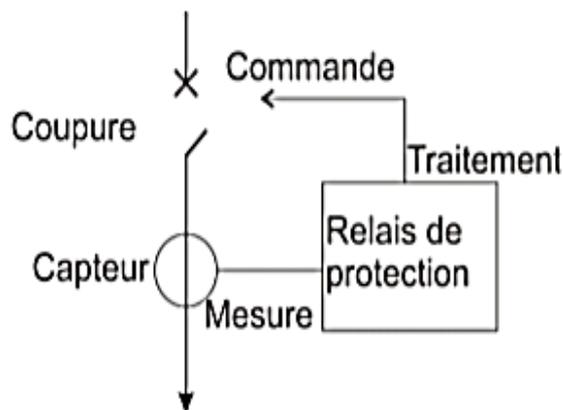


Figure II. 1. Chaîne de protection

II. 2. Rôle de la protection

Les dispositifs de protection surveillent en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau et provoquent leur mise hors tension (par exemple l'ouverture d'un disjoncteur), lorsque ces éléments sont le siège d'une perturbation indésirable : court-circuit, défaut d'isolement, surtension,...etc. Le choix d'un dispositif de protection n'est pas le fruit d'une réflexion isolée, mais une des étapes les plus importantes de la conception d'un réseau électrique.

A partir de l'analyse du comportement des matériels électriques (moteurs, transformateurs, câbles, ...etc.) sur défauts et des phénomènes qui en découlent, on choisit les dispositifs de protection les mieux adaptés.

Un système de protection doit

- Préserver la sécurité des personnes et des biens,
- Éviter la destruction partielle ou totale des matériels,
- Assurer la meilleure continuité de fourniture possible,
- Isoler les parties des réseaux affectées,
- Garantir la stabilité du réseau.

II.3. Eléments constitutifs d'un système de protection**II.3.1. Réducteurs de mesure**

Pour des raisons de dimensionnement et de coût, les relais de protection sont prévus 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). Pour assurer une bonne protection contre les défauts, la caractéristique essentielle d'un réducteur de mesure est sa précision.

II.3.2. Transformateur de courant

Selon la définition de la commission électrotechnique internationale (C.E.I), "un transformateur de courant est un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnel au

courant primaire et déphasé par rapport à celui-ci d'un angle approximativement nul pour un sens approprié des connexions" [4].

La notion de transformateur de courant est un abus de langage, mais elle a été popularisée dans l'industrie. L'expression « transformateur d'intensité » est sans doute plus exacte. On utilise fréquemment les abréviations TC ou TI.

Les transformateurs de courant ont deux fonctions essentielles :

- Adapter la valeur du courant MT du primaire aux caractéristiques des appareils de mesure ou de protection en fournissant un courant secondaire d'intensité proportionnelle réduite.
- Isoler les circuits de puissance du circuit de mesure et/ou de protection.

II.3.2. 1. Types industriels

- **Modèles classiques à noyau de fer :**

Pour les courants alternatifs de basse fréquence, on utilise en général un transformateur avec peu de spires au primaire, et beaucoup au secondaire. Dans certains cas, il y aura même une seule spire au primaire (Fig. II.2). Dans ce cas le transformateur de courant prendra la forme d'un tore, traversé par le circuit électrique. Il n'y aura donc pas de bobinage primaire à proprement parler : la spire est constituée par le passage du circuit électrique à l'intérieur du circuit magnétique torique.

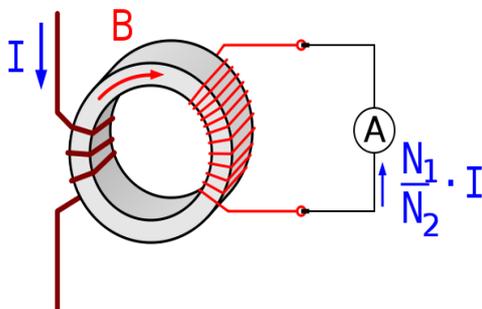


Schéma de principe d'un transformateur de courant avec plusieurs spires au primaire

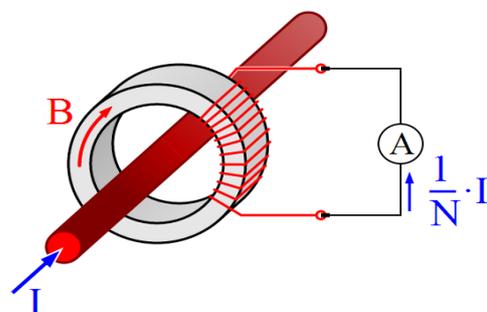


Schéma de principe d'un transformateur de courant avec une seule spire au primaire

Figure II. 2. Schéma de principe d'un transformateur de courant à noyau de fer

- **Modèles à tore de Rogowski :**

Les tores de Rogowski sont assimilables à des transformateurs de courants spécifiques, bien qu'ils délivrent usuellement en sortie une tension proportionnelle à la dérivée du courant et non un courant proportionnel au courant d'entrée. Ils sont largement utilisés dans le domaine de la HTA (Fig. II.3).

Il se compose d'un enroulement hélicoïdal de fil dont le fil d'une extrémité revient par le centre de l'enroulement à l'autre extrémité, de sorte que les deux bornes soient à la même extrémité de l'enroulement. La bobine est positionnée autour du conducteur dont veut connaître le courant. La tension induite dans l'enroulement est proportionnelle au taux de changement (dérivée) du courant dans le conducteur, L'enroulement de Rogowski est habituellement relié à un circuit d'intégration électrique (ou électronique) à forte impédance d'entrée afin de fournir un signal de sortie qui est proportionnel au courant [4].

L'avantage d'un enroulement de Rogowski par rapport à d'autres types de transformateurs de courants est qu'il peut être ouvert et qu'il est très flexible, lui permettant d'être enroulé autour d'un conducteur de phase sans contrainte, Puisqu'un enroulement de Rogowski à un noyau d'air plutôt qu'un noyau de fer, il n'est pas perturbé par des courants de Foucault dans le noyau et peut donc répondre aux courants à changement rapide. Comme il n'a aucun noyau de fer à saturer, il est fortement linéaire même lorsqu'il est soumis à de grands courants, du type de ceux utilisés dans la transmission d'énergie électrique, la soudure, ou les applications à hautes puissances pulsées.

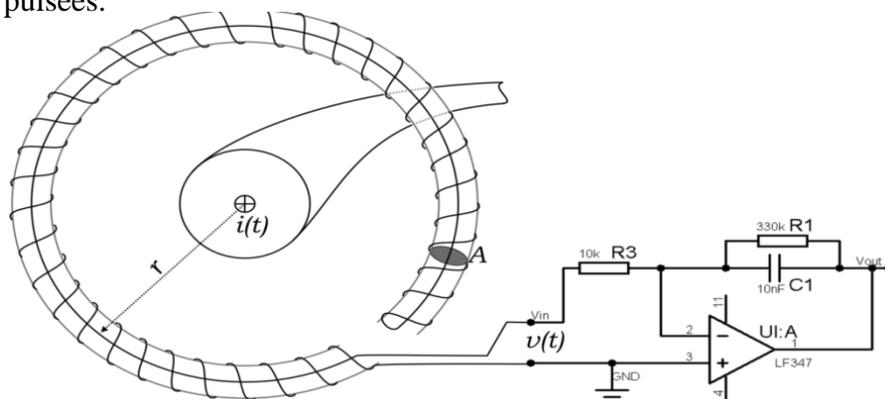


Figure II. 3. Bobine de Rogowski avec circuit de mesure

- **Modèles dits "non conventionnels":**

On désigne sous ce nom des modèles fonctionnant sur le principe de l'effet Hall (courant électrique traversant un matériau baignant dans un champ magnétique engendre une tension perpendiculaire à ceux-ci.) ou de l'effet Faraday (L'effet Faraday est un effet magnéto-optique découvert par Michael Faraday en 1845. Il apparaît dans la plupart des matériaux diélectriques transparents lorsqu'ils sont soumis à des champs magnétiques. Ce fut la première mise en évidence du lien entre magnétisme et lumière, le fait que la lumière contienne un champ magnétique fait maintenant partie de la théorie du rayonnement électromagnétique). Leur utilisation est peu courante, et en général réservé à des applications spécifiques comme la mesure de courants continus.

II.3.2. 2. Courbe magnétisante

Cette courbe montrée sur (Fig. II.4) constitue la meilleure méthode pour déterminer les performances d'un transformateur de courant. C'est un graphique du montant du courant de magnétisation nécessaire pour générer une tension d'ouverture de circuit au niveau des terminaux de l'unité. En raison de la non-linéarité du noyau, elle suit les caractéristiques de la boucle B-H et comprend trois régions, à savoir, la région initiale, la région non saturée et la région saturée [12].

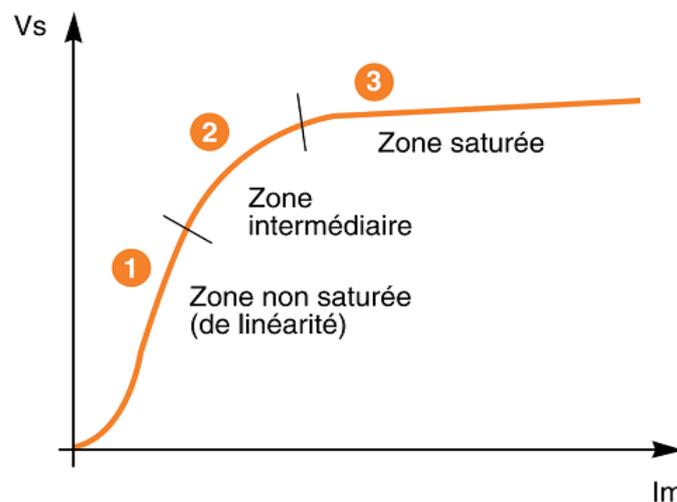


Figure II. 4. Courbe de magnétisation (excitation) d'un TC

II.3.3. Transformateur de tension

Selon la définition donnée par la commission électrotechnique internationale (C.E.I), un transformateur de tension ou potentiel est un « transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnelle à la tension primaire et déphasée par rapport à celle-ci d'un angle voisin de zéro, pour un sens approprié des connexions ». On utilise aussi le terme transformateur de potentiel (TP) [4].

Il s'agit donc d'un appareil utilisé pour la mesure de fortes tensions électriques. Il sert à faire l'adaptation entre la tension élevée d'un réseau électrique HTA ou HTB (jusqu'à quelques centaines de kilovolts) et l'appareil de mesure (voltmètre, ou wattmètre par exemple) ou le relais de protection, qui eux sont prévus pour mesurer des tensions de l'ordre de la centaine de volts[13].

La fonction d'un transformateur de tension est donc fournir à son secondaire une tension image de celle qui lui est appliquée au primaire. L'utilisation concerne autant la mesure que la protection. Les transformateurs de tension (TT ou TP) sont constitués de deux enroulements, primaire et secondaire, couplés par un circuit magnétique, les raccordements peuvent se faire entre phases ou entre phase et terre.

II.3.4. Relais de protection

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations (signaux) à caractère analogique (courant, tension, puissance, fréquence, température, ...etc.) et le transmettent à un ordre binaire (fermeture ou ouverture d'un circuit de commande) lorsque ces informations reçues atteignent les valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées à l'avance, Donc le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que le court-circuit, variation de tension. ...etc, Un relais de protection détecte donc l'existence de conditions anormales par la surveillance continue, détermine quels disjoncteurs ouvrir et alimente les circuits de déclenchement [13].

II.3.4.1. Différents types des relais

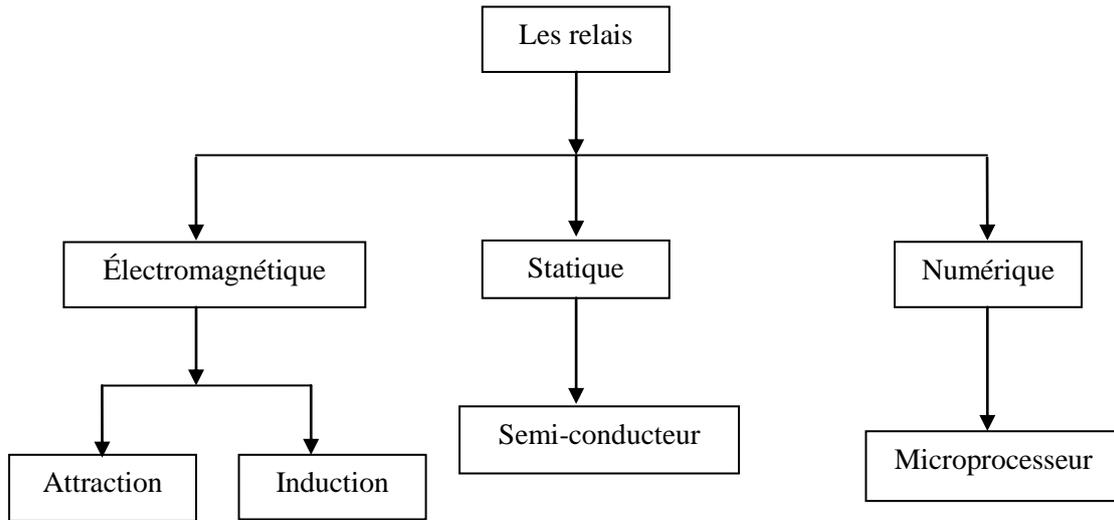


Figure II. 5. Types des relais

a). Relais numérique

La technologie numérique a fait son apparition au début des années 1980. Avec le développement des microprocesseurs et des mémoires, les puces numériques ont été intégrées aux équipements de protection.

Les protections numériques, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de mesure, en signaux numériques de faible tension [4].

L'utilisation de techniques numériques de traitement du signal permet de décomposer le signal en vecteurs ce qui autorise un traitement de données via des algorithmes de protection en fonction de la protection désirée.

Ces dispositifs nécessitent une source auxiliaire, offrent un excellent niveau de précision et un haut niveau de sensibilité. Ils procurent de nouvelles possibilités, comme l'intégration de plusieurs fonctions pour réaliser une fonction de protection complète dans une même unité, le traitement et le stockage de données et l'enregistrement des perturbations du réseau (perturbographe).

Cette génération intègre des possibilités d'autotest et d'autocontrôle qui augmente leur continuité de fonctionnement tout en réduisant la durée et la fréquence des opérations de maintenance, Ils permettent aussi de bénéficier des récentes découvertes dans le domaine de l'intelligence artificielle, comme les réseaux neuronaux et la logique floue.

b). Relais statiques

La technologie statique analogique, apparue vers 1970, qui utilise des circuits intégrés analogiques et logiques a fait apparaître les relais analogiques qui sont composés grossièrement de trois blocs [5] :

- ◆ Un bloc d'adaptation et de filtrage, constitué de petits transformateurs, d'impédances et de filtres passe-bas destinés à éliminer les composantes transitoires rapides,
- ◆ Un bloc de traitement et de détection, composé d'un circuit analogique adapté, transformant la grandeur surveillée en une tension ou un courant continu proportionnel, et d'une bascule servant à détecter le passage d'un seuil,
- ◆ Un bloc de sortie, comprenant un temporisateur, par exemple un circuit RC, et un relais de sortie électromécanique.

Les principaux avantages des relais analogiques sur les relais électromagnétiques sont leur sensibilité, leur précision, leur faible puissance de fonctionnement (quelques VA), et permettent de réduire les dimensions des transformateurs de courant. Par contre, ils nécessitent souvent une alimentation auxiliaire et leurs circuits analogiques sont affecté par les interférences électromagnétiques et le niveau des courants et des tensions ce qui affecte la sensibilité de ce type de relais.

c). Relais électromagnétiques

Ces relais sont basés sur le principe d'un disque d'induction actionné par des bobines alimentées par des variables électriques du réseau via des transformateurs de

courant et de tension. Un ressort de rappel réglable détermine la limite de l'action du disque sur un déclencheur (points de réglage) (Fig. II.6).

Les équipements électromécaniques sont des assemblages de fonctions : détection de seuils et temporisation. Ils avaient l'avantage d'être robustes, de fonctionner sans source d'énergie auxiliaire et d'être peu sensibles aux perturbations électromagnétiques. Ces relais se démarquent par leur solidité et leur grande fiabilité, pour cette raison, leur entretien est minime. Ils sont réputés pour leur fiabilité dans les environnements de travail les plus délicats [4].

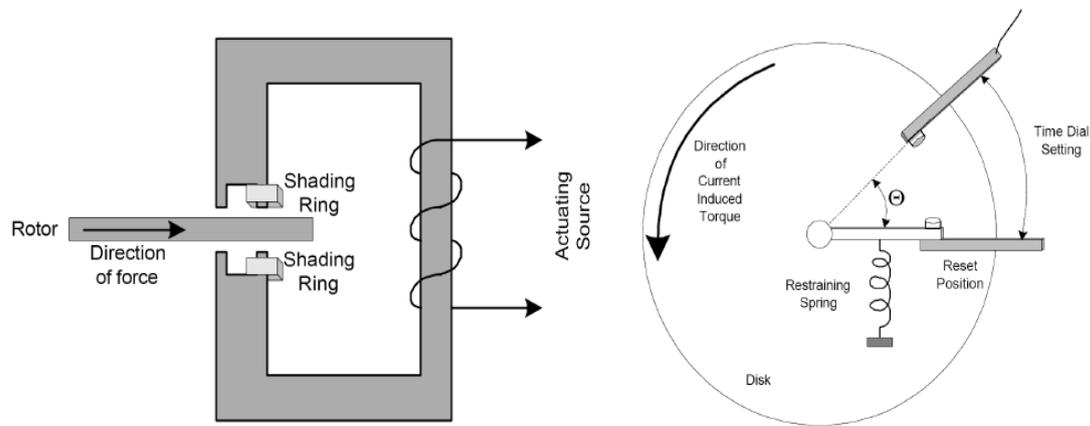


Figure II. 6. Relais électromagnétique à induction par disque simple

Il est néanmoins souhaitable de les contrôler régulièrement, et la périodicité d'inspection dépend des conditions d'exploitation.

Les inconvénients de ces dispositifs, qui demeurent néanmoins largement rencontrés, sont :

- Le risque d'être hors d'état de fonctionner entre deux périodes de maintenance,
- Le manque de précision, le dispositif étant sensible à son environnement et aux phénomènes d'usure,
- Il est aussi difficile d'obtenir des réglages adaptés aux faibles courants de court-circuit,

- Son coût de fabrication est élevé,
- Des performances insuffisantes et n'autorisent l'emploi que de fonctions élémentaires simples, en nombre limité et sans redondance, A cause de ces inconvénients, ce type de protection tend à disparaître à l'heure actuelle.

d). Relais de mesure

Un équipement de protection est généralement composé de plusieurs fonctions élémentaires de mesure, souvent appelées relai de mesure. Ces relais doivent effectuer correcte avec une précision suffisante malgré la présence des régimes transitoires perturbateurs sur les courants et les tensions qui apparaissent au moment du court-circuit [13].

II.3.5. Disjoncteur

Un disjoncteur est destiné à établir, supporter et interrompre des courants, sous sa tension assignée (tension maximale du réseau), dans les conditions normales pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique et avec les conditions anormales en particulier pour éliminer un courant de court-circuit et les conséquences de la foudre.

Il est très généralement associé à un système de protection (relais), détectant un défaut et élaborant des ordres au disjoncteur pour éliminer automatiquement le défaut ou pour remettre en service un circuit lorsque le défaut a été éliminé par un autre disjoncteur ou dans le cas où le défaut présente un caractère fugitif.

La coupure d'un courant électrique par un disjoncteur à MT est obtenue en séparant le courant dans un gaz (air, SF₆, etc.) ou dans un milieu isolant (par exemple à vide). Après la séparation des contacts, le courant continue de circuler à travers un arc électrique qui s'est établi entre les contacts du disjoncteur [13].

Pour les disjoncteurs MT, le principe de coupure retenu est la coupure du courant lorsqu'il passe par zéro (ceci se produit toutes les dix millisecondes dans le cas d'un courant alternatif à 50 Hz. En effet, c'est à cet instant que la puissance qui

est fournie à l'arc électrique par le réseau est minimal (cette puissance fournie est même nulle à l'instant où la valeur instantanée du courant est nulle) [13].

Le disjoncteur ne réussit pas souvent à interrompre le courant durant la première tentative, plusieurs cycles de la fréquence fondamentale du courant sont nécessaires pour une interruption complète du flux de courant, ce qui affecte la vitesse du disjoncteur. Les disjoncteurs rapides utilisés dans la HT sont d'un cycle, par contre ceux utilisés en BT prennent 20 à 50 cycles pour ouvrir.

Les de disjoncteur les plus répandus sont [11] :

- Disjoncteur à l'huile
- Disjoncteur à gaz SF₆
- Disjoncteur à vide
- Disjoncteur à air comprimé

II.4. Protection ampérométrique

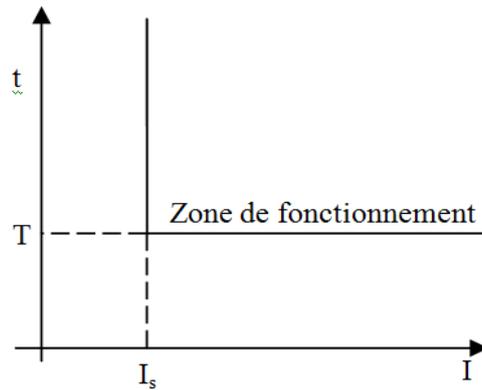
Les protections ampérométriques mesurent la valeur de courant de phase ou de terre, C'est pourquoi il existe des protections à maximum de courant phase et des protections à maximum de courant terre. Ces deux types de protections ampérométriques peuvent aussi être munis D'une fonction directionnelle.

II.5. Protection à maximum de courant phase

Elle a pour fonction de détecter les surintensités monophasées, biphasées ou triphasées. La protection est activée si un, deux ou trois des courants concernés dépassent la consigne correspondant au seuil de réglage appelé aussi seuil de fonctionnement. Cette protection peut être temporisée, dans ce cas elle ne sera activée que si le courant contrôlé dépasse le seuil de réglage pendant un temps au moins égal à la temporisation sélectionnée. Cette temporisation peut être à temps indépendante ou à temps dépendant [2].

II.5.1. Protection à maximum de courant à temps indépendant

La temporisation est constante, elle est indépendante de la valeur du courant mesuré. Le seuil du courant et la temporisation sont généralement réglables par l'utilisateur (Fig. II.7).



I_s : Seuil de fonctionnement en courant (seuil de courant)
 T : retard de fonctionnement de la protection (temporisation)

Figure II. 7. Protection à temps indépendant

II.5.2. Protection à maximum de courant à temps dépendant

La temporisation dépend du rapport entre le courant mesuré et le seuil de fonctionnement. Plus le courant est élevé et plus la temporisation est faible (Fig. II.8)

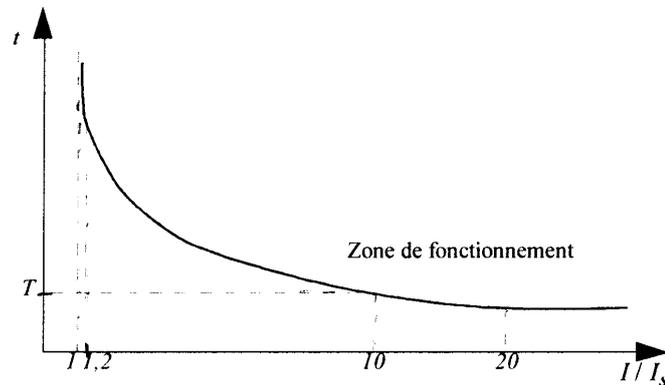


Figure II. 8. Protection à temps dépendant

I_s : seuil de réglage

T : retard de fonctionnement de la protection (temporisation)

II.5.2.1. Protection à maximum de courant à temps inverse

Une protection à temps inverse à un seuil dépendant du temps, la temporisation diminue quand le courant mesuré augmente. L'idée est qu'en cas de fort courant, il est important que la protection déclenche rapidement pour éviter des dommages à l'équipement. Par contre quand le courant est relativement faible par rapport à ce que

peut supporter l'équipement, la temporisation doit être longue afin d'éviter un déclenchement intempestif [15].

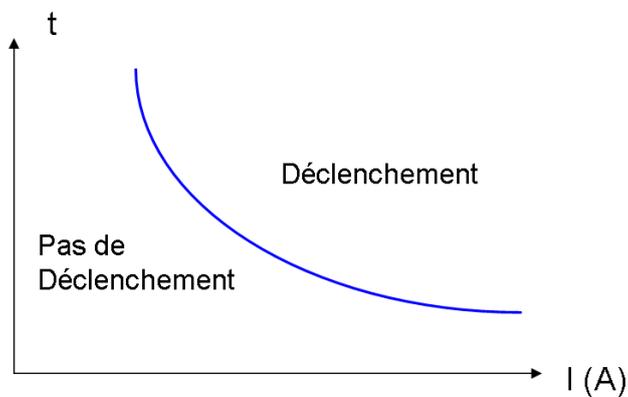


Figure II. 9. Protection à maximum de courant à temps inverse

On distingue trois types de caractéristique pour cette protection :

- Protection à temps inverse
- Protection à temps très inverse
- Protection à temps extrêmement inverse

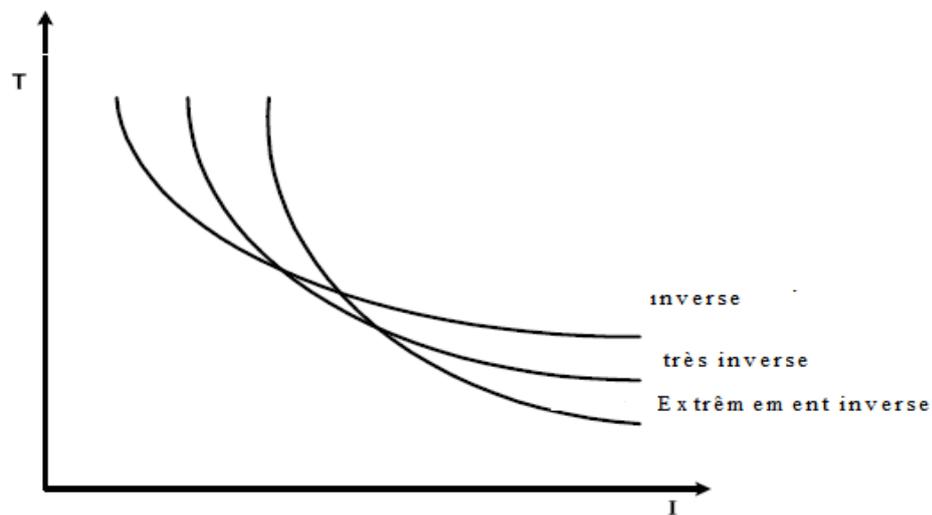


Figure II. 10. Types de caractéristique de la protection à max de courant à temps dépendant

La norme CE 255-3 fournit les formules et valeurs de calcul pour des différents types de courbes extrêmement inverse, très inverse L'équation (II.1)

$$t = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \quad (\text{II.1})$$

Comporte des paramètres réglables (k -le multiplicateur de temps et I_s –courant de seuil), un paramètre mesuré (I - le courant de défaut mesuré par le capteur après le transformateur de courant) et des paramètres imposé pour chaque type de courbe et présentes dans le Tableau II.1

Caractéristiques de courbes		inverse	très inverse	extrêmement inverse
Paramètres	α	0.14	13.5	80
imposé	β	0.02	1	2

Tableau II.1. Courbes de déclenchements typiques des protections à temps dépendant [5]

II.6. Protection à maximum de courant terre

Les protections ampérométriques de terre sont utilisées pour détecter les défauts à la terre. Elles sont activées lorsqu'il y a un courant résiduel qui est aculé dans la terre. En régime de fonctionnement anormal, le courant résiduel $I_{rsd} = I_1 + I_2 + I_3$ est quasi nul en fonctionnement normal, il donne une image du courant de défaut qui passe par la terre (dans les cas des réseaux sans neutre distribué) [13].

Comme la protection de phase, le principe de protection de terre est simple si la valeur mesurée de courant dépasse le seuil pendant une durée égale à la temporisation choisie, la protection est activée. Le courant résiduel peut être mesuré par :

- Un transformateur de courant de type tore pour les trois conducteurs qui mesurent un flux magnétique $\mathfrak{F}_{rsd} = \mathfrak{F}_1 + \mathfrak{F}_2 + \mathfrak{F}_3$. Ce flux est proportionnel au I_{rsd} parce que chaque flux magnétique composant est proportionnel au courant correspondant.
- Trois transformateurs de courant, qui mesurent chaque courant de phase, connectés en parallèle afin d'obtenir la somme vectorielle

Ces protections peuvent être à temps dépendantes ou indépendantes comme les protections à maximum de courant de phase.

II.7. Le régime du neutre

Dans un réseau, le régime du neutre joue un rôle très important. Lors d'un défaut d'isolement, ou de la mise accidentelle d'une phase à la terre, les valeurs prises par les courants de défaut, les tensions de contact et les surtensions sont étroitement liées au mode de raccordement du neutre à la terre d'après les études comparatives (EDF) de régime de neutre on constate que le plus fiable ce que utilise le neutre mise à la terre par impédance de limitation[14].

II.7.1. Type du régime du neutre

II.7.1.1. Le régime TT

Description : Le neutre du secondaire du transformateur HT/BT est relié à la terre (T). Les masses de l'installation sont reliées à la terre (T) par une prise de terre différente de celle du transformateur.

Contrainte d'exploitation : la coupure s'effectue au premier défaut d'isolement par un dispositif différentiel [14].

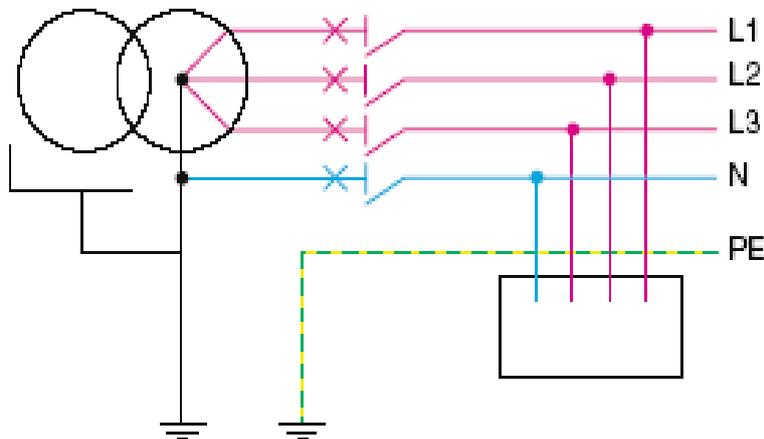


Figure II. 11. Schéma unifilaire du système TT

II.7.1.2. Le régime TN

Description : Le neutre du secondaire du transformateur HT/BT est relié à la terre (T). Les masses de l'installation sont reliées au neutre par le conducteur de protection (N-C ou N-S).

Contrainte d'exploitation : la coupure s'effectue au premier défaut par les protections contre les surintensités [14].

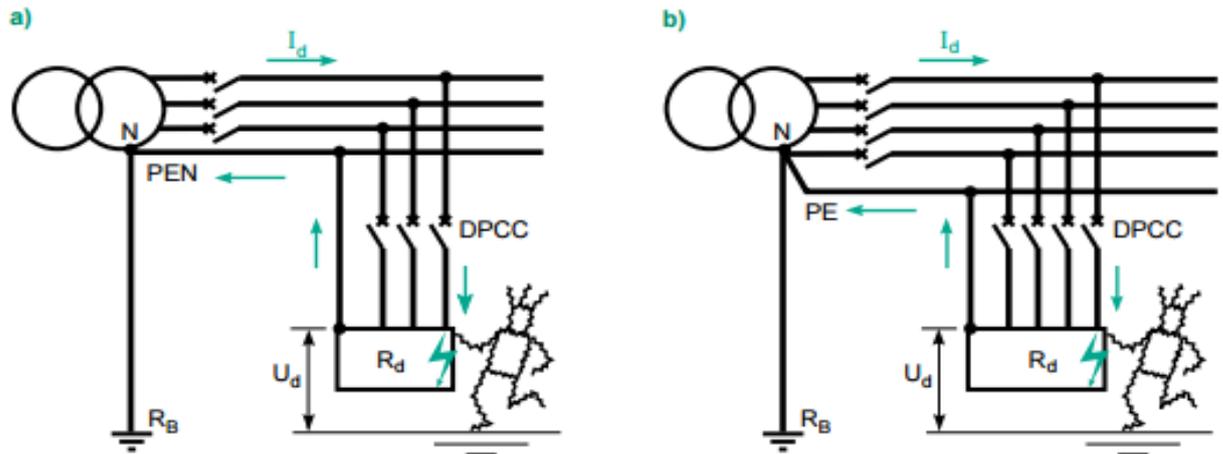


Figure II. 12. Défaut d'isolement sur un réseau exploité en TN-C (a), TN-S (b)

II.7.1.3. Le régime IT

Description : Le neutre du secondaire du transfo est isolé ou relié à la terre par une grande impédance (I). Les masses de l'installation sont reliées à la terre (T) par une prise de terre différente de celle du transformateur.

Contrainte d'exploitation : la surveillance du premier défaut est assurée par le contrôleur permanent d'isolement [14].

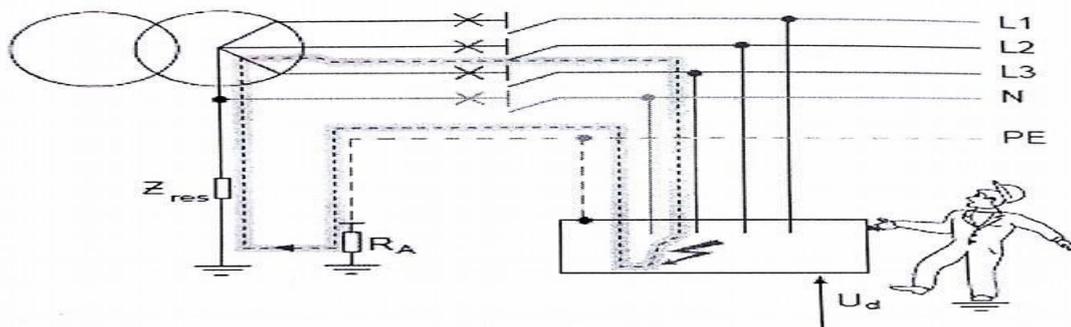


Figure II.13. Schéma unifilaire du système TT

La recherche et l'élimination du premier défaut assure la continuité du service. La coupure se fait au second défaut d'isolement par les dispositifs de protection contre les courts-circuits [16].

Conclusion

La continuité d'exploitation et la limitation des conséquences des défauts de tous types sont obtenus par l'efficacité du système de protection adopté dans le réseau et son réglage adéquat. Nous avons mis en place un support sur les défauts des réseaux électriques et leurs propres protections, qui fait l'objet d'un guide pour la simulation de tels systèmes par la suite.

Introduction

L'environnement Simulink de Matlab constitue une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation de systèmes dynamiques édité par l'entreprise américaine « The Mathworks », il fournit un espace graphique et un ensemble de bibliothèque contenant des blocs de modélisation qui permettent la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communication et de traitement du signal. Dans ce chapitre, on utilise Simulink pour simuler les différents types de protection commençant par la protection à max de courant, puis la protection à max de courant temporisée (à temps indépendant), et enfin la protection à max de courant à temps dépendant qui fait l'objet du présent travail. Notons que seul le cas monophasé est considéré.

III. 1. Calcul d'un courant de court-circuit

Soit un réseau électrique monophasé, les caractéristiques du système choisis pour la simulation sont :

- $V_{s_{eff}}=220$ V, tension efficace de la source,
- $f=50$ Hz, la fréquence du réseau,
- $R_{ch}=50\Omega$, charge résistive,
- $Z_s=0.5+j0.000314\Omega$, impédance de la source,
- $Z_l=0.7+j0.00314\Omega$, impédance de la ligne,

La figure III. 1 représente le schéma de la simulation d'un court-circuit au début la ligne.

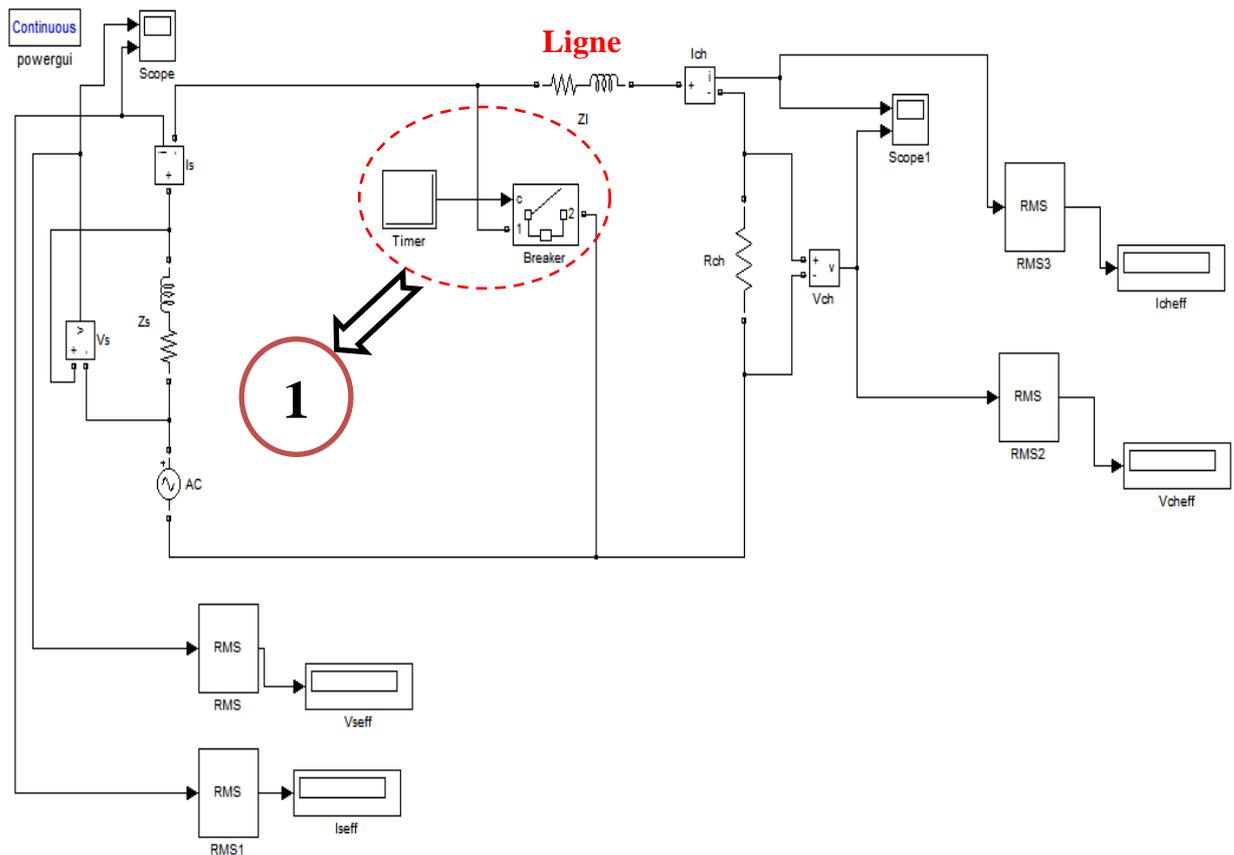


Figure III. 1. Schéma de simulation d'un court-circuit au début de la ligne

Le circuit élémentaire ① est inséré afin de réaliser un court-circuit phase –neutre.

III.1.a. Sans défaut

Les résultats de cette simulation (sans défaut) sont montrés dans les figures III. 2. Tels que :

- $V_s=217.9V$: Tension efficace de la source,
- $I_s=4.297A$: Courant efficace de la source,
- $V_{ch}=214.8V$: Tension efficace de la charge,
- $I_{ch}=4.297 A$: Courant efficace de la charge.

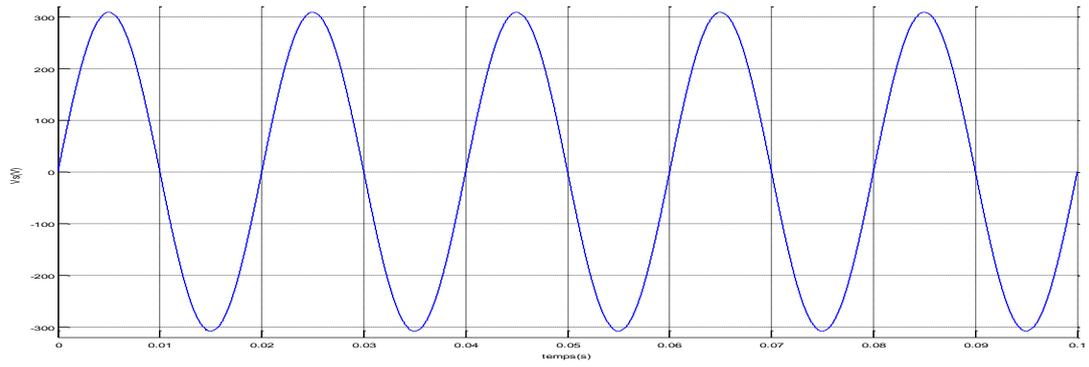


Figure III. 2. A. La tension de la source sans défaut

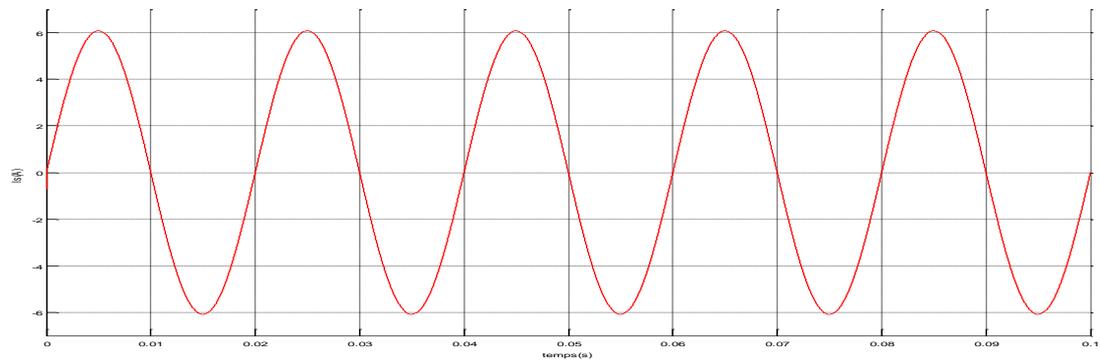


Figure III. 2. B. Le courant de la source sans défaut

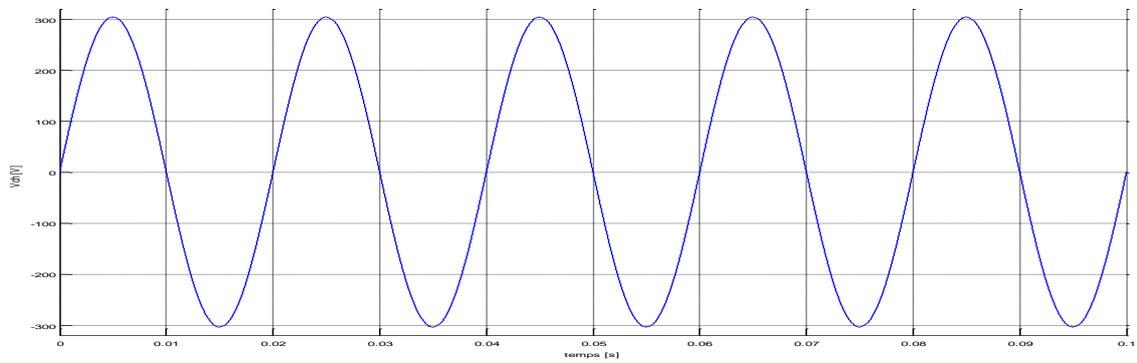


Figure III. 2. C. La tension de la charge sans défaut

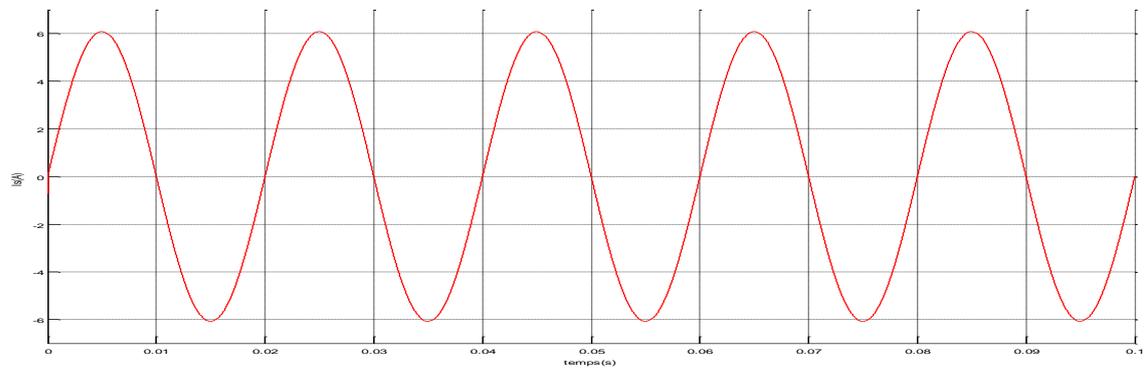


Figure III. 2. D. Le courant de la charge sans défaut

III.1.b. Défaut CC au début de la ligne

Les figures III. 3 représentent les résultats de la simulation d'un CC au début de la ligne dont l'instant d'apparition du court-circuit est $t_{cc}=0.04s$.

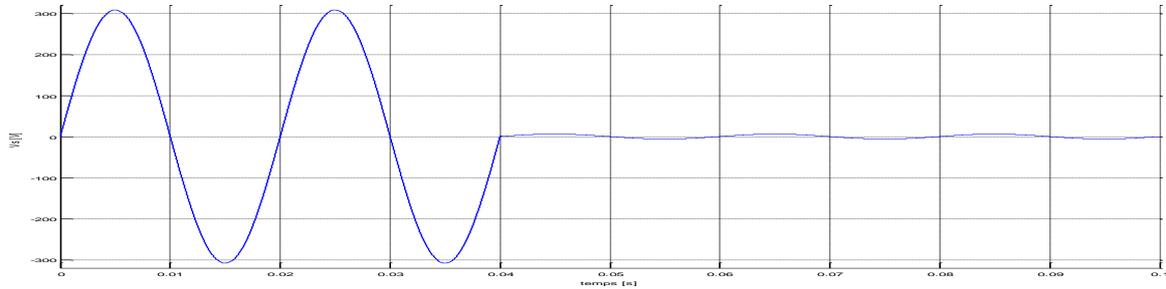


Figure III. 3. A. La tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

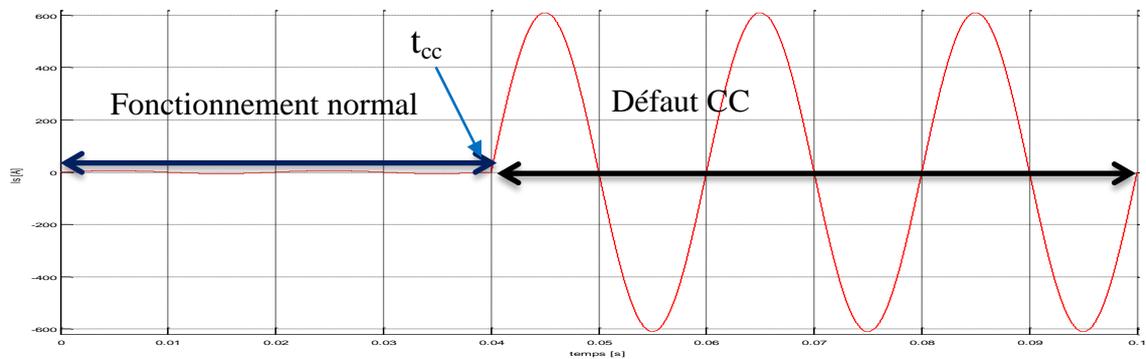


Figure III. 3. B. Le courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

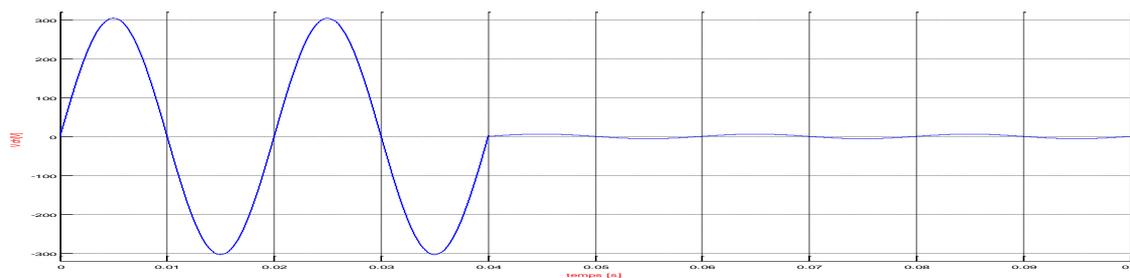


Figure III. 3. C. La tension de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

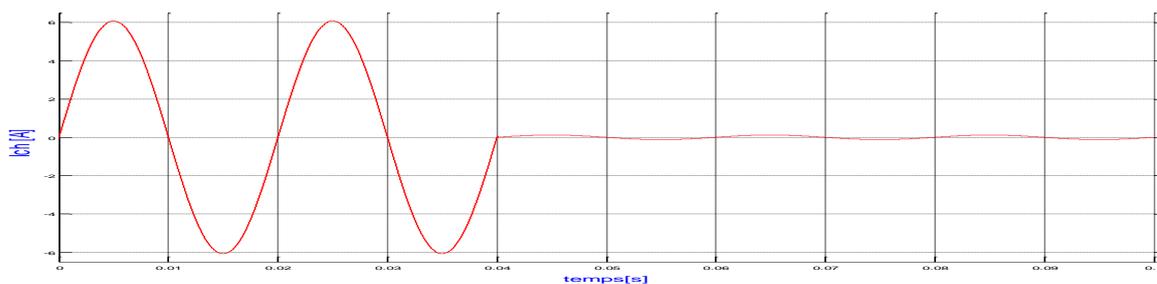


Figure III. 3. D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

Les figures III. 4 représentent les résultats de la simulation d'un CC au début de la ligne dont l'instant d'apparition du court-circuit est $t_{cc}=0.042s$.

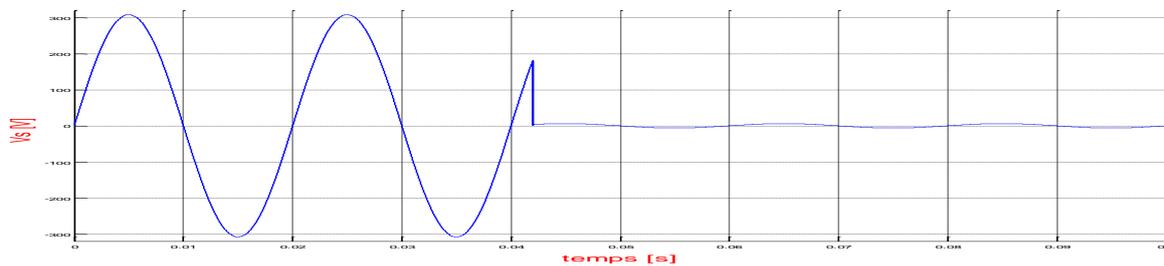


Figure III. 4. A. La tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

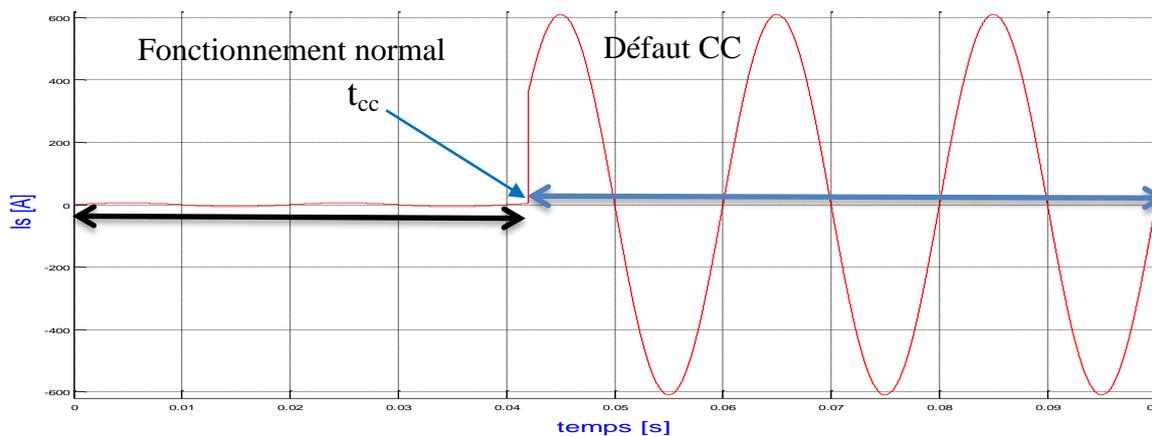


Figure III. 4. B. Le courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

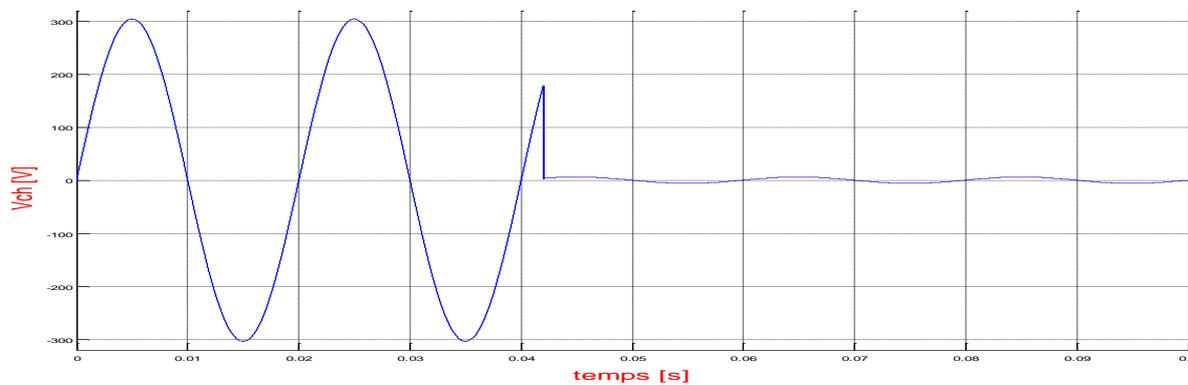


Figure III. 4. C. La tension de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

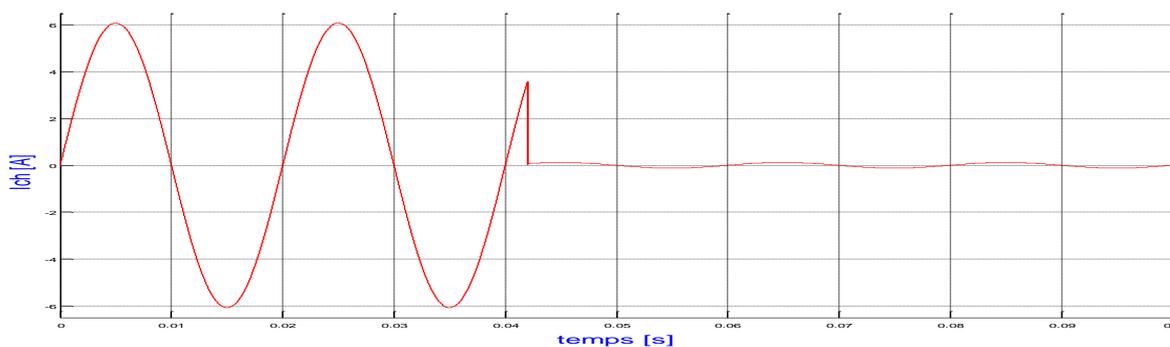


Figure III. 4. D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

Les figures III. 5 représentent les résultats de la simulation d'un CC au début de la ligne tel que l'instant d'apparition du court-circuit vaut $t_{cc}=0.045s$.

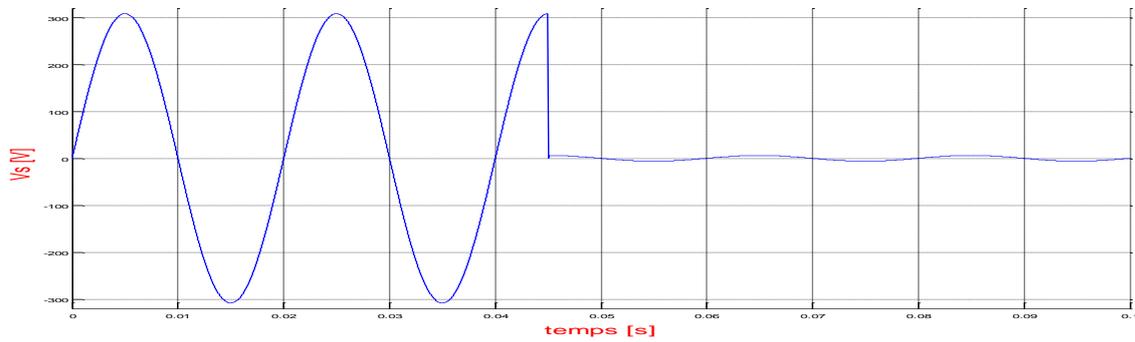


Figure III. 5. A. La tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$

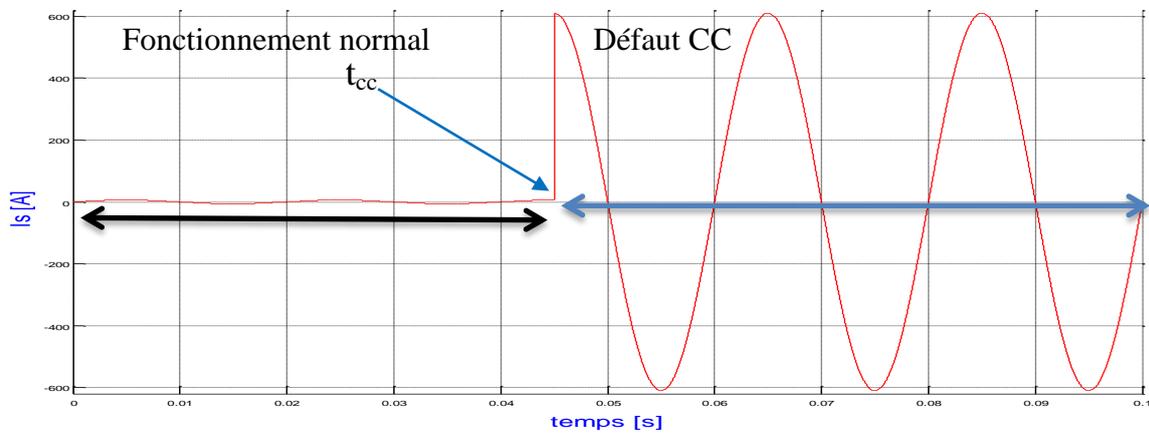


Figure III. 5. B. Le courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$

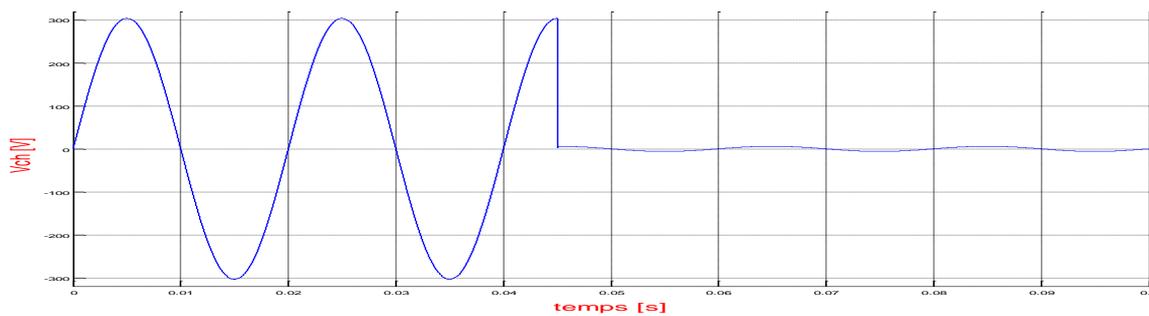


Figure III. 5. C. La tension de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$

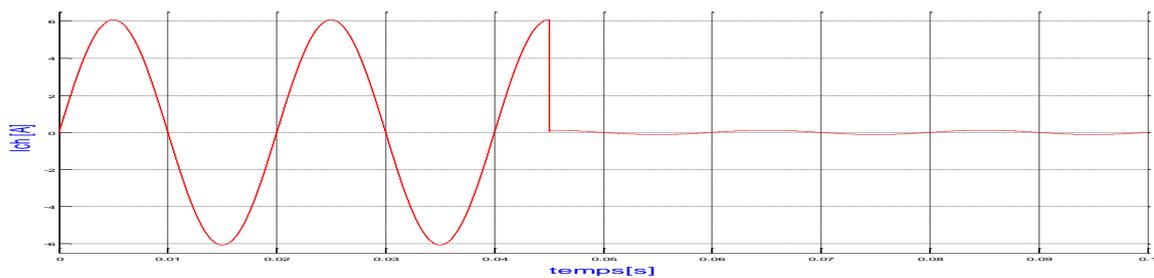


Figure III. 5. D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$

III.1.c. Défaut CC à la fin de la ligne

Les figures III. 6 représentent les résultats de la simulation d'un CC à la fin de la ligne dont l'instant d'apparition du court-circuit est $t_{cc}=0.04s$. Notons que $I_{ceff}=181.8A$.

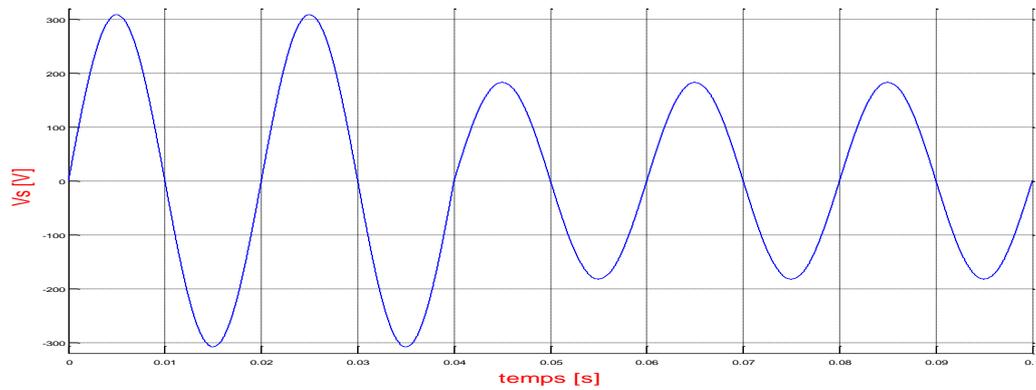


Figure III. 6. A. La tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

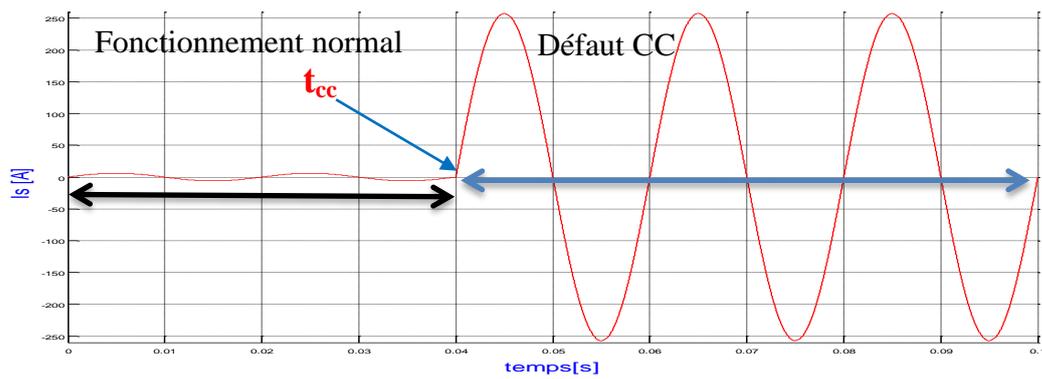


Figure III. 6. B. Le courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

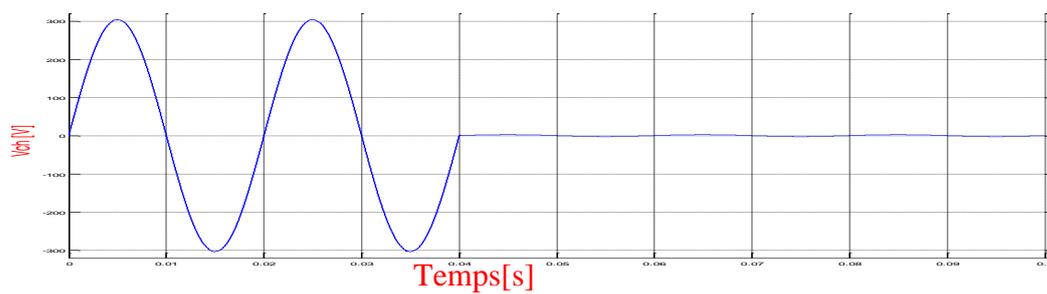


Figure III. 6. C. La tension de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

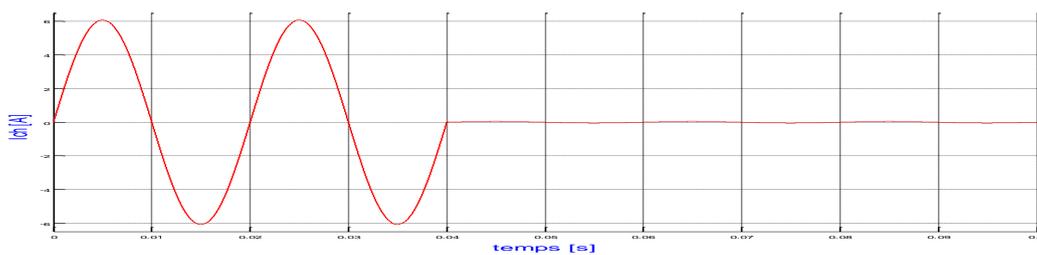


Figure III. 6. D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

La figure III.7 représente le courant de la source pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$.

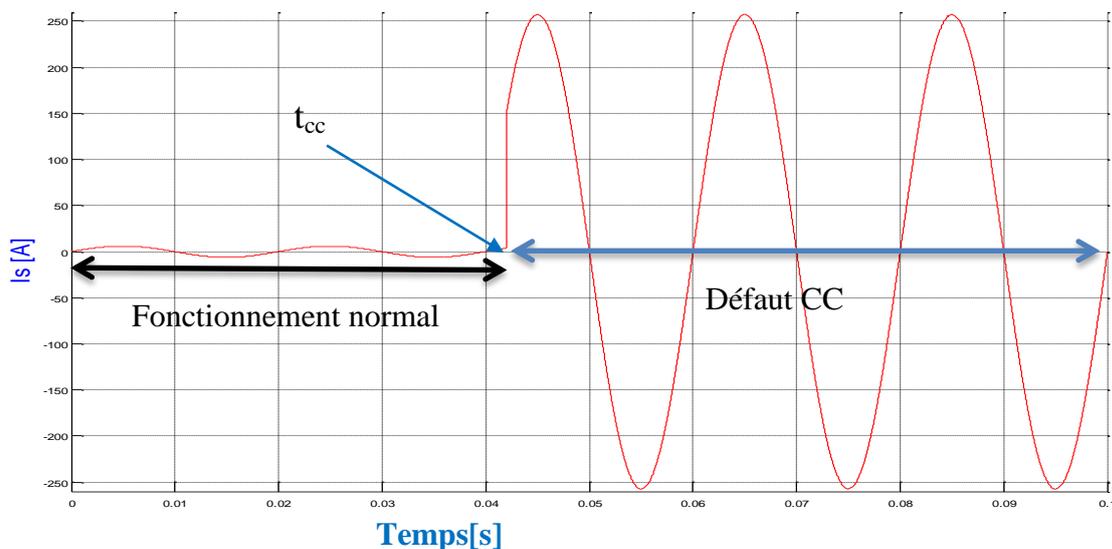


Figure III. 7. Le courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

La figure III.8 représente le courant de la source pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$.

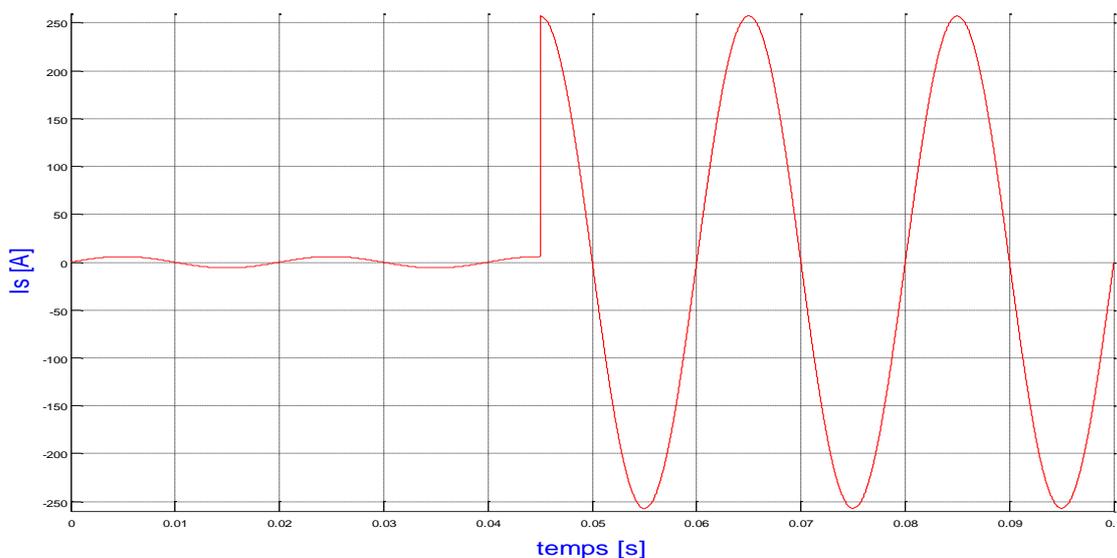


Figure III. 8. Le courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$

Les simulations précédentes ont pour objectif de calculer le courant de CC qui sert à la détermination du seuil d'une protection à max de courant. D'après les résultats de la simulation, on distingue deux cas :

$$I_{eff} = \frac{V}{Z_s} : \text{pour un CC au début de la ligne} \rightarrow \text{courant CC important,}$$

$$I_{eff} = \frac{V}{Z_s + Z_l} : \text{pour un CC à la fin de la ligne} \rightarrow \text{courant CC moins important.}$$

III. 2. Simulation d'un système de protection à maximum de courant

Dans cette partie on considère les défauts de court-circuit phase-neutre qui est le défaut le plus survenu sur les réseaux électriques. Afin de protéger contre ce type de défaut, on est amené à implémenter un système de protection complet constitué d'un capteur de courant, d'un relais de surveillance et contrôle et d'un disjoncteur. Ce système doit être capable de détecter le courant de court-circuit et envoyer un ordre de déclenchement au disjoncteur pour assurer la protection de la ligne.

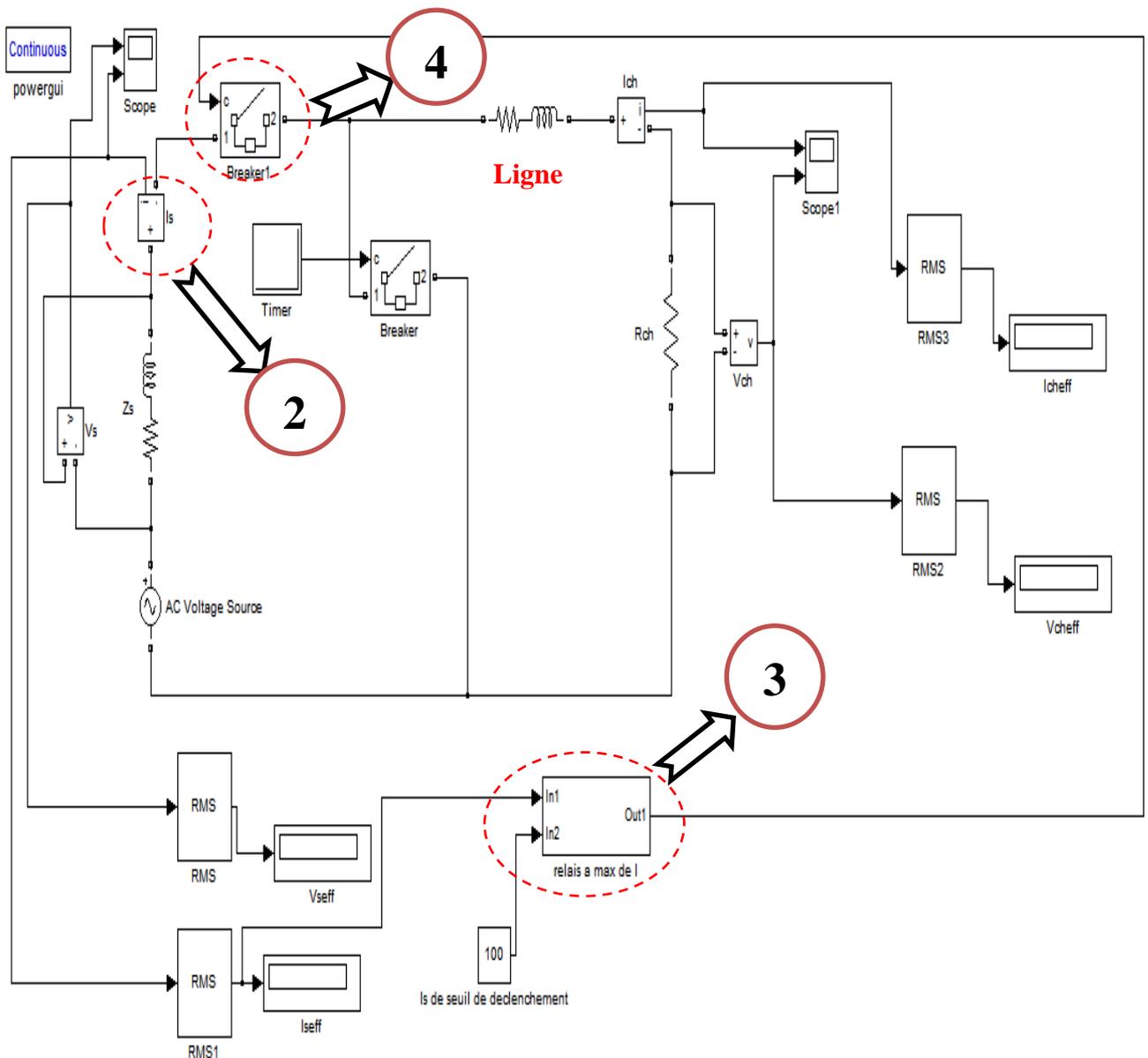


Figure III. 9. Schéma de simulation d'un système de protection à max de courant

La figure III. 9 représente le schéma de la simulation d'une protection à max de courant. La protection simulée est constituée des trois principaux éléments suivants :

- Un capteur de courant (No. 2) : c'est un ampèremètre,
- Relais (figure III.10) (No. 3) : simulé par un élément de comparaison (comparateur) et un trigger afin de maintenir l'ordre de déclenchement en cas d'un court-circuit i.e. déclenchement définitif. La valeur '100' fixée sur la deuxième entrée du relais représente le seuil de déclenchement (100A).
- Disjoncteur (No. 4) : élément de coupure simulé par 'Breaker'.

Afin de réaliser un court-circuit aux instants $t_{cc} = 0.04, 0.042$ et $0.045s$, on a insérer un interrupteur 'Breaker' commandé par l'élément 'Timer.

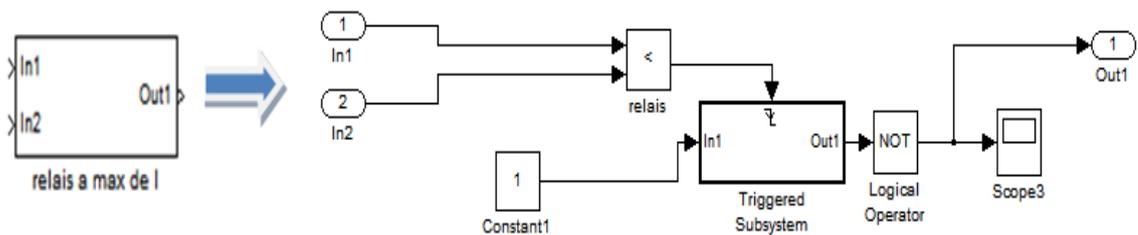


Figure III. 10. Éléments constitutifs du relais à max de courant

III.2.a. Défaut CC au début de la ligne

Les figures III.11 représentent les résultats de la simulation. On observe que :

- Le courant efficace avant défaut vaut 4.296A,
- Le courant efficace de court-circuit vaut 291.2A,
- Le courant efficace après déclenchement est presque nul : 0A.

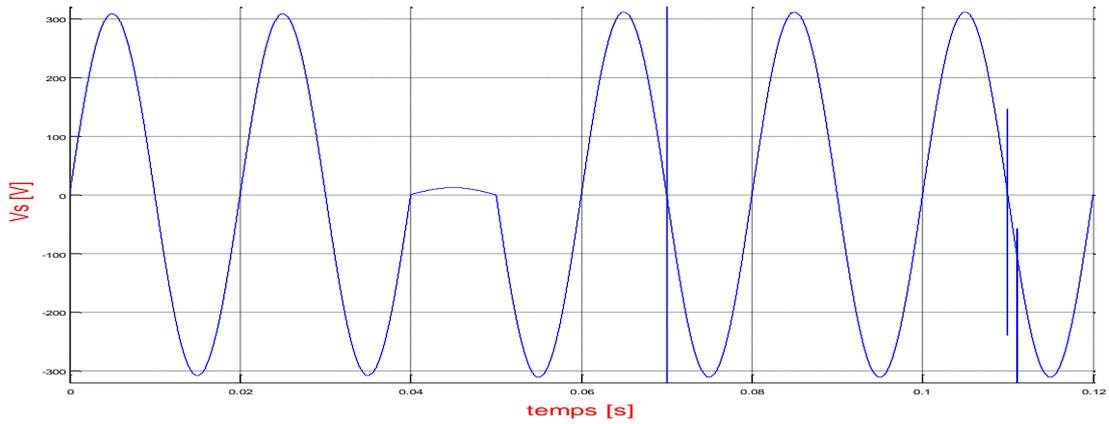


Figure III. 11. A. La tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

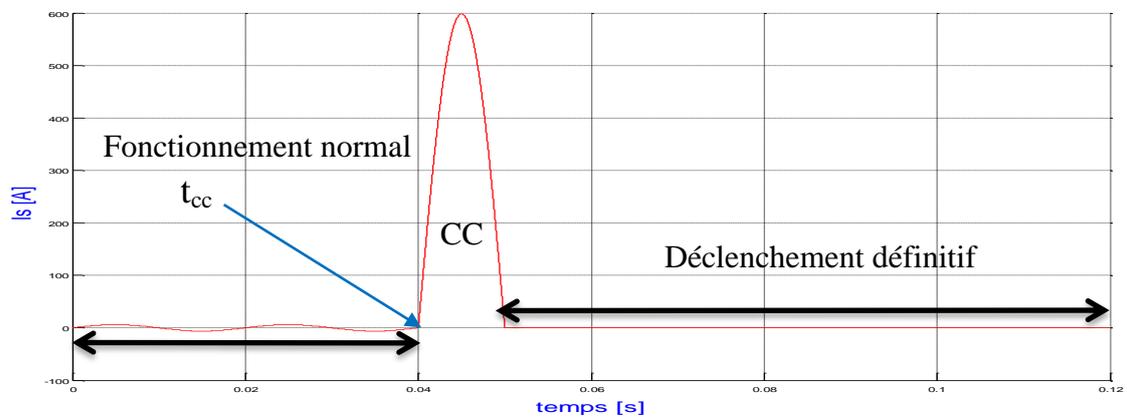


Figure III. 11. B. Le courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$



Figure III. 11. C. La tension de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

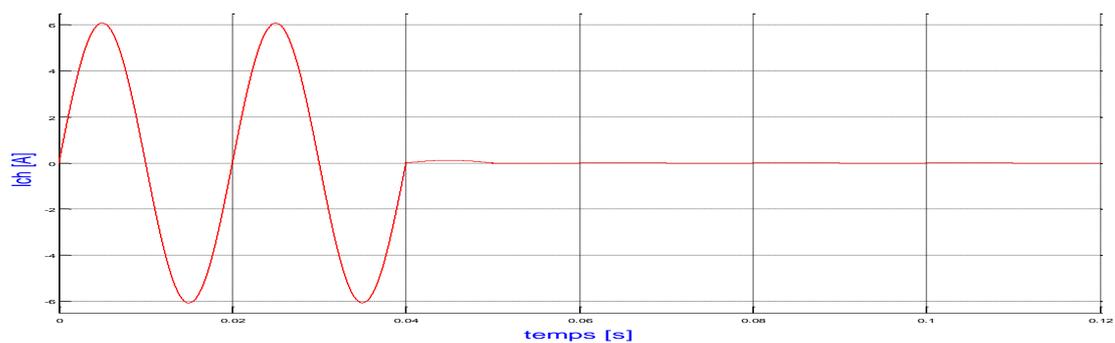


Figure III. 11. D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

Les figures III.12 représentent les résultats de la simulation pour un CC à $t_{cc}=0.042s$.

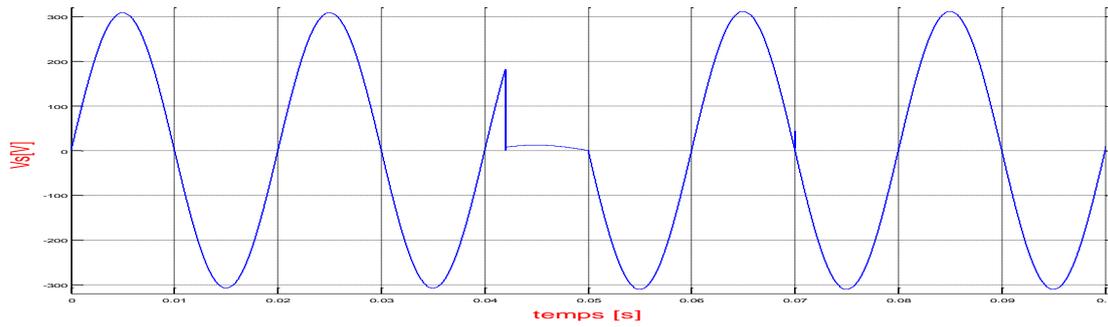


Figure III. 12. A. Tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

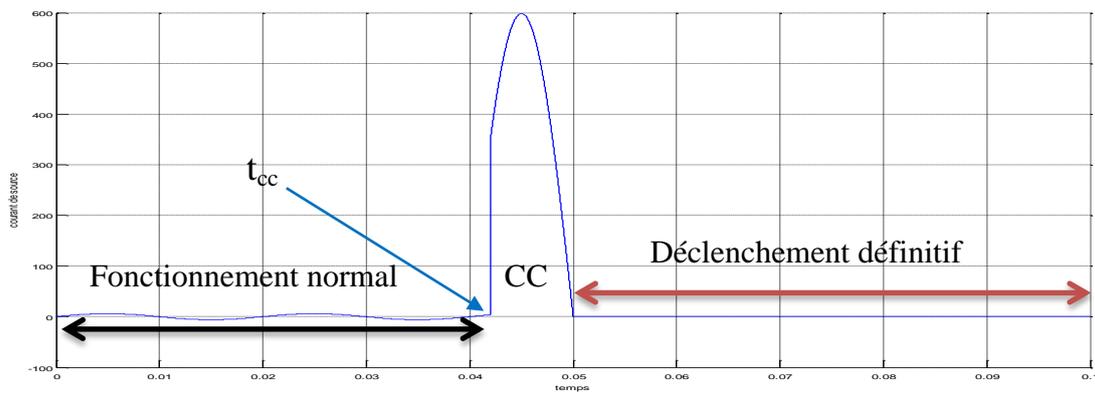


Figure III. 12. B. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

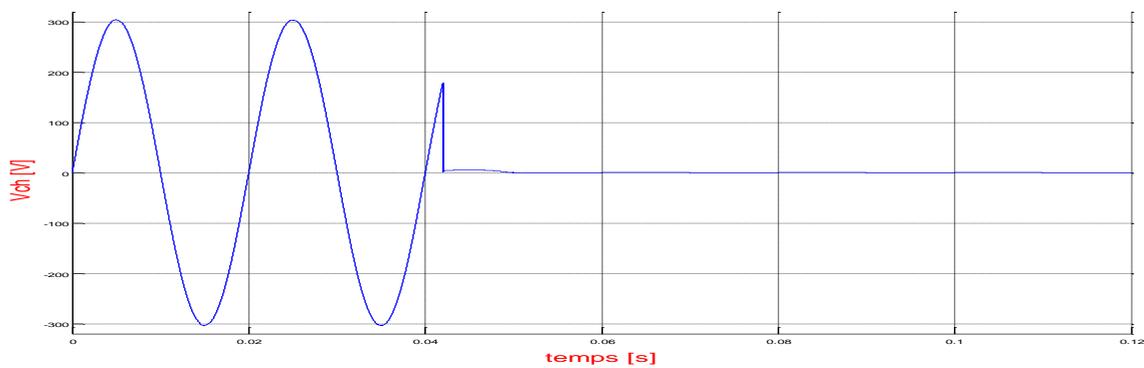


Figure III. 12. C. Tension de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

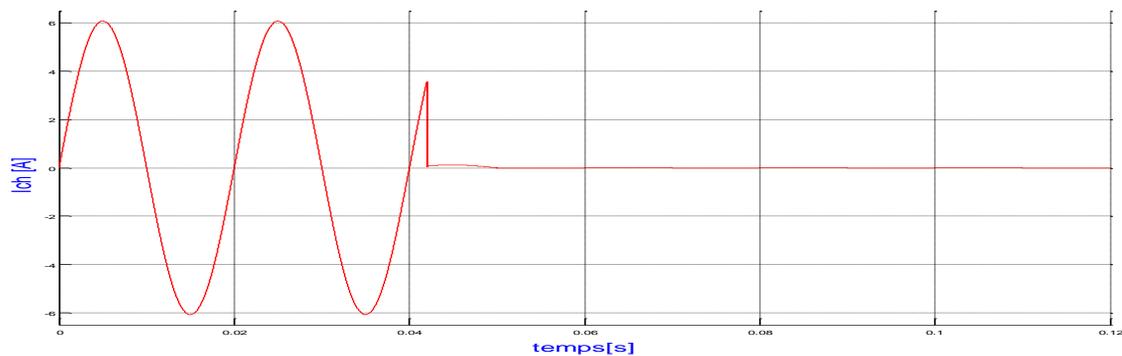


Figure III. 12. D. Courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

Les figures III.13 représentent le courant de la source et le signal de commande du disjoncteur (envoyé par le relais) pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$. On observe également que :

- Le courant efficace avant le défaut est 4.296 A,
- Le courant efficace de court-circuit est 211.5 A,
- Le courant efficace après déclenchement vaut 0A.

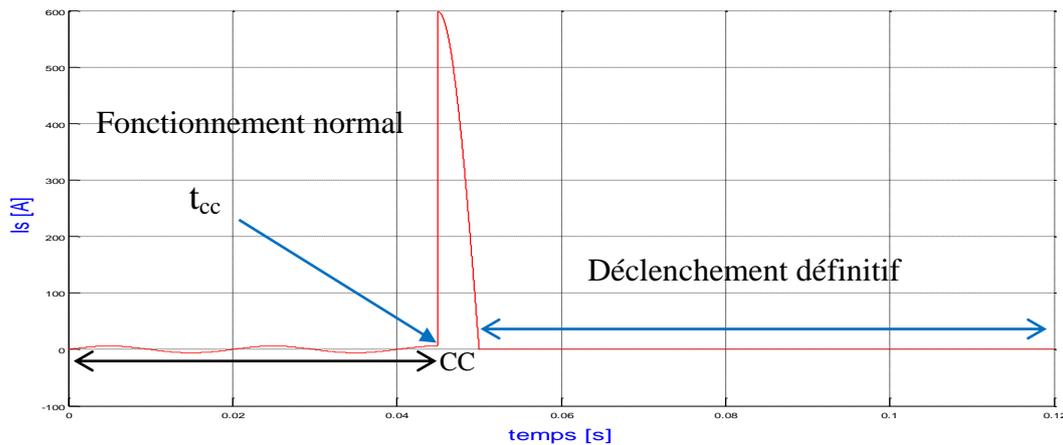


Figure III. 13. A. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$

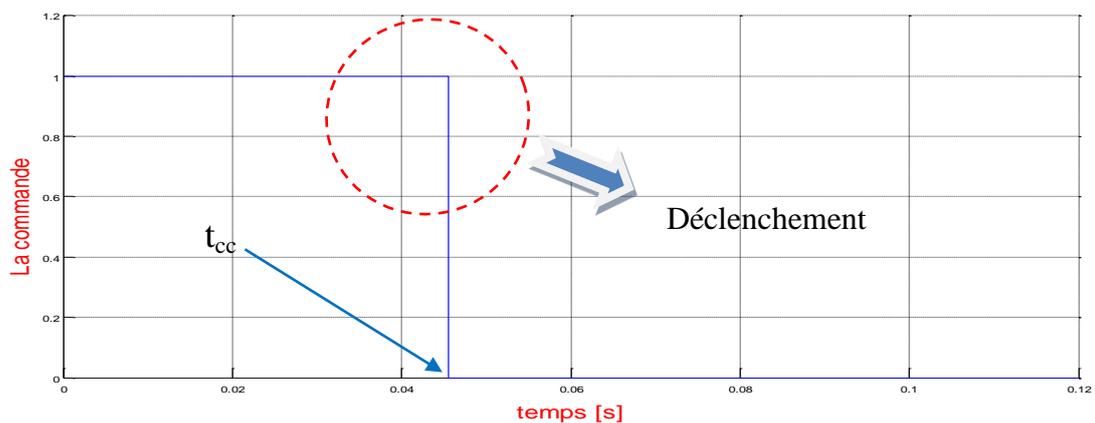


Figure III. 13. B. Signal de commande envoyé par le relais vers le disjoncteur, pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$

III.2.b. Défaut CC à la fin de la ligne

Les figures III. 14 représentent les résultats de la simulation d'un court-circuit à la fin de la ligne dont l'instant d'apparition du court-circuit est $t_{cc}=0.04s$.

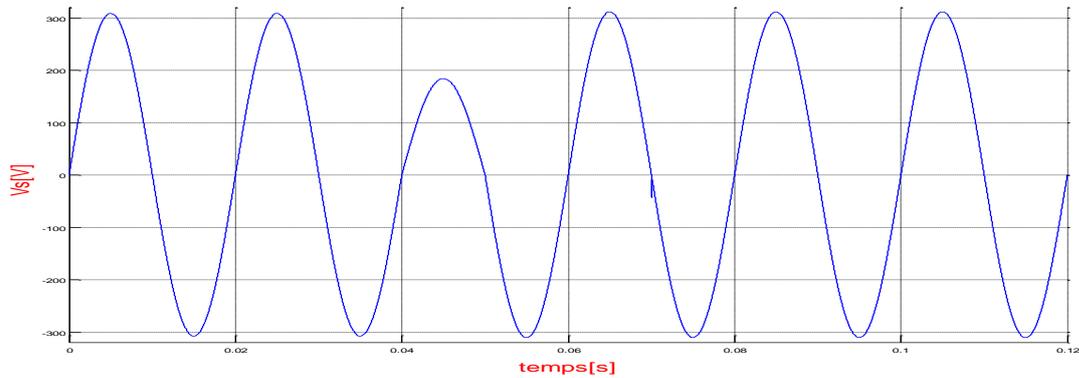


Figure III. 14. A. La tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

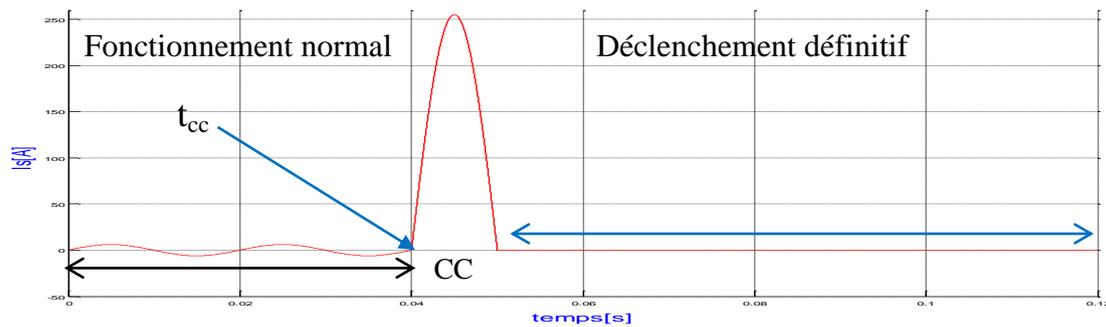


Figure II. 14. B. Le courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

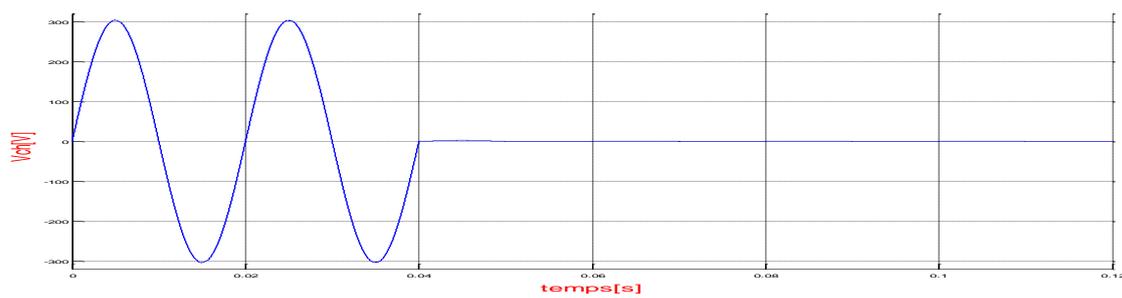


Figure III. 14. C. La tension de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

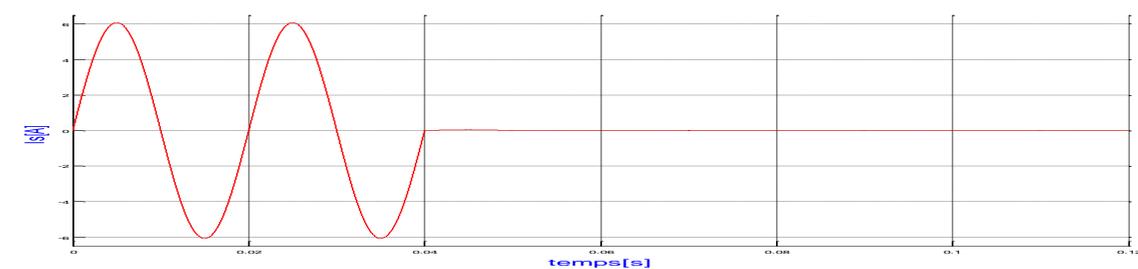


Figure III.14.D. Le courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

La figure III.15 représente le courant de la source pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$.

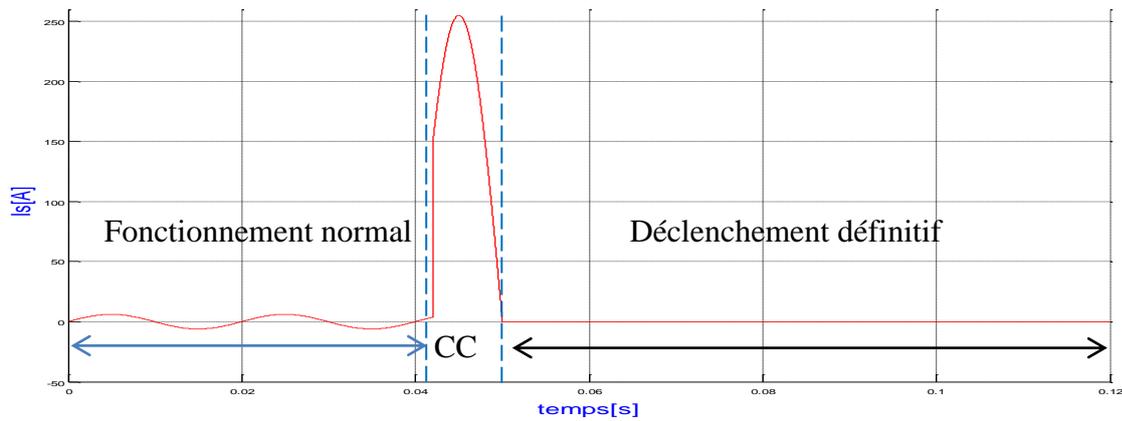


Figure III. 15. Le courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

Les figures III.16 représentent le courant de la source et le signal de commande du disjoncteur pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$. On remarque que :

- Le courant efficace avant le défaut est 4.296 A,
- Le courant efficace de court-circuit est 156.1 A,
- Le courant efficace après déclenchement est 0A.

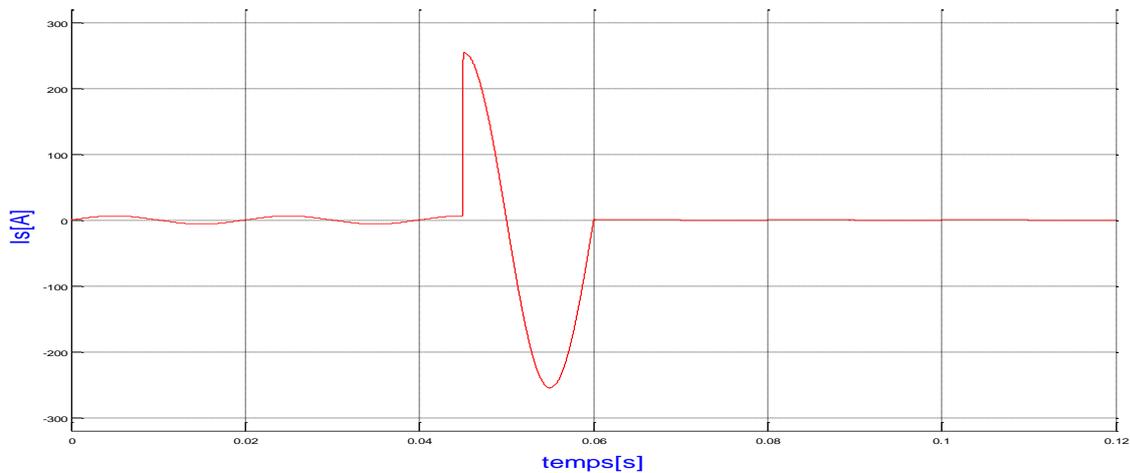


Figure III. 16. A. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$

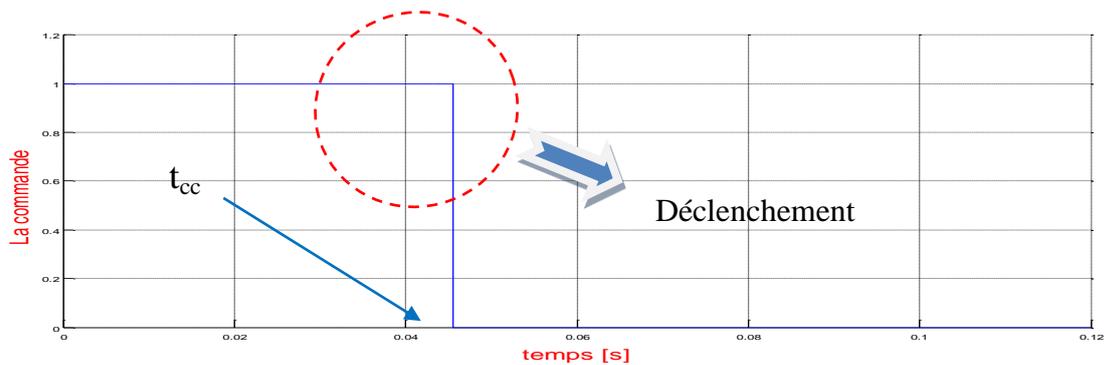


Figure III. 16. B. Signal de commande envoyé par le relais, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$

III. 3. Simulation d'une protection à maximum de courant temporisée

Cette simulation, est le même de deuxième simulation sauf on a ajouté le block "delay", cette fonction de protection représente la fonction principale d'une protection à max de courant temporisée (temps indépendant) qui fait l'objectif de la temporisation est généralement réglable par l'utilisateur.

La figure III. 17 représente le schéma d'un système de protection à max de courant temporisée (temps indépendant).

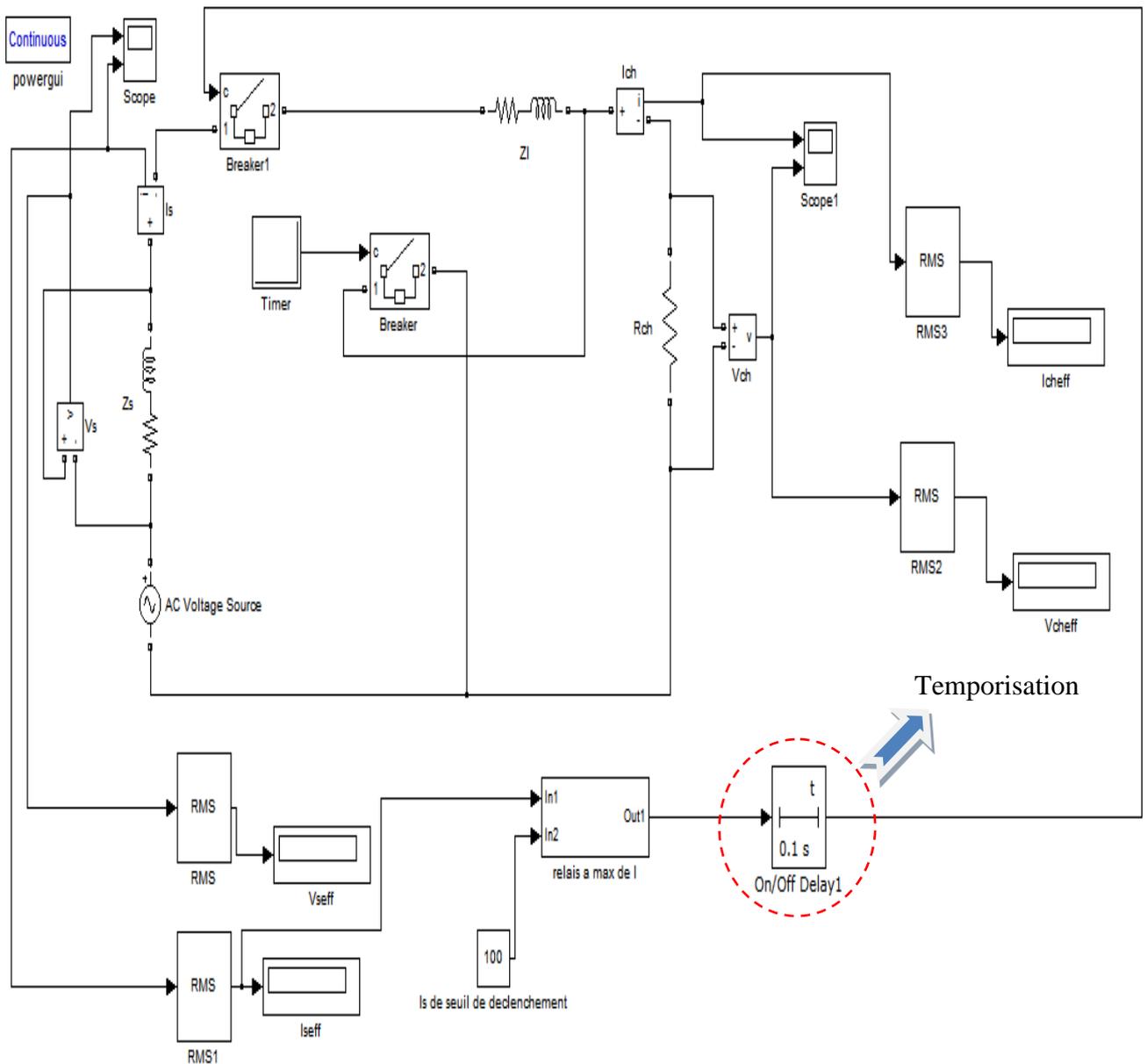


Figure III. 17. Schéma de simulation d'une protection à max de courant temporisée

Les résultats de cette simulation sont montrés dans les figures III.18 dont l'instant du CC est $t_{cc}=0.04s$. On constate que :

- Le courant efficace avant le défaut vaut 4.296A,
- Le courant efficace de court-circuit est 180.3A,
- Le courant efficace après déclenchement est 0A.

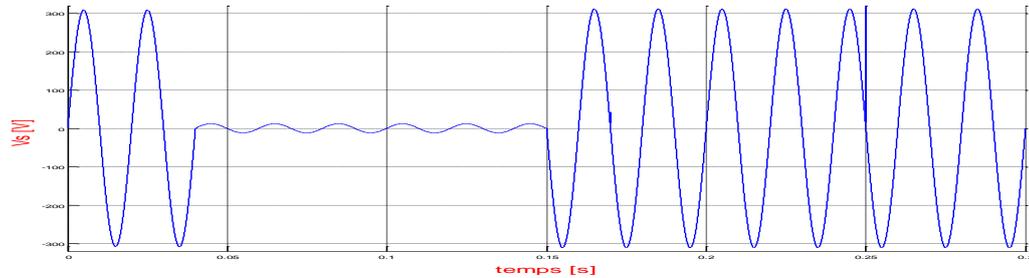


Figure III. 18. A. Tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

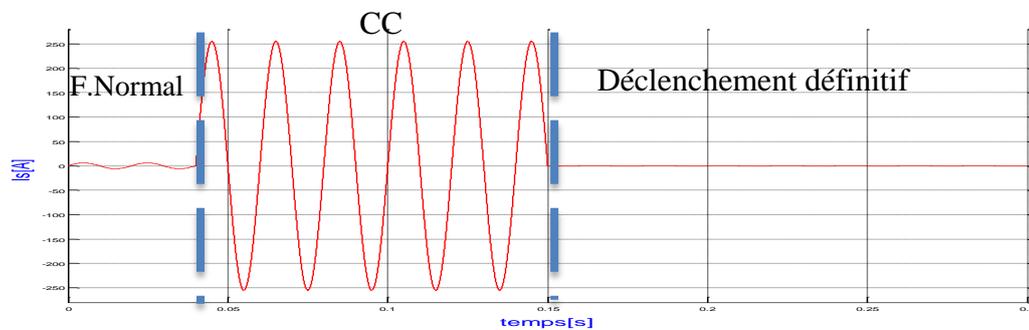


Figure III. 18. B. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

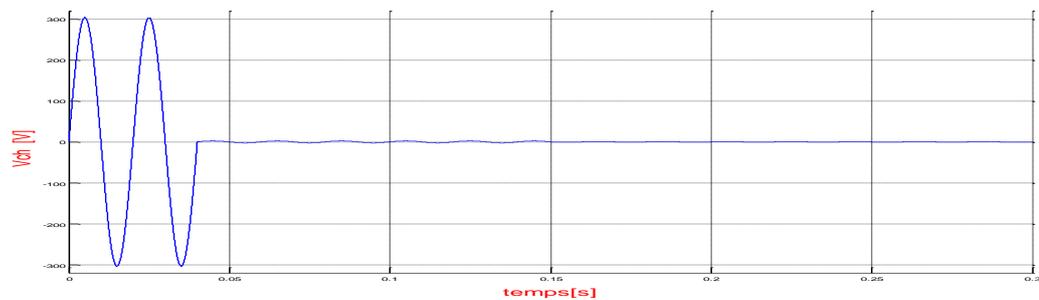


Figure III. 18. C. Tension de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

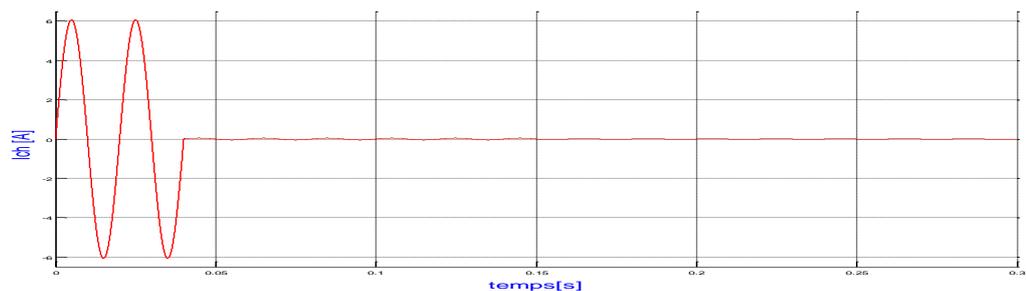


Figure III. 18. D. Courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

Les figures III.19 représentent le courant de la source, la tension de la source et le signal de commande du disjoncteur pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$.

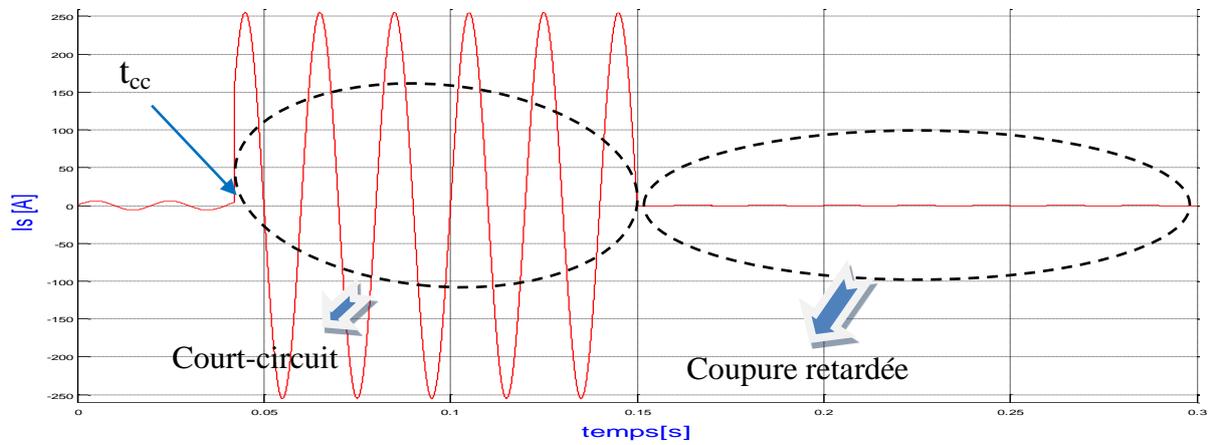


Figure III. 19. A. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

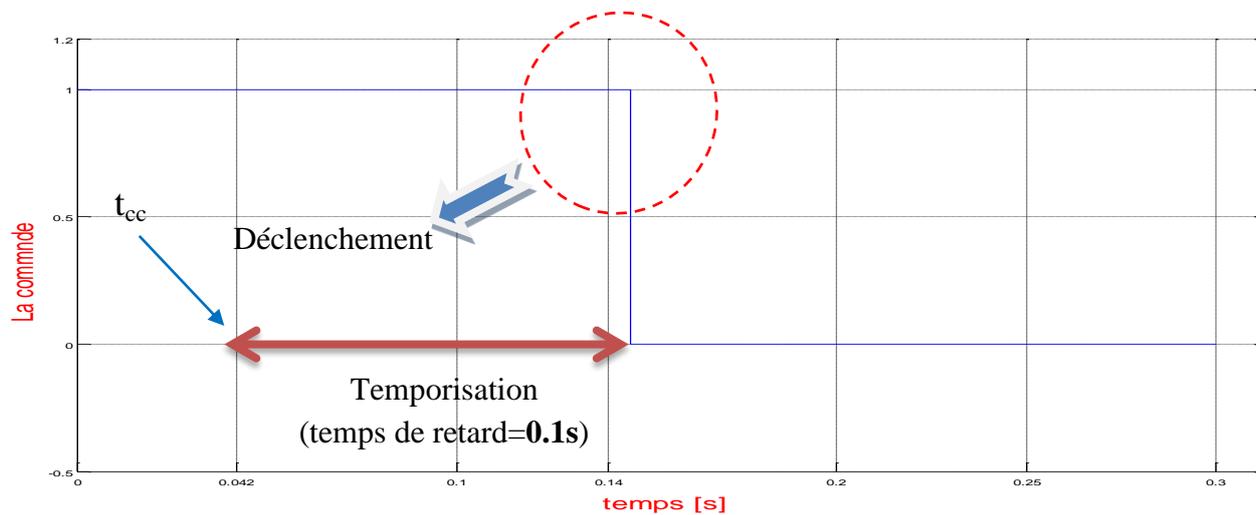


Figure III. 19. B. Signal de commande du disjoncteur

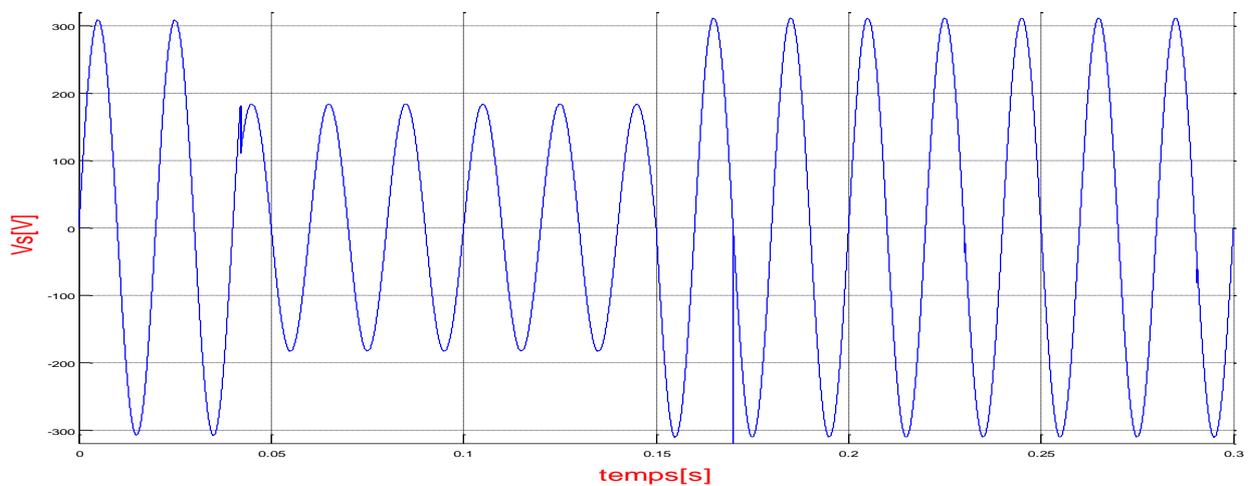


Figure III. 19. C. Tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

Les figures III.20 représentent le courant, la tension de la source et le signal de commande du disjoncteur pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$. Ici la temporisation de la protection est $0.2s$.

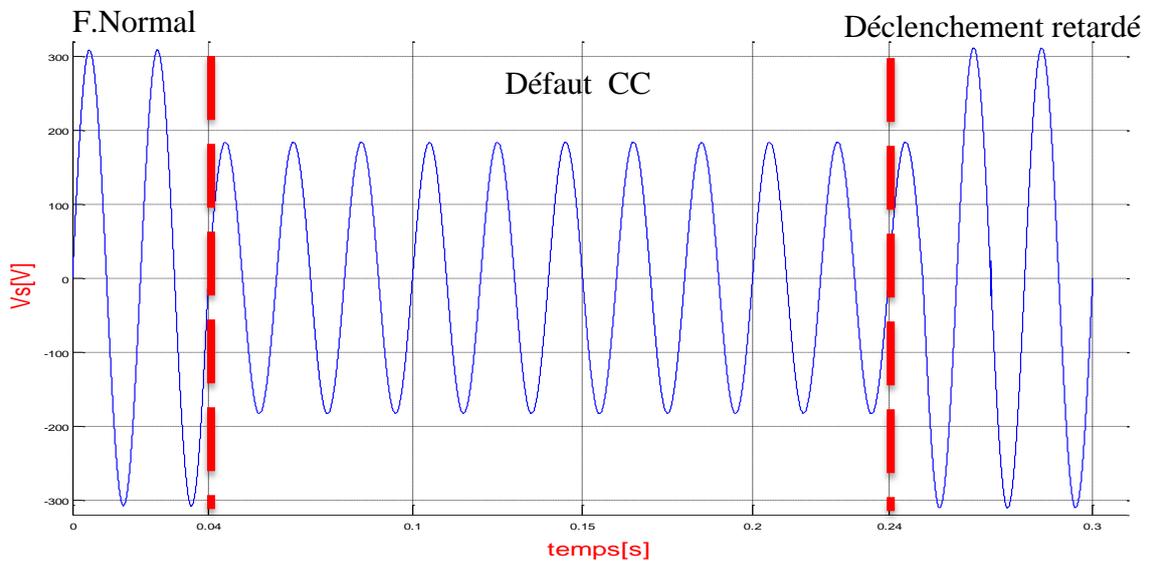


Figure III. 20. A. Tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

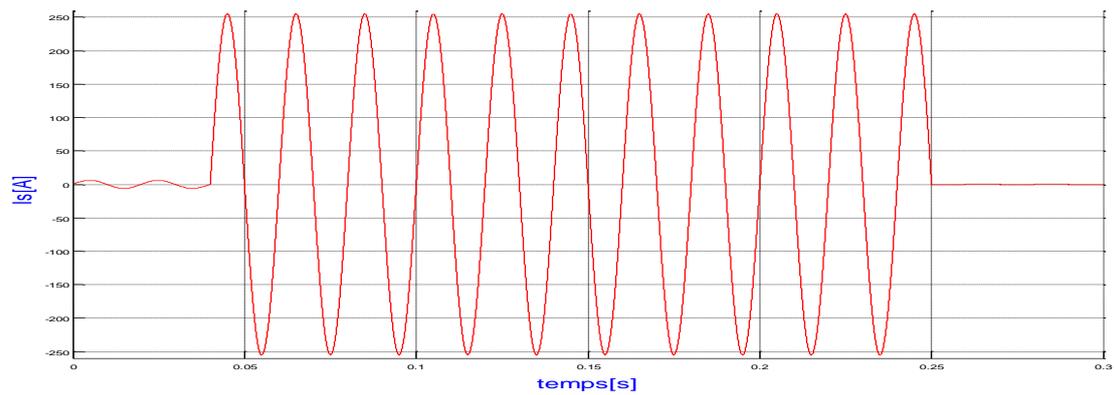


Figure III. 20. B. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

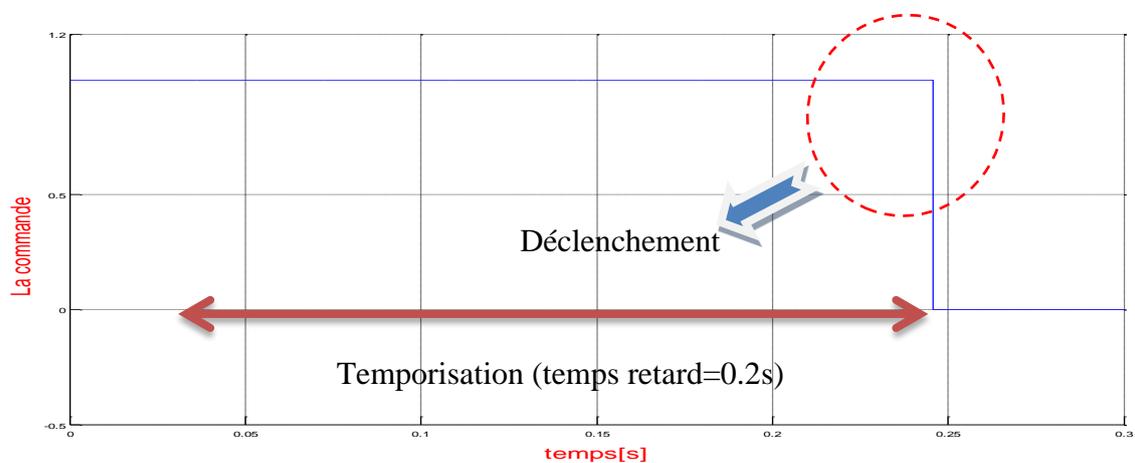


Figure III. 20. C. Signal de commande du disjoncteur

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

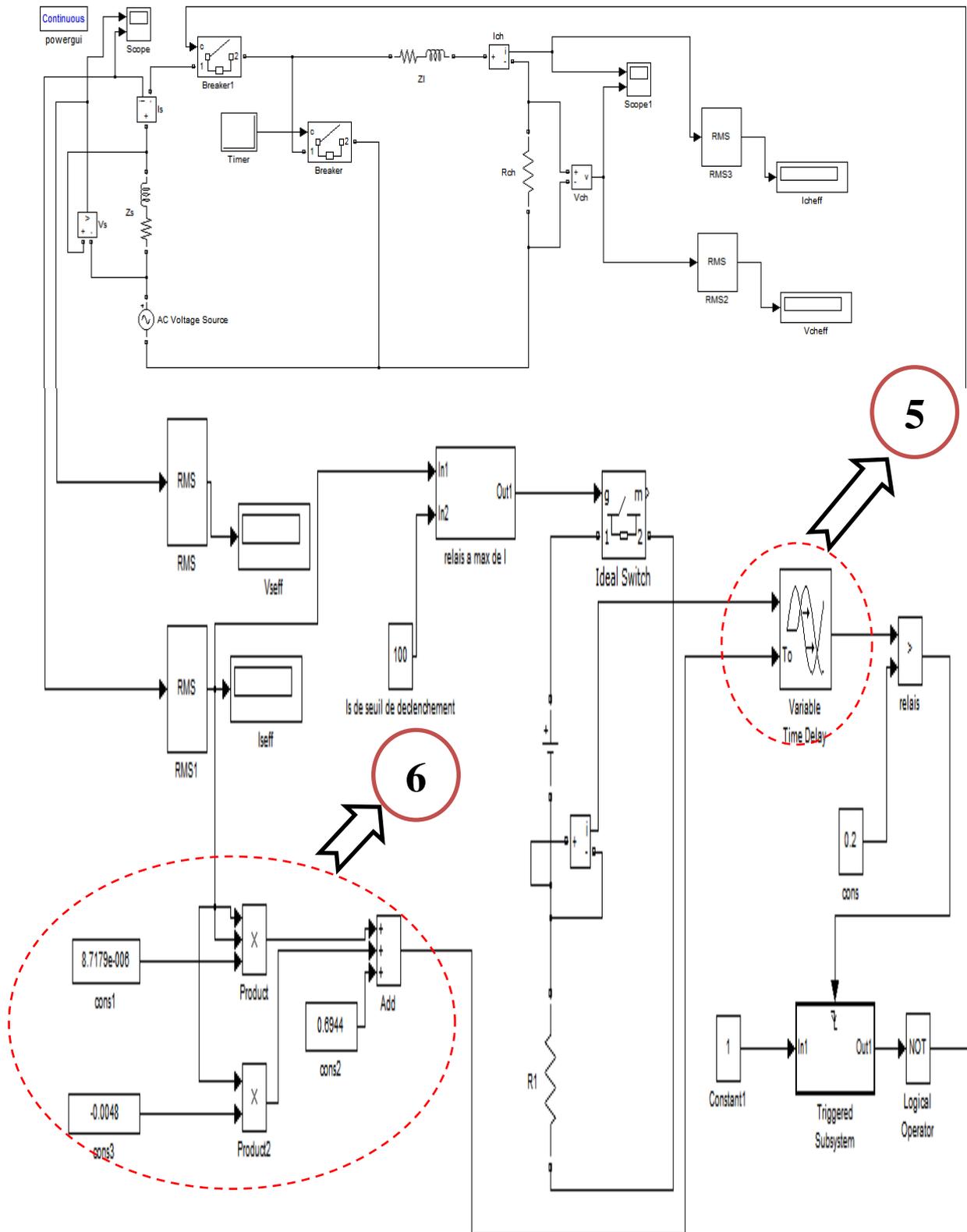


Figure III. 21. Schéma de simulation d'une protection à max de courant à temps dépendant

La figure III. 21 représente le schéma de la simulation d'une protection à max de courant à temps dépendant. Dans ce schéma nous avons rajouté les deux éléments :

- No. 5 : Un élément de décalage temporel des signaux (pour retarder le signal de déclenchement), l'entrée T_0 est réservée pour la temporisation qui est variable pour ce type de protection. Tandis que la deuxième entrée concerne le signal à retarder.
- No. 6 : C'est la fonction de la caractéristique de déclenchement qui est à temps dépendant ; cet élément s'occupe du calcul de la temporisation en fonction du courant de CC. En effet, cette fonction $T_0(I_{eff})$ est définie par le polynôme d'ordre deux : $T_0 = a \cdot I_{eff}^2 + b \cdot I_{eff} + c$; avec a , b et c sont des coefficients. Par exemple pour une caractéristique de déclenchement qui passe par les trois points : $I_{eff} = [55 ; 200 ; 450]$, $T_0 = [0.9 ; 0.3 ; 0.05]$, on peut calculer aisément ces coefficients par la fonction 'polyfit' de Matlab, alors on déduit :

$$a = 7.9441e-006; b = -0.0062; c = 1.2150.$$

III. 4.a. Premier cas : caractéristique à temps dépendant 'très inverse'

La figure III. 22 représente deux caractéristiques d'une protection à max de courant à temps dépendant dites 'inverse' et 'très inverse'.

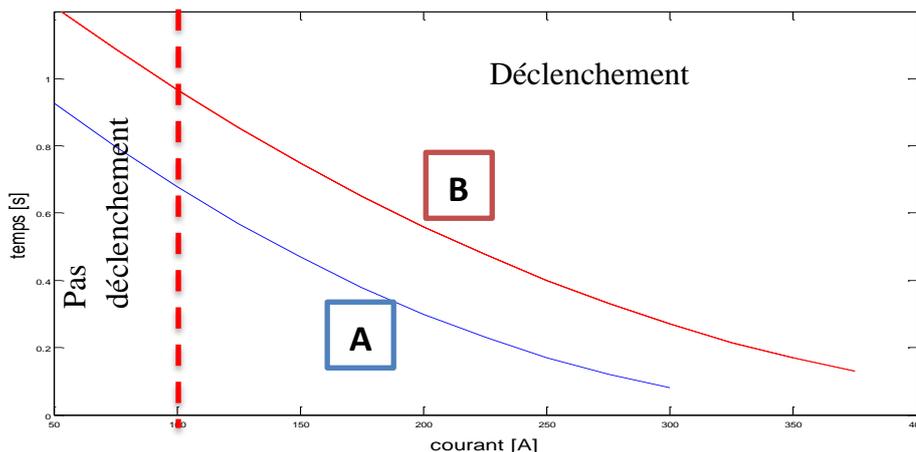


Figure III. 22. Caractéristiques d'une protection à max de courant à temps dépendant

Les figures III. 23 représentent les résultats de la simulation dont l'instant d'apparition du court-circuit est $t_{cc}=0.04s$.

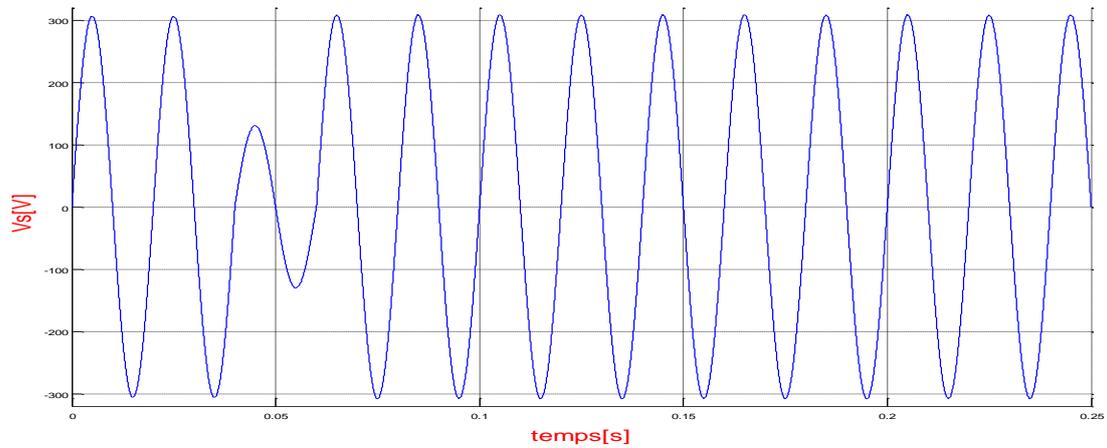


Figure III. 23. A. La tension de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

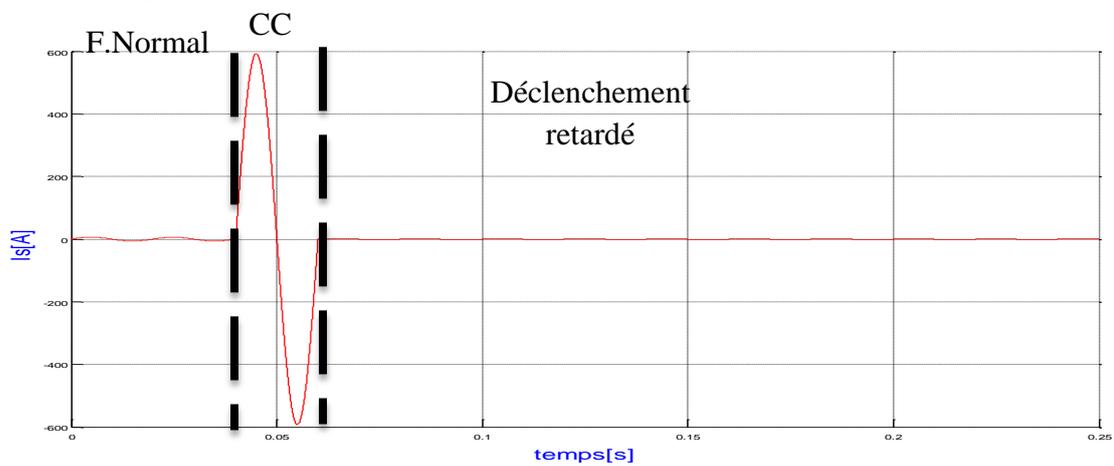


Figure III. 23. B. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

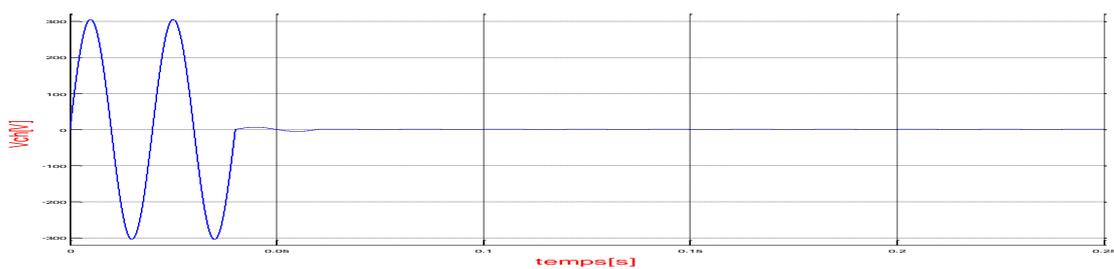


Figure III. 23. C. La tension de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

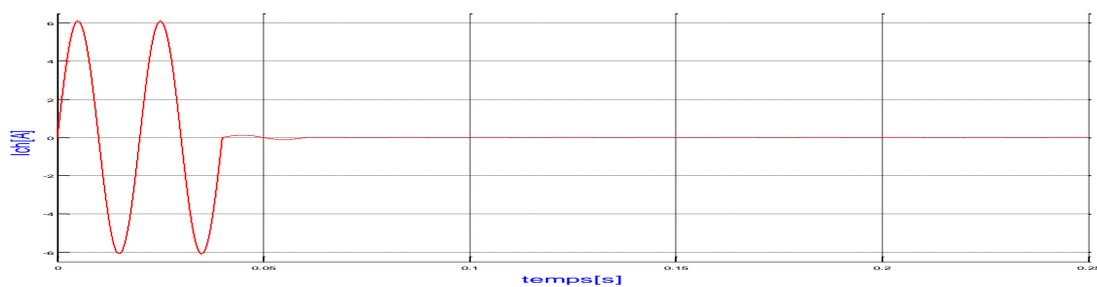


Figure III. 23. D. Courant de la charge, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

Les figures III.24 représentent le courant de la source et le signal de commande du relais pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$.

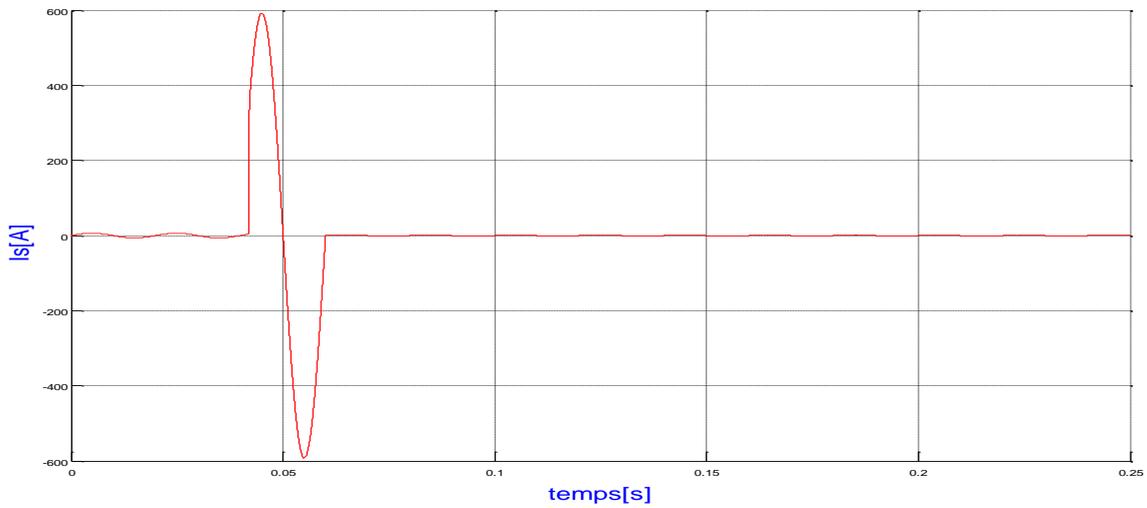


Figure III. 24. A. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$

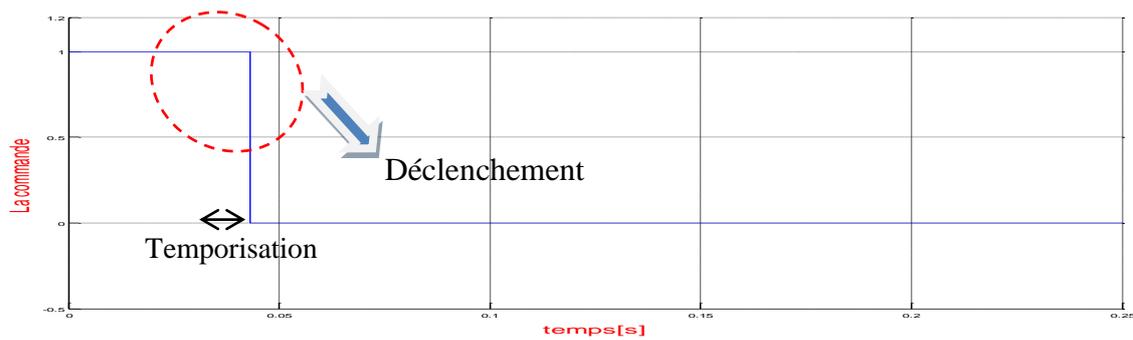


Figure III. 24. B. Signal de commande du relais

La figure III.25 représente le courant de la source pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$.

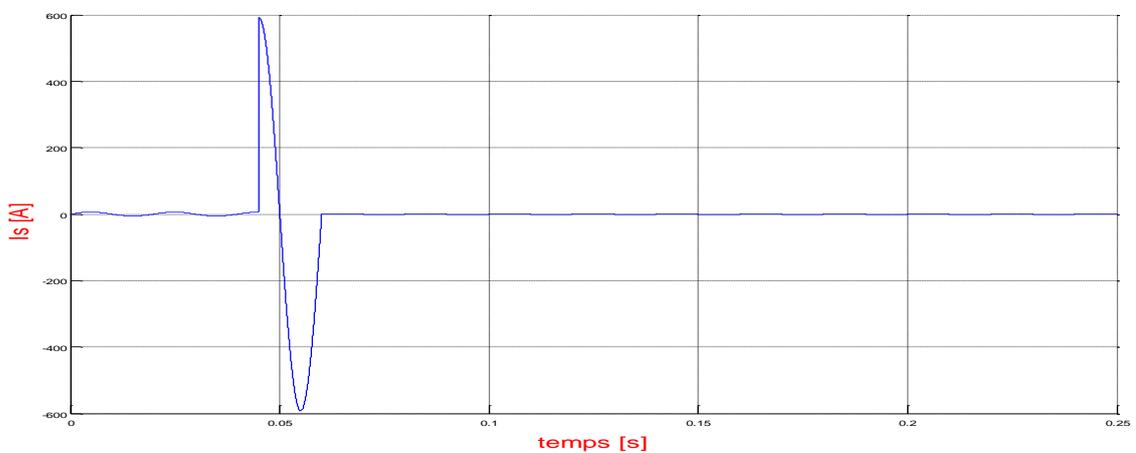


Figure III. 25. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$.

III. 4.b. Deuxième cas : caractéristique à temps dépendant ‘inverse’

Les figures III. 26 représentent les résultats de la simulation dont l’instant d’apparition du court-circuit est $t_{cc}=0.04s$.

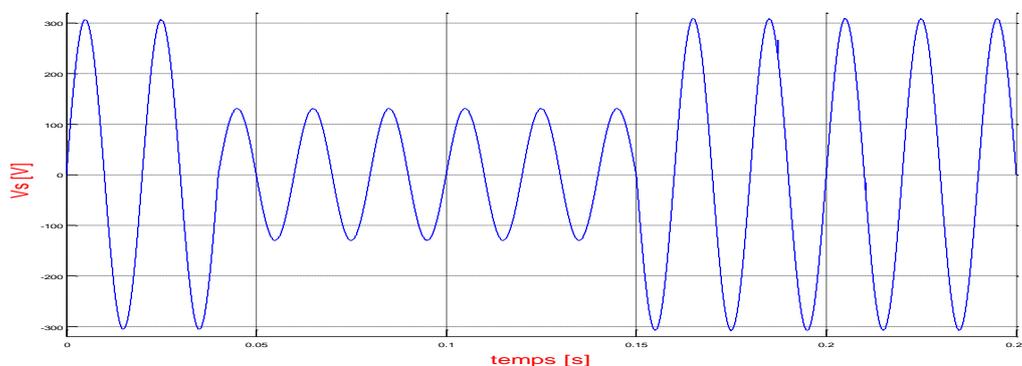


Figure III. 26. A. Tension de la source, CC à l’instant $t_{cc}=0.04s$.

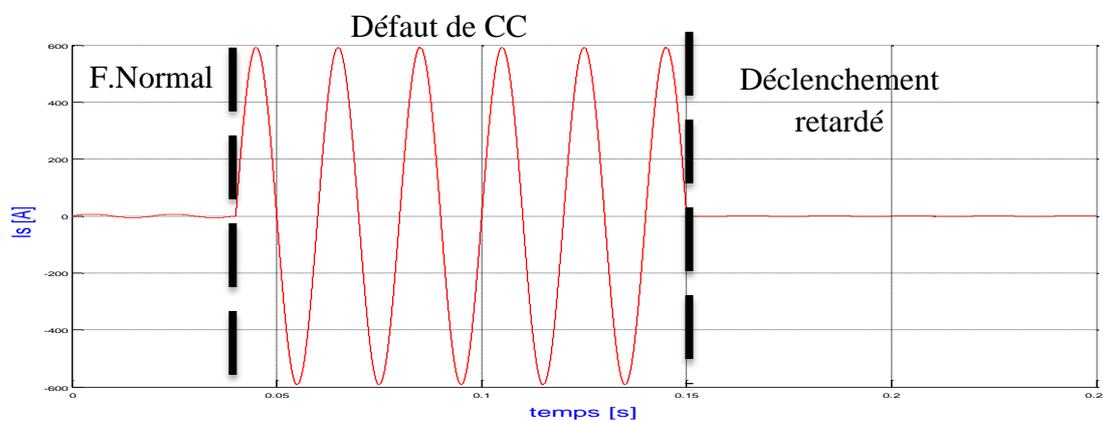


Figure III. 26. B. Courant de la source, CC à l’instant $t_{cc}=0.04s$

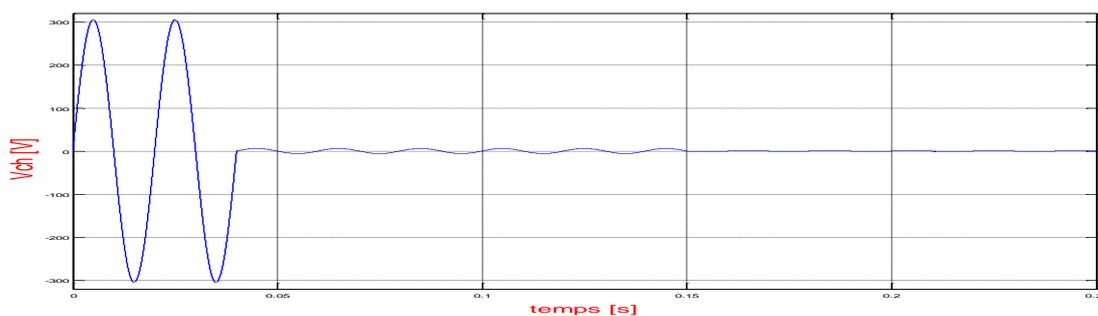


Figure III. 26. C. Tension de la charge, CC à l’instant $t_{cc}=0.04s$

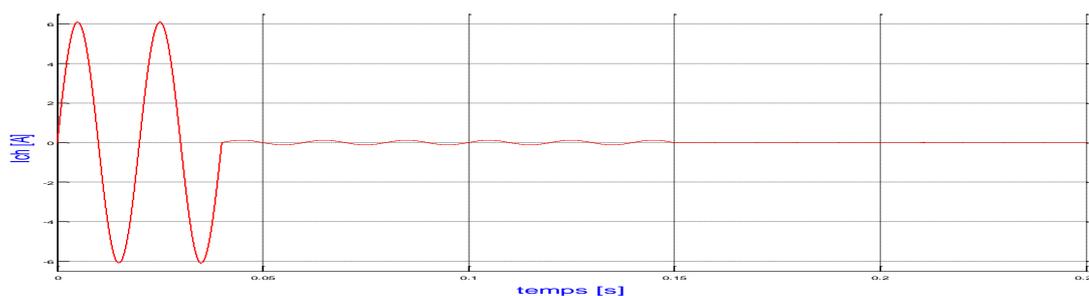


Figure III. 26. D. Courant de la charge, CC à l’instant $t_{cc}=0.04s$

La figure III. 27 représente le courant de la source et le signal de commande du relais pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.042s$.

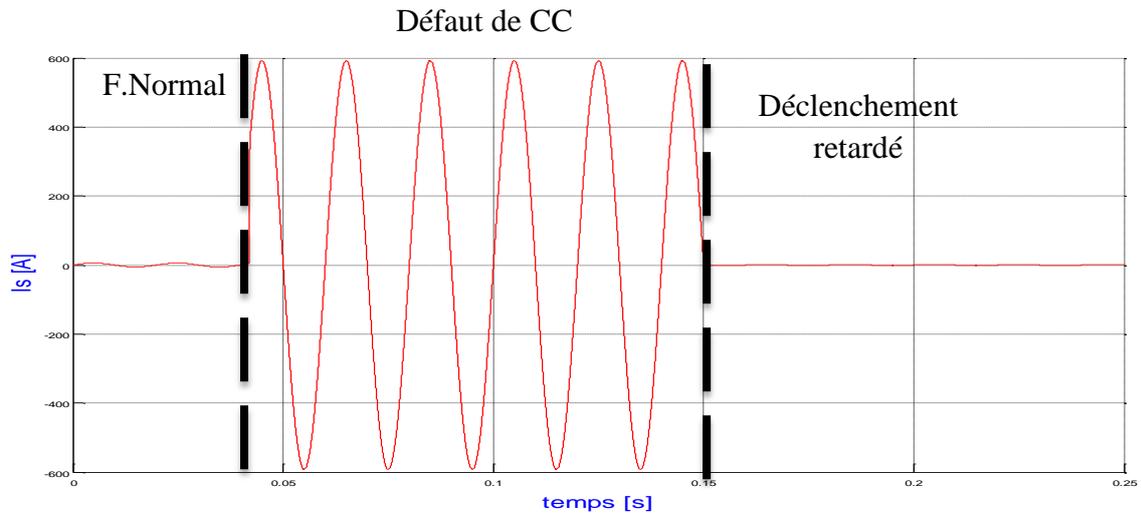


Figure III. 27. A. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.04s$

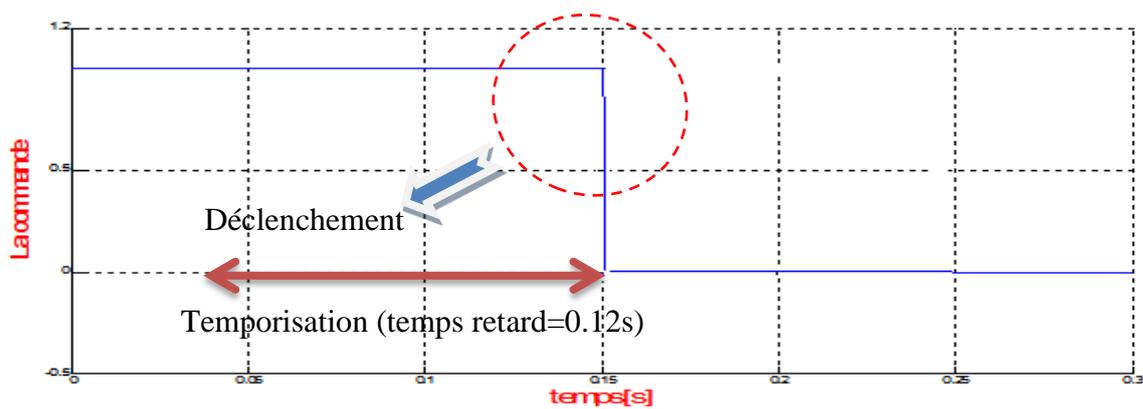


Figure III. 27. B. Signal de commande du relais

La figure III. 28 représente le courant de la source pour un CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$.

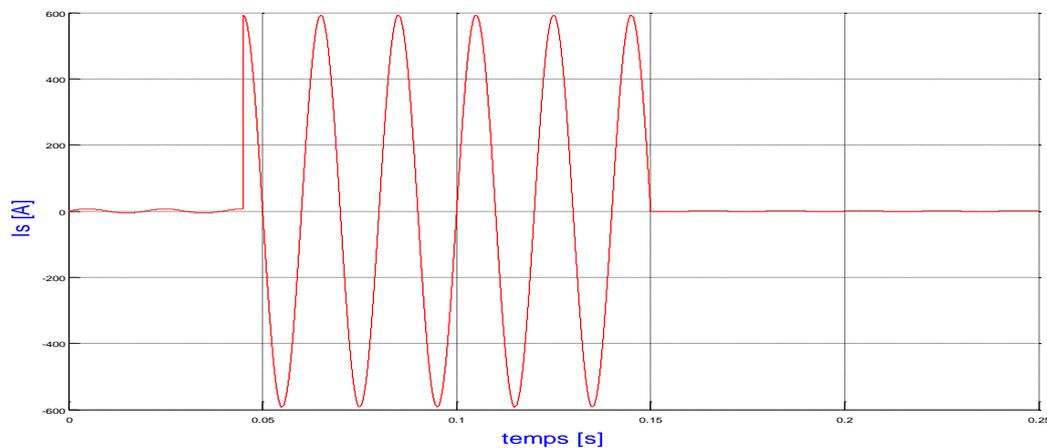


Figure III. 28. Courant de la source, CC à l'instant $t_{cc}=0.045s$.

D'après les résultats de la simulation (Figure III.9, Figure III.17, Figure III.21), on remarque que le courant de la ligne passe par trois phases :

- La première phase concerne le fonctionnement normal du circuit et elle est réalisée dans l'intervalle 0s-0.04s.

Dans la deuxième phase (0.04s-0.05s) ou (0.04s- t_d =temporisation) se manifeste un courant de court-circuit important suite à l'apparition d'un défaut de court-circuit réalisé par l'élément "Timer " + " Breaker ".

- A partir de l'instant (0.05s, t_d =temporisation) le courant de défaut provoque le déclenchement définitif de l'élément de coupure (isolation du défaut).

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé les schémas de plusieurs protections à max de courant, à max de courant temporisé, ainsi que la protection à max de courant à temps dépendant pour différents caractéristiques de déclenchement $T_o(I_{eff})$ à savoir : inverse et très inverse. Les résultats de la simulation par Simulink/Matlab montrent le bon fonctionnement des schémas proposés, et cela nous a encouragé d'entamer la partie réalisation expérimentale qui fait l'objet du chapitre suivant.

Introduction

Ce chapitre est consacré à la réalisation pratique d'un système de protection à maximum courant à temps dépendant piloté par le logiciel LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*).

IV. 1. Logiciel LabVIEW[17]

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) est un logiciel de programmation développé par National Instrument. Contrairement aux langages de programmation textuels où les instructions sont exécutées séquentiellement, l'exécution d'un programme LabVIEW s'effectue par flux de données. LabVIEW est particulièrement bien adapté pour la mesure, l'acquisition de données, l'instrumentation et les bancs d'essais. Il comporte, à l'instar des autres systèmes de programmation classique, des bibliothèques de fonctions permettant d'effectuer toute tâche de programmation et contient même des fonctions spécialement conçues pour l'acquisition et le contrôle de données.

Un programme LabVIEW est appelé un VI ou *Virtual Instrument*. Ces instruments virtuels s'apparentent à des instruments physiques et possèdent une interface utilisateur sur laquelle on vient ajouter les objets de commandes (boutons, commandes numériques..) et de visualisations (Leds, graphiques..) qui constituent les mécanismes d'entrées et sorties.

Un programme LabVIEW se décompose en deux parties :

- La face avant qui constitue l'interface utilisateur.
- La fenêtre diagramme qui contient le diagramme du VI et qui constitue le code source graphique. C'est dans cette fenêtre que l'on vient programmer le VI en reliant différents objets de la face avant, en les reliant à des fonctions spécifiques ou bien encore en implantant ces objets dans des boucles/structures.

- On peut faire l'analogie avec la face avant d'un appareil électronique (générateur BF, oscilloscope...). Une ouverture du boîtier ferait apparaître les composants reliés les uns aux autres et correspondrait au diagramme.
- Ce logiciel a permis de générer les applications de contrôle et visualisation, tout en offrant la possibilité d'établir une interface utilisateur simple à manipuler.

IV.1. 1. Historique de LabVIEW

Il a été créé en 1986, initialement pour Apple Macintosh, qui était à l'époque l'un des seuls ordinateurs proposant une interface graphique native. L'histoire de LabVIEW explique un vocabulaire spécifique, et explique encore certaines actions. A l'origine, LabVIEW s'exécute sur des écrans noir et blancs, puis sur des écrans 16 couleurs, 256, etc. LabVIEW est un environnement développé et vendu par la société National Instruments (NI). Le premier métier de NI est de fabriquer du matériel d'acquisition (notamment sur le protocole GPIB au début des années 80) rapidement destiné au marché des micro-ordinateurs (IBM PC, Apple Macintosh). Ainsi, la première version de LabVIEW s'attache à offrir un environnement de développement dont le rôle est de permettre simplement à l'utilisateur de créer des instruments virtuels (virtualinstrument, ou vi) utilisant le matériel d'acquisition NI pour reproduire sur un micro-ordinateur le comportement d'un instrument.

IV.1. 2. Création d'un VI

Que l'on souhaite créer un programme ou un sous-programme, on crée un VI. Pour LabVIEW tout VI est considéré comme un instrument virtuel. Par conséquent il a un comportement donné sur le diagramme (fenêtre blanche) et une interface utilisateur nommée face-avant (fenêtre grise). De plus, un VI sera symbolisé par son icône (figure IV.1).

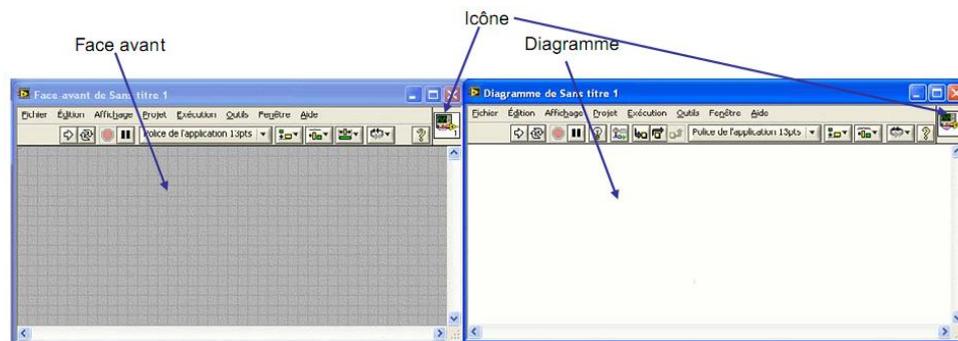


Figure IV. 1. Un VI de LabVIEW est composé d'un diagramme (fenêtre blanche) et d'une face avant et représenté par une icône.

Sur la face-avant, nous serons donc amenés à placer des éléments graphiques (entrées du programme,.etc.), alors que sur le diagramme nous placerons la logique du programme, en général logique qui relie les entrées aux sorties.

IV.1. 3. Les palettes

En LabVIEW, toute la programmation se passe de façon graphique, il n'y a pas de syntaxe à connaître (pas de Begin, end, for, etc.). Quand on débute, on commence souvent par créer la face-avant, puis on passe au diagramme pour représenter la logique du programme.

IV.1. 4. Palette de commandes

Commençons donc comme tout débutant par créer l'interface graphique : supposons que le programme prenne 2 numériques en entrée, et calcul un résultat sous forme d'un numérique. Il nous faudra donc créer 2 entrées numériques, et 1 sortie numérique (affichage). Dans LabVIEW, les entrées s'appellent des commandes et les sorties des indicateurs (par analogie avec un instrument). Les commandes, indicateurs et décoration sont disponibles à partir de la palette de commande de LabVIEW Il y a plusieurs façons d'afficher la palette de commandes (figure IV.2) :

- Faire un click droit sur la face-avant (attention, un click droit sur le diagramme affiche la palette de fonctions dont nous discuterons après). Remarquer la punaise en haut à gauche de la palette qui apparaît sous la

forme d'un menu : en cliquant sur celle-ci, la palette reste affichée sous forme d'une fenêtre.

- Dans le menu déroulant de la face-avant, cliquer sur « Affichage », puis sélectionner « Palettes des commandes ». Cela a pour effet d'afficher la palette sous forme d'une fenêtre (équivalent à utiliser la punaise). Remarquer que même si elle est affichée, la palette de commandes devient invisible lorsque la fenêtre de la face-avant n'est pas active.

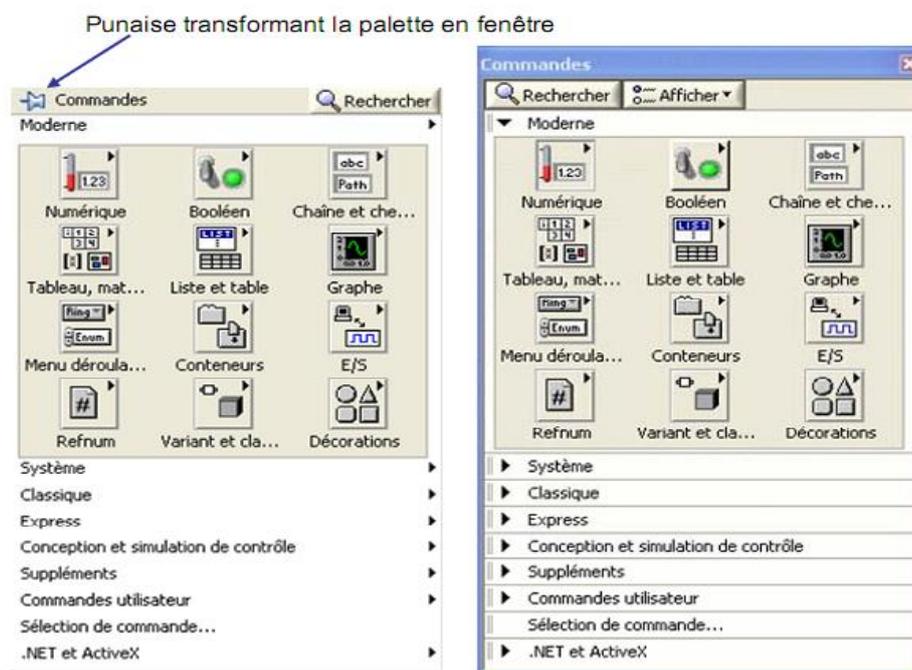


Figure IV. 2. Palette de commandes : à gauche sous forme de menu.

Plusieurs palettes existent : « Moderne », « Système », « Classique », « Express », « Commandes utilisateur », « .NET et ActiveX », les autres palettes dépendant des modules supplémentaires installés. La plupart du temps nous utiliserons la palette « Moderne », cette palette organise les éléments par catégorie :

- « Numérique » : offre des commandes et indicateurs permettant de saisir ou afficher un numérique. Noter que par défaut, ce numérique est en général un nombre réel (par opposition à un nombre entier). Nous parlerons plus tard de la notion de type.

- « Booléen » : commandes et indicateurs booléens (l'algèbre de Boole, dite algèbre booléenne est l'algèbre de la logique, dans laquelle les variables peuvent prendre la valeur vrai ou la valeur faux). Les booléens correspondent aux boutons à 2 états et aux indicateurs à 2 états (LED, etc.).
- « Chaîne et chemin » : commandes et indicateurs permettant de saisir ou d'afficher des chaînes de caractères (par chaîne de caractères, on entend des mots ou phrases, i.e. suite de caractères). De même, on trouve ici ce qui permet de saisir ou afficher un nom de fichier ou de répertoire (chemin).

Avant de rentrer dans la façon d'élaborer le programme (diagramme), il est bon de comprendre la façon dont on donne certaines fonctionnalités à la souris. En effet, tout ou presque étant fait à la souris, il faut comprendre que l'utilisation seule de la souris pourra avoir pour effet de redimensionner, déplacer, actionner (tourner un bouton, cliquer sur un menu, etc.), colorier, sélectionner du texte, etc. Les principales fonctions de la souris sont les suivantes :

 La « main » (plus formellement la fonctionnalité souris « Actionner les commandes ») permet d'actionner les commandes comme pendant l'exécution du vi. Il est ainsi possible de tourner un bouton, bouger une aiguille, Cliquer sur une barre de défilement, etc.

 La « flèche » (plus formellement la fonctionnalité souris

« Positionner/Dimensionner/Sélectionner ») permet de déplacer  un élément, le redimensionner  (lorsque l'on passe la souris sur une poignée qui est représentée par un point bleu). Au repos (quand aucune action n'est possible à l'emplacement courant de la souris, typiquement par ce qu'aucun objet n'est à l'emplacement courant de la souris, le curseur de la souris est+

 L'édition de texte permet de modifier le texte (typiquement le nom des éléments affichés, les valeurs numériques des échelles, etc.) ou bien d'écrire librement du texte.

Noter qu'un texte écrit librement correspond, sur la face avant, à de la décoration (ce n'est pas un élément actif), et sur le diagramme à du commentaire (attention à ne pas le confondre avec une chaîne de caractères). Là encore, l'allure du

curseur permet de savoir ce qui sera fait : si l'on clique avec le curseur  , on créera un nouveau texte libre. Si le curseur est au-dessus d'un texte, il prendra la forme  montrant ainsi qu'un click permettra d'éditer le texte situé sous le curseur.

 La bobine (plus formellement « Connecter les terminaux ») permet de créer un câble entre deux terminaux (éléments « connectables »). Notons pour le moment que cette fonctionnalité n'est pas utilisée sur la face avant, mais que c'est une fonctionnalité primordiale au niveau du diagramme. On peut faire en sorte que le changement de fonctionnalité de la souris s'opère automatiquement (c'est le cas si lorsque le pointeur n'est pas au-dessus d'un objet, son apparence est+) Pour cela, ou pour changer de fonctionnalité, on utilise la palette d'outils.

« Affichage » → « Palette d'outils ». L'utilisation de la sélection automatique est conseillée : dans ce cas, en fonction du placement de la souris, LabVIEW choisit automatiquement la fonctionnalité (l'« outil ») adéquat. Déplacez votre souris lentement au-dessus des objets, et voyez comme son aspect change en fonction de l'outil choisi par LabVIEW. La seule subtilité concerne la saisie de texte : dans ce cas, double-cliquer sur un texte existant permet de l'éditer et double-cliquer n'importe où dans la fenêtre permet de créer un texte libre.

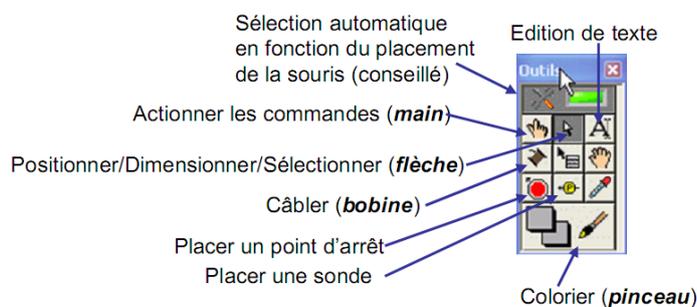


Figure IV. 3. La palette d'outils permet de choisir la fonctionnalité de la souris.

La fonctionnalité pinceau permet de colorier les différents éléments de la face-avant et du diagramme. Son utilisation manque, contrairement au reste, d'intuitivité. Pour l'utiliser, sélectionner l'outil pinceau dans la palette d'outils, puis faire un click droit sur l'objet ou la partie de l'objet à colorier. Chaque partie d'objet peut avoir une seule couleur, ou 2 (une couleur d'avant plan et une couleur d'arrière-plan). Si l'objet possède 2 couleurs, l'appui sur la barre espace permet de contrôler la partie qu'on colorie (avant-plan, arrière-plan, les 2 simultanément).

IV. 2. Partie expérimentale

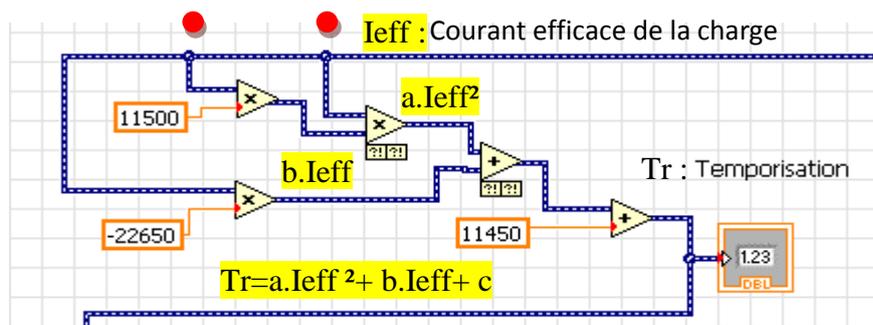
Cette deuxième partie du présent chapitre est consacrée à la réalisation pratique de la protection à maximum de courant à temps dépendant. Le système de protection a été réalisé au sein du laboratoire du département génie électrique. Pour ce faire, nous avons choisi un réseau monophasé avec une tension réduite. Les figures IV.4 et IV.5 montrent respectivement, le schéma et la photo du système de protection réalisé, dont ses principaux éléments sont :

- La source (figure IV.6) : est un générateur de tension variable, qui permet de travailler avec une tension réduite, choisie 26V.
- La charge (figure IV.7) : est une résistance variable (Rhéostat), réglée dans un premier temps à 110 Ω.
- Le capteur de courant (figure IV.8) : est un transformateur de courant de rapport 1/10, avec secondaire reliée à une résistance de 15Ω.
- L'élément de coupure (figure IV.9) : est un contacteur de puissance(KM), reliée à un bouton poussoir (BP) pour son réenclenchement manuel.
- Unité de traitement : un PC ordinaire doté d'une carte d'acquisition NI (figure IV.10) , dont le logiciel LabVIEW est installé.

La caractéristique de déclenchement choisie dans ce travail et qui relative à la protection à max de courant à temps dépendant est représentée sur la figure IV.11. Rappelons que cette caractéristique a été implémentée (programmée) dans l'application LabVIEW. L'équation de cette caractéristique est donnée par le polynôme de degré deux suivant :

$$Tr = a.I_{eff}^2 + b.I_{eff} + c \tag{IV.1}$$

Avec :



a=11500 ; b=-22650 ; c=11450 ;

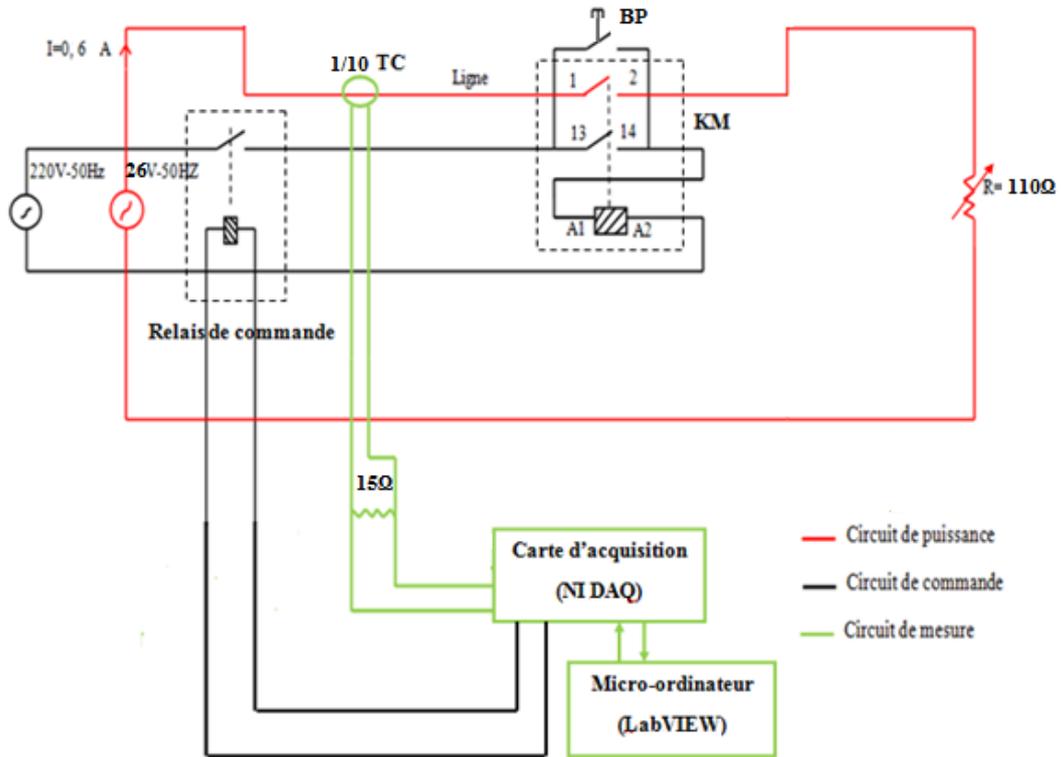


Figure IV. 4. Schéma du montage réalisée

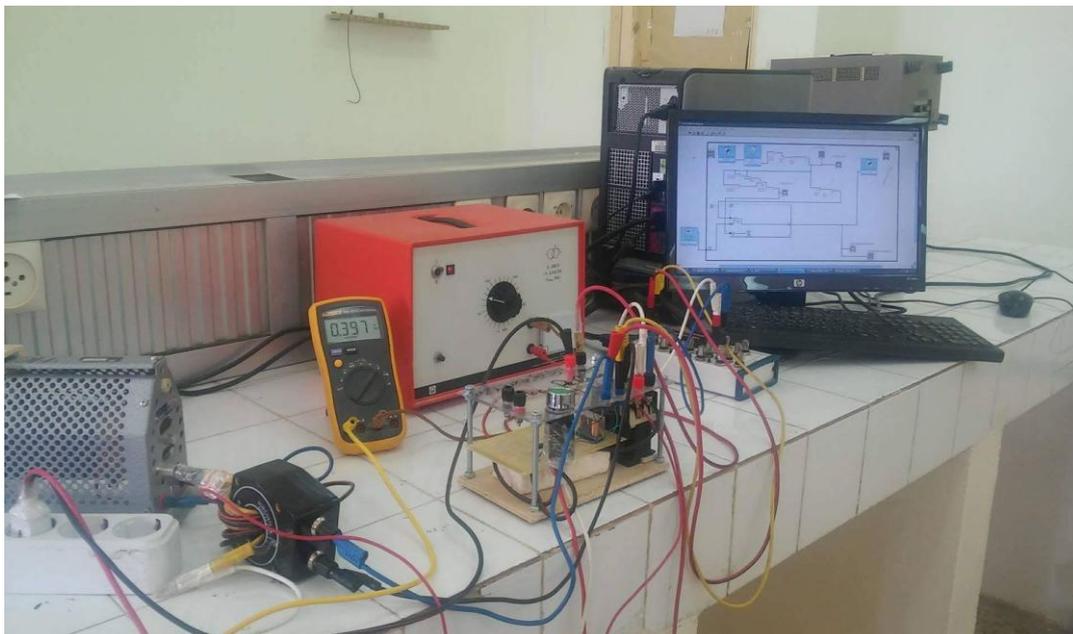


Figure IV. 5. Photo du montage réalisée



Figure IV. 6. Générateur de tension variable



Figure IV. 7. Charge résistive



Figure IV. 8. Transformateur de courant de rapport 1/10

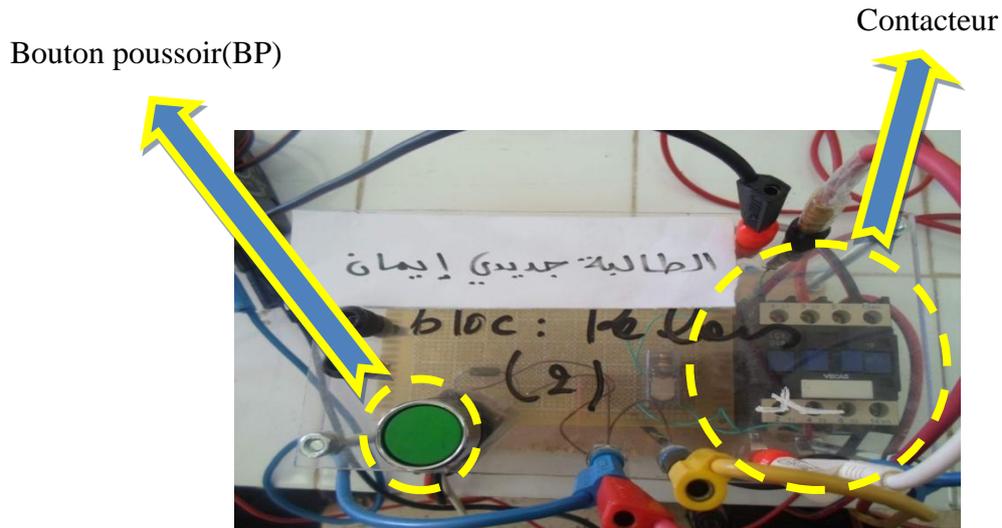


Figure IV. 9. Élément de coupure réalisée au laboratoire

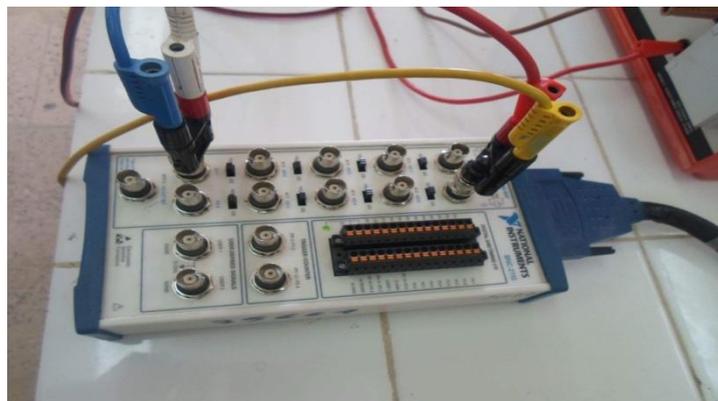


Figure IV.10. Bornes de la carte d'acquisition

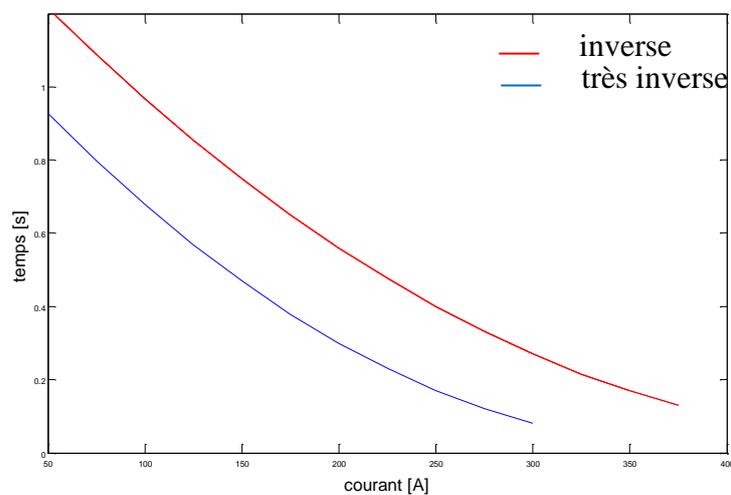


Figure IV.11. Caratéristique de déclenchement à temps dépendant

IV. 3. Les essais pratiques

IV. 3.1. Premier cas : fonctionnement normal du circuit

Le relais à maximum de courant à temps dépendant réalisée expérimentalement dans ce mémoire, peut être classé parmi les relais numériques. Le relais numérique a été conçu sous l'environnement LabVIEW, l'interface graphique développée permet :

- Le réglage numérique du seuil de déclenchement (ou caractéristique de déclenchement),
- L'affichage du courant de la charge en temps réel,
- A titre d'illustration, l'affichage de la forme d'onde de la tension secondaire U_2 du TC (image du courant de la charge).

Les figures IV.12 et IV.13 montrent respectivement, le diagramme et l'interface LabVIEW de la protection à maximum de courant à temps dépendant.

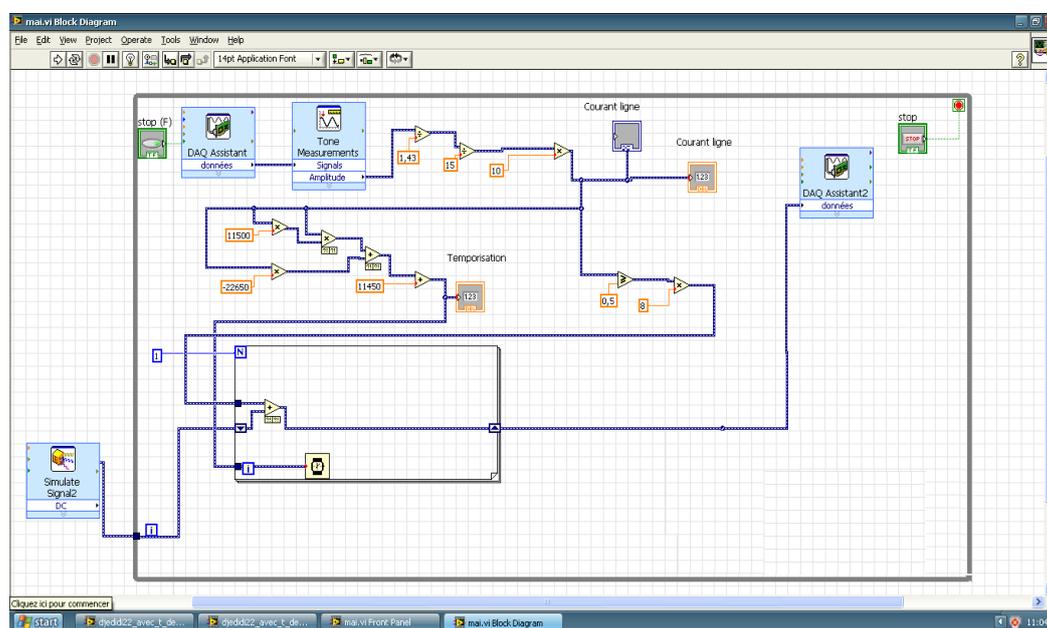


Figure IV. 12. Diagramme LabVIEW du relais à max de courant à temps dépendant

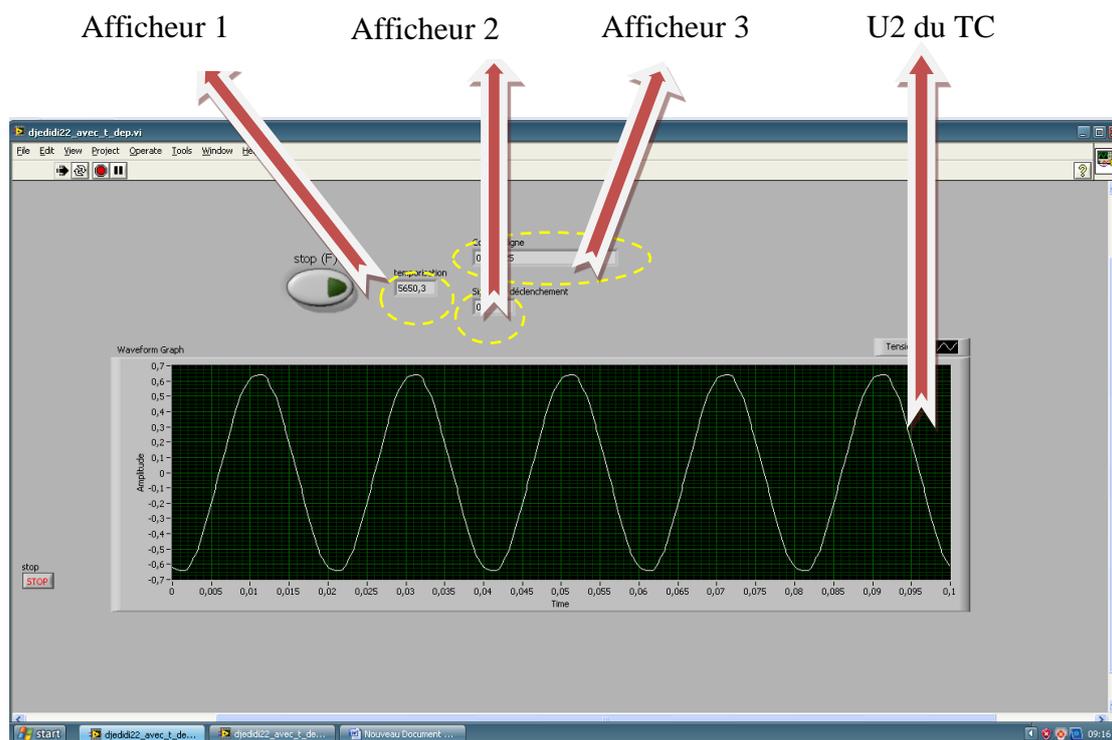


Figure IV. 13 : Interface LabVIEW de la protection réalisée

Les afficheurs de l'interface LabVIEW sont :

- Afficheur 1 : pour afficher le temps de retard de déclenchement (temporisation).
- Afficheur 2 : pour afficher la valeur efficace du courant de la charge.
- Afficheur 3 : pour afficher le niveau du signal de déclenchement.

Dans l'état de fonctionnement normal du réseau. On a fait le courant qu'est affiché sur l'afficheur 2 $I_{eff}=0.3A$, sachant que le seuil de déclenchement est réglé à $0.5A$. Alors, $I_{eff}<0.5A$, aucun signal de déclenchement est envoyé vers le contacteur (élément de coupure), cela est bien vérifié sur l'afficheur 3 qui vaut 0 (signal de déclenchement). On conclut un fonctionnement normal du circuit. Ce test donc nous permet dans un premier temps de vérifier le fonctionnement de la protection réalisée par rapport à l'état sain du circuit.

IV. 3.2. Deuxième cas : avec défaut

Les figures IV. 14 et IV. 15 représentent respectivement l'interface LabVIEW relative à un courant charge égal à $I_{eff}=0.52A$ et $I_{eff}=0.65A$; ces deux valeurs représentent deux courants de défaut réduit (pour les deux courants on a $I_{eff}>0.5A$: seuil).

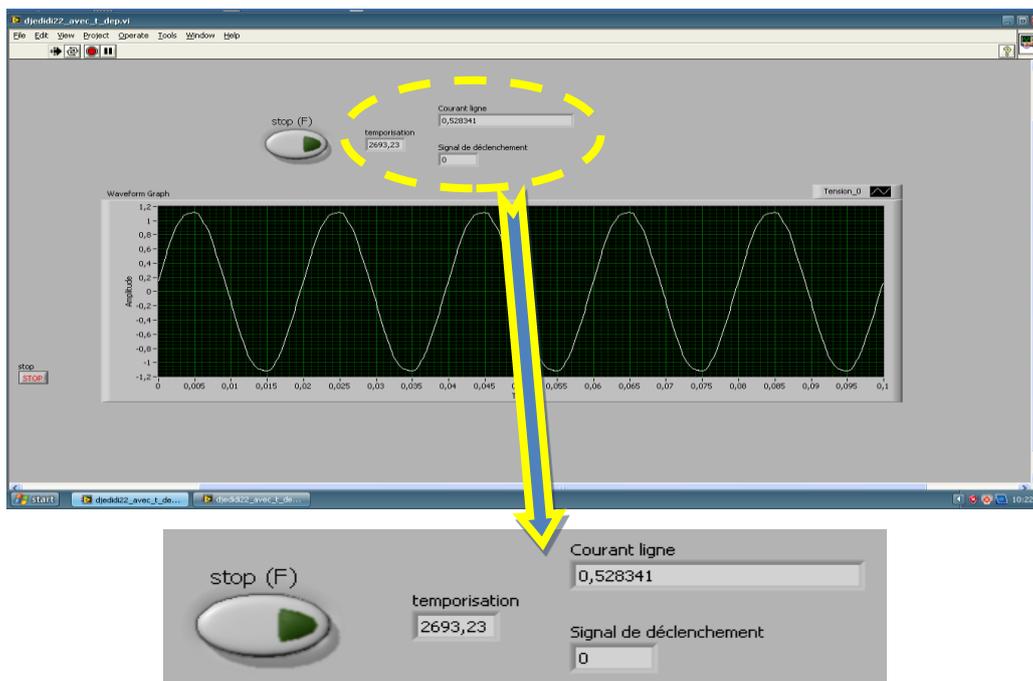


Figure IV.14. Interface LabVIEW avec courant charge $I_{eff}=0.52A$

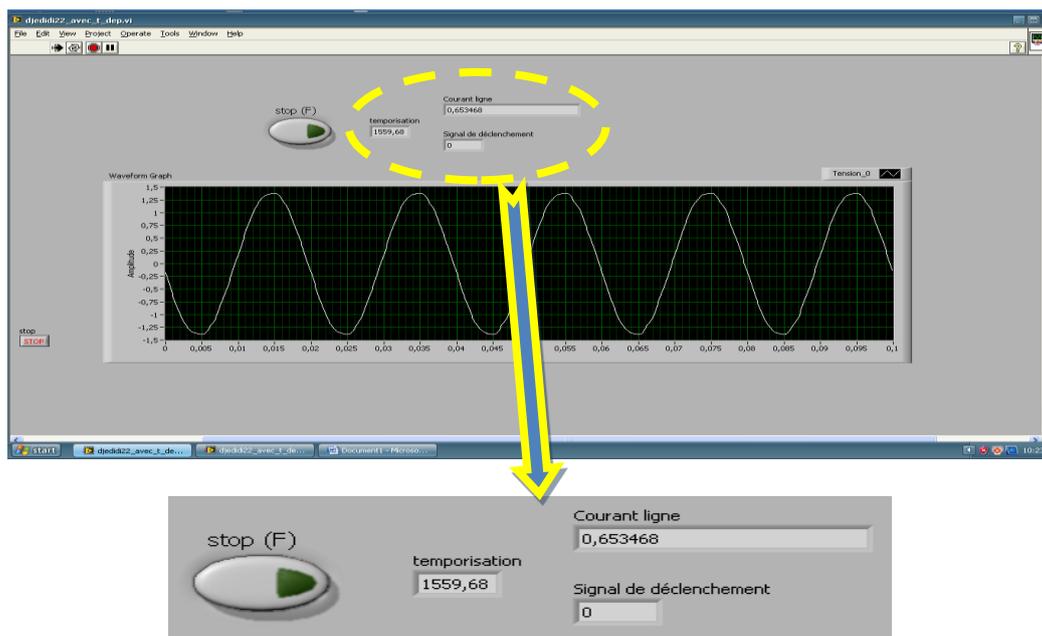


Figure IV.15. Interface LabVIEW avec courant charge $I_{eff}=0.65A$

Lorsqu'on augmente brusquement le courant (avec dépassement du seuil) à l'aide du générateur, le relais détecte le défaut et effectue une comparaison entre la valeur de courant et la valeur du seuil. On remarque que la temporisation de déclenchement (temps de retard) est calculée d'une façon automatique par l'application LabVIEW. Pour un courant de défaut $I_{eff}=0.52A$ on a une temporisation égale à 2693ms, et pour le deuxième courant de défaut $I_{eff}=0.65A$ on a une temporisation qui vaut 1559ms.

A titre d'illustration la figure IV.16 représente l'interface LabVIEW après déclenchement ; la coupure de la tension secondaire du TC (image du courant de la charge) montre le bon fonctionnement de la protection réalisée.

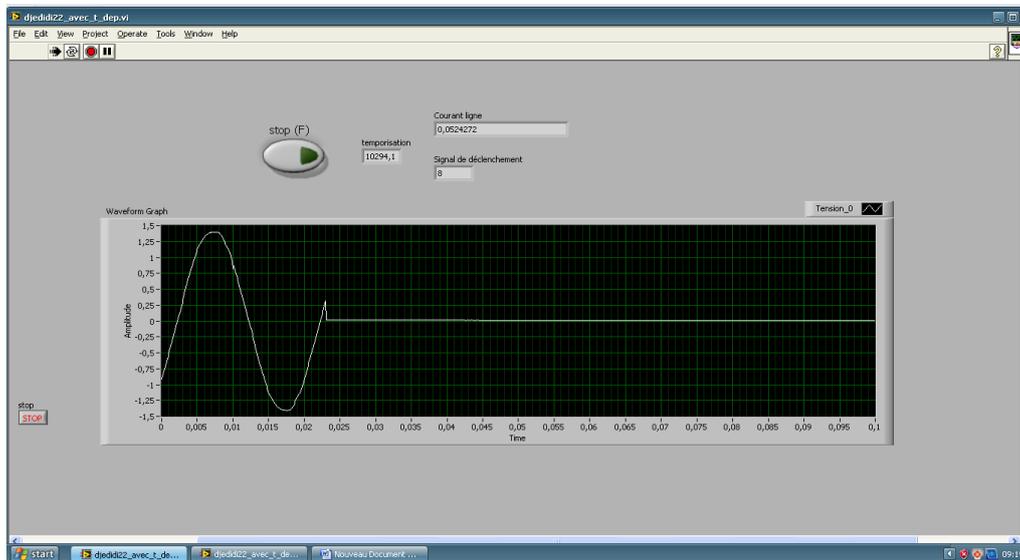


Figure IV. 16. Interface LabVIEW de la protection pour une temporisation=10294ms

Conclusion

Ce chapitre a concerné la réalisation pratique d'un système de protection à maximum de courant à temps dépendant. Le relais réalisé expérimentalement peut être classé parmi les relais numériques dont sa caractéristique de déclenchement a été implémentée dans une application LabVIEW. Les essais pratiques effectués au sein du laboratoire, sans et avec défaut, montrent le bon fonctionnement de la protection réalisée.

Conclusion générale

Après cette étude et la recherche menée dans ce mémoire. Nous avons énuméré les différents types du réseau électrique, ainsi que les défauts souvent survenus qui peuvent donner lieu à des dégâts graves et des pertes financière. Ses éléments sont très critiques pour le fonctionnement normal d'une chaîne de protection, doivent être bien choisis et bien réglés afin d'assurer une protection efficace contre les différents types des défauts telles que le court-circuit, la surtension,...etc.

L'objectif principal du présent travail a concerné la simulation et la réalisation pratique d'un système de protection à max de courant à différents caractéristiques de déclenchement $To(I_{eff})$ à savoir inverse et très inverse. Pour la partie expérimentale ces caractéristiques sont programmées dans le logiciel LabVIEW qui permet le pilotage en temps réel des différentes protections réalisées. Les résultats de la simulation ainsi que les essais pratiques réalisés au laboratoire montrent d'une part une bonne cohérence et d'autre part le bon fonctionnement des systèmes de protection proposés. En effet, pour arriver à cette fin nous avons mené le travail selon les étapes suivantes :

- Simulation d'une protection à maximum de courant,
- Réalisation pratique d'une protection à maximum de courant,
- Simulation d'une protection à maximum de courant temporisée,
- Réalisation pratique d'une protection à maximum de courant temporisée,
- Simulation d'une protection à maximum de courant à temps dépendant,
- Et enfin la réalisation pratique d'une protection à maximum de courant à temps dépendant,

Les simulations ainsi que les essais expérimentaux ont été effectués avec succès.

Références Bibliographiques

- [1] BOUCHAHDANE Mouhamed, "Étude des équipements de protection de la nouvelle ligne 400 kv en Algérie", Mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2009.
- [2] ZAABOUBI Khaled, 'Pilotage sous LabView d'un système de protection à max', Mémoire de master, université de Mohamed khider Biskra, 2014.
- [3] Benoit de METZ-NOBLAT, Frédéric DUMAS, Christophe POULAIN, "Calcul des Courants de Courts Circuits", Cahier technique n 158 Schneider Electric, Edition Septembre 2005.
- [4] ZELLAGUI Mohamed, "Étude des protections des réseaux électriques MT (30 & 10 kv) ", Mémoire de magistère, Université Mentouri Constantine, 2010.
- [5] HOUHOU Mohamed Badr Eddine, "pilotage sous LabView d'un système de protection à sélectivité logique", Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, 2015.
- [6] "Défauts des réseaux et des machines", fichier technique de Sonelgaz, 2007.
- [7] "la protection contre les surtension", Cahier technique de Schneider Electric, Edition 2010.
- [8] "Les creux de tension", Bulletin sur la qualité de l'électricité, société HydroQuébec.
- [9] HAIMOUR Rachida, "Contrôle des puissances réactives et des tensions par les dispositifs FACTS dans un réseau électrique", mémoire de magistère, Université Chouaïb Doukkali El Jadida Maroc, 2009.
- [10] "Déséquilibre de tension et de courant", Bulletin sur la qualité de l'électricité, société Hydro-Québec.
- [11] Karim Guenifi et Raouf Direm, "Détection,classification et localisation des défauts dans les réseaux par les techniques intelligentes", Mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, Dépt.Génie électrique, Ecole Nationale Polytechnique.
- [12] André SASTRE, "protection des réseaux HTA industriels et tertiaires ", Cahier technique n 174 de Schneider Electric, Edition 1994.
- [13] NECIRA Abdelwaheb, " Simulation et réalisation pratique d'une protection directionnelle", Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, 2016.

[14] BENDJEDOU Rahima, "Implémentation de la technique CPL dans un système de protection à sélectivité logique", Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, 2015.

[15] https://fr.wikipedia.org/wiki/Protection_à_maximum_de_courant.

[16] BOUGHAZALA Mohamed Salah, Mémoire de magister "Etude et simulation coupleur de signaux HF pour réseaux d'énergie électrique sélectivité logique des protections ", Université Mohamed Khider Biskra, 2013.

[17] Nicolas POUSSET Docteur Institut national de métrologie France 2010.

Résumé

La protection des réseaux électriques désigne l'ensemble des appareils de surveillance et de protection assurant la stabilité d'un réseau électrique. Dans ce contexte, l'objectif principal de protection consiste à éviter la destruction accidentelle d'équipements coûteux et d'assurer une alimentation électrique ininterrompue. Ce travail concerne la simulation et à la réalisation pratique d'un système de protection à max de courant à différents caractéristiques de déclenchement à savoir à temps indépendant et à temps dépendant. La simulation a été effectuée sous l'environnement Simulink/Matlab, tandis qu'un programme LabVIEW a été développé pour le pilotage en temps réel de la protection réalisée.

ملخص

حماية الشبكات الكهربائية تعني مجموعة العناصر التي وظيفتها هي ضمان استقرار عمل الشبكة. وفي هذا السياق، فإن الهدف الرئيسي لهذه الحماية تفادي الضرر الذي قد يلحق بمكونات الشبكة باهظة الثمن وضمان عدم انقطاع التيار الكهربائي، هذا العمل يخص محاكاة و تحقيق تطبيقي لنظام لحماية التيار الأقصى مع خصائص الزناد مختلفة في وقت مستقل و غير مستقل، محاكاة هذه الحماية أنجزت ببرنامج Matlab/simulink في حين أن برنامج أنجز LabVIEW للتحكم بهذه الحماية بوقت حقيقي .