

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur et De La Recherche Scientifique



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

Réf.....

Réf:.....

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

MASTER

Thème

Pilotage sous LabView d'un système de
protection à sélectivité logique :
Réalisation pratique

Présenté par :

HOUHOU Mohamed Badr Eddine

Soutenu le : 01 Juin 2015

Devant le jury composé de :

Mr : TERKI Amel

M.C.B

Président

Mr : CHERIET Ahmed

Professeur

Encadreur

Mr : LAALA Widad

M.A.A

Examineur

Année universitaire : 2014/ 2015

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur et De La Recherche Scientifique



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

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

MASTER

Thème

Pilotage sous LabView d'un système de
protection à sélectivité logique :
Réalisation pratique

Présenté par :

HOUHOU Mohamed Badr Eddine

Avis favorable de l'encadreur :

Pr : CHERIET Ahmed

signature :

Avis favorable du Président du Jury

Dr. TERKI Amel

Signature :

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur et De La Recherche Scientifique



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

Thème :

Pilotage sous LabView d'un système de
protection à sélectivité logique :
Réalisation pratique

Proposé par : HOUHOU Mohamed Badr Eddine

Dirigé par : Pr. CHERIET Ahmed

RESUMES (Français et Arabe)

La protection des réseaux électriques désigne l'ensemble des appareils de surveillance et de protection assurant la stabilité d'un réseau électrique. Cette protection est nécessaire pour éviter la destruction accidentelle d'équipements coûteux et pour assurer une alimentation électrique ininterrompue. Dans ce travail, nous avons réalisé un système de protection à max de courant à sélectivité logique piloté sous le logiciel LabView.

حماية الشبكات الكهربائية تعني مجموعة العناصر التي وظيفتها هي ضمان استقرار عمل الشبكة. هذه الحماية مهمة لتفادي الضرر الذي قد يلحق بمكونات الشبكة. هذا العمل يهتم بإنجاز نظام حماية رقمية بنظام الانتقائية المنطقية باستعمال البرنامج LabView.

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire de master à :

A ma mère Saliha

Mon père Saleh

Mes sœurs : Djihen, Khadidja & Mouna

A mes frères : Schaïbe et Hakim

A leur enfant : Mohanad

A toute ma famille

A tous mes amis

Sont oublier mes chères amis : Hakim, Amine, Djihed, Safa, Raouf, Adnen

Yhsen, hamoudi, Lahcen...

Mohamed Badr Eddine

Remerciements

Je remercie Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout dont je necessitais pour l'accomplissement de cette thèse.

Nos remerciements les plus sincères vont à Monsieur CHERIET Ahmed notre enseignant et encadreur de ce projet pour son disponibilité à chaque fois que nous l'avons sollicité et qui nous a constamment guidé par ces conseils, ces remarques et ces critiques.

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

Nous remercions également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à réalisation de ce présent travail.

Enfin, je ne peux oublier de remercier mes amies et mes collègues

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I

I.1. Introduction.....	3
I.2. Les différents types de réseaux électriques.....	3
I.2.1. Réseaux de transport et d'interconnexion.....	3
I.2.2. Réseaux de répartition.....	3
I.2.3. Réseaux de distribution.....	4
I.2.3.1. Réseaux de distribution à moyenne tension.....	4
I.2.3.2. Réseaux de distribution à basse tension.....	4
I.3. Gamme des tensions utilisées par le groupe SONELGAZ.....	5
I.4. Nature d'un défaut.....	7
I.4.1. Statistiques sur les défauts.....	7
I.5. Court-circuit.....	7
I.5.1. Origines d'un courant de court-circuit.....	8
I.5.2. Effets et conséquences d'un courant de court-circuit.....	8
I.5.3. Types de court-circuit.....	8
I.5.4. Notion de puissance de court-circuit.....	10
I.5.5. Calcul d'un courant de court-circuit.....	10
I.5.6. Conséquences du courant C-C transitoire.....	12
I.6. Surtensions.....	12
I.7. La Foudre.....	13
I.7.1. Le principe de la protection.....	13
I.7.2. Le rôle des paratonnerres.....	15
I.8. Les phénomènes harmoniques.....	16
I.8.1. Origine.....	16
I.8.1.1. Les redresseurs en courant	16
I.8.1.2. Les redresseurs en tension.....	16
I.8.2. Les effets à terme des harmoniques	17
I.8.3. Les sources de perturbations.....	18
I.9. Conclusion.....	18

CHAPITRE II

II.1.Introduction	19
II.2.Description du système de protection.....	19
II.2.1.Un système de protection doit.....	20
II. 3. Les différents types de protections.....	21
II. 3.1.La protection ampérométrique.....	22
II. 3.2.Les protections à maximum de courant phase.....	22
II. 3.3. Les protections à maximum de courant terre.....	24
II. 3.4.La protection différentielle.....	25
II. 3.5.La protection de distance.....	26
II. 4. Transformateur de courant	26
II. 4.1.Les Types.....	27
II. 5.Les Relais.....	29
II. 5.1.Déférents types des relais.....	29
II. 5.1.1.Relais statiques.....	29
II. 5.1.2.Relais électromécaniques.....	30
II. 5.1.3.Relais de protection.....	31
II. 5.1.3.Relais numériques.....	31
II. 5.1.4.Relais de mesure.....	32
II. 5.1.5.Relais directionnel.....	32
II. 5.1.5.Relais différentiel.....	33
II. 6. Disjoncteur.....	33
II. 6.1.Qualités principales d'un système de protection.....	34
II. 6.1.1.Rapidity.....	34
II. 6.1.2.Sélectivité des protections	34
II. 6.1.3.Sensibilité.....	35
II.7.Le Système de Sélectivité.....	35
II.7.1. La sélectivité ampérométrique.....	36

II.7.2. La sélectivité chronométrique.....	36
II.7.3. La sélectivité logique.....	38
II.7.3.1. Principe du Système de Sélectivité Logique.....	38
II.7.3.2. Fonctionnement lorsqu'un défaut apparaît au point A de la figure II.13.....	39
II.7.3.3. Fonctionnement lorsqu'un défaut apparaît au point B de la figure II.13.....	39
II.7.3.4. Avantages de la sélectivité logique.....	40
II.7.3.5. Inconvénients de la sélectivité logique.....	41
II.8. Conclusion.....	41

CHAPITRE III

III.1. Introduction	42
III.2. Simulation d'un relai à max de courant.....	42
III.3. Simulation d'un système de protection à sélectivité ampérométrique.....	43
III.3.1. Le premier Défaut au niveau de deuxième protection.....	45
III.3.2. Le deuxième Défaut au niveau de première protection.....	47
III.4. Simulation d'un protection à sélectivité chronométrique.....	49
III.4.1 Le premier Défaut au niveau de deuxième protection.....	51
III.4.2. Le Deuxième Défaut au niveau de première protection.....	53
III.5. Simulation d'un protection à sélectivité Logique.....	55
III.5.1. Les sous-systèmes.....	56
III.5.1.1. Transformateur de courant (TC).....	56
III.5.1.2. Le Relai.....	57
III.5.1.3. Elément de coupure	59
III.5.2. Résultats de la simulation : cas sans défaut.....	60
III.5.2.1. Première protection.....	60
III.5.2.2. Deuxième protection.....	60

III.5.2.3.	Troisième protection.....	61
III.5.3.	Premier Défaut au niveau de troisième protection.....	62
III.5.3.1.	Protection.....	Première 62
III.5.3.2.	Protection.....	Deuxième 63
III.5.3.3.	Troisième protection.....	64
III.5.3.4.	Signale logique.....	d'attente 64
III.5.4.	Deuxième Défaut au niveau de deuxième protection.....	66
III.5.4.1.	Protection.....	Première 67
III.5.4.2.	Protection.....	Deuxième 67
III.5.4.3.	Troisième protection.....	68
III.5.4.4.	Signale logique.....	d'attente 69
III.5.5.	Troisième Défaut au niveau de première protection.....	70
III.5.5.1.	Protection.....	Première 71
III.5.5.2.	Protection.....	Deuxième 71
III.5.5.3.	Troisième protection.....	72
III.5.5.4.	Signale logique.....	d'attente 73

III.6. Conclusion.....	74
------------------------	----

CHAPITRE IV

IV.1. Introduction.....	75
IV.2. Langage de programmation LabView.....	75
IV.1.1. Origines de LabVIEW.....	76
IV.1.2. Premier pas.....	77
IV.1.3. Créer un nouveau VI.....	78
IV.1.4. Les palettes.....	79
IV.1.4.1. Palette de commandes	80
IV.1.4.2. Palette d'outils.....	81

IV.3.La partie pratique

IV.3.1 Réalisation pratique d'un système de protection à sélectivité logique.....	83
IV.3.2. La réalisation pratique d'un relai numérique.....	86
IV.3.2.1. La partie électronique	86
IV.3.2.1.A.Capteur de courant	86
IV.3.2.1.B.Amplificateur de puissance.....	86
IV.3.2.2. La Partie Numérique.....	87
IV.3.3.Circuit de commande.....	88
IV.3.4. Traçage de caractéristique du capteur.....	88
IV.3.5. Les essais	89
IV.3.5.1. Premier cas (sans sélectivité logique)	89
IV.3.5.2. Deuxième cas (avec sélectivité logique)	90

IV.4.		
.....	91	Conclusion
CONCLUSION GÉNÉRELE	92	

LISTE DE FIGURE

CHAPITRE I

Figure I.1 Architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie.....	5
Figure I.2. Schéma de court-circuit triphasé.....	9
Figure I.2.1. Schéma de court-circuit biphasé	9
Figure I.3. Schéma équivalent du réseau au court-circuit.....	11
Figure I.3.1. Décomposition du courant de court-circuit.....	11
Figure I.4. Principe d'une protection par parafoudre.....	14
Figure I.4.1. Utilisation de la méthode de la sphère fictive.....	15
Figure I.5. redresseurs en courant.....	16
Figure I.5.1. redresseurs en tension.....	16
Figure I.5.2. Principales sources d'origine artificielle.....	16

CHAPITRE II

Figure II.1. Chaîne de protection.....	19
Figure II.2. Décomposition du temps de réaction d'une protection.....	22
Figure II. 3. Protection à temps indépendant.....	23
Figure II. 4. Protection à temps dépendant.....	23
Figure II. 5. Le principe de fonctionnement de la protection différentielle.....	25
Figure II. 6. Exemple de plaque signal é tique d'un transformateur de courant à deux secondaires	26
Figure II.7. Schéma de principe d'un transformateur de courant.....	27
Figure II.8. Bobine de Rogowski avec circuit de mesure.....	28
Figure II.9. Principe de l'effet Hall.....	28
Figure II.10. Type des relais.....	29
Figure II.11. Quelques symboles de relais spéciaux.....	31
Figure II.12. Exemple de sélectivité ampérométrique partielle.....	36
Figure II.13. principe de la sélectivité chronométrique.....	37

Figure II.14. distribution en antenne avec utilisation de la sélectivité chronométrique.....	37
Figure II.15. Distribution en antenne avec utilisation de la sélectivité logique.....	39

CHAPITRE III

Figure .III.1. Simulation d'un relai à max de courant.....	42
Figure .III.2. Schéma de simulation de la sélectivité ampérométrique pour un réseau à deux niveaux de protection.....	43
Figure.III.2.A. Courant de première protection.....	43
Figure .III.2.B. La commande de première.....	44
Figure.III.2.C. Courant de deuxième.....	44
Figure.III.2.D. Commande de deuxième protection.....	44
Figure.III.3. Premier Défaut au niveau de deuxième protection.....	45
Figure.III.3.A. Courant de premier protection	45
Figure.III.3.B. Commande d'élément de coupure de première protection.....	46
Figure.III.3.C. Courant au niveau de deuxième système de protection.....	46
Figure.III.3.D. Commande d'élément de coupure de deuxième protection.....	46
Figure.III.4. Deuxième Défaut au niveau de premier protection.....	47
Figure.III.4.A. Courant de premiers protection.....	47
Figure.III.4.B. Commande d'élément de coupure de première protection.....	47
Figure.III.4.C. Courant au niveau de deuxième protection.....	48
Figure.III.4.D. Commande d'élément de coupure de deuxième protection.....	48
Figure.III.5. Schéma représente la simulation de la sélectivité chronométrique pour un réseau à deux niveaux.....	49
Figure.III.5.A. Courant de première protection.....	49
Figure.III.5.B. Commande d'élément de coupure de première protection.....	50
Figure.III.5.C. Courant au niveau de deuxième protection.....	50
Figure.III.5.D. Commande d'élément de coupure de deuxième protection.....	50
Figure.III.6. Schéma de premier Défaut au niveau de deuxième protection.....	51
Figure.III.6.A. Courant de première système de protection.....	51
Figure.III.6.B. Commande d'élément de coupure de première protection.....	52
Figure.III.6.C. Courant au niveau de deuxième protection.....	52
Figure.III.6.D. Commande d'élément de coupure protection.....	52

Figure.III.7. Schéma de deuxième Défaut au niveau de premier protection.....	53
Figure.III.7.A Courant de première protection.....	53
Figure.III.7.B. Commande d'élément de coupure de première protection.....	54
Figure.III.7.C. Courant au niveau de deuxième protection.....	54
Figure.III.7.D. Commande d'élément de coupure de deuxième protection.....	54
Figure.III.8. Schéma de simulation de la sélectivité logique pour un réseau à trois niveaux de protection.....	55
Figure.III.9. Les bloque simulation d'un TC.....	56
Figure IV.10. Schéma de la Relais logique.....	58
Figure.III.11. Schéma simulation de Relais logique.....	58
Figure.III.12. Schéma simulation d'un élément de coupure.....	59
Figure.III.13.A. Courant de premier protection.....	60
Figure.III.13.B. Tension de premier protection.....	60
Figure.III.14.A. Courant au niveau de deuxième protection.....	60
Figure .III.14.B. Tension au niveau de deuxième protection.....	61
Figure.III.15.A. Tourant au niveau de troisième protection.....	61
Figure.III.15.B. Tension au niveau de troisième protection.....	61
Figure.III.16. Schéma représente la simulation de la sélectivité logique pour un réseau à trois niveaux.(défaut 1).....	62
Figure.III.16.A. Courant de premier protection.....	62
Figure.III.16.B. Tension de premier protection.....	63
Figure.III.17.A. Courant au niveau de deuxième protection.....	63
Figure .III 17.B. Tension au niveau de deuxième protection.....	63
Figure.III.18.A. Courant au niveau de troisième protection.....	64
Figure.III.18.B. Tension au niveau de troisième protection.....	64
Figure.III.19.A. Signal d'attente logique de la protection 3 vers 2.....	64
Figure.III.19.B. Signal d'attente logique de la protection 2 vers 1	65
Figure.III.20. Schéma représente La Sélectivité logique (Défaut 2).....	66
Figure.III.20.A. Courant de premier protection.....	67
Figure.III.20.B. Tension de premier protection.....	67

Figure .III.21.A. Courant au niveau de deuxième protection.....	67
Figure.III.21.B. Tension au niveau de deuxième protection.....	68
Figure.III.22.A. Courant au niveau de troisième protection.....	68
Figure.III.22.B. Tension au niveau de troisième protection.....	68
Figure.III.23.A. Signal d'attente logique de la protection 3 vers 2.....	69
Figure.III.23.B. Signal d'attente logique de la protection 2 vers 1.....	69
Figure.III.24. Schéma représente La Sélectivité logique (Défaut 3).....	70
Figure.III.24.A. Courant de premières protections.....	71
Figure.III.24.B. Tension de première protection.....	71
Figure.III.25.A. Courant au niveau de deuxième protection.....	71
Figure.III.25.B. Tension au niveau de deuxième protection	72
Figure.III.26.A. Courant au niveau de troisième protection.....	72
Figure.III.26.B. Tension au niveau de troisième protection.....	72
Figure.III.27.A. Signal d'attente logique de la protection 3 vers 2.....	73
Figure.III.27.B. Signal d'attente logique de la protection 2 vers 1.....	73

CHAPITRE IV

Figure.IV.1. Ecran d'accueil de LabView.....	77
Figure.IV.2. Un VI LabView est composé d'un diagramme (fenêtre blanche) et d'une face avant (fenêtre grise) et représenté par une icône.....	78
Figure.IV.3. Palette de commandes : à gauche sous forme de menu.....	80
Figure.IV.4. La palette d'outils permet de choisir la fonctionnalité de la souris.....	82
Figure.IV.5. Montage du système de protection à sélectivité logique réalisée au laboratoire du département de Génie électrique	83
Figure.IV.6. Schéma synoptique du système de protection à sélectivité logique réalisé.....	84
Figure.IV.7. Circuit électrique du système de protection réalisé	85
Figure.IV.8. Capteur de courant.....	86
Figure.IV.9. Amplificateur de puissance.....	86
Figure.IV.10. Réalisation pratique d'un relai numérique.....	87
Figure.IV.11. Interface LabView du système.....	88

Figure.IV.12. Circuit de commande.....	88
Figure.IV.13. Caractéristique du capteur.....	88
Figure.IV.14. Protection sans sélectivité logique.....	89
Figure.IV.15. Résultat de premier cas (sans sélectivité logique).....	89
Figure.IV.16. Protection avec sélectivité logique.....	90
Figure .VI.1. Résultat de deuxième cas (avec sélectivité logique).....	91

LISTE DE TABLEAU

CHAPITRE I

Tableau I.1. Tableau des domaines de tension.....	5
Tableau I.2. Caractéristiques des architectures.....	6
Tableau I.3. Les effets à terme des harmoniques.....	17

CHAPITRE II

Tableau II .1. Courbes de déclenchements typiques des protections à temps dépendant.....	24
---	----

CHAPITRE III

Tableau III.1. Table de vérité de base de la sélectivité logique.....	58
--	----

CHAPITRE IV

Tableau.IV.1. présenté la tension en fonction de courant.....	88
--	----

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L' énergie électrique est la forme d'énergie la plus répandue car elle est facilement transportable à un rendement élevé avec un coût raisonnable. Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures dont le but consiste à 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 :

- stabilité,
- économie,
- et surtout la 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. La protection des réseaux électriques est l'ensemble des appareils de surveillance et de protection assurant l'équilibre d'un réseau électrique. La fonction principale d'un système de protection est de mettre rapidement hors service tout ouvrage du réseau qui commence à fonctionner d'une façon anormale.

Depuis l'avènement des relais numériques de protection, ces dernières années, plusieurs modèles ont été développés afin de rendre ces relais plus performants aussi bien sur leur rapidité de fonctionnement que sur leur précision. Pour un bon fonctionnement du système de protection, souvent on est amené à recorder les relais de protection avec une procédure de sélectivité qui a pour but d'assurer la continuité de service et de garantir la fonction secours entre les différents éléments du système de protection global. On distingue trois types de sélectivité :

- sélectivité ampérométrique,
- sélectivité chronométrique,
- sélectivité logique.

Cette dernière constitue le sujet du présent travail.

Ce mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre décrit les différentes perturbations qui peuvent être apparaissent dans le réseau électrique ainsi que les origines et les conséquences des ces perturbations à savoir le court-circuit et la surtension. Egalement, le calcul du courant de court-circuit fait l'objet du présent chapitre.

Le deuxième chapitre rapporte les fonctions de protection : la protection directionnelle, la protection différentielle et la protection à maximum de courant. Une partie est consacré à l'étude des différents types de la sélectivité des protections : la sélectivité fusible-disjoncteur, la sélectivité chronométrique, la sélectivité ampérométrique et la sélectivité logique.

Le troisième chapitre concerne la simulation par Simulink/Matlab des différents types de sélectivité évoquées dans le chapitre précédent et en particulier celle qui fait l'objet de ce travail : la sélectivité logique à câble pilote. Afin de décrire les avantages et inconvénients de chaque sélectivité, nous avons étudié dans un premier temps un exemple à deux niveaux de protection. Dans le but de justifier le choix de la sélectivité logique, nous avons traité un deuxième exemple à trois niveaux de protections.

Le quatrième chapitre concerne la partie expérimentale réalisée dans le cadre de ce travail. Dans un premier temps, nous avons réalisé une protection à max de courant avec relais numérique piloté sous Labview. Ensuite, un système de protection à max de courant à deux niveaux a été réalisé afin de les raccorder par un câble pilote (de commande) réalisant ainsi ce qu'on appelle 'sélectivité logique'. Dans le but de montrer l'importance de cette dernière, deux tests pratiques ont été effectués : le premier avec sélectivité et le deuxième sans sélectivité.

II.1.Introduction

Le bon fonctionnement du réseau électrique exige l'implémentation d'un ensemble d'organes de protection qui doivent, dans le cas échéant, être définis par un type de sélectivité. Ce chapitre rapporte les modes de sélectivité les plus utilisées dans les installations électriques à savoir la sélectivité ampérométrique, la sélectivité chronométrique et la sélectivité logique. La sélectivité a pour but d'assurer d'une part la continuité de service d'alimentation en énergie électrique et d'autre la fonction secours entre les protections.

II.2.Description du système de protection [10]

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 :

- 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
- Élément de de coupure : disjoncteurs, interrupteurs-fusibles, contacteur-fusible

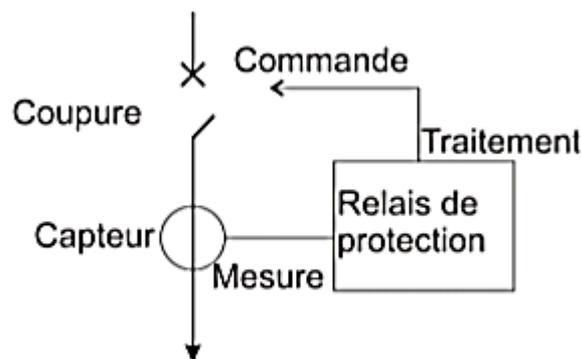


Figure II.1. Chaîne de protection

II.2.1. Fonctions d'un système de protection

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

On définit alors les dispositifs de protections

- Les courts-circuits, entre phases et phase-terre
- Les surcharges
- Les perturbations de tension et électromagnétiques
 - Les surtensions à fréquence industrielle
 - Les surtensions d'origine atmosphérique
 - Les perturbations électromagnétiques

Un plan de protection est donc l'ensemble des dispositions pour :

- Éliminer les défauts en séparant l'élément défectueux du reste du système électrique par un organe de coupure
 - Éliminer un défaut par une protection et assurer éventuellement la protection de secours (redondance des protections)
 - Protéger certains matériels spécifiques : transformateurs, lignes/câbles HTA, gradins de condensateurs HTA, entre autres
 - Permettre la modification temporaire des fonctionnements (sensibilité, rapidité) pour effectuer certaines opérations d'exploitation : travaux sous tension, mise en parallèle de transformateurs.

Les qualités d'un plan de protection sont les suivantes :

- ✓ La sensibilité
- ✓ La sélectivité
- ✓ La rapidité
- ✓ La fiabilité
- ✓ La simplicité
- ✓ Le coût

Le plan de protection doit être organisé afin de permettre la sélection et l'élimination des défauts d'isolement de toutes formes. Il doit permettre de distinguer l'élément défectueux parmi les éléments de réseaux suivants :

- départs HTA
- jeux de barres HTA
- transformateurs HTB/HTA et leurs liaisons aux jeux de barres HTA

Ces protections sont alors organisées en cascade suivant ces trois niveaux

De plus, il faut ajouter :

- les protections contre les défauts résistants (des défauts très résistants ne sont pas < Vus > par les protections de phase, mais, fréquemment ils évoluent, dans le temps en défauts moins résistifs)
- Les protections des tableaux HTA
- Les protections du transformateur HTB/HTA
- L'élimination des défauts par le fonctionnement du disjoncteur shunt

II. 3. Les différents types de protection

Les protections sont utilisées pour détecter et isoler tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique. La fonction de protection est réalisée par des relais ou de appareils multifonctions, qui comparent en permanence les grandeurs électriques du réseau à des seuils réglables. En fonction du type de protection, les grandeurs mesurées par les capteurs peuvent être : courant, tension, fréquence et les grandeurs calculées peuvent alors être : puissances, impédances. Lorsque la mesure dépasse le seuil, la protection donne des ordres d'action comme l'ouverture du disjoncteur, après une temporisation. Cette temporisation est la somme du temps de coupure du disjoncteur (temps de mesure, de calcul de l'algorithme, de réponse de l'appareil et le temps d'élimination de l'arc), des tolérances de temporisation (marge de sécurité afin d'éviter les doubles déclenchements) .Cette chaîne d'actions est présentée dans la **Figure II.2.**

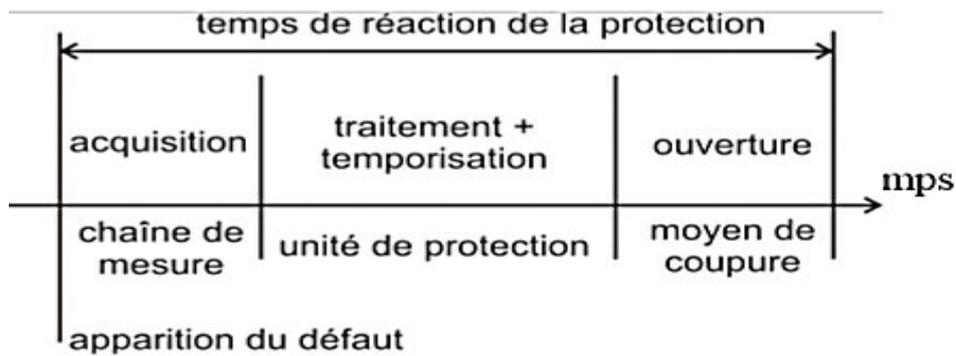


Figure II.2. Décomposition du temps de réaction d'une protection

II. 3.1. La 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 directionnalité

II. 3.2. Les protections à maximum de courant phase

Ce type de protection est utilisé pour détecter les surintensités monophasées, biphasées ou triphasées. La grandeur mesurée est alors le courant. Lorsqu'un deux ou trois des courants concernés dépassent la consigne correspondant au seuil, la protection devient active et déclenche. La protection peut être utilisée avec une temporisation qui bloque la commande de déclenchement pendant un temps égal à la temporisation sélectionnée (de fonctionnement) Suivant le calcul de la temporisation en fonction du courant mesuré, il existe des protections à temps indépendant ou constant) et à temps dépendant ou inverse

- Les protections à temps indépendant ont une temporisation constante indépendante de la valeur du courant La courbe de déclenchement est simple et définit une zone de fonctionnement limitée à gauche par le seuil de fonctionnement en courant, 1s seuil de courant, et en bas par le retard de fonctionnement de la protection, T temporisation,

Figure II.3.

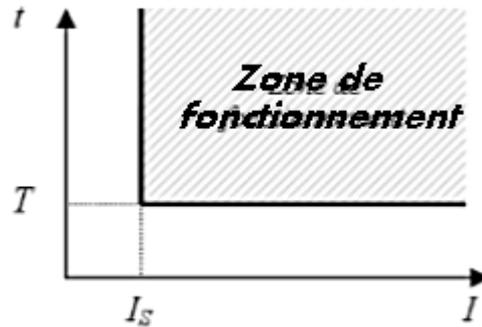


Figure II. 3. Protection à temps indépendant

- Les protections à temps dépendant ont une temporisation dépendant du rapport entre le courant mesuré et le seuil de fonctionnement On l'appelle inverse parce que le retard diminue avec l'augmentation du courant mesuré, à l'image de la fusion d'un fusible en

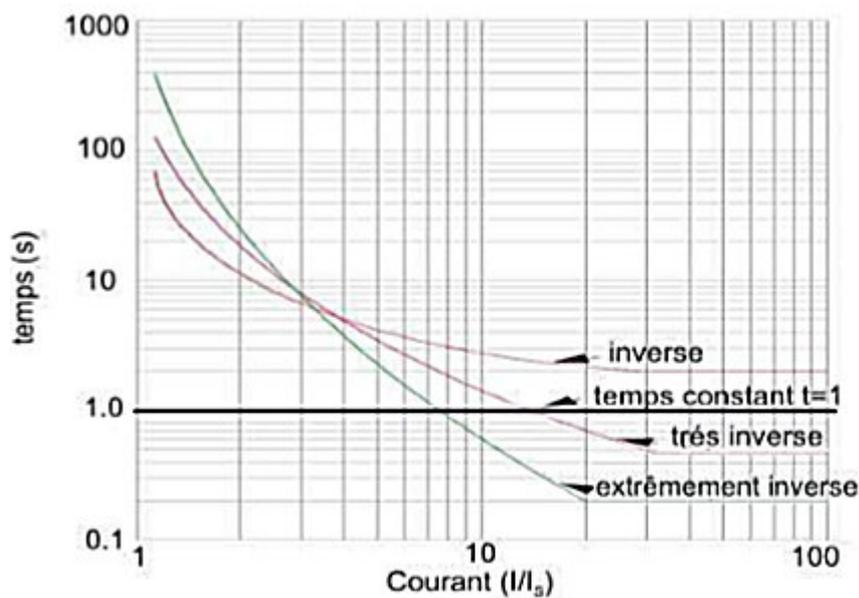


Figure II. 4. Protection à temps dépendant

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

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

comporte des paramètres réglables (k - le multiplicateur de temps et I_s - le courant de seuil), un paramètre mesuré (I - le courant de défaut mesuré par le capteur après le transformateur de courant) et des paramètres imposés pour chaque type de courbe α et β présentés dans le Tableau II .1

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

Tableau II .1 Courbes de déclenchements typiques des protections à temps dépendant [10]

Les protections ampérométriques à temps constant ou indépendant sont inadaptées pour un réseau avec le neutre compensé pour un défaut monophasé [Pre-98] Nous verrons dans le S424 quelles sont les protections qui les remplacent Si on ajoute une fonction d'évaluation du sens du courant de phase, ces protections deviennent directionnelles.

II. 3.3. Les protections 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 aculé dans la terre En régime de fonctionnement normal, le courant résiduel $I_{rsd} = I_1 + I_2 + I_3$ est quasi nul Lors d'un défaut, il donne une image du courant de défaut qui passe par la terre (dans les cas des réseaux sans neutre distribué). 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 indépendant comme les protections à maximum de courant de phase.

II. 3.4. La protection différentielle

Le principe de la protection différentielle consiste à comparer les courants aux deux extrémités de la zone surveillée (**Figure II. 5**) Les différences entre ces courants sont détectées et la protection signale la présence de défaut. Elle est intrinsèquement sélective en ne détectant que les défauts internes et pas les défauts externes. La protection différentielle est avantageuse parce qu'elle peut détecter des courants de court-circuit inférieurs au courant nominal et aussi parce que la temporisation peut être très faible : Elle peut protéger une zone de réseau (un ou plusieurs câbles), un jeu de barres ou un transformateur.

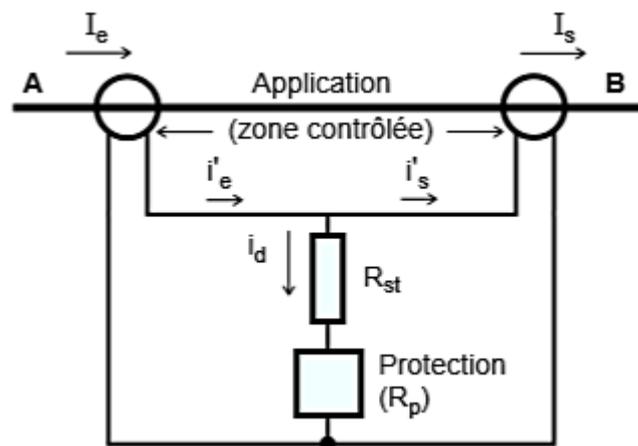


Figure II. 5. Le principe de fonctionnement de la protection différentielle

La stabilité de la protection différentielle est sa capacité à rester insensible s'il n'y a pas de défaut intime à la zone protégée, même si un courant différentiel est détecté (courant magnétisant de transformateur, courant capacitif de ligne, courant d'erreur dû à la saturation des capteurs de courant). Il y a plusieurs types des protections différentielles :

- À haute impédance
- À fil pilote de câbles
- Pour les transformateurs.

II. 3.5. La protection de distance

On utilise un relais capable de mesurer l'impédance d'une ligne instantanément en effet l'impédance d'une ligne électrique est proportionnelle à sa longueur. Le principe de base de la protection de distance implique la division de la tension au point de mesure par le courant mesuré. Par exemple l'impédance apparente ainsi calculée est comparée avec l'impédance de la ligne Z_L . Si l'impédance mesurée est inférieure à Z_L (soit de 0 à 100%) on suppose qu'il y a un défaut sur la ligne entre le relais et l'extrémité de la ligne ainsi protégée.

II. 4. Transformateur de courant

Les transformateurs de courant sont utilisés pour fournir l'information aux « relais » de protection et/ou de mesure du courant, de la puissance, de l'énergie. Pour cela ils doivent délivrer un courant secondaire proportionnel au courant primaire qui les traverse. Ils doivent donc être adaptés aux caractéristiques du réseau : tension, fréquence et courant. Ils sont définis par leur rapport de transformation, leur puissance et leur classe de précision. Leur classe de précision (précision en fonction de la charge du TC, et de la surintensité) est choisie en fonction de l'utilisation.

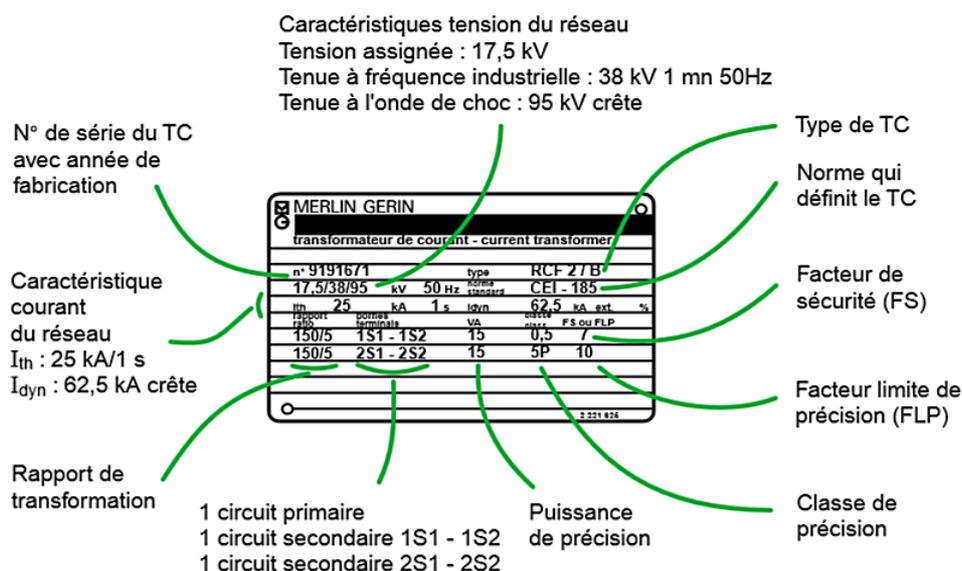


Figure II. 6. Exemple de plaque signalétique d'un transformateur de courant à deux secondaires

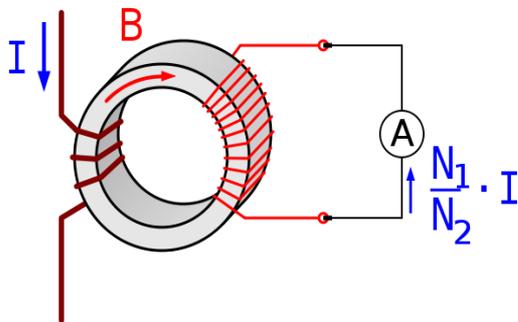


Schéma de principe d'un transformateur de courant avec plusieurs spires au primaire

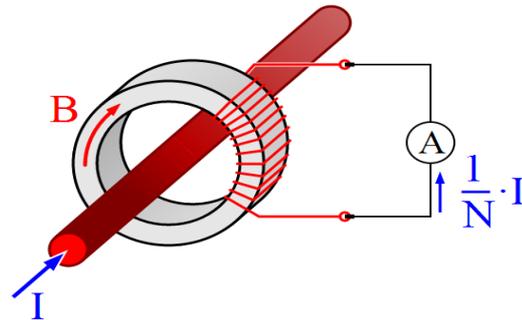


Schéma de principe d'un transformateur de courant avec une seule spire au primaire

Figure II.7. Schéma de principe d'un transformateur de courant

II. 4.1. Les Types :

- 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. 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.

- 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.

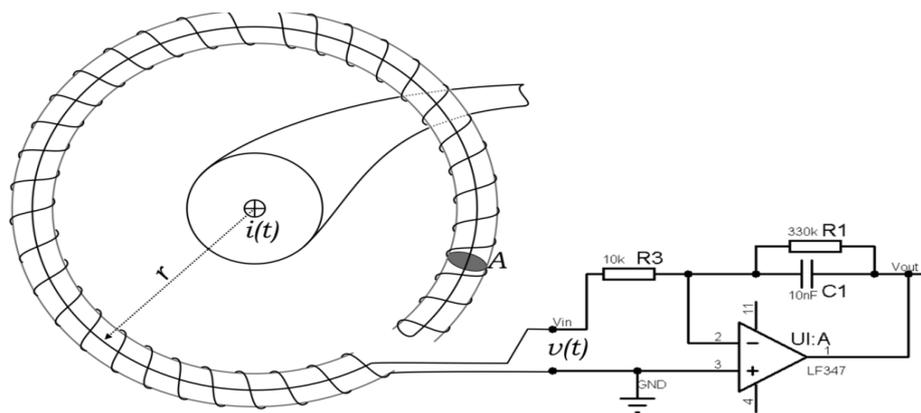
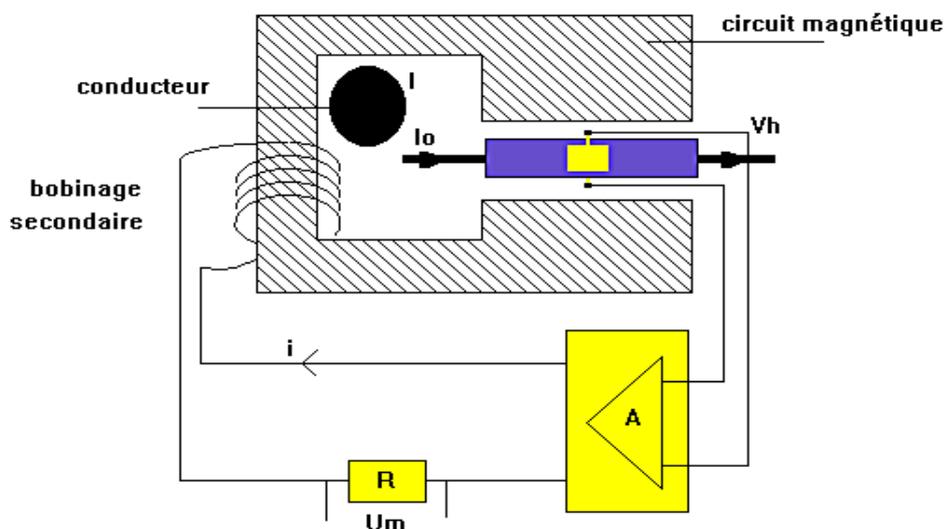


Figure II.8. Bobine de Rogowski avec circuit de mesure

- 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. 5. Les Relais [11]

Les relais sont des appareils qui contrôlent les conditions de fonctionnement d'un circuit et donnent des instructions d'ouverture de celui-ci dans des conditions d'actionnement.

Les paramètres de base d'un système électrique triphasé sont la tension, le courant, la fréquence et la puissance. Ils ont tous des valeurs et des séquences prédéterminées dans des conditions de fonctionnement normales. Tout décalage par rapport au comportement normal pourrait être le résultat d'une condition de défaillance, soit au niveau de la source, soit au niveau de la charge.

Figure II.9. Principe de l'effet Hall

II. 5.1. Différents types des relais

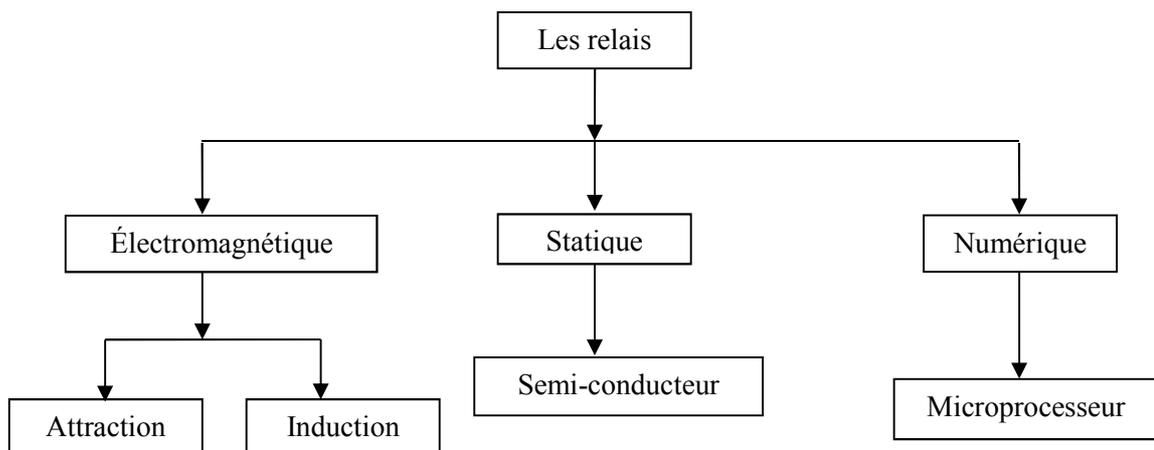


Figure II.10. Type des relais

II. 5.1.1. 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 :

- ◆ 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 affectés par les interférences électromagnétiques et le niveau des courants et des tensions ce qui affecte la sensibilité de ce type de relais.

II. 5.1.2. Relais électromécaniques

Un relais électromagnétique est un organe électrique permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande : Il permet l'ouverture/fermeture d'un circuit électrique par un second circuit complètement isolé (isolation galvanique) et pouvant avoir des propriétés différentes. Un relais peut être monostable ou bistable :

Fonctionnement monostable : les contacts commutent quand la bobine est alimentée et le retour à l'état initial se fait quand la bobine n'est plus alimentée.

Fonctionnement bistable à une bobine : on alimente la bobine pour que les contacts commutent : l'état ne change pas quand la bobine n'est plus alimentée, un système mécanique bloque le retour. Pour revenir à l'état initial, on alimente à nouveau la bobine pour débloquer le mécanisme, dans certains cas en inversant la polarité de l'alimentation.

Fonctionnement bistable à deux bobines : on alimente la première bobine pour que les contacts commutent : l'état ne change pas quand la bobine n'est plus excitée. Pour revenir à l'état initial, on alimente la deuxième bobine.

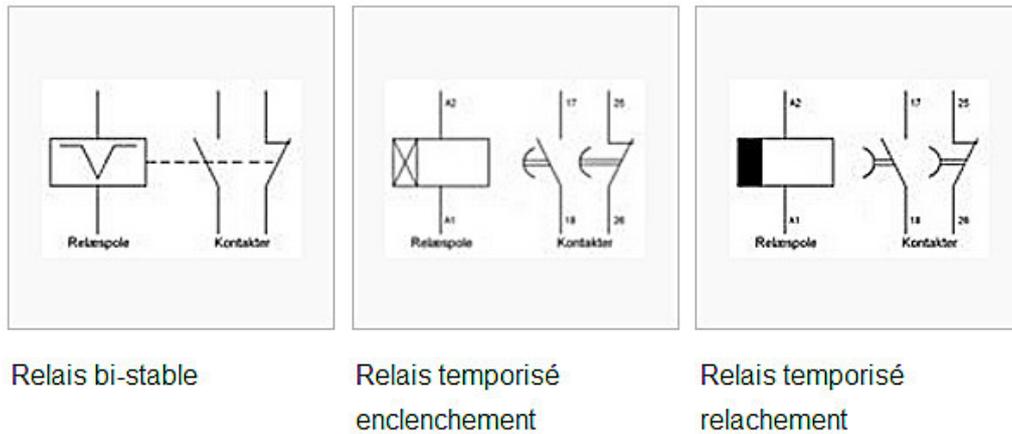


Figure II.11. Quelques symboles de relais spéciaux

II. 5.1.3. Relais de protection

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

II. 5.1.4. Relais numériques

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.

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 [12].

II. 5.1.5. Relais de mesure

Un équipement de protection est généralement composé de plusieurs fonctions élémentaires de mesure, souvent appelées relais de mesure. Ces relais doivent effectuer une mesure 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.

II. 5.1.6. Relais directionnel

La généralisation de l'ensemble des protections intégrées et numériques rend l'utilisation des protections directionnelles simple et peu coûteuse. Ce type de protection apparaît donc aujourd'hui comme une excellente opportunité pour améliorer à la fois la puissance transitée sur un réseau et la qualité de service.

Le concept direction est très important dans plusieurs applications des relais de protection. Ce type de protection fonctionne à partir du courant, de la tension et du sens de l'écoulement de l'énergie. Elle agit lorsque simultanément le courant ou la puissance dépasse un seuil et que l'énergie se propage dans une direction anormale. Dans le cas d'une protection directionnelle de courant, l'élément défectueux est parcouru par un courant de défaut avec un changement de sens.

II. 5.1.7. Relais différentiel

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

II. 6. Disjoncteur

Un disjoncteur est destiné à établir, supporter et interrompre des courants, sous sa tension assignée (tension maximale du réseau), dans les conditions normales et anormales du réseau. 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 .

Sa fonction principale est d'interrompre le flux de courant détecté lors d'un défaut. Le principe de base de tous les disjoncteurs est d'essayer de détecter le passage du courant par la valeur zéro et d'interrompre le flux de courant à ce moment là (où le niveau d'énergie à interrompre est à son minimum). C'est l'appareil de protection capable d'une totale capacité d'intervention sans provoquer de surtension excessive sur le réseau .

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 dans la BT prennent 20 à 50 cycles pour ouvrir. Dans le cas des lignes électriques, beaucoup de défauts sont temporaires. Pour distinguer entre un défaut permanent et un défaut temporaire le concept d'auto-enclenchement est utilisé. Quand le disjoncteur déclenche il reste ouvert un certain temps ensuite il ferme automatiquement. Cette action permet au relais de vérifier si le défaut continu d'exister, et dans ce cas de déclencher de nouveau. Si le défaut a disparu, le relais ne fonctionne pas et la ligne va rester en service.[12]

Le disjoncteur permet d'établir ou d'interrompre le courant, par rapprochement et séparation des contacts jusqu'aux valeurs les plus élevées des courants de défaut. Le disjoncteur HT est caractérisé essentiellement par la technique utilisée pour la coupure .

Les types de disjoncteurs les plus répandus sont.[13]

- les disjoncteurs à l'huile.
- les disjoncteurs à air comprimé.
- les disjoncteurs au gaz SF6.
- les disjoncteurs à vide.

II. 6.1 Qualités principales d'un système de protection

II. 6.1.1. Rapidité

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

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

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

II. 6.1.2. Sélectivité des protections

Les protections constituent entre elles un ensemble cohérent dépendant de la structure du réseau et de son régime de neutre. Elles doivent donc être envisagées sous l'angle d'un système reposant sur le principe de sélectivité.

La sélectivité consiste à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affectée et uniquement cette partie, en laissant sous tension toutes les parties saines du réseau. Différents modes de sélectivité peuvent être mis en œuvre:

- La sélectivité ampérométrique par les courants.
- La sélectivité chronométrique par le temps.

- Sélectivité logique par échange d'informations.

La sélectivité a pour but d'assurer d'une part la continuité de service d'alimentation en énergie électrique et d'autre la fonction secours entre les protections [13]

II. 6.1.3. Sensibilité

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

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

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

II.7. Le Système de Sélectivité [14]

Un défaut se produisant en un point quelconque d'un réseau de distribution ne doit, en aucune façon, priver de courant électrique l'ensemble de l'installation. Il résulte de cette évidence, la nécessité d'isoler rapidement la partie en défaut sans priver d'énergie les autres utilisateurs ; c'est le principe même de la sélectivité des déclenchements. L'élément de protection (disjoncteur ou fusibles) qui est placé immédiatement en amont de la partie de circuit où se produit le défaut doit, et lui seul, fonctionner, les autres protections ne devant pas déclencher. Les procédés classiques de sélectivité (ampérométrique et chronométrique) permettent de répondre à cette exigence plus ou moins parfaitement. Le Système de Sélectivité Logique (brevet Merlin Gerin), permet d'obtenir une sélectivité totale entre tous les étages d'un réseau de distribution électrique, industrielle ou tertiaire, ceci, de la haute tension à la basse tension. Par ailleurs il permet l'élimination du défaut en un temps très réduit et indépendant de l'endroit où s'est produit l'incident.

II.7.1. La sélectivité ampérométrique

Elle met en œuvre des appareillages de protection instantanés (disjoncteurs rapides ou fusibles). Elle est basée sur le fait que l'intensité de court-circuit est d'autant plus élevée que le défaut est proche de la source, d'où par principe $I_{rD2} > I_{rD1}$. En conséquence, elle est surtout utilisée en basse tension où les impédances de liaison ne sont pas négligeables. Sur le schéma de la figure 1, en désignant par I_r les valeurs de réglage du déclenchement instantané et par I_{ccA} la valeur maximale du courant de court-circuit pouvant s'établir au point A et sachant qu'il n'y a déclenchement que lorsque $I_{défaut} > I_r$

- ✓ si $I_{rD2} > I_{ccA} > I_{rD1}$, la sélectivité est totale ,
- ✓ si $I_{ccA} > I_{rD2}$, il n'y a pas sélectivité ampérométrique totale, la sélectivité est dite partielle car le fonctionnement ne sera sélectif que si $I_{défaut} < I_{rD2}$;

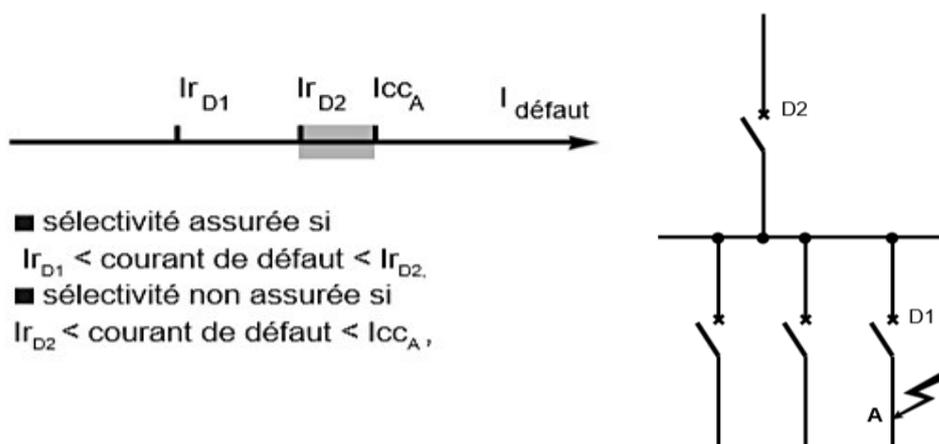


Figure II.12. Exemple de sélectivité ampérométrique partielle

II.7.2. La sélectivité chronométrique

Elle consiste à retarder le fonctionnement de la protection amont pour que la protection aval ait le temps d'isoler le départ en défaut. L'écart de temporisation entre deux protections successives correspond au temps de coupure du disjoncteur aval augmenté du temps de désexcitation de la protection amont, (cf. fig. 2). Aussi, la sélectivité totale ne peut-elle être obtenue qu'en retardant les protections par des temporisations d'autant plus longues que les appareils sont situés plus près de la source d'énergie. Dans l'exemple de la figure 3 les

disjoncteurs D1 ne sont pas retardés. Les disjoncteurs D2 sont retardés de 0,3 s, D3 de 0,6 s, et les disjoncteurs D4 de 0,9 s. Une conséquence néfaste de ces retards échelonnés est le retard très important apporté à l'ouverture du circuit pour un défaut situé en amont de l'installation, dans l'exemple précédent : 0,9 s au niveau A. Au niveau de la source ce retard devient excessif et a plusieurs inconvénients :

- Il est souvent incompatible avec les impératifs du distributeur d'énergie qui demande une temporisation plus courte au niveau du disjoncteur de livraison.
- Il impose un surdimensionnement thermique des câbles et des tableaux.
- Il accroît considérablement les destructions dues à l'arc du défaut.

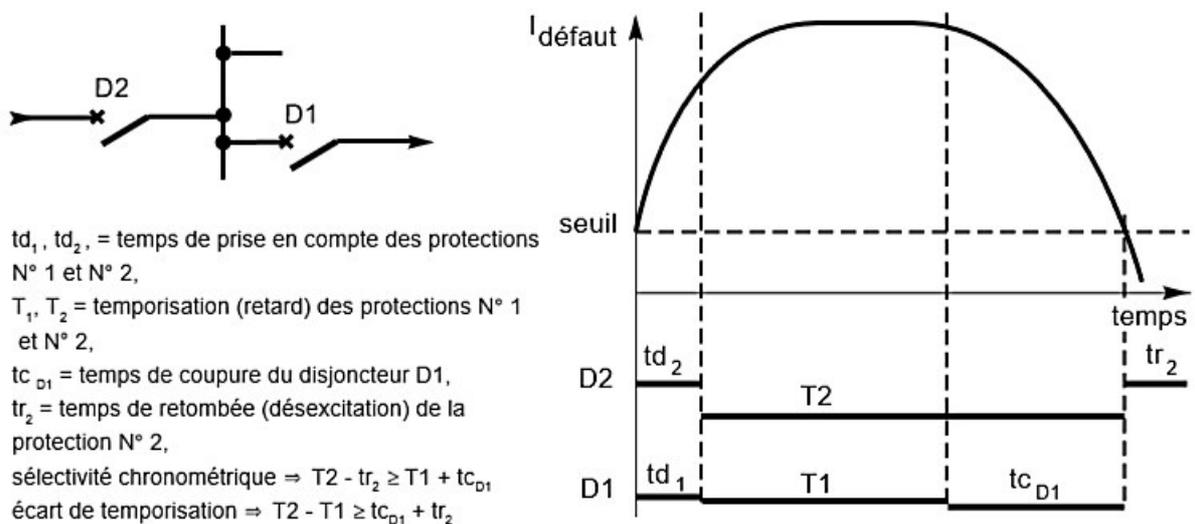


Figure II.13. principe de la sélectivité chronométrique.

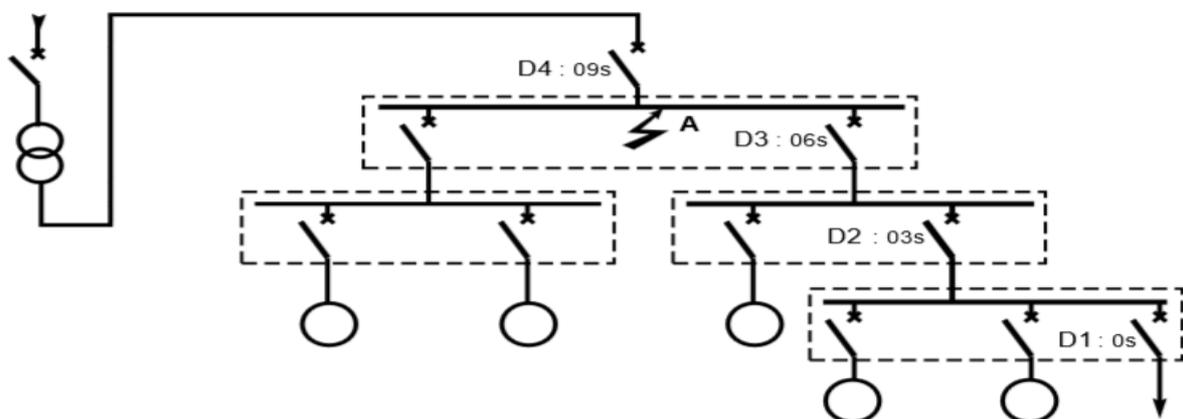


Figure II.14. distribution en antenne avec utilisation de la sélectivité chronométrique

II.7.3. La sélectivité logique

Les sélectivités ampérométriques et chronométriques ont, comme nous venons de le voir, leurs faiblesses. Les électriciens ont appris à s'en accommoder... souvent au détriment de la sélectivité elle-même. Le Système de Sélectivité Logique a été développé dans le but de remédier à ces inconvénients ; il permet d'obtenir une sélectivité au déclenchement parfaite, et par ailleurs, de réduire considérablement le retard au déclenchement des disjoncteurs situés les plus près de la source.

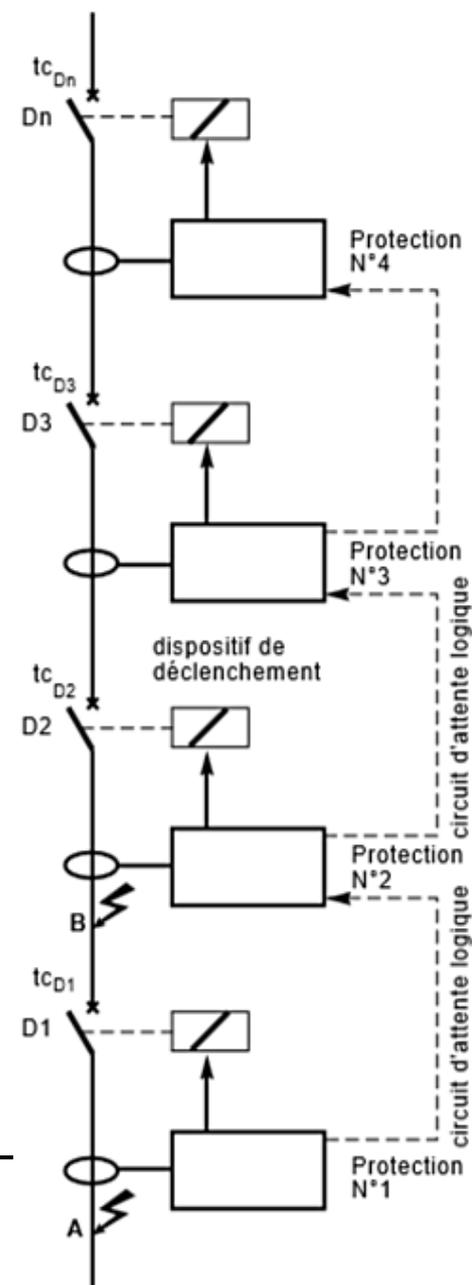
II.7.3.1. Principe du Système de Sélectivité Logique

Lorsqu'un défaut se produit dans un réseau en antenne, le courant de défaut parcourt le circuit situé entre la source et le point de défaut :

- Les protections en amont du défaut sont sollicitées.
- Les protections en aval du défaut ne sont pas sollicitées.
- seule la première protection en amont du défaut doit agir. A chaque disjoncteur est associée une protection apte à émettre et recevoir un ordre d'attente logique. Lorsqu'une protection est sollicitée par un courant de défaut :
- Elle émet un ordre d'attente logique.
- Elle provoque le déclenchement du disjoncteur associé. La figure 4 décrit de façon simplifiée une distribution en antenne (un seul disjoncteur est représenté par tableau).

II.7.3.2. Fonctionnement lorsqu'un défaut apparaît au point A de la figure II.13

- les protections N°1, N°2, N°3...N°n sont sollicitées



- la protection N°1 émet un ordre d'attente logique vers l'amont et un ordre de déclenchement au disjoncteur D1

- Les protections N°2, N°3...N°n émettent un ordre d'attente logique de l'aval vers l'amont, et reçoivent un ordre d'attente logique qui les empêchent de donner l'ordre de déclenchement aux disjoncteurs D2, D3... Dn associés (le raisonnement s'interrompt lorsque la protection N°n a un réglage tel que le courant de

Remarque : La fonction "attente logique" correspond à une augmentation de la temporisation propre à la protection amont. Par souci de sécurité, la durée de l'attente logique est limitée, ce qui permet à la protection amont de fonctionner en secours de la protection aval défaillante. Le Système de Sélectivité Logique s'applique aux protections :

- De technologie statique analogique de la gamme Vigirack,
- De technologie numérique à microprocesseur, Sepam.

défaut n'atteint pas son seuil de fonctionnement I_r) Le disjoncteur D1 élimine le défaut A au bout du temps : $TD1 = T11 + t1$, avec : $T11$: temporisation (retard) de la protection N°1, $tcD1$ = temps de coupure du disjoncteur D1.

II.7.3.3. Fonctionnement lorsqu'un défaut apparaît au point B de la figure II.13

Figure II.15. distribution en antenne avec utilisation de la sélectivité logique

- La protection N°1 n'est pas sollicitée.
- Les protections N°2, N°3...N°n sont sollicitées et émettent un ordre d'attente logique vers l'amont.
- seule la protection N°2 ne reçoit pas d'ordre d'attente logique et émet un ordre de déclenchement. Le disjoncteur D2 élimine le défaut B au bout du temps $TD2 = T_2^1 + t2$ avec : T_2^1 : temporisation de la protection N°2, $tcD2$: temps de coupure du disjoncteur D2.

Le même raisonnement peut être appliqué à l'un quelconque des disjoncteurs constituant le réseau de distribution. Les temporisations $T11, T12, T1n$ des protections N°1, N°2...N°n n'interviennent pas dans la sélectivité et ne sont prévues que pour la fonction de protection : les réglages peuvent être aussi courts que le permettent la protection et les transitoires de mise sous tension (moteurs, transformateurs). Avec le Système de Sélectivité Logique le temps d'élimination des défauts peut être très réduit et est indépendant du nombre d'étages.

Ainsi, il est possible d'obtenir la sélectivité entre une protection instantanée amont et une protection temporisée aval, par exemple de prévoir une temporisation plus réduite à la source que près des récepteurs

Remarque : La fonction "attente logique" correspond à une augmentation de la temporisation propre à la protection amont. Par souci de sécurité, la durée de l'attente logique est limitée, ce qui permet à la protection amont de fonctionner en secours de la protection aval défaillante. Le Système de Sélectivité Logique s'applique aux protections :

- de technologie statique analogique de la gamme Vigirack,
- de technologie numérique à microprocesseur, Sepam

II.7.3.4. Avantages de la sélectivité logique

Outre la sélectivité de la protection, qui est la fonction première du système, la rapidité des déclenchements obtenue permet de réduire les exigences sur la tenue au court-circuit des canalisations, de l'appareillage, des transformateurs de courant, etc... dans des proportions économiquement appréciables. Ce procédé est très sûr :

Il consiste, comme nous l'avons vu, en la possibilité qu'à le relais aval d'augmenter intelligemment la temporisation propre du disjoncteur amont. Une défaillance ne peut, en aucun cas, affecter l'ensemble des protections. Il utilise bien sûr la sélectivité ampérométrique et présente l'immense avantage de permettre d'obtenir des temps de déclenchement non cumulatifs. Il permet de résoudre le problème de la sélectivité au déclenchement sur l'ensemble du réseau, des principaux départs basse tension jusqu'à la haute tension.

D'une mise en œuvre peu complexe, la sélectivité logique s'adapte sans difficulté aussi bien aux installations en études qu'aux installations existantes. En effet elle autorise des extensions sans modifications des réglages, et ne nécessite qu'une simple liaison par fil pilote entre tableaux aval et tableau amont pour transmettre les informations logiques. De plus, le système étant indépendant du nombre d'étages protégés, la conception des réseaux se fait en fonction des besoins réels de l'utilisateur et non en fonction des exigences du distributeur.

II.7.3.5. Inconvénients de la sélectivité logique

Ce dispositif nécessite la transmission des signaux logiques entre les différents étages de protection, donc l'installation de filerie supplémentaire ; cette contrainte est forte lorsque les protections sont éloignées, par exemple dans le cas de liaisons longues (plusieurs centaines de mètres).

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rapporté les modes de sélectivité les plus utilisées dans les installations électriques à savoir la sélectivité ampérométrique, la sélectivité chronométrique et la sélectivité logique, on a insisté sur la sélectivité logique qui constitue le sujet de ce travail. Ce dernier possède l'avantage que doit répondre un système de protection : rapidité à isoler un défaut en assurant la continuité de service pour les parties saines. La simulation par Simulink de Matlab de la sélectivité logique consiste le sujet du chapitre suivant.

III.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la simulation des différents types de sélectivité : la sélectivité ampérométrique, la sélectivité chronométrique et la sélectivité logique. Pour donner un aperçu sur les avantages et inconvénients de chaque sélectivité nous avons étudié un exemple de réseau électrique à deux niveaux de protection. Pour justifier le choix de cette sélectivité, un deuxième exemple à trois niveaux de protections a été traité. L'environnement de simulation étant le programme Simulink de Matlab.

III.2. Simulation d'un relai à max de courant

La figure III.1 représente le schéma Simulink d'un relai à max de courant.

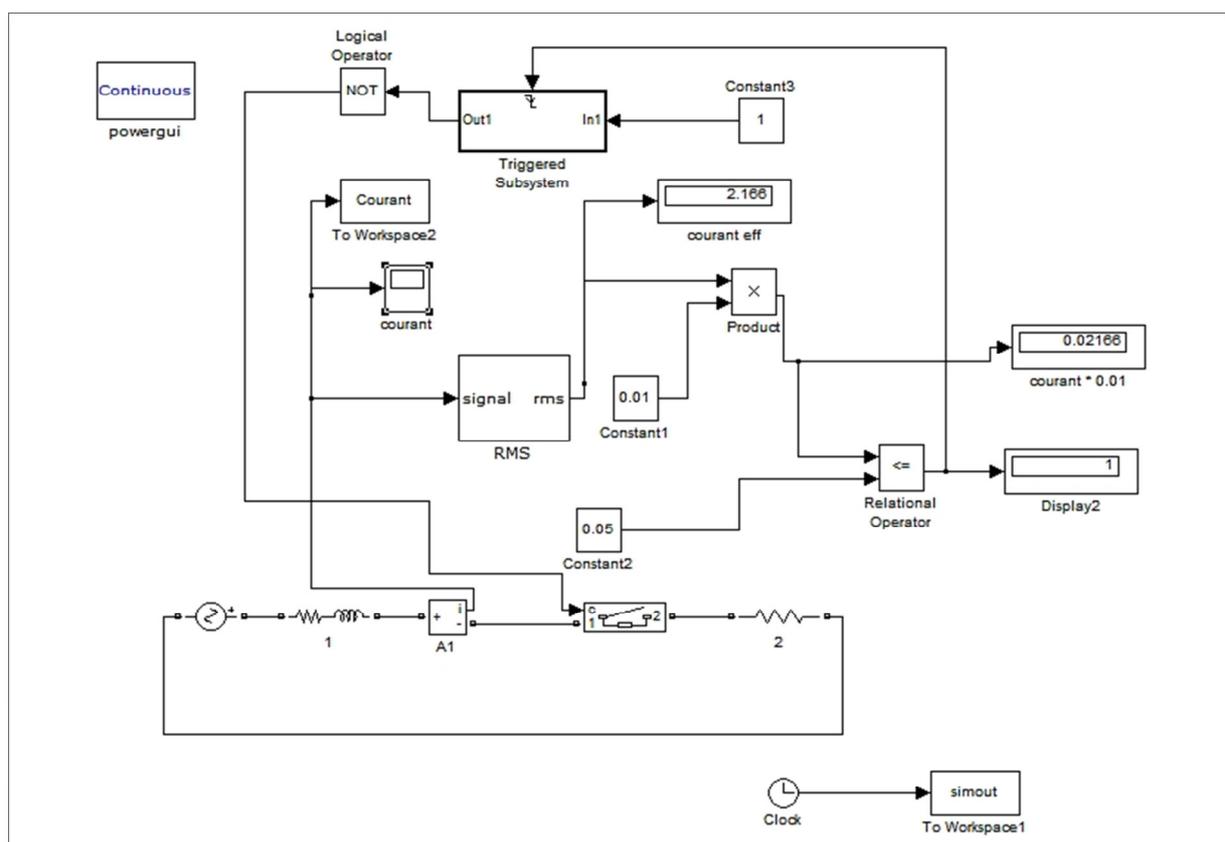


Figure .III.1. Simulation d'un relai à max de courant

III.3. Simulation d'un système de protection à sélectivité ampérométrique

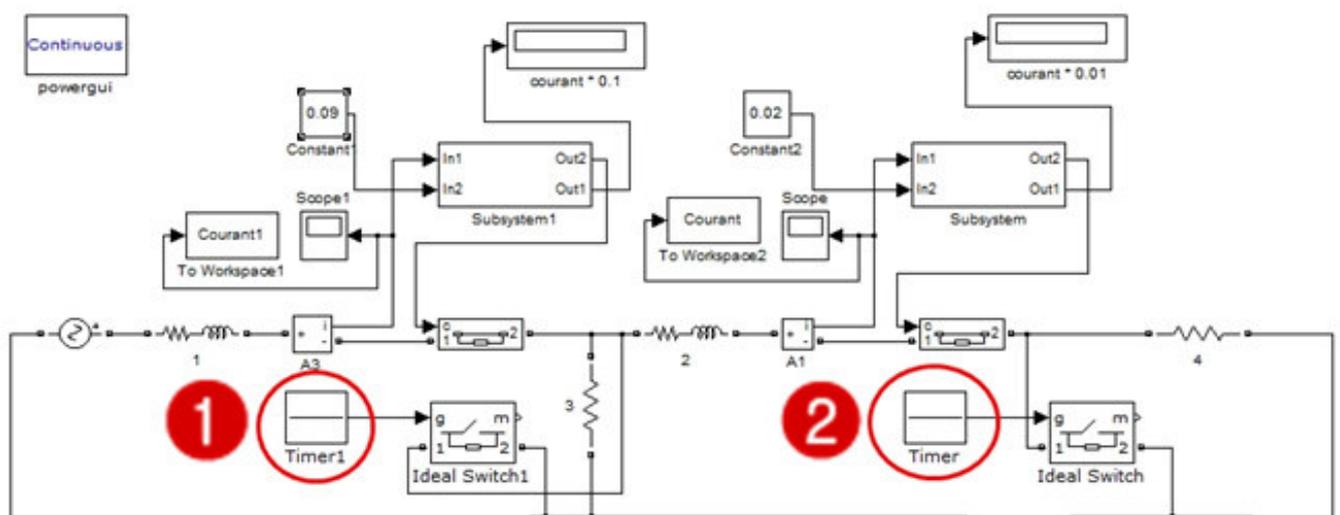
Soit un réseau électrique monophasé à deux niveaux de protections, avec :

Source : $E = 220 \text{ v}$, $F = 50 \text{ Hz}$,

Charges : deux charges résistives identiques de 100Ω

TC : un TC de rapport $1 / 10$

Seuils de réglage (de déclenchement) : $I_{s1} = 9 \text{ A}$ (première protection), $I_{s2} = 2 \text{ A}$ (deuxième protection).

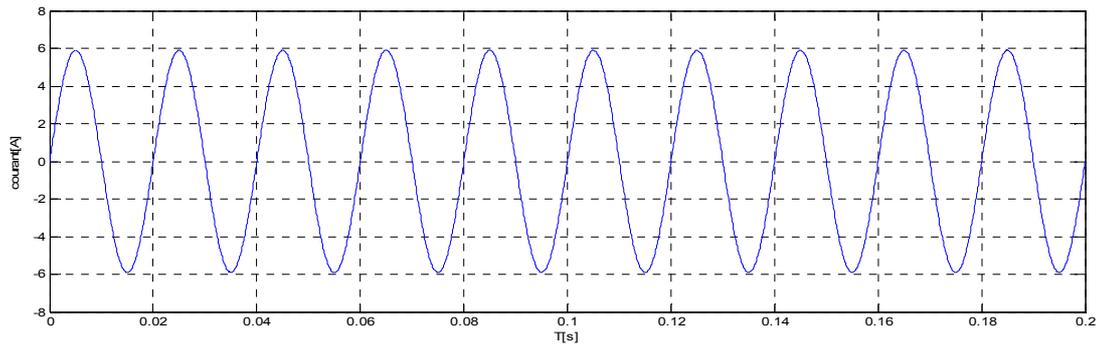


Cas normale : Avant les défauts

Figure .III.2. Schéma de simulation de la sélectivité ampérométrique pour un réseau à deux niveaux de protection.

- **Les résultats de la simulation :**

La figure III.2.A. représente le courant au niveau de la première protection.



$I_{max} = 6 \text{ A}$ $I_{eff} = 4.24 \text{ A}$ **Figure III.2.A.** Courant de première protection

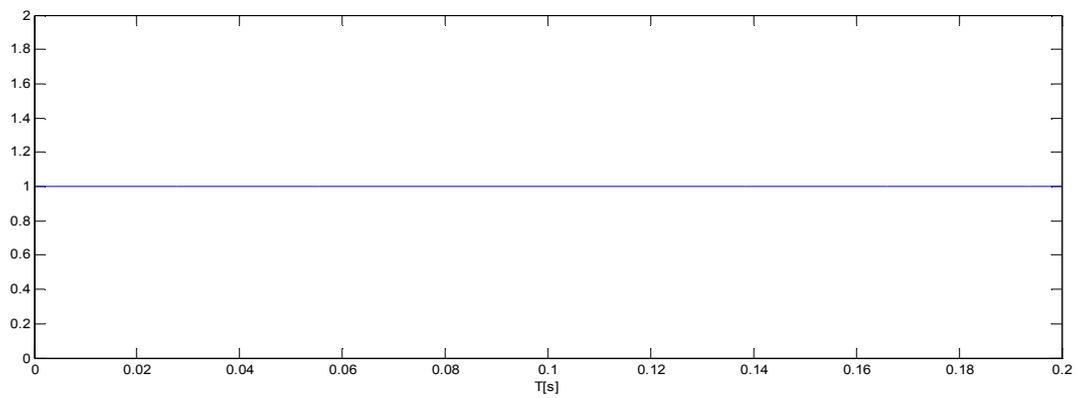


Figure III.2.B. Commande de première protection

La figure III.2.C. représente le courant au niveau de la deuxième protection

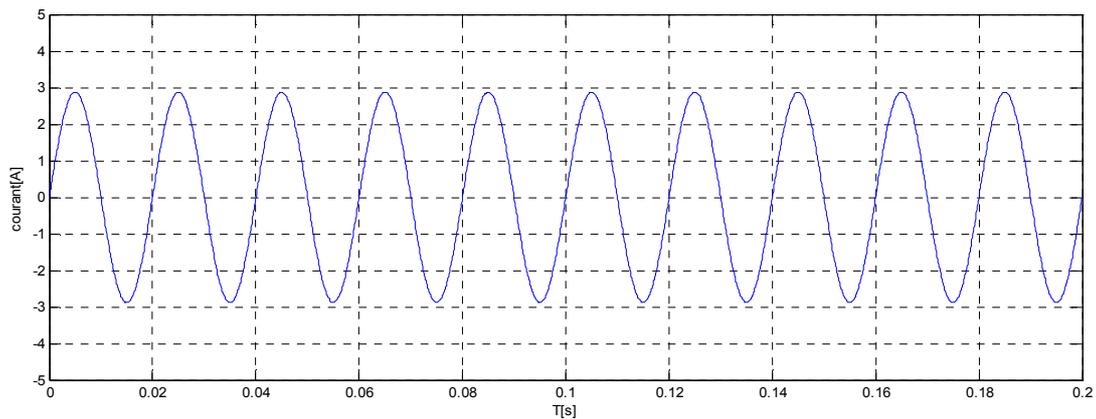
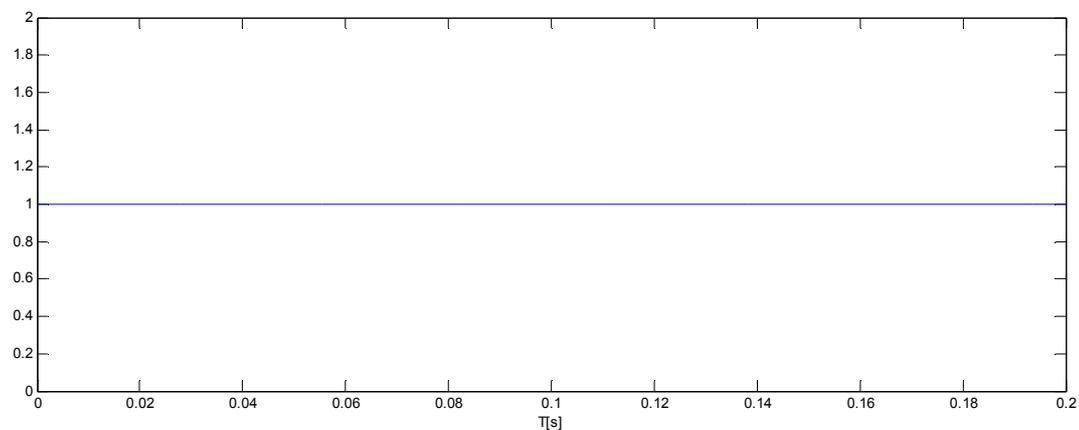


Figure.III.2.C. Courant de deuxième protection



$$I_{\max} = 3 \text{ A} \quad I_{\text{eff}} = 2.12 \text{ A}$$

D'après les résultats obtenus on remarque le fonctionnement normal des deux protections (sans coupure).

III.3.1. Premier défaut au niveau de la deuxième protection

Soit un réseau électrique monophasé à deux niveaux de protections, avec :

$T_{\text{cc}} = 0.05\text{s}$ (instant de court-circuit)

Source : $E = 220 \text{ v}$, $F = 50 \text{ Hz}$,

Charges : deux charges résistives identiques de 100Ω

TC : un TC de rapport $1/10$

Figure.III.3.A. La commande de deuxième protection

Seuils de réglage (de déclenchement) : $I_{s1} = 9A$ (première protection), $I_{s2} = 2A$ (deuxième protection).

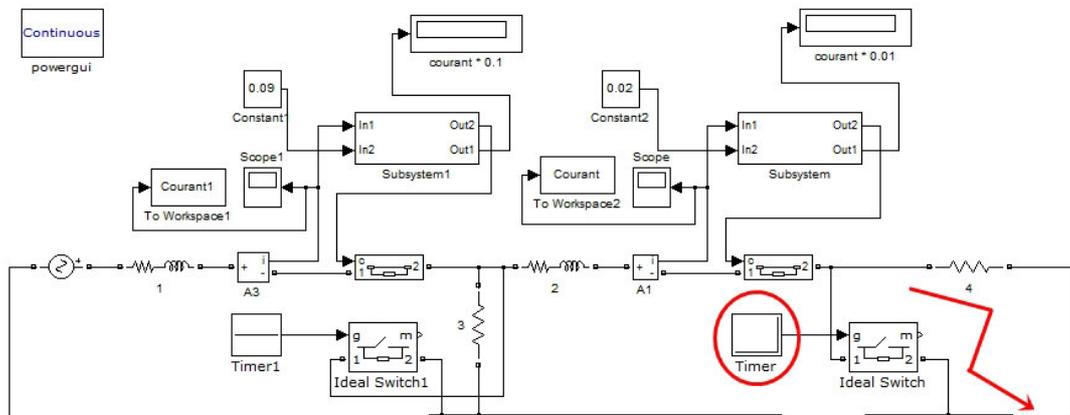


Figure.III.3. Le premier défaut au niveau de la deuxième protection

Résultats de la simulation :

La figure III.3.A. représente le courant au niveau de la première protection

- a- le courant avant le défaut = 4.24 A
- b- courant de court-circuit = 35.355 A
- c- le courant après le défaut = 2.121 A

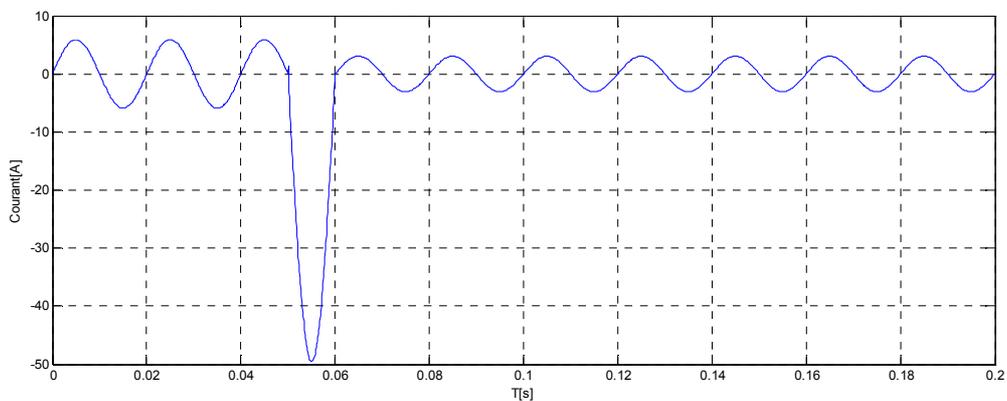
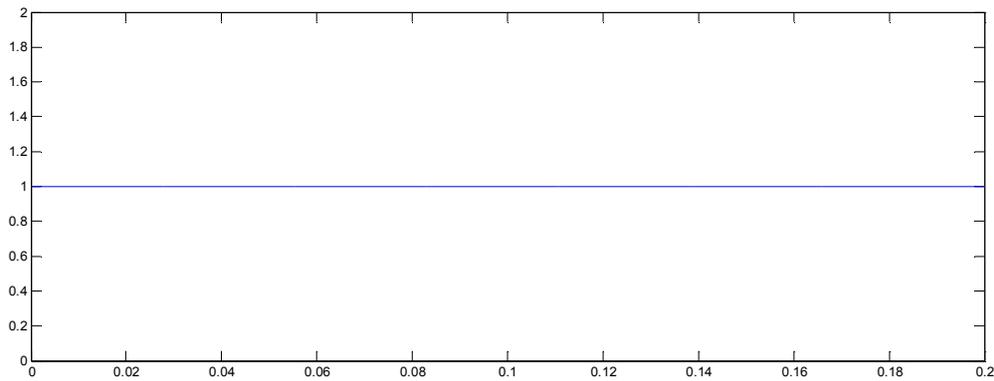


Figure.III.3.A. Courant de première protection



La Figure.III.3.B. représente la commande de l'élément de coupure de la première protection

Figure.III.3.B. Commande de l'élément de coupure de la première protection

La figure III.3.D. représente le courant au niveau de la deuxième protection

- a- le courant avant le défaut = 2.121 A
- b- courant de court-circuit = 33.23 A

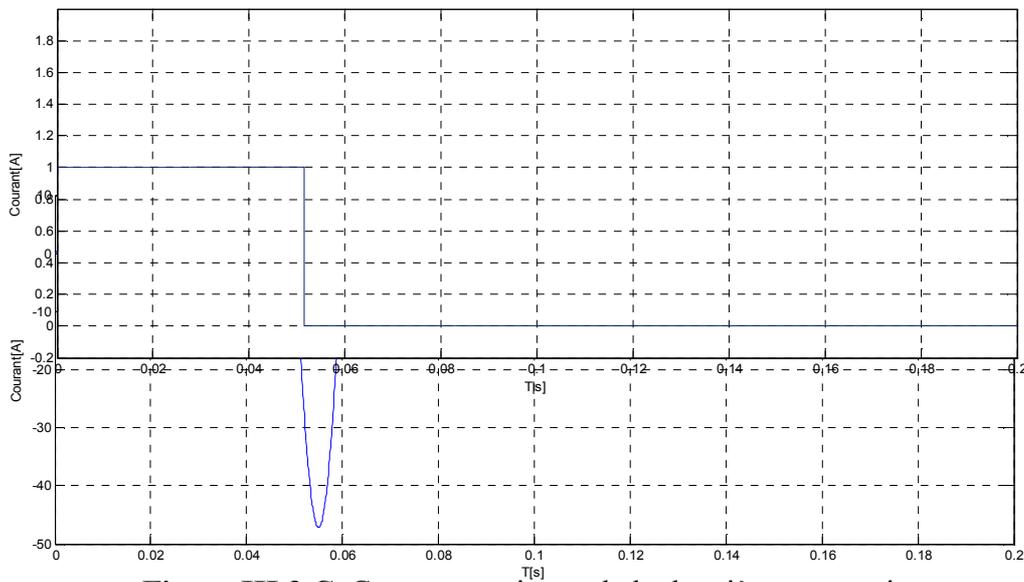


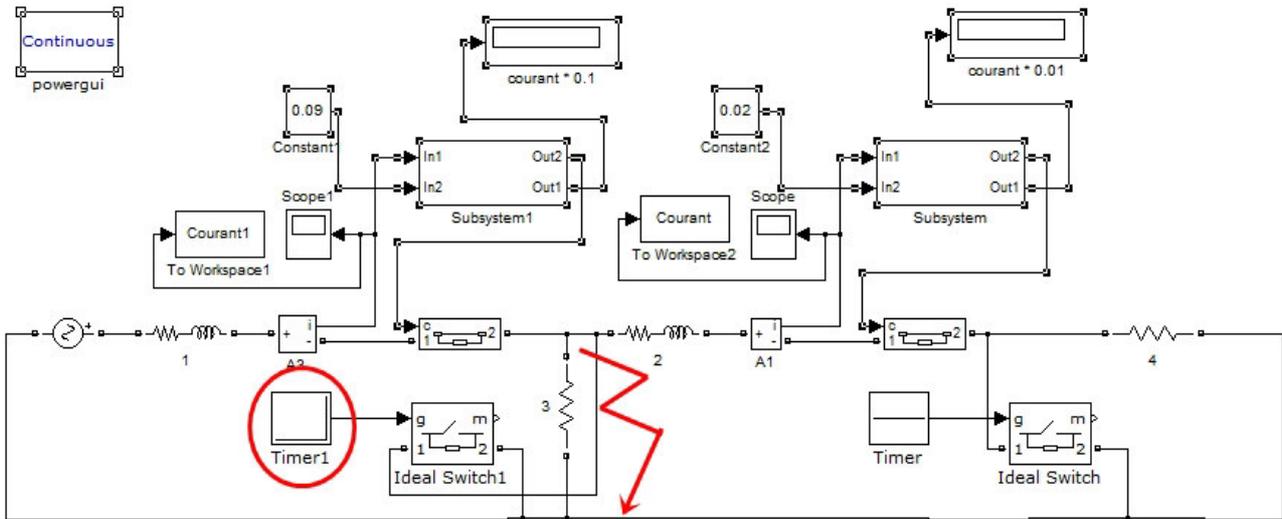
Figure.III.3.C. Courant au niveau de la deuxième protection

- c- le courant après le défaut = 0 A

Figure.III.3.D. Commande de l'élément de coupure de la deuxième protection

D'après les résultats de simulation on remarque le déclenchement de la deuxième protection pour isoler le défaut (la sélectivité est bien vérifiée).

III.3.2. Deuxième Défaut au niveau de la première protection



La Figure **Figure.III.4.** Deuxième défaut au niveau de première protection

Résultats de la simulation : La figure III.4.A. représente le courant au niveau de la premier protection

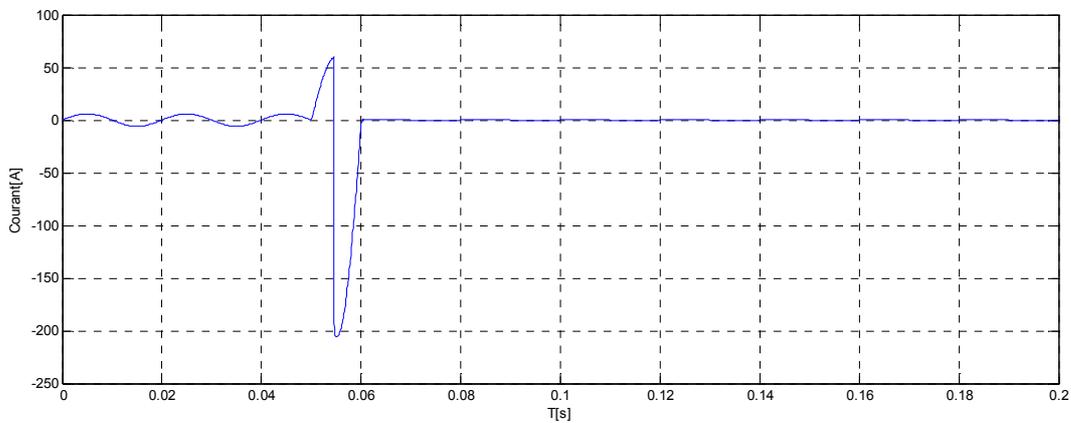


Figure.III.4.A. Courant de première protection

Figure.III.4.B. Commande d'élément de coupure de première protection

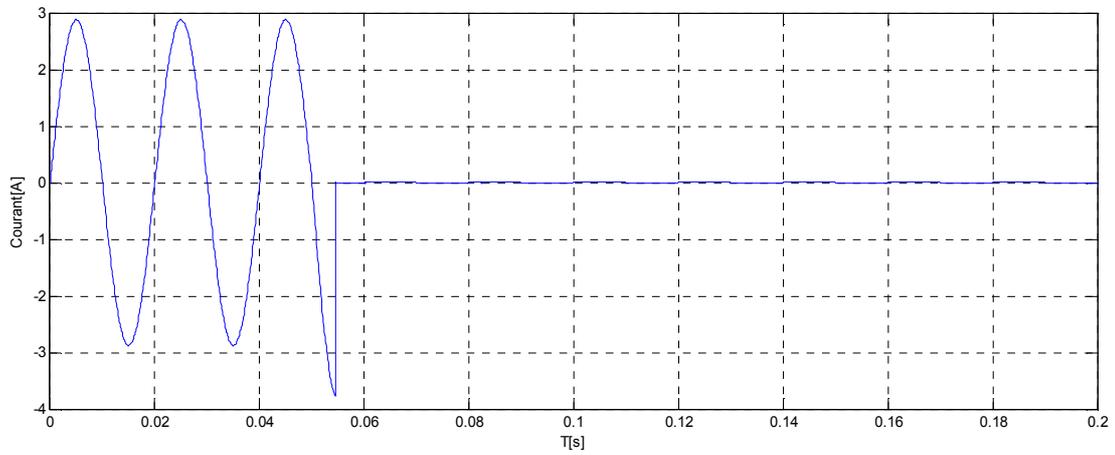
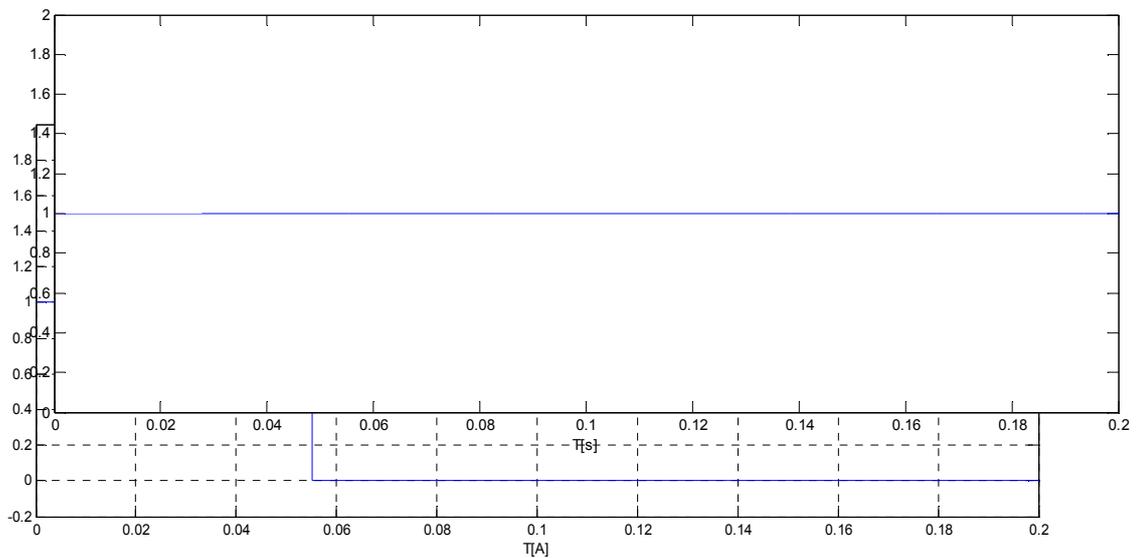


Figure.III.4.C. Courant au niveau de deuxième protection

Figure.III.4.D. Commande d'élément de coupure de deuxième protection

D'après les résultats de simulation on remarque La déclanchement de premier système de protection, pas de continuité de service pour les deux charges



III.4. Simulation d'une protection à sélectivité chronométrique

La Sélectivité chronométrique consiste à donner des temporisations différentes aux protections à maximum de courant échelonnées le long du réseau. Ces temporisations sont d'autant plus longues que le relais est plus proche de la source

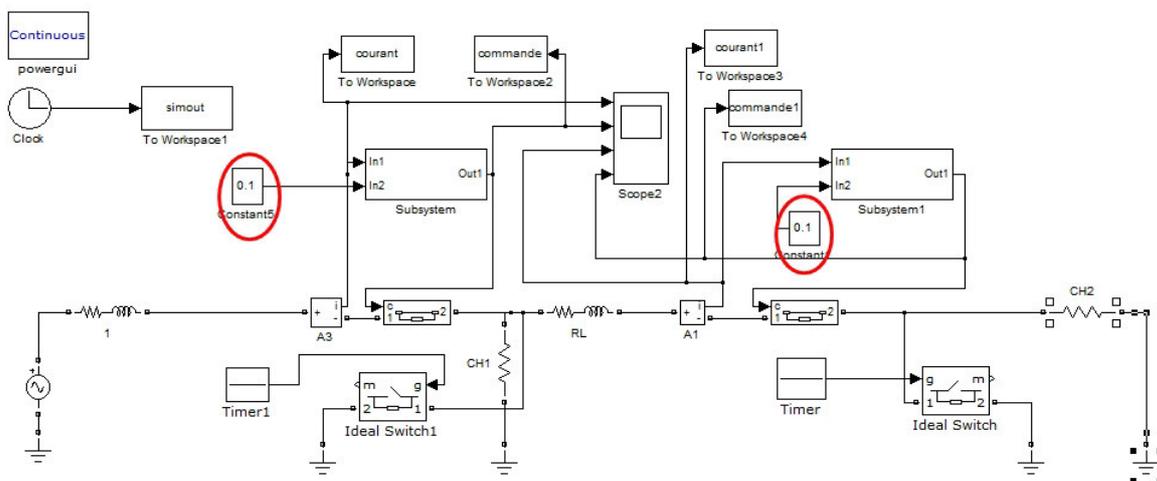


Figure.III.5. Simulation de la sélectivité chronométrique pour un réseau à deux niveaux.

Source : $E = 220 \text{ v}$, $F = 50 \text{ Hz}$,

Charges : deux charges résistives identiques de 100Ω

TC : un TC de rapport $1 / 10$

Le courant de seuil pour les deux protections c'est le même = 10 A

- Résultats de la simulation (sans défaut) :

La figure III.5.A. représente le courant de premier système de protection

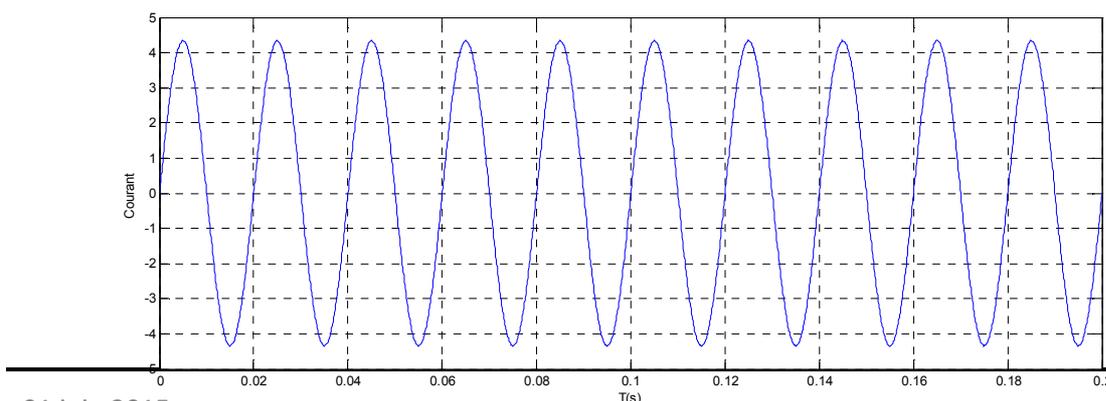
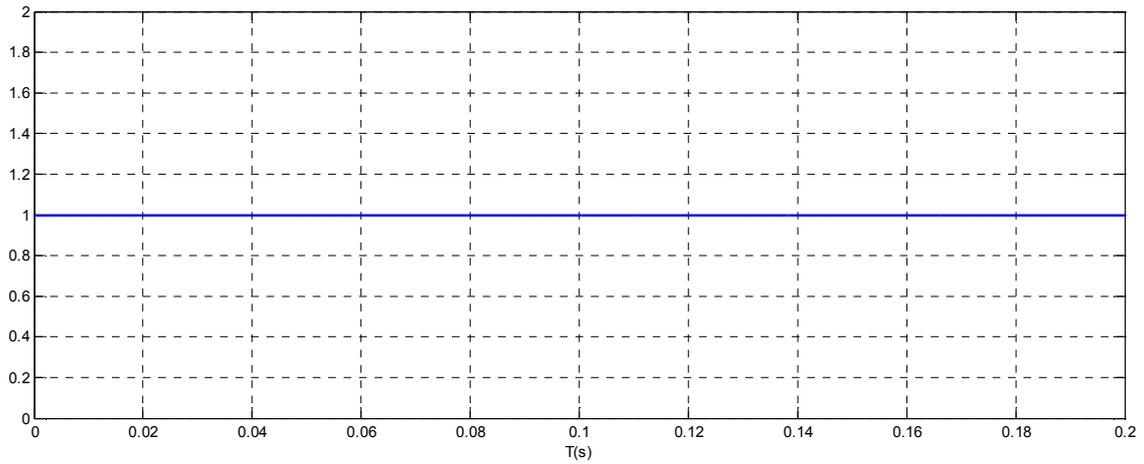
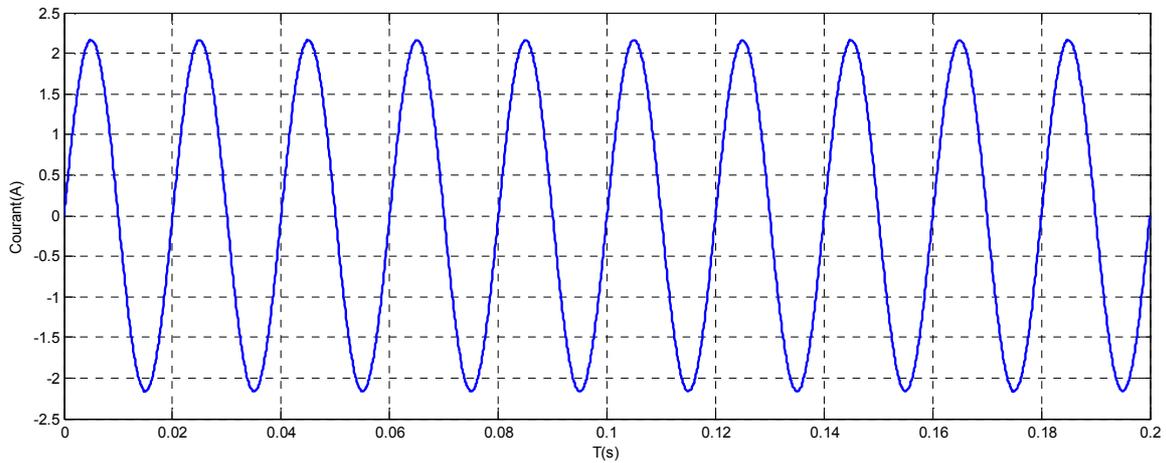
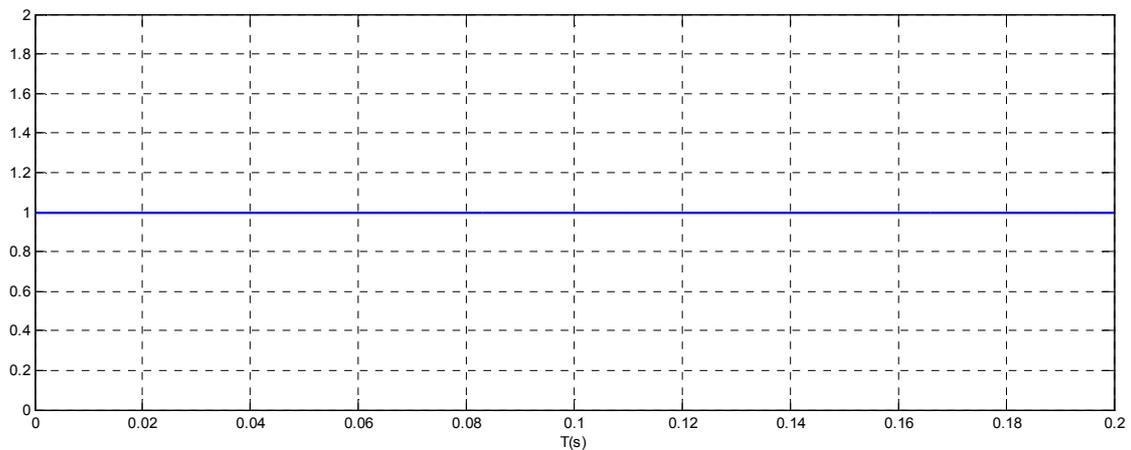


Figure.III.5.A. Courant de première protection**Figure.III.5.B.** Commande d'élément de coupure de première protection**Figure.III.5.C.** Courant au niveau de deuxième protection**Figure.III.5.D.** Commande d'élément de coupure de deuxième protection

III.4.1 Premier défaut au niveau de deuxième protection

La figure III.4.A. Représente le schéma de premier défaut au niveau de deuxième protection

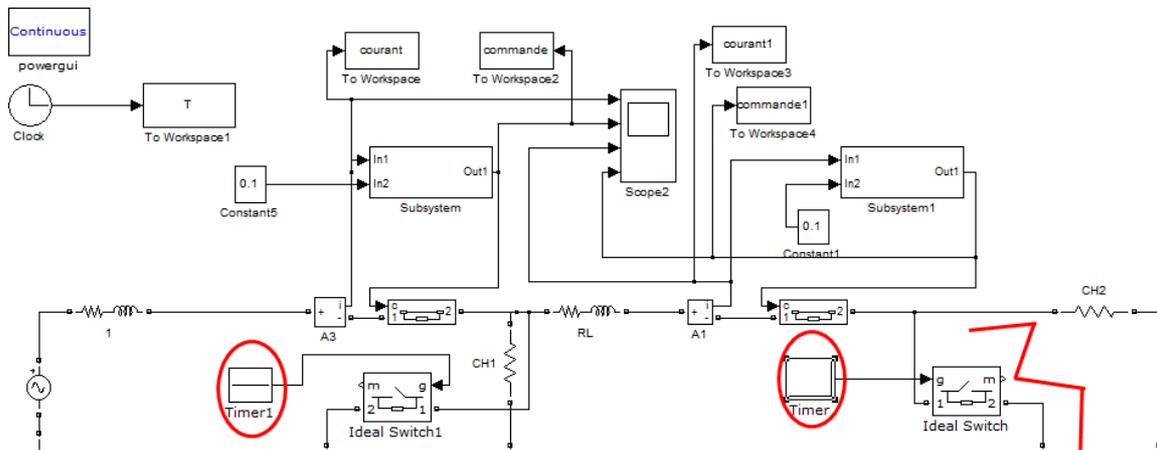


Figure.III.6.Schéma de premier défaut au niveau de deuxième protection

$T_{cc}=0.05\text{ s}$ $I_{cc}=122.96\text{ A}$

$\Delta T(1)=0.02\text{ s}$ $\Delta T(2)=0.06\text{ s}$

La figure III.6.A. représente le courant de première système de protection avec défaut(1) :

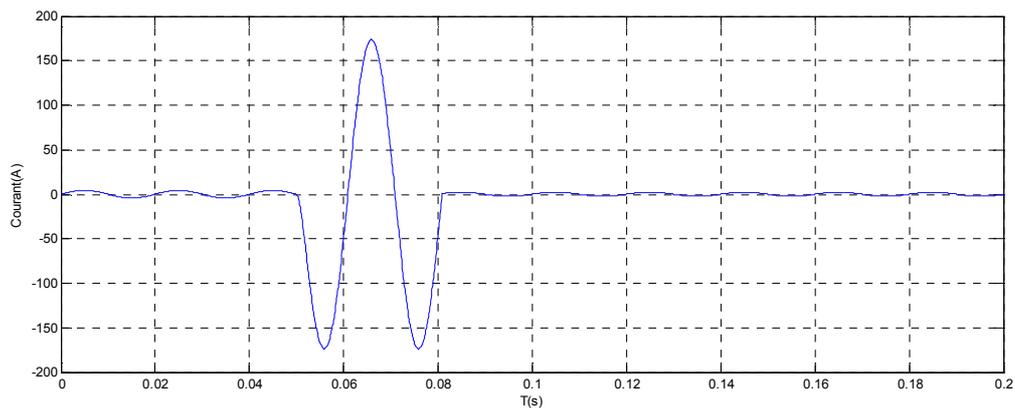


Figure.III.6.A. Courant de première protection

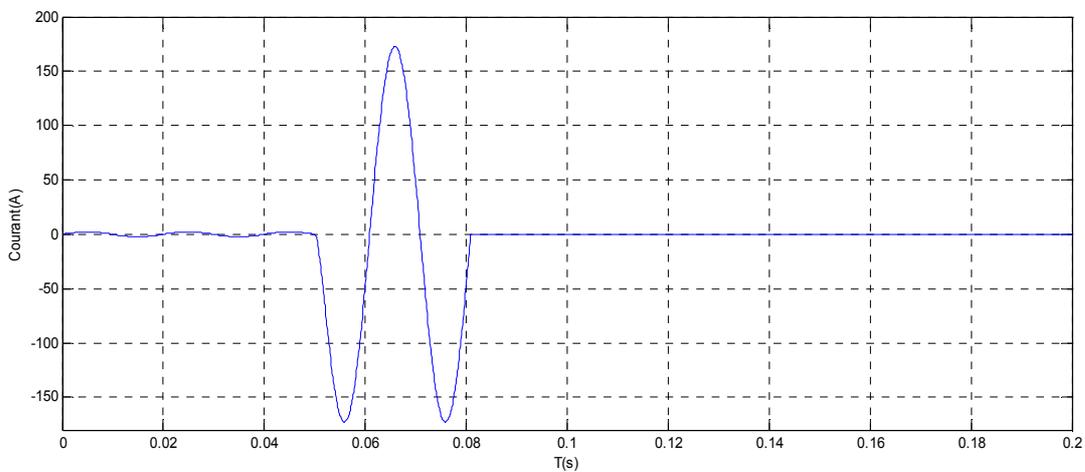
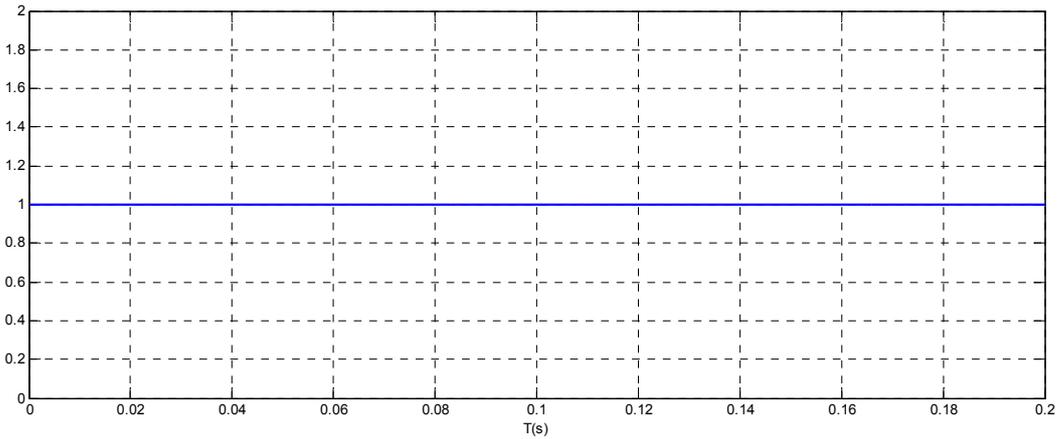
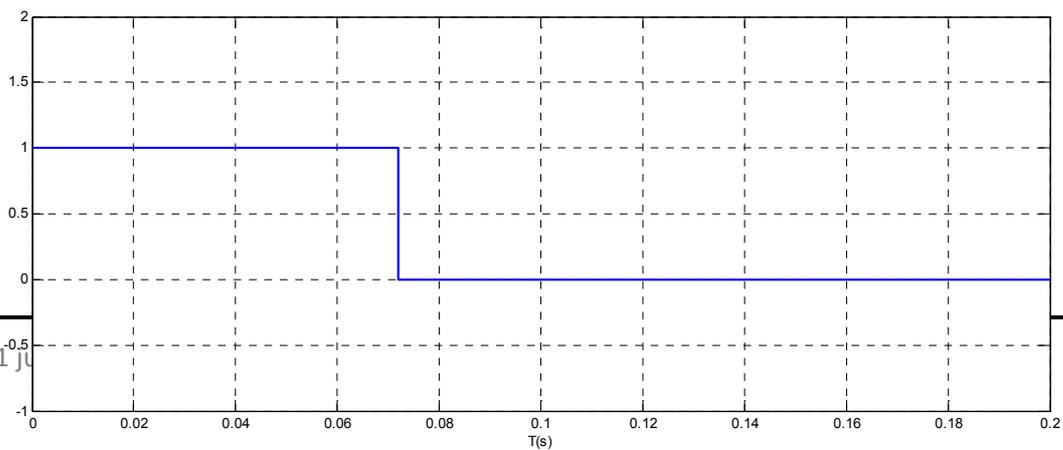


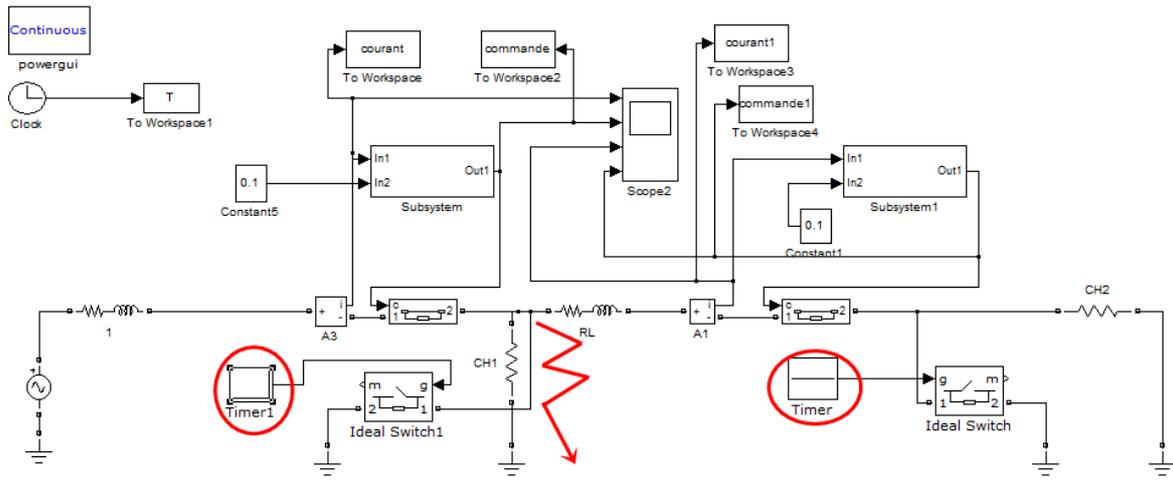
Figure.III.6.B. Commande d'élément de coupure de première protection

Figure.III.6.C. Courant au niveau de deuxième protection

Figure.III.6.D. Commande d'élément de coupure de deuxième protection

III.4.2. Deuxième Défaut au niveau de première protection





$T_{cc}=0.05 \text{ s}$

$I_{cc}=122.96 \text{ A}$

$\Delta T(1)=0.02 \text{ s}$

$\Delta T(2) = 0.06 \text{ s}$

Figure.III.7. Schéma de deuxième Défaut au niveau de premier système de protection

Les résultats avec deuxième défaut :

La figure III.7.A. représente le courant de première protection

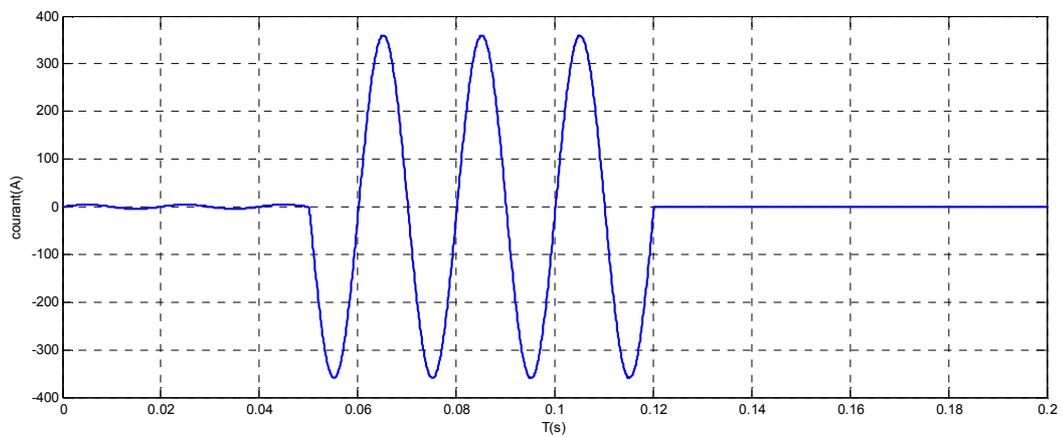


Figure.III.7.A. Courant de première protection

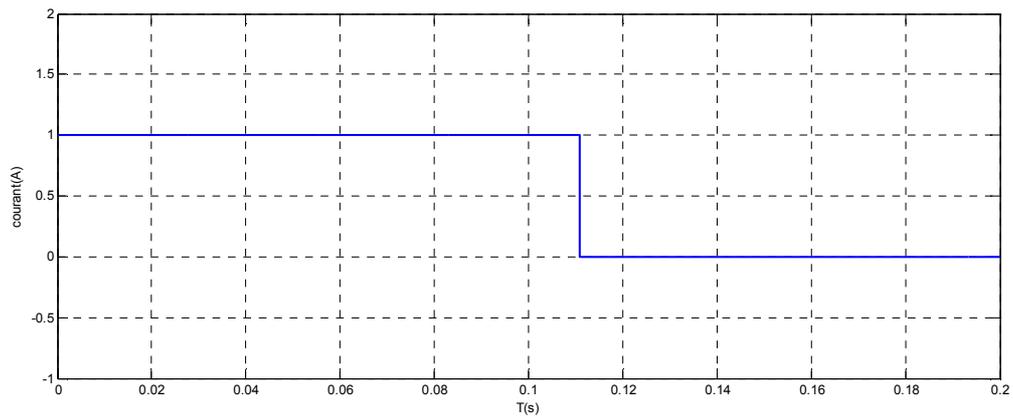


Figure.III.7.B. Commande d'élément de coupure de première protection

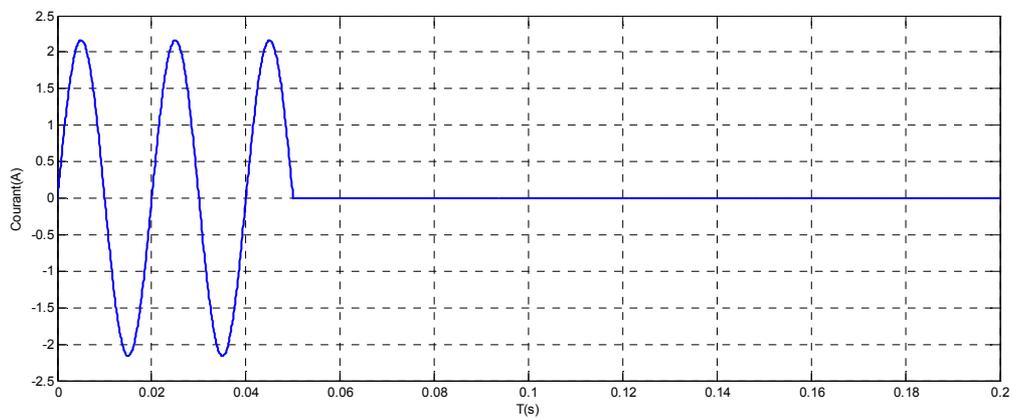


Figure.III.7.C. Courant au niveau de deuxième protection

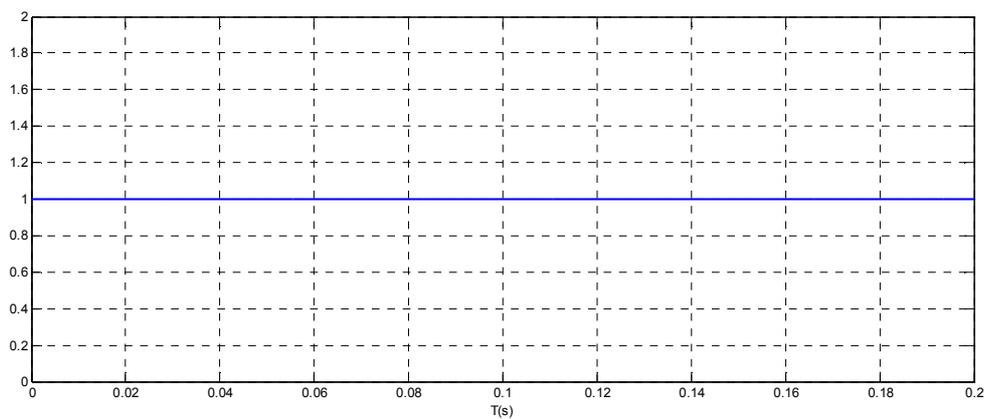


Figure.III.7.D. Commande d'élément de coupure de deuxième protection

III.5.Simulation d'un protection à sélectivité Logique

Dans cette partie nous allons traiter un système de protection à trois niveaux à sélectivité logique. L'échange d'informations entre les différents niveaux est réalisé par un câble pilote afin de transmettre le signal de l'attente logique. L'objet de cette étude consiste à simuler et vérifier le fonctionnement de la sélectivité logique.

Les Donné :

$E = 220\text{ v}$ $F = 50\text{ Hz}$

Le rapport de transformation du TC = 1 / 100

$TC1 = 1 / 100$

$TC2 = 1 / 100$

La charge1 : $R1 = 50\ \Omega$ $X1 = 10^{-3}$

La charge2 : $R2 = 50\ \Omega$ $X2 = 10^{-3}$

La charge3 : $R3 = 100\ \Omega$ $X3 = 10^{-3}$

Seuils de déclenchement des relais $Is1 = 400\text{ A}$

$Is2 = 300\text{ A}$

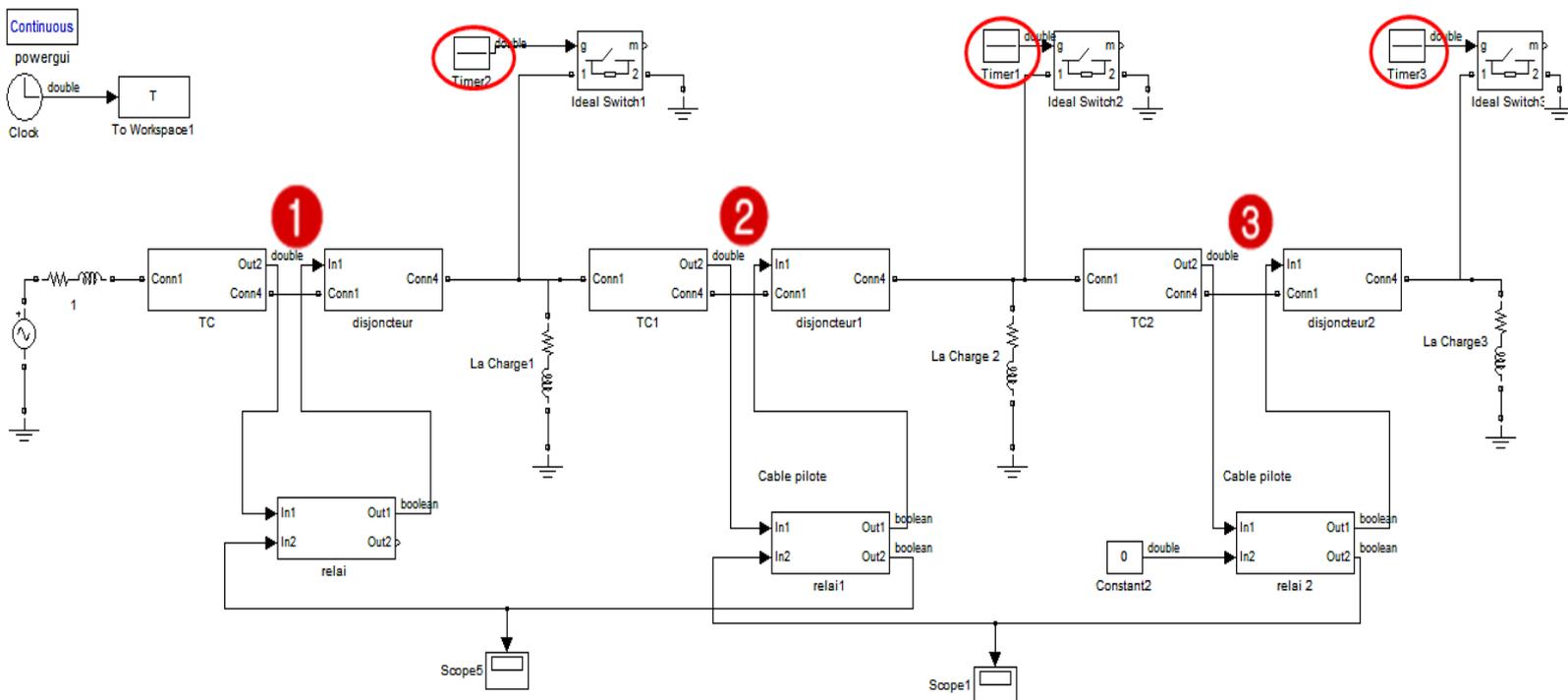


Figure.III.8. Schéma de simulation de la sélectivité logique pour un réseau à trois niveaux de protection.

III.5.1. Les sous-systèmes

III.5.1.1. Transformateur de courant (TC)

La fonction d'un transformateur de courant phase est de fournir à son secondaire (I_s) un courant proportionnel au courant primaire (I_p) mesuré. L'utilisation concerne autant la mesure (comptage) que la protection

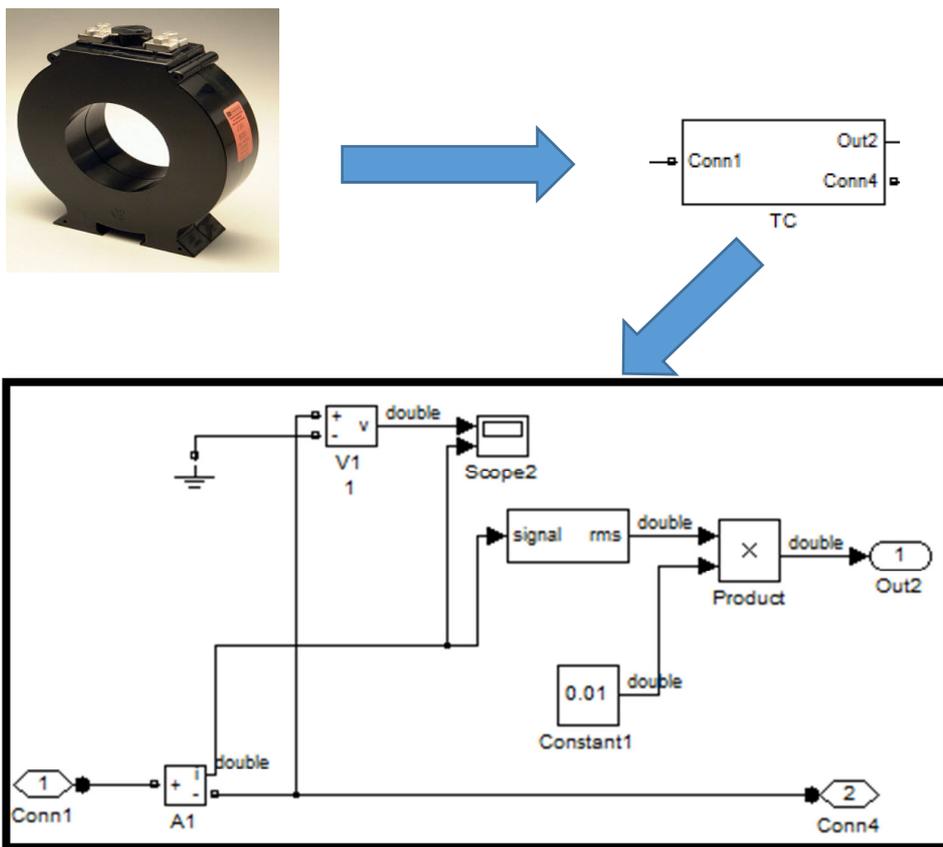
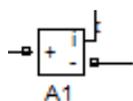


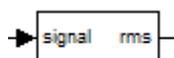
Image d'un TC

Figure.III.9.Bloque simulation d'un TC

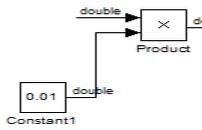
• **Les Blocs**



Ampèremètre



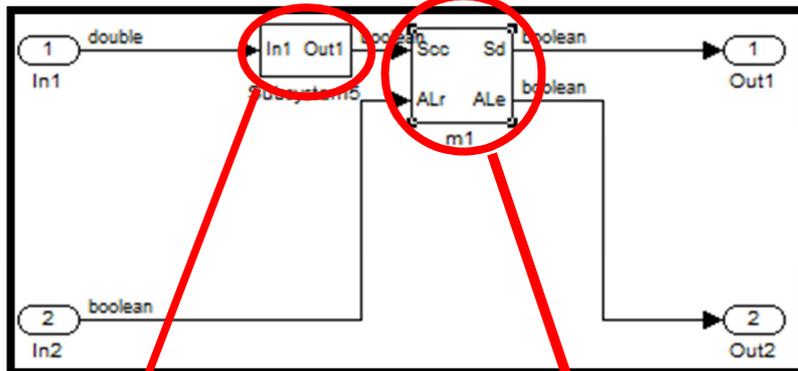
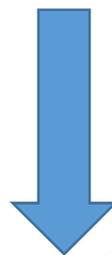
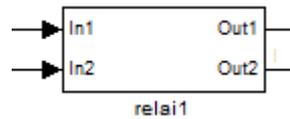
Donné la valeur efficace



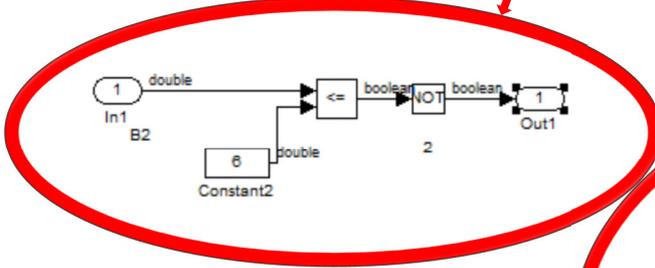
Rapporte de transformation

III.5.1.2. Le Relai

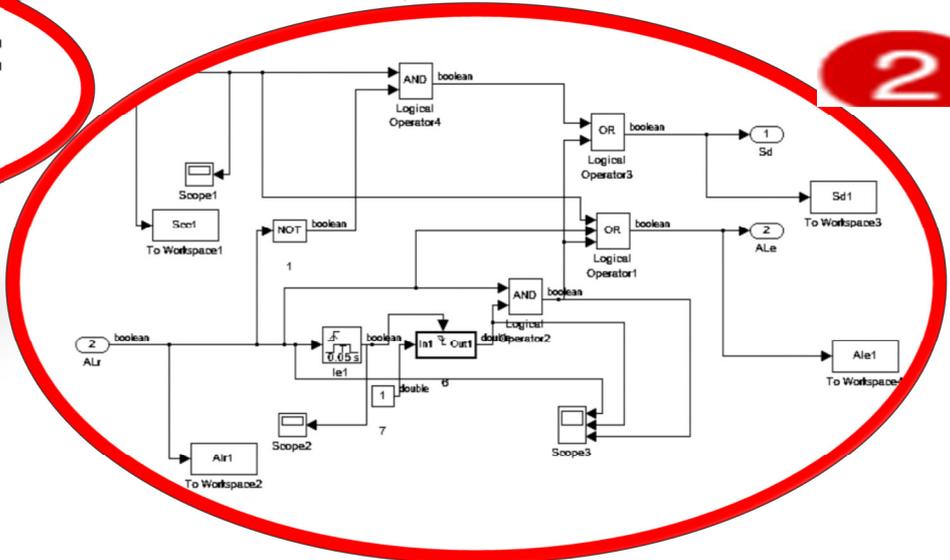
Le relai surveille en permanence le courant et envoi un ordre de déclenchement à l'élément de coupure en cas d'un dépassement de seuil



1



2



1

Comparateur : compare le courant delevré par le TC et le seuil

2

Bloc logique : composé par plusieurs éléments logiques, deux entrés (signal de court-circuit , signal d’attente logique) et deux sortie (signal de déclanchement , signale d’attente logique)



Figure IV.10. Schéma du relais logique.

S_{CC}: signal de court-circuit,

S_{alr} : signal d’attente logique reçu,

S_{ale}: signal d’attente logique envoyé,

S_D: signal du disjoncteur

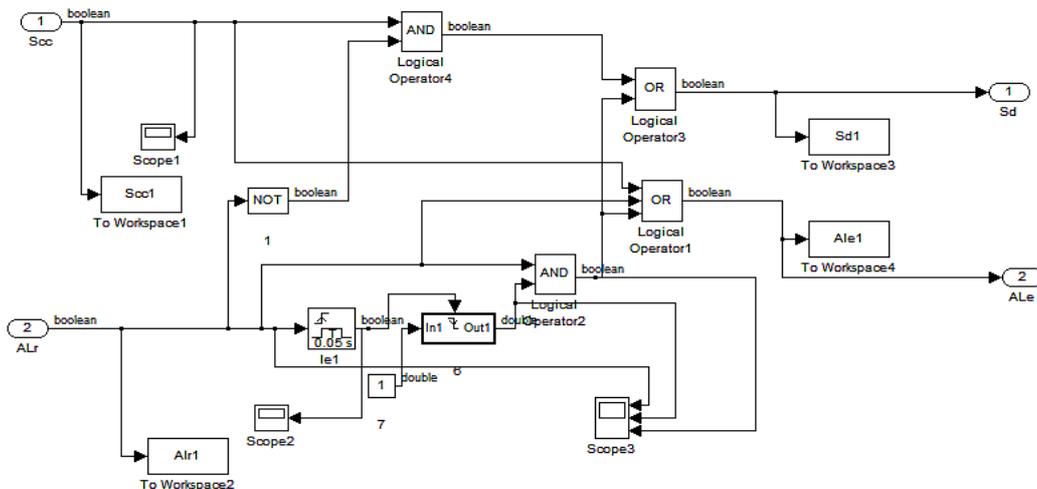
S _{CC}	S _{alr}	S _D	S _{ale}
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1

D’une autre part on a les fonctions logiques

$$S_D = S_{CC} \times S_{alr}$$

$$S_{ale} = S_{CC} + S_{alr}$$

Tableau III-1 Table de vérité de



base de la sélectivité logique.

Figure.III.11. Schéma simulation du relais logique.

III.5.1.3. Elément de coupure

Un élément de coupure est l'élément principal dans une chaîne de protection. Il assure l'établissement et la coupure du courant électrique.

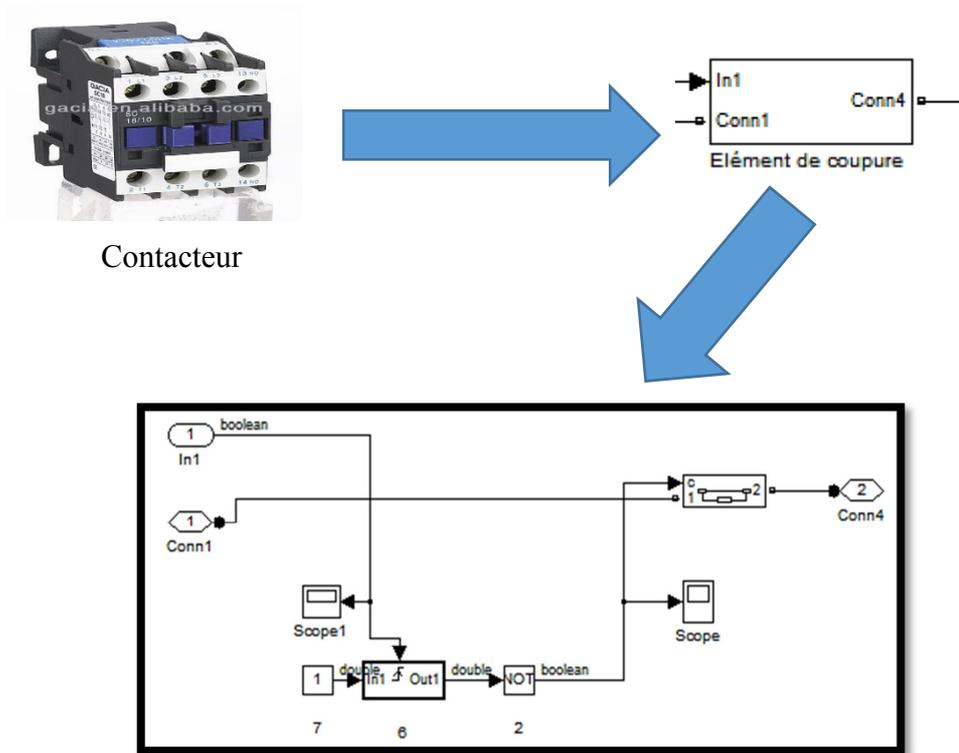
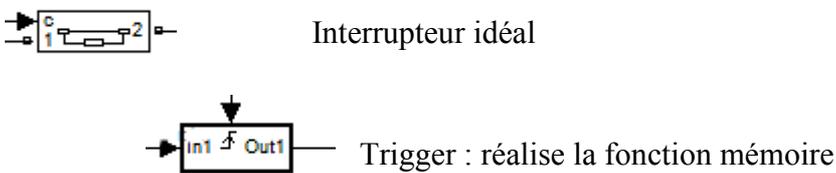
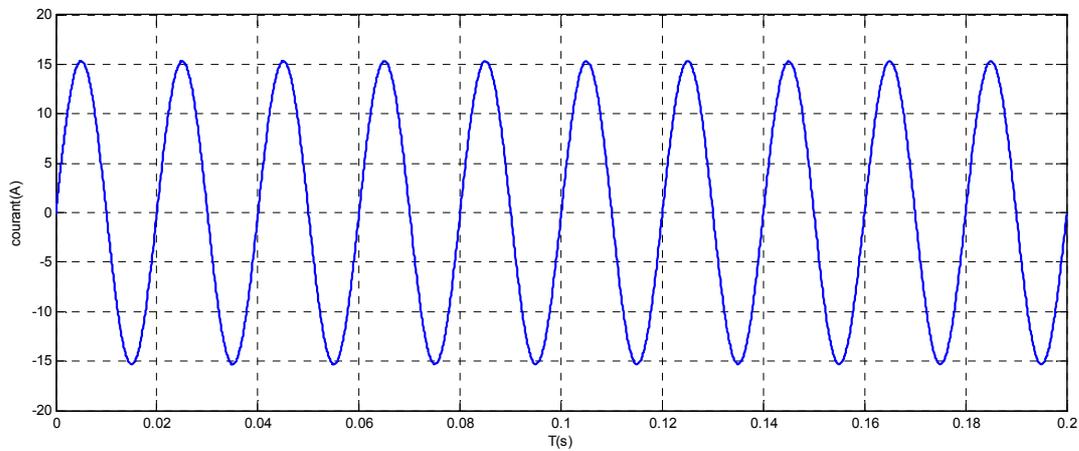


Figure.III.12. Schéma simulation d'un élément de coupure



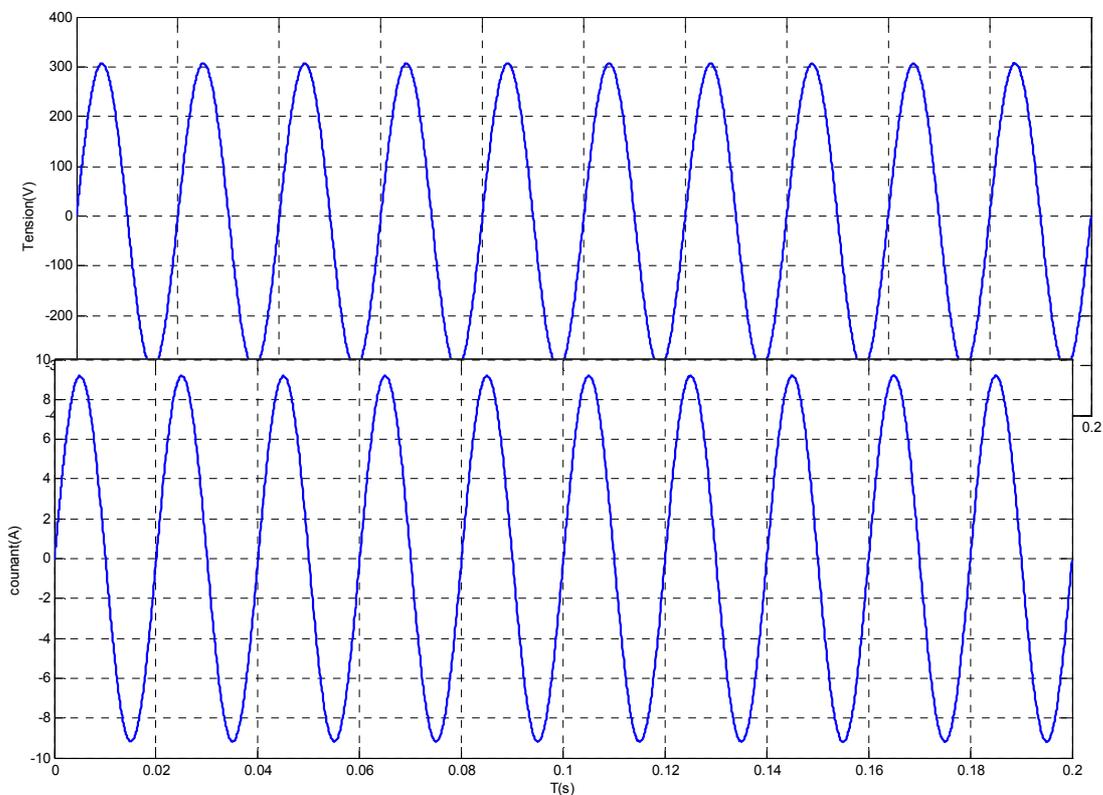
III.5.2. Résultats de la simulation : cas sans défaut



III.5.2.1. Première protection

Figure.III.13.A. Courant de la première protection

Figure.III.13.B. Tension de première protection



III.5.2.2. Deuxième protection

Figure.III.14.A. Courant au niveau de deuxième protection

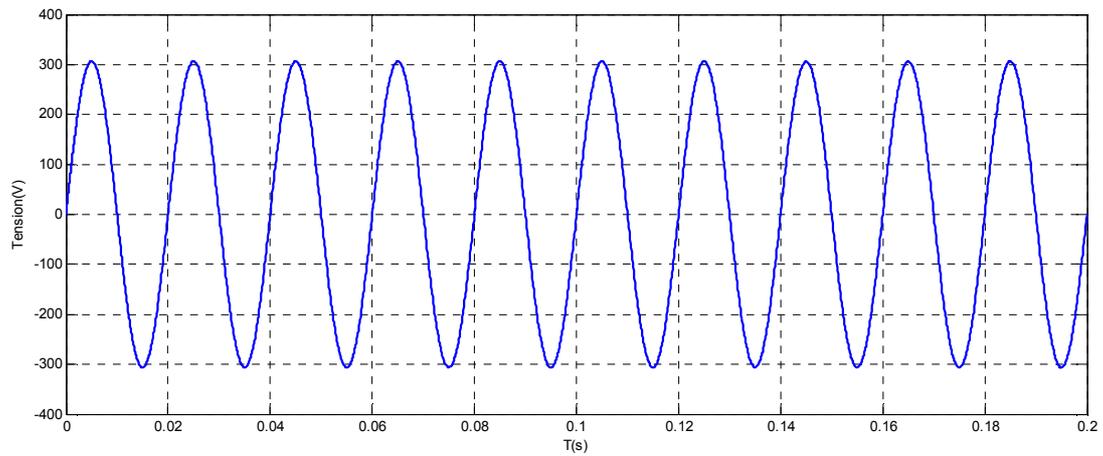


Figure .III.14.B. Tension au niveau de deuxième protection

III.5.2.3. Troisième protection

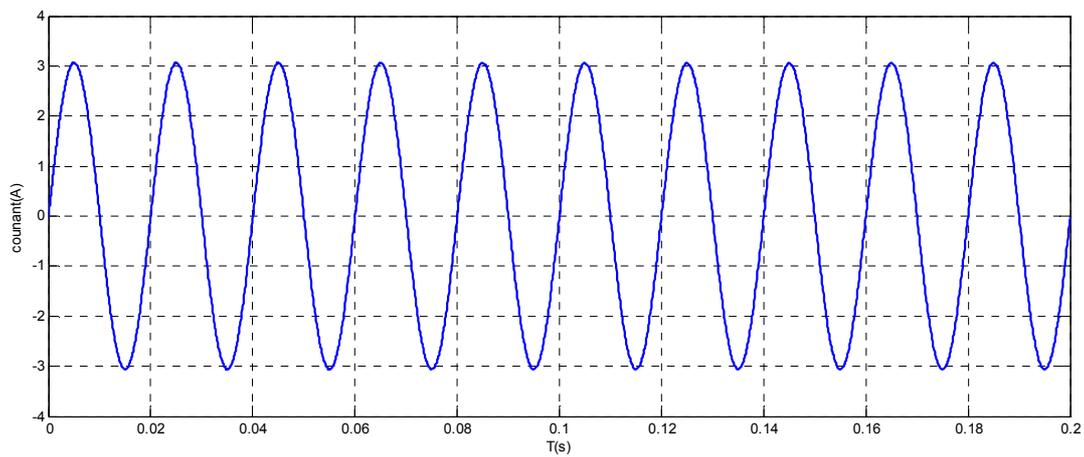


Figure.III.15.A. Courant au niveau de troisième protection

Figure.III.15.B. Tension au niveau de troisième protection

III.5.3. Premier défaut au niveau de la troisième protection

La figure III.16. représente la simulation de la sélectivité logique pour un réseau à trois niveaux.(défaut 1)

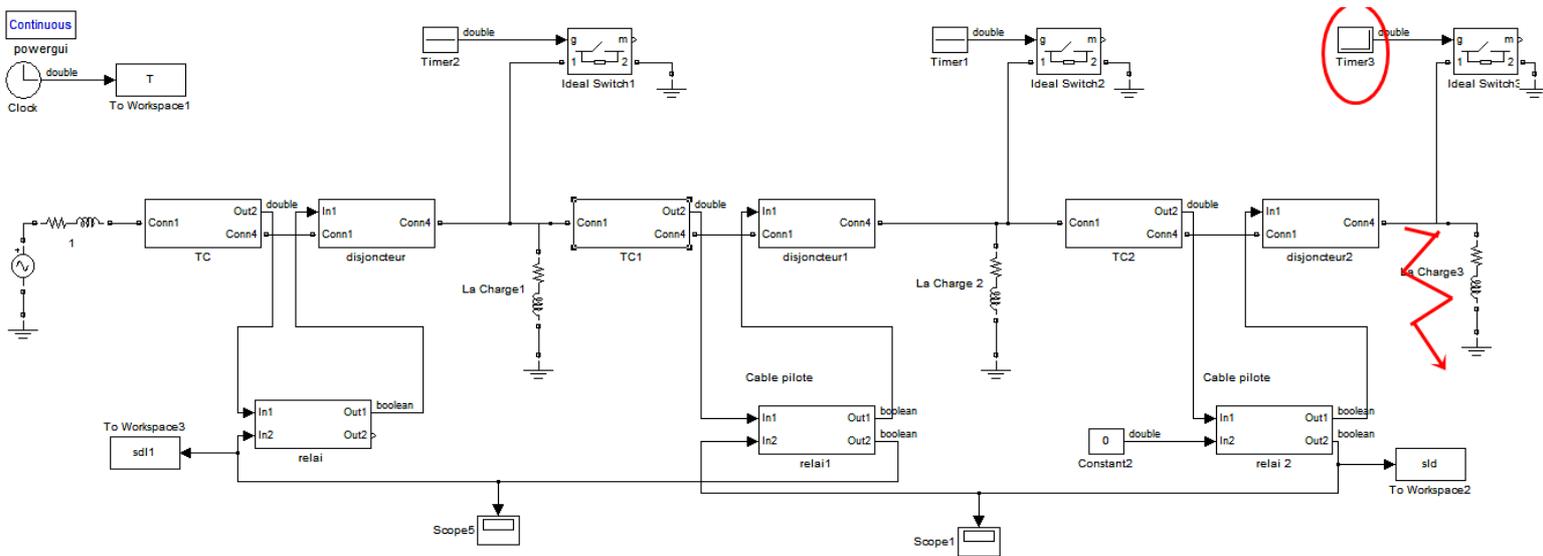


Figure.III.16. Simulation de la sélectivité logique pour un réseau à trois niveaux. (Défaut 1)

III.5.3.1. Première protection

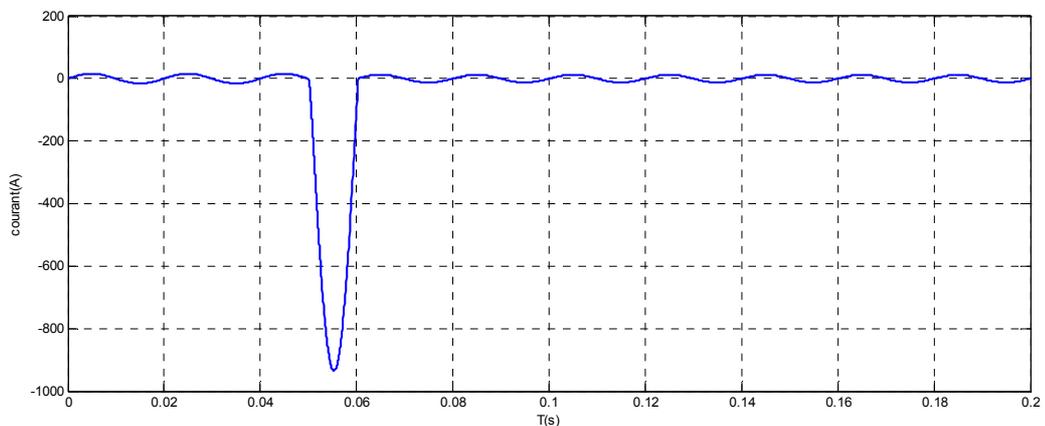


Figure.III.16.A. Courant de première protection

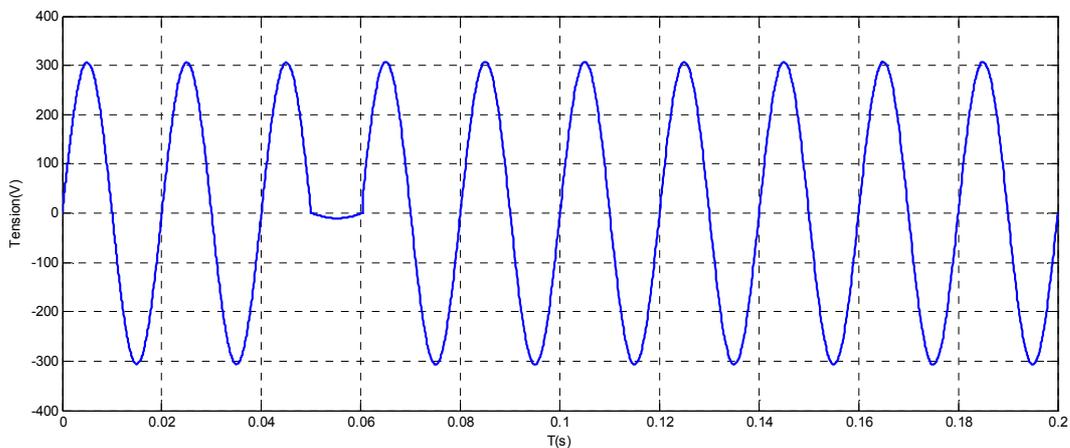


Figure.III.16.B. Tension de première protection

III.5.3.2. Deuxième protection

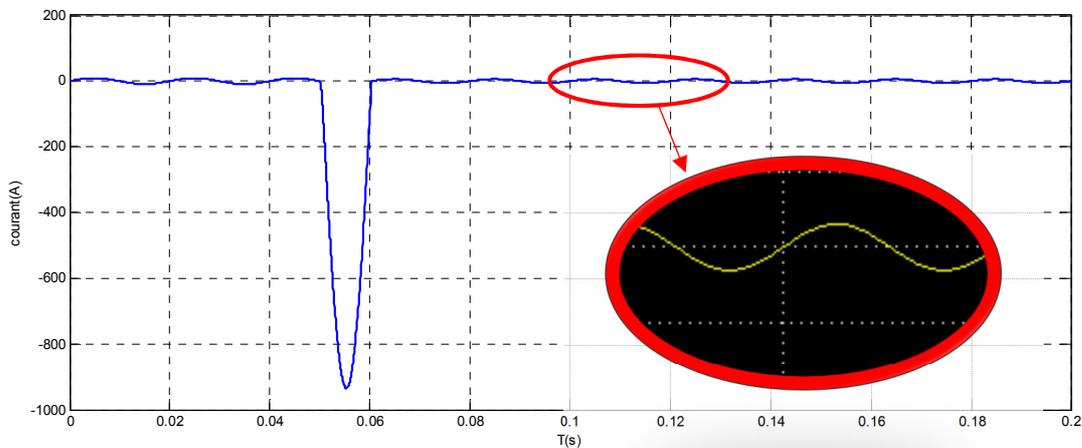


Figure.III.17.A. Courant au niveau de deuxième protection

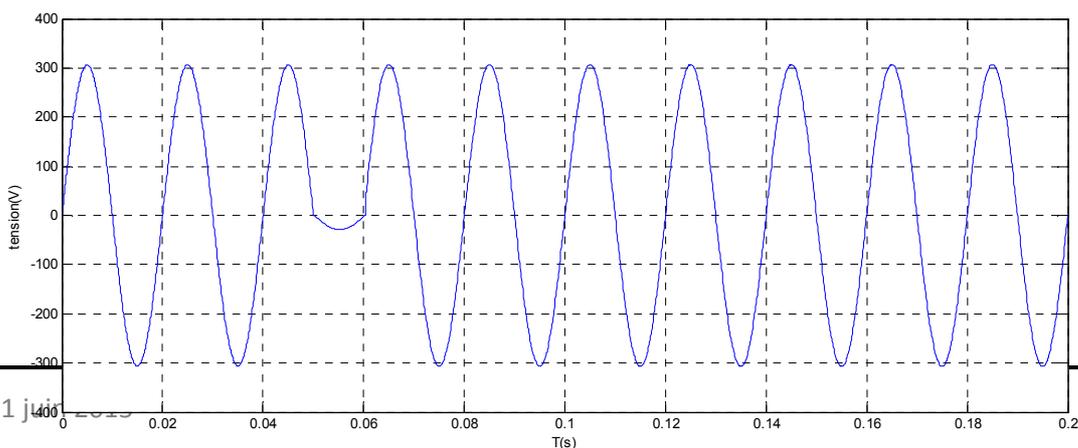
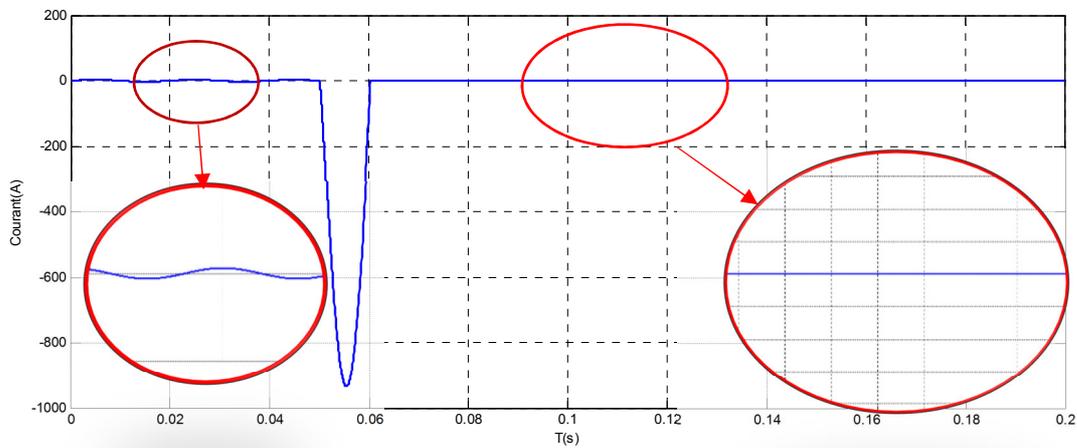
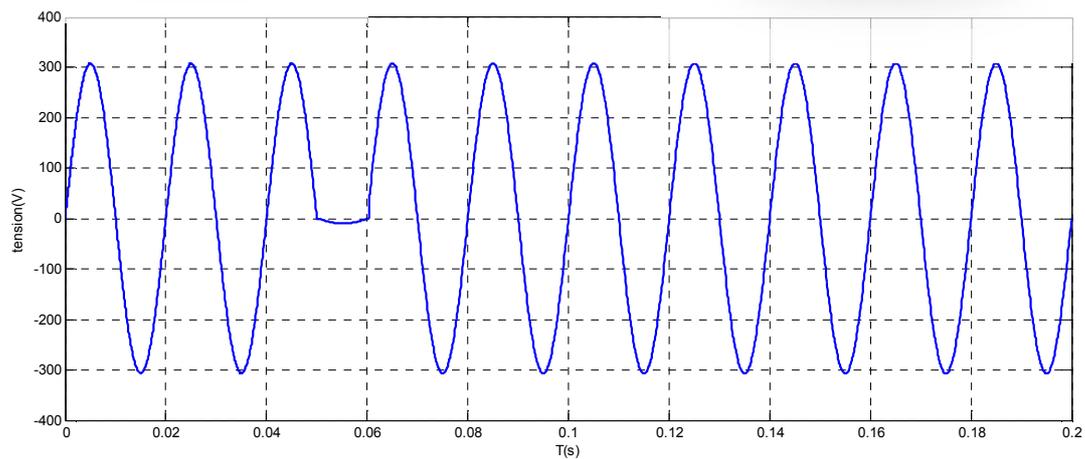
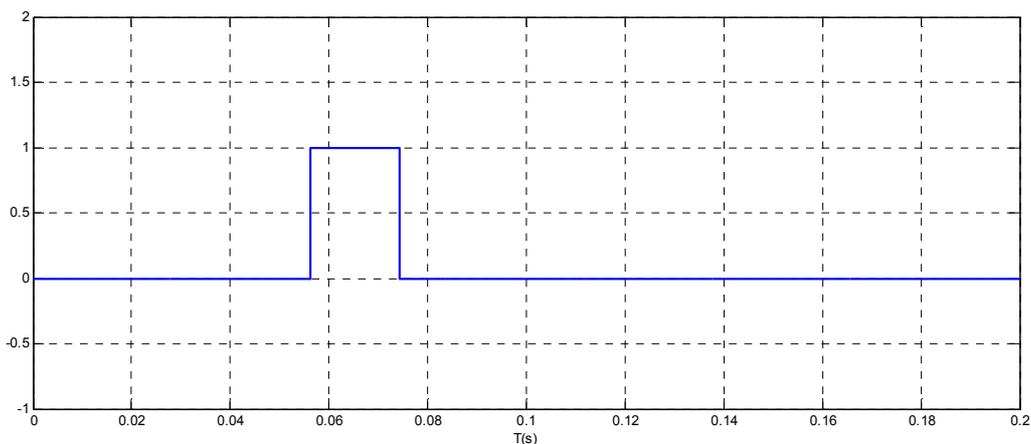


Figure .III 17.B. Tension au niveau de deuxième protection**III.5.3.3.Troisième protection****Figure.III.18.A.** Courant au niveau de troisième protection**Figure.III.18.B.** Tension au niveau de troisième protection



III.5.3.4. Signale d'attente logique

Figure.III.19.A. Signal d'attente logique de la protection 3 vers 2

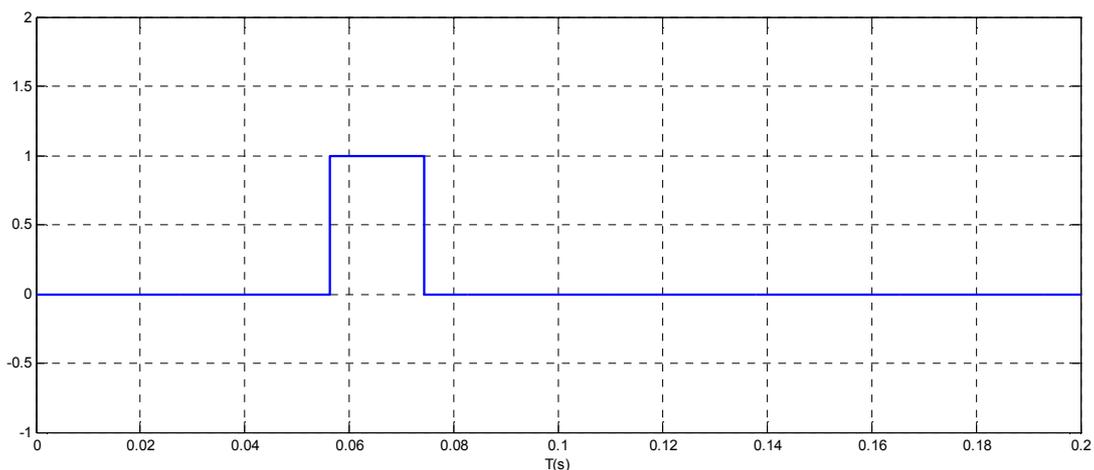


Figure.III.19.B. Signal d'attente logique de la protection 2 vers 1

Rappelons que le système de protection ainsi simulé est constitué de trois niveaux de protections (3 protections à max de courant en cascade). Ces trois protections sont raccordées deux-à-deux par un câble pilote (câble d'échanges d'informations) réalisant 'le système de protection à sélectivité logique'

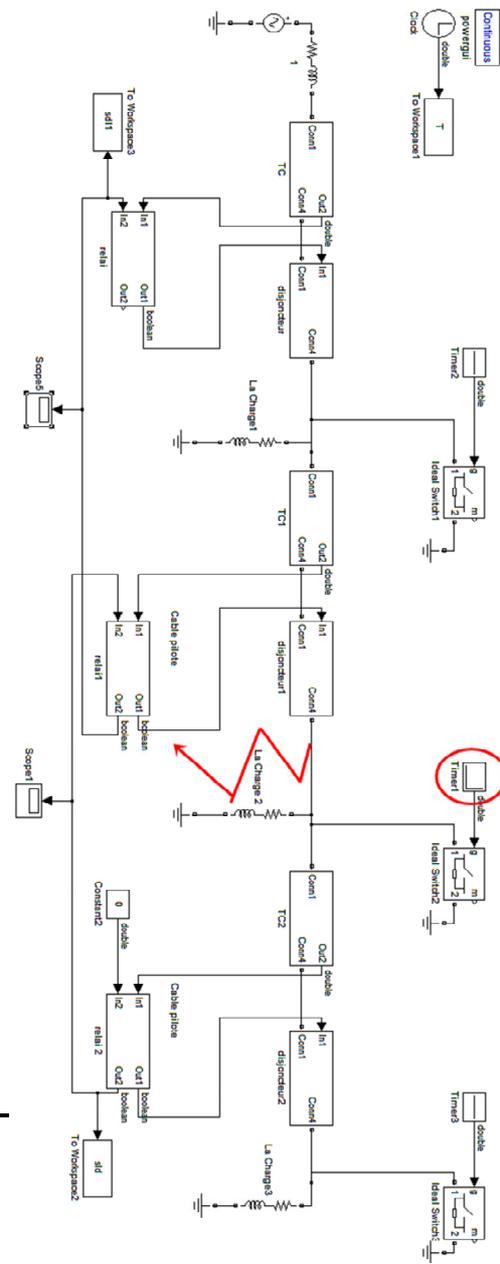
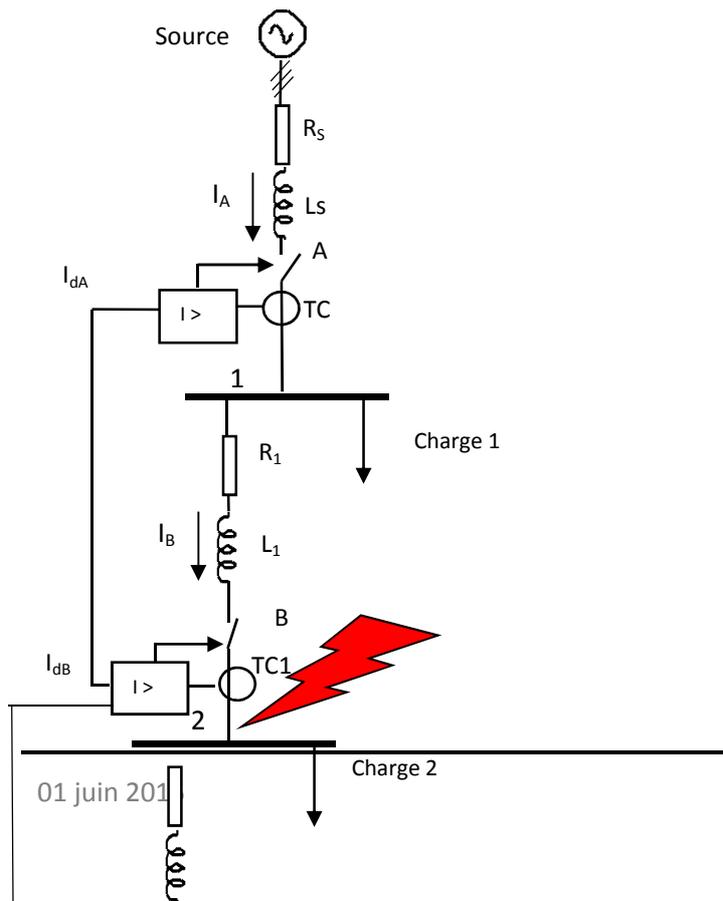
Cette partie concerne l'analyse du fonctionnement du système de protection proposé suite à l'apparition d'un défaut de court-circuit au niveau de la protection 3 (en aval). D'après les résultats de la simulation (**Figure.III.16.**), nous nous soulignons les points suivants :

- Le court-circuit est réalisé à l'instant 0.05s. Le temps de simulation étant 0.2s.

- Pendant de temps de simulations (2s), le courant de la ligne passe par trois phases. La première phase de 0 à 0.05s : fonctionnement normal de l'installation. La deuxième phase de 0.05s à 0.06s : établissement d'un courant de court-circuit important (régime transitoire) avec une chute brusque de la tension de la ligne. La troisième phase de 0.06s à 0.2s : rétablissement du fonctionnement normal au niveau des protections 1 et 2 (continuité de service) et isolation du tronçon en défaut par la protection 3.
- La continuité de service au niveau des protections 1 et 2 est garantie par le processus de la sélectivité logique. C'est le signal d'attente logique (signal de commande) envoyé de la protection 3 vers la protection 2 qui provoque le verrouillage de cette dernière protection. De même, c'est le signal d'attente logique envoyé de la protection 2 vers la protection 1 qui provoque le verrouillage de cette dernière protection.

Les résultats de la simulation ainsi obtenus montrent le bon fonctionnement du système de protection à sélectivité logique que nous avons proposé. Le schéma de simulation développé sous simulink/Matlab, constitue pour nous un schéma de conception et d'aide à la réalisation pratique.

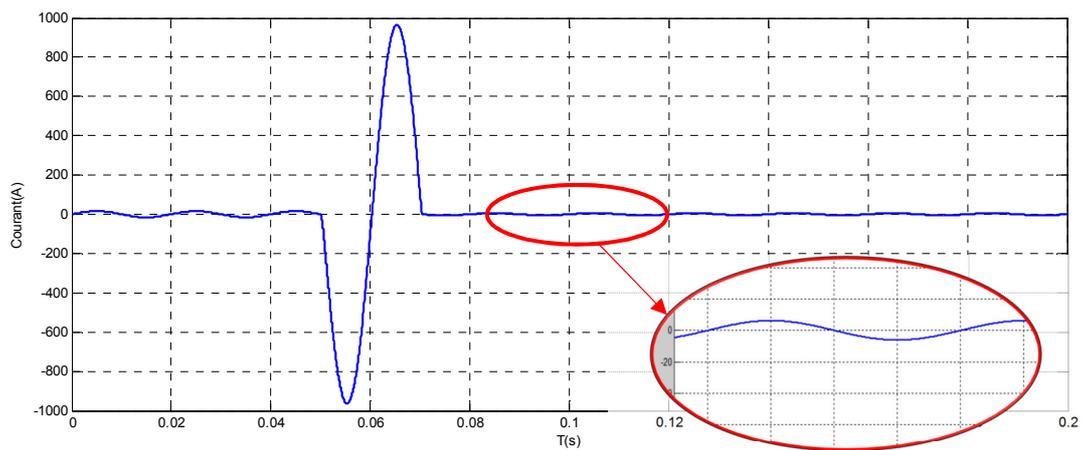
III.5.4. Deuxième Défaut au niveau de deuxième protection



I

La simulation de la sélectivité logique.

Figure.III.20. Schéma représente La Sélectivité logique
III.5.4.1.Première protection (Défaut 2)



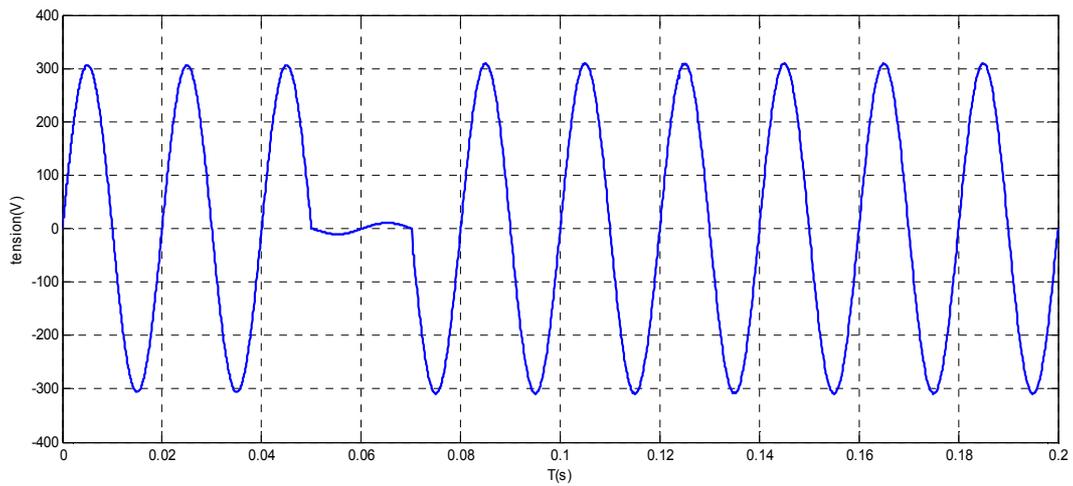
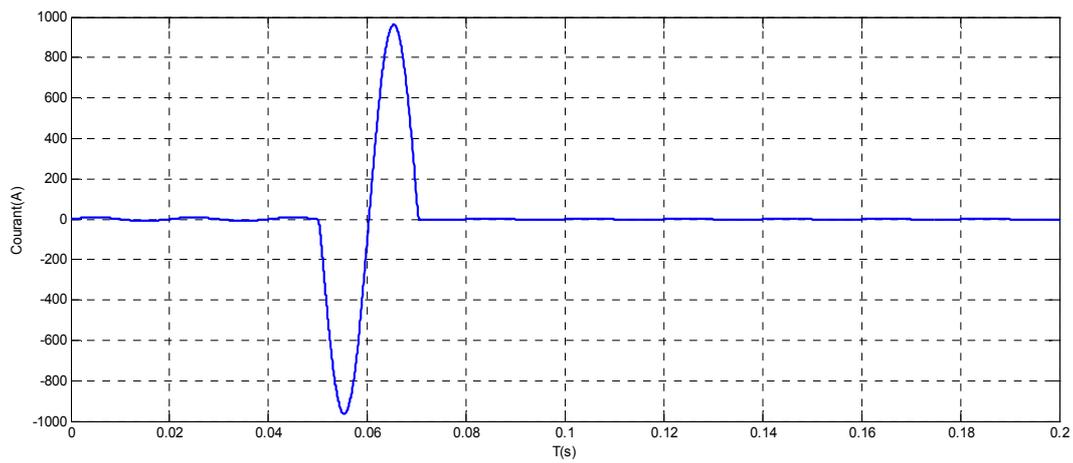


Figure.III.20.A. Courant de première protection

Figure.III.20.B. Tension de première protection



III.5.4.2. Deuxième protection

Figure .III.21.A. Courant au niveau de deuxième protection

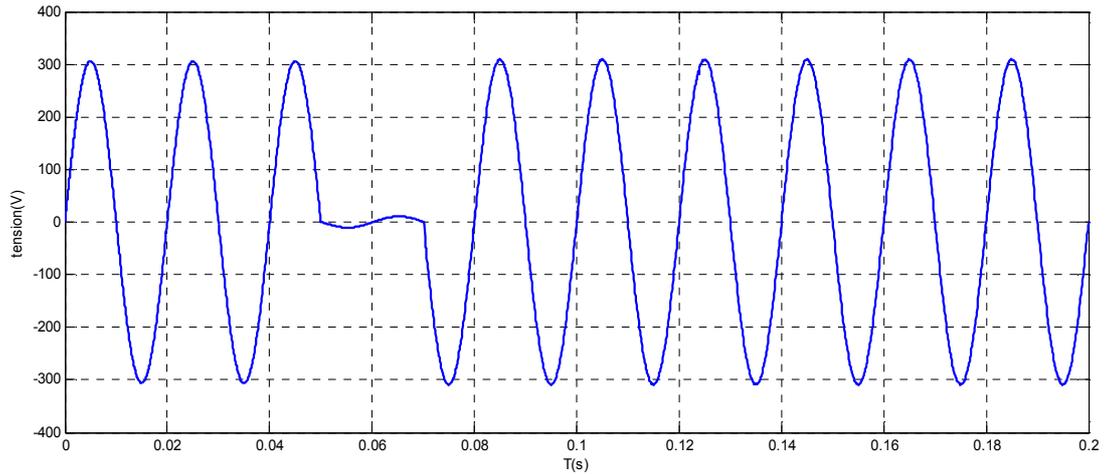
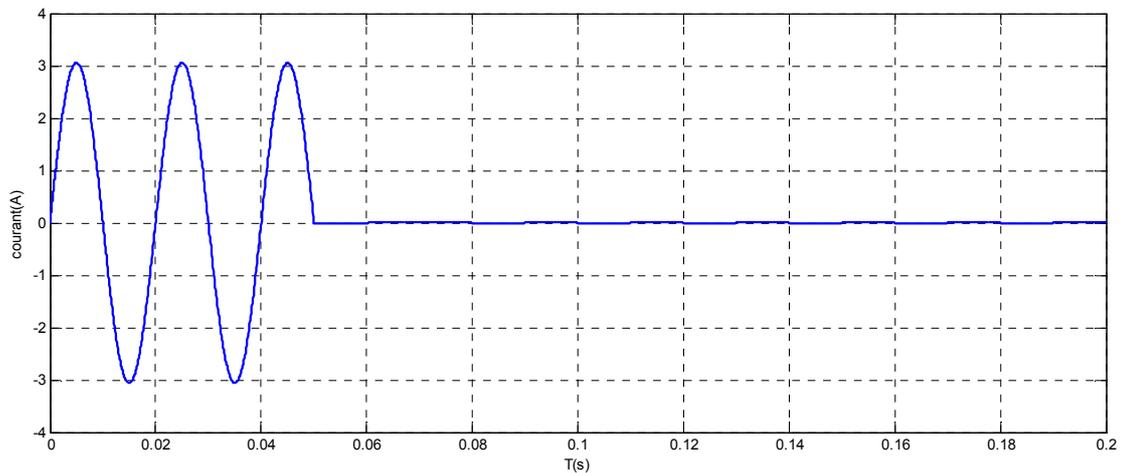


Figure.III.21.B. Tension au niveau de deuxième protection

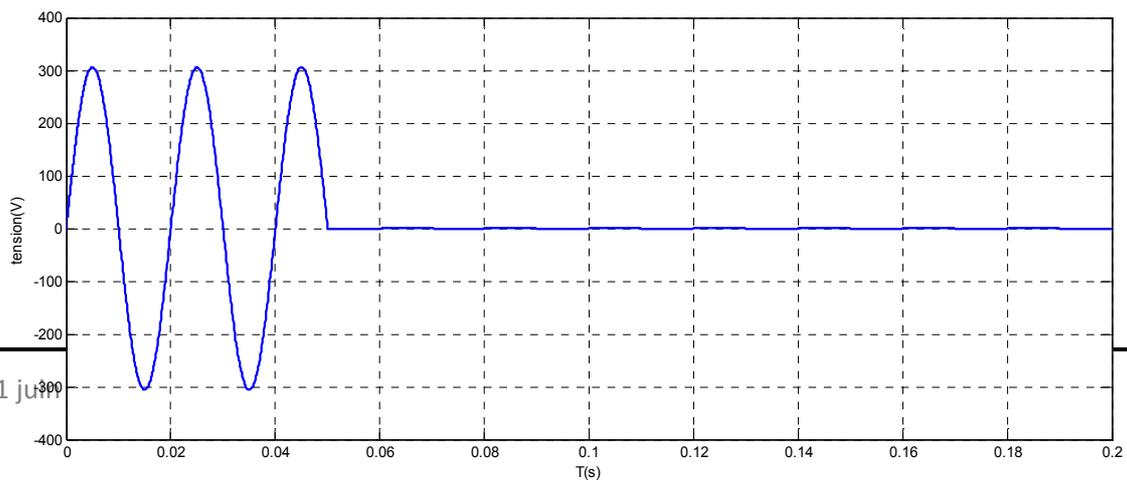


III.5.4.3. Troisième protection

Figure.III.22.A. Courant au niveau de troisième protection

Figure.III.22.B. Tension au niveau de troisième protection

III.5.4.4. Signal d'attente logique



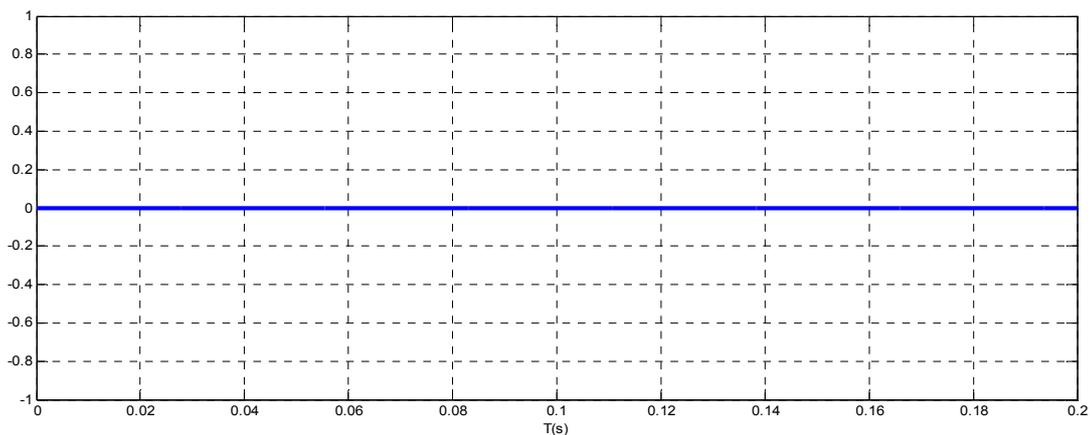
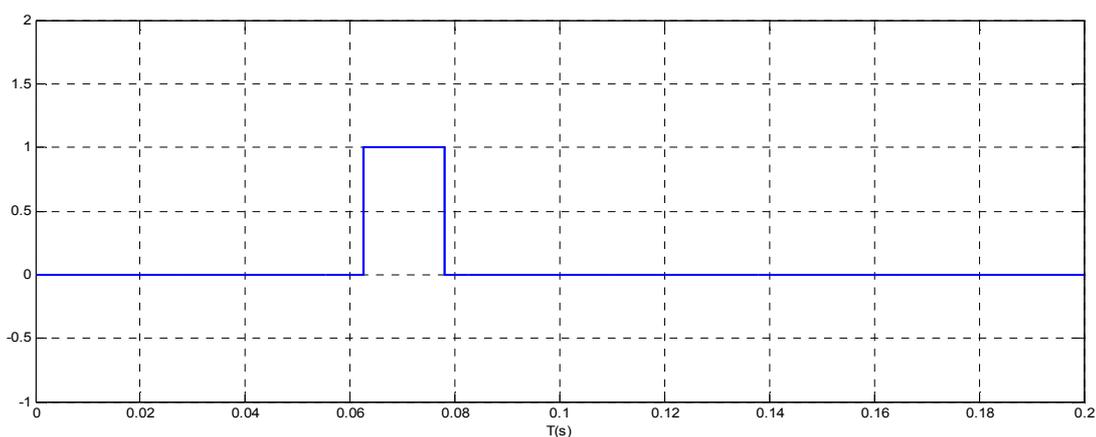


Figure.III.23.A. Signal d'attente logique de la protection 3 vers 2

Figure.III.23.B. Signal d'attente logique de la protection 2 vers 1

Cette partie concerne l'analyse du fonctionnement du système de protection proposé suite à l'apparition d'un défaut de court-circuit au niveau de la protection 2 (en aval). D'après les résultats de la simulation (**Figure.III.20**), nous nous soulignons les points suivants :

- Le court-circuit est réalisé à l'instant 0.05s. Le temps de simulation étant 0.2s.
- Pendant de temps de simulations (2s), le courant de la ligne passe par trois phases. La



première phase de 0 à 0.05s : fonctionnement normal de l'installation. La deuxième phase de 0.05s à 0.06s : établissement d'un courant de court-circuit important (régime transitoire) avec une chute brusque de la tension de la ligne. La troisième phase de 0.06s à 0.2s : rétablissement du fonctionnement normal au niveau des protections 1 (continuité de service) et isolation du tronçon en défaut par la protection 2.

- La continuité de service au niveau des protections 1 est garantie par le processus de la sélectivité logique. C'est le signal d'attente logique (signal de commande) envoyé de la protection 2 vers la protection 1 qui provoque le verrouillage de cette dernière protection

Les résultats de la simulation ainsi obtenus montrent le bon fonctionnement du système de protection à sélectivité logique que nous avons proposé.

III.5.5. Troisième défaut au niveau de première protection

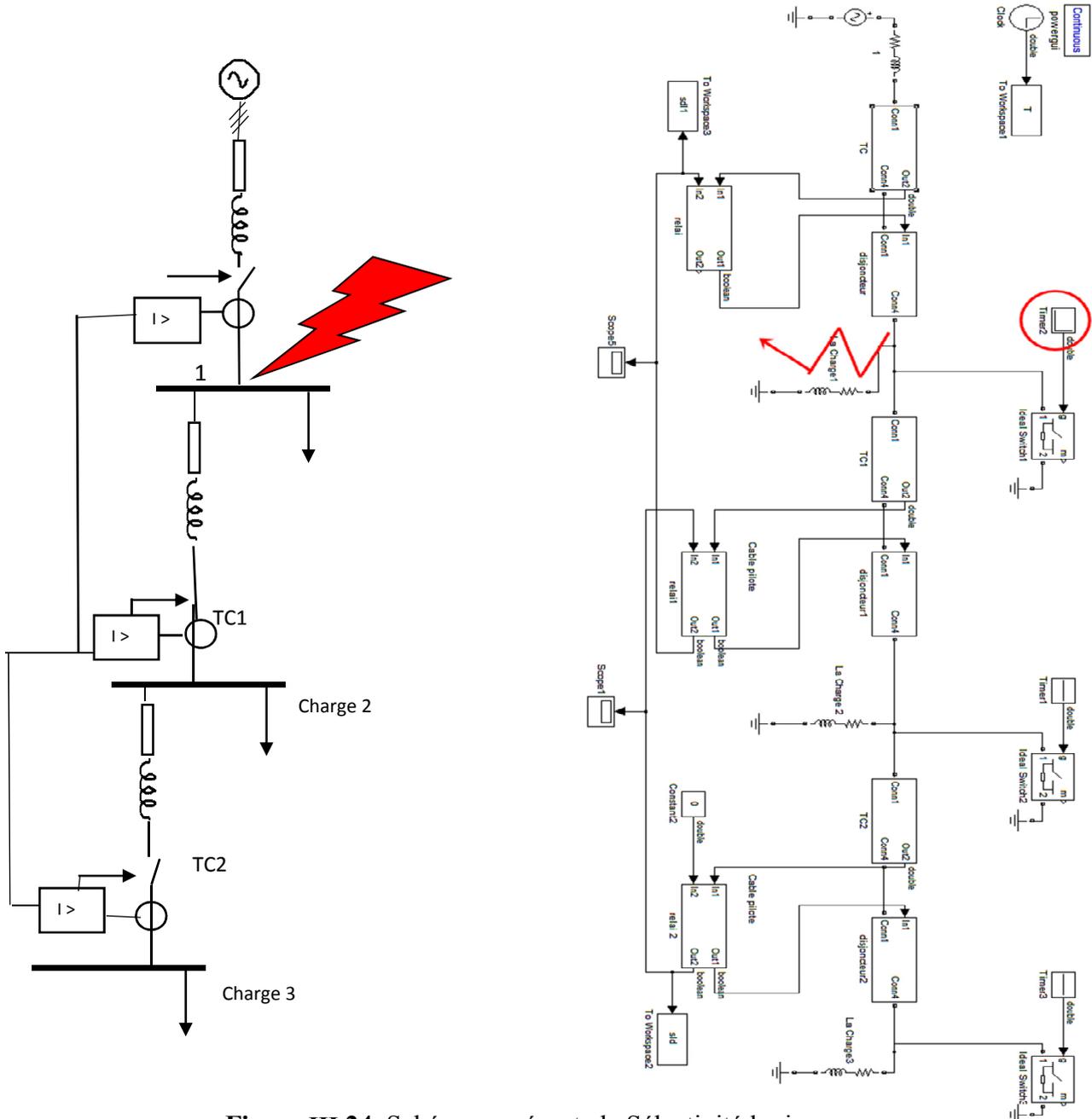


Figure.III.24. Schéma représente la Sélectivité logique (Défaut 3).

III.5.5.1. Première protection

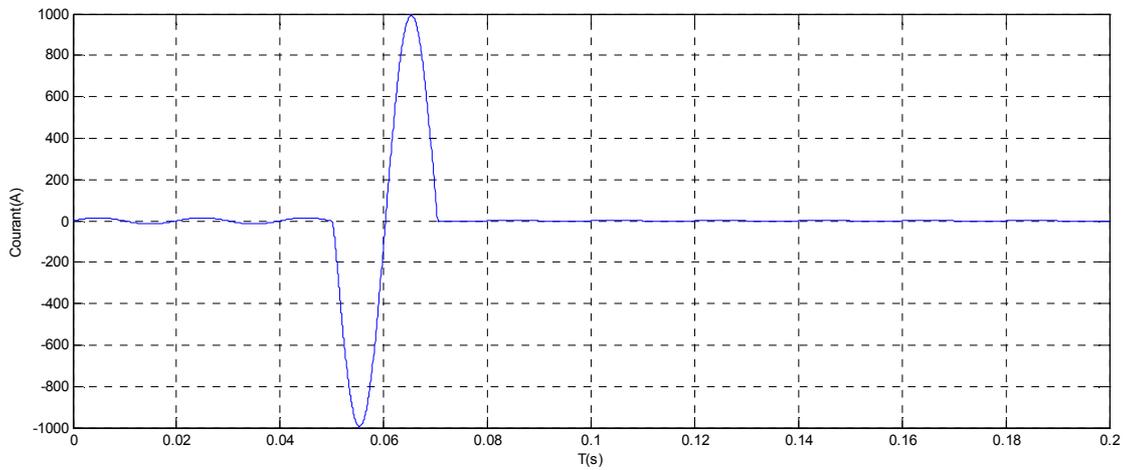


Figure.III.24.A. Courant de première protection

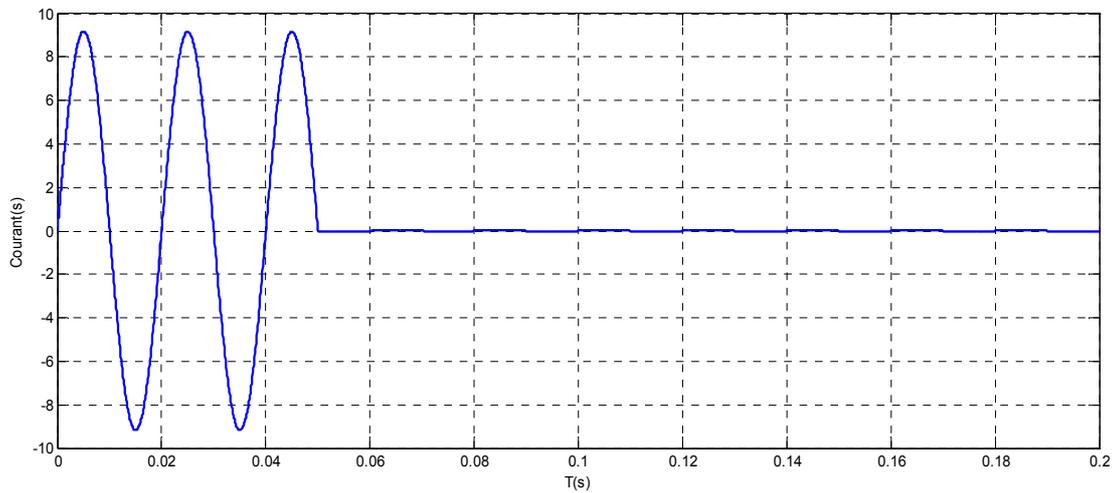
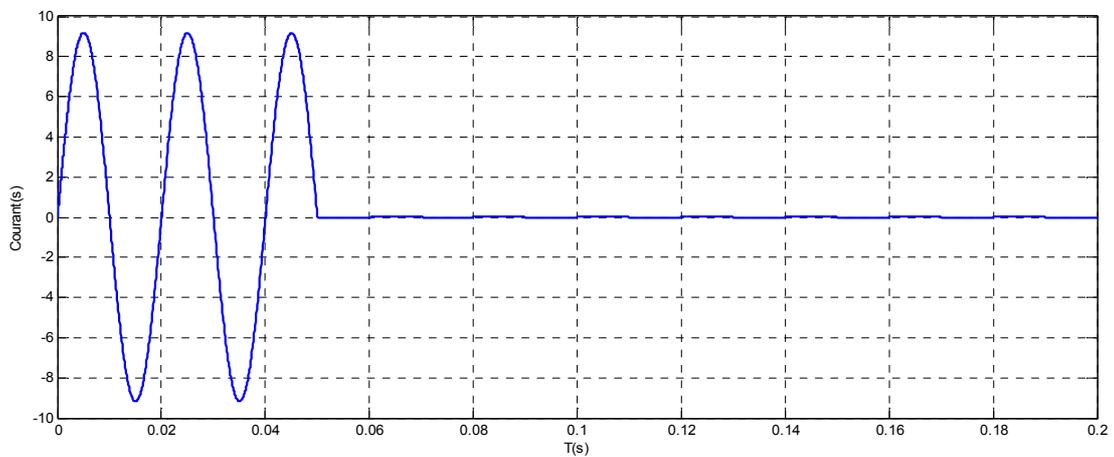


Figure.III.24.B. Tension de première protection



III.5.5.2. Deuxième protection

Figure.III.25.A. Courant au niveau de deuxième protection

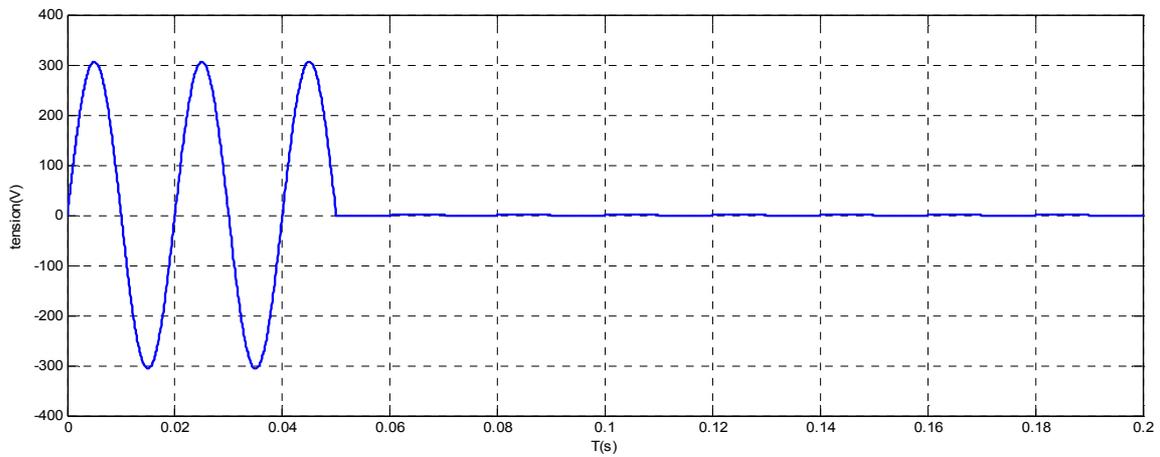
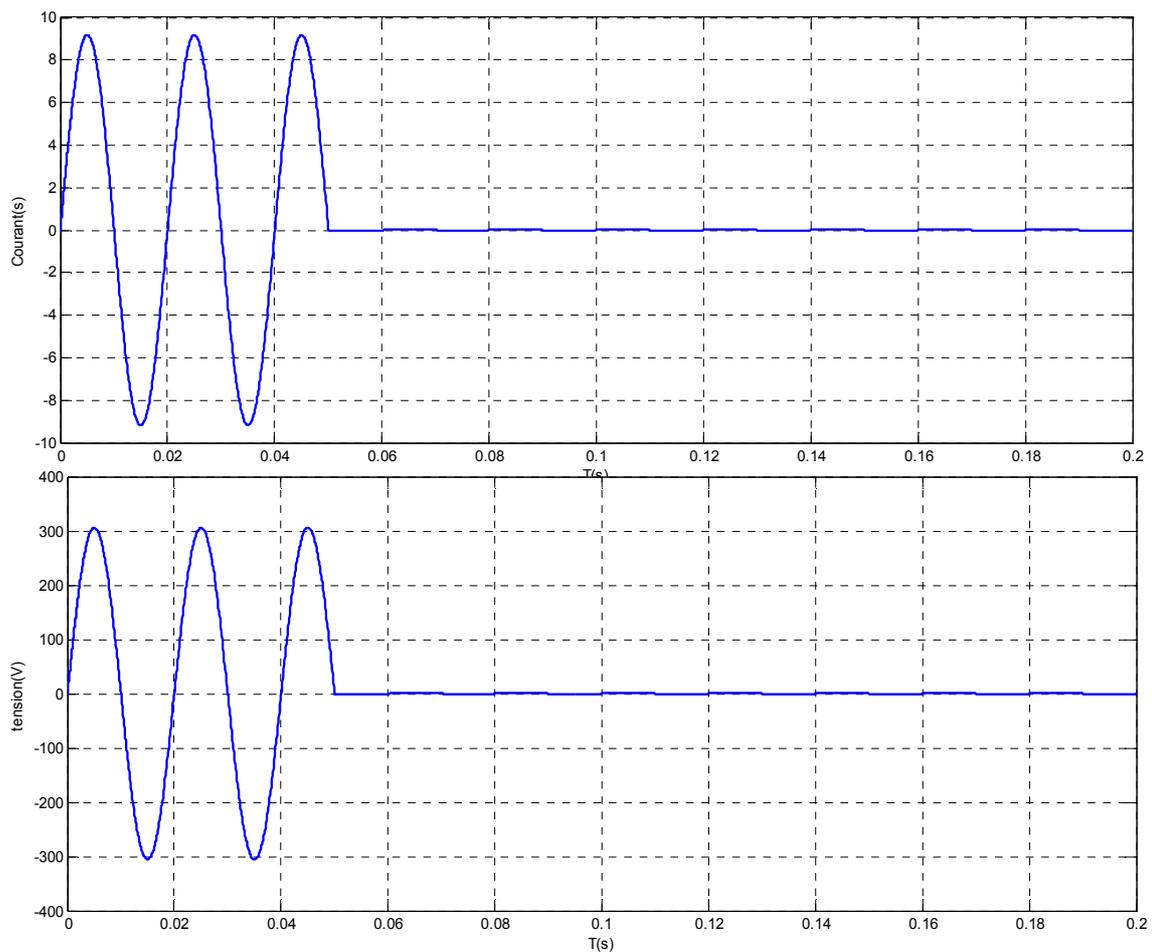
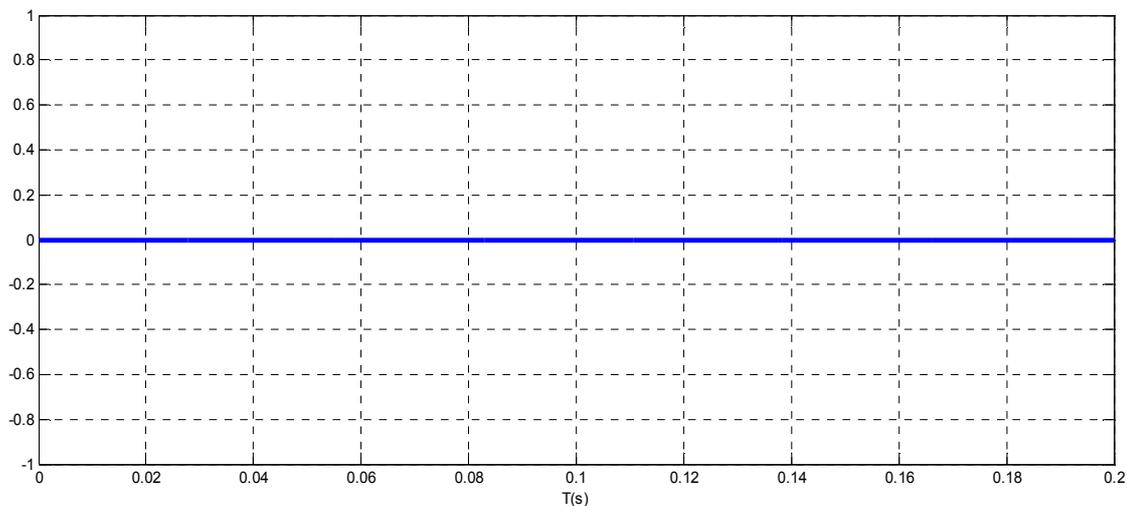


Figure.III.25.B. Tension au niveau de deuxième protection



III.5.5.3. Troisième protection

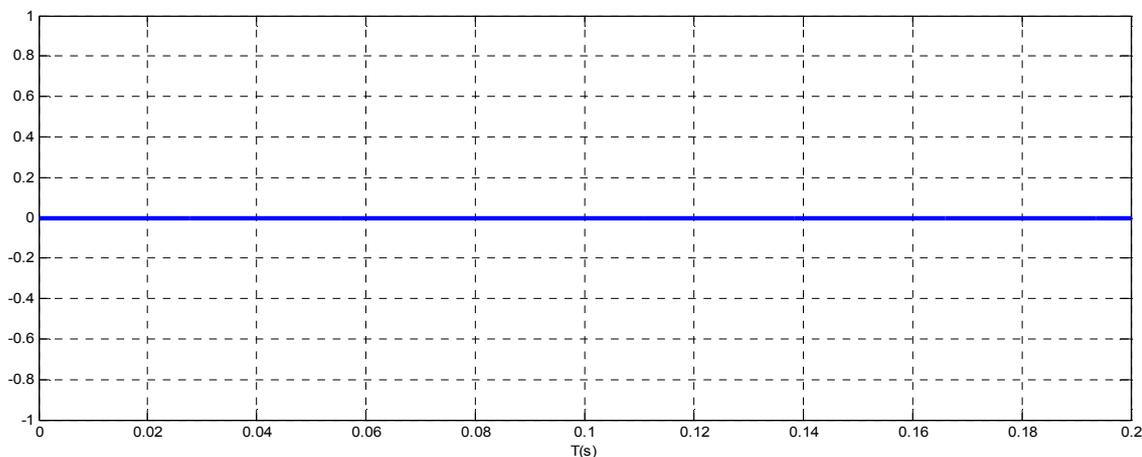
Figure.III.26.B. Tension au niveau de troisième protection

III.5.5.4. Signale d'attente logique

Figure.III.27.A. Signal d'attente logique de la protection 3 vers 2

Cette partie concerne l'analyse du fonctionnement du système de protection proposé suite à l'apparition d'un défaut de court-circuit au niveau de la protection 1 (en aval). D'après les résultats de la simulation (**Figure.III.24.**), nous nous soulignons les points suivants :

- Le court-circuit est réalisé à l'instant 0.05s. Le temps de simulation étant 0.2s.
- Pendant de temps de simulations (2s), le courant de la ligne passe par trois phases. La première phase de 0 à 0.05s : fonctionnement normal de l'installation. La deuxième

**Figure.III.27.B.** Signal d'attente logique de la protection 2 vers 1

phase de 0.05s à 0.06s : établissement d'un courant de court-circuit important (régime transitoire) avec une chute brusque de la tension de la ligne. La troisième phase de 0.06s à 0.2s : isolation du tronçon en défaut par la protection 1.

III.6. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la simulation sous Simulink/Matlab des différents types de sélectivité des protections et en particulier celle de la sélectivité logique. Plusieurs exemples ont été traités, le premier concerne un réseau à deux niveaux de protection et le deuxième s'agit d'un réseau à trois niveaux de protections. D'après les résultats obtenus, on remarque que la sélectivité logique est très robuste en termes de continuité de service, la fonction secours et la rapidité à l'élimination des défauts.

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la réalisation pratique d'un système de protection à max de courant à sélectivité logique piloté par Le langage de programmation LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench). Pour donner un aperçu sur les avantages et inconvénients de ce système, nous avons réalisé un système de protection électrique à deux niveaux au sein du laboratoire du département de Génie électrique

IV.2. Langage de programmation LabView [15]

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) est un logiciel de programmation développé par National Instrument. Ce qui différencie LabVIEW des méthodes classique de programmation est son environnement de développement graphique : le langage G. On programme en ajoutant des objets, en les reliant, en créant des structures ...

On obtient ainsi un programme sous forme de diagramme.

Contrairement aux langages de programmation textuels où les instructions sont exécutées séquentiellement, l'exécution d'un programme LabVIEW s'effectue par flux de données.

Ce logiciel 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 :

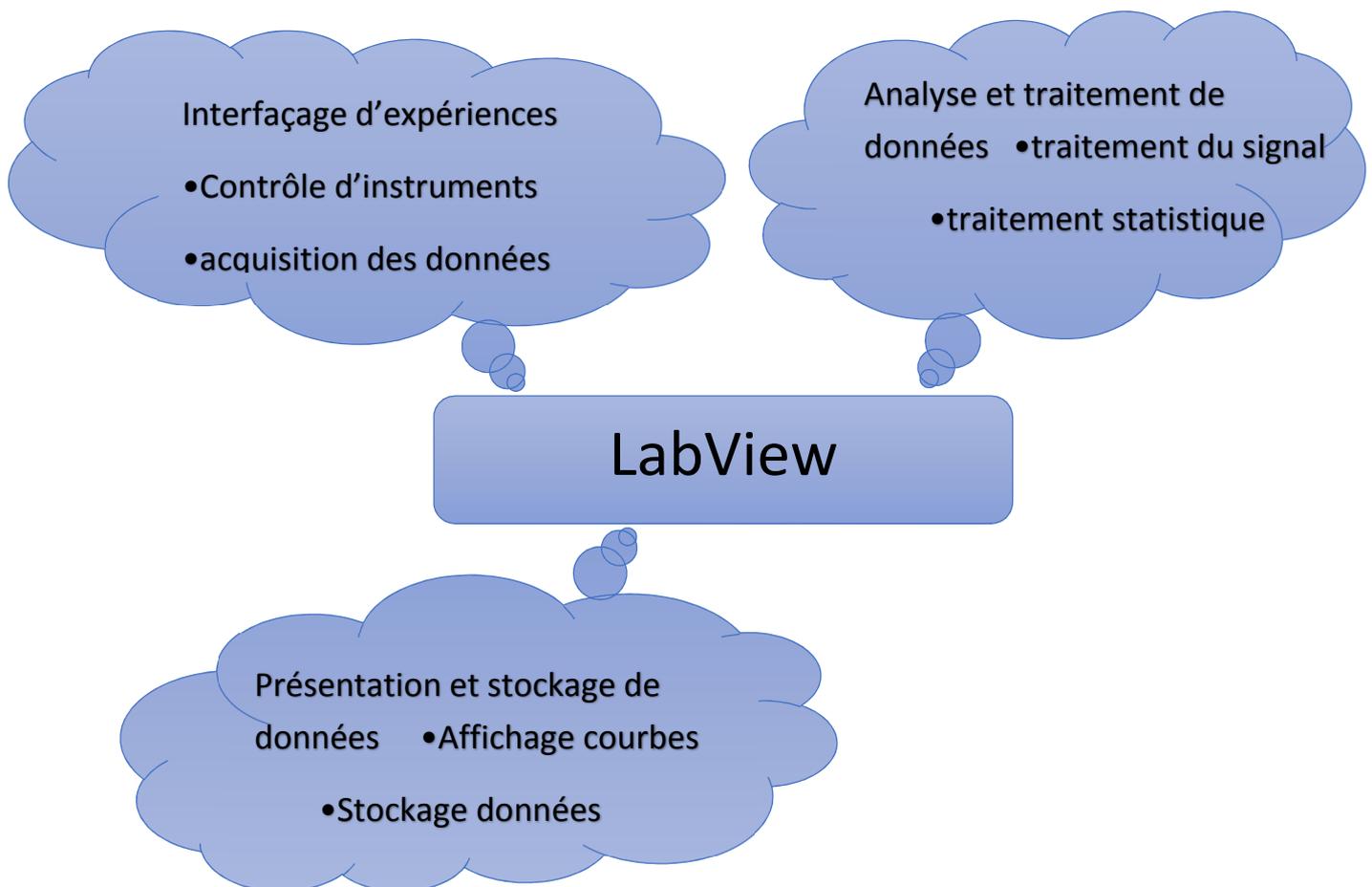
- La face avant qui constitue l'interface utilisateur

- 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.2.1. Origines de LabVIEW

LabVIEW pour Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench est un environnement de développement en langage G. Notons que l'on écrit LabVIEW et non pas LabView ou Labview, etc. 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 de développement propriétaire (par opposition à un environnement ouvert, permettant à plusieurs personnes de développer des compilateurs compatibles, comme pour C/C++, Ada, Java, Fortran, etc.) 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 (virtual instrument, ou vi) utilisant le matériel d'acquisition NI pour reproduire sur un micro-ordinateur le comportement d'un instrument personnalisé et personnalisable à volonté

IV.2.2. Premier pas

Lorsqu'on lance LabView, l'écran de démarrage permet de démarrer toutes les opérations proposées par cet environnement de développement.

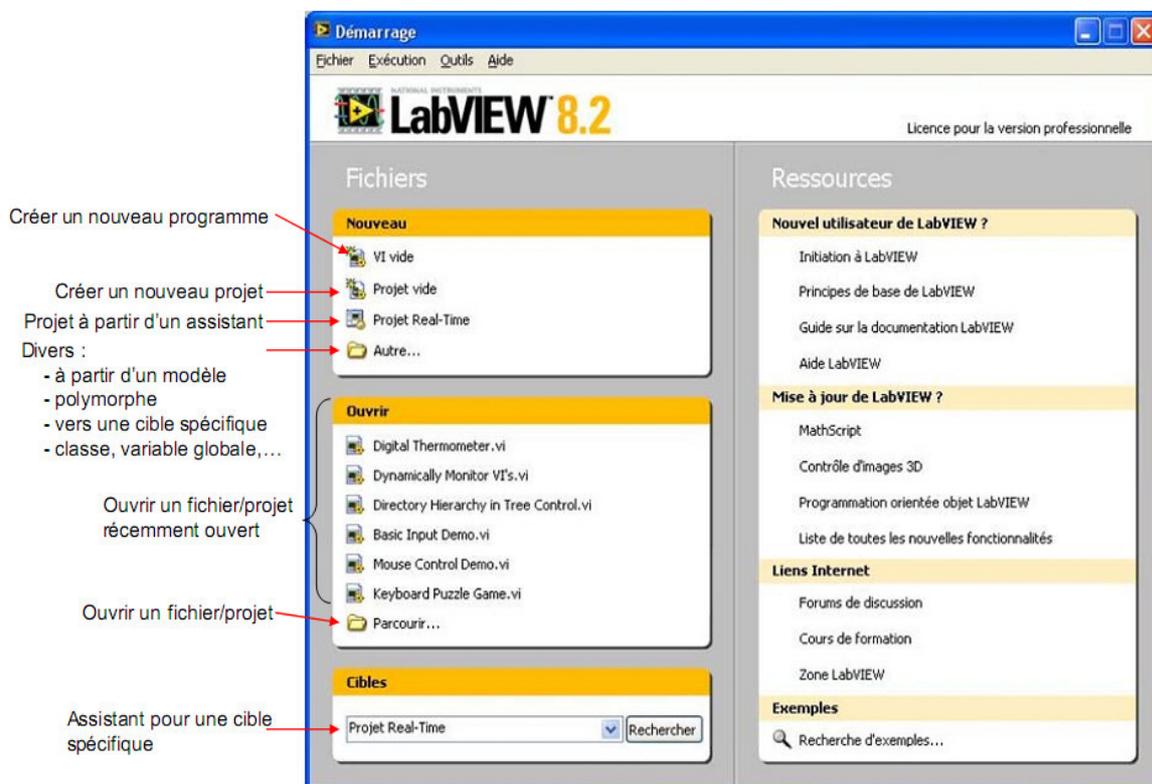


Figure.IV.1. Ecran d'accueil de LabView

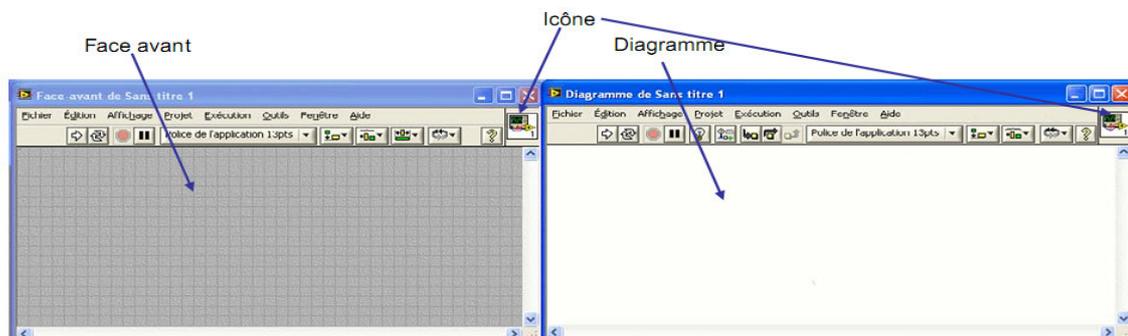
Pour créer un nouveau programme on sélectionnera « VI vide ». LabView utilise le nom de VI (Virtual instrument), à prononcer à l'anglaise, « vi-aïe » pour les programmes et sous-programmes.

Les programmes ou sous-programmes auront l'extension « .vi » et seront donc nommés vi. Nous verrons qu'il y a peu de différences entre un programme et un sous-programme, on pourra donc parfois utiliser spécifiquement le terme de « sous-vi » pour sous-programme, mais cela ne sera pas toujours le cas. Sur l'écran de démarrage, la partie gauche permet de créer ou d'ouvrir un vi ou un projet (nous verrons la notion de projet, récente dans LabView, plus loin dans la formation).

La partie droite, sur laquelle nous reviendrons bientôt, permet d'accéder à la documentation. Extrêmement riche, incluant notamment divers tutoriaux. De plus, elle donne un pointeur vers les nouveautés de la version courante par rapport à la version précédente, ainsi que vers des sites internet (ainsi Zone LabView est une zone d'échange d'expérience très active). Enfin, cet écran donne un lien vers un outil de recherche d'exemples très variés. Nous aurons l'occasion d'utiliser cet outil indispensable dès que l'on souhaite s'atteler à un type de problème nouveau.

IV.2.3. Créer un nouveau 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 (voir Fig.III.5) donné sur le diagramme (fenêtre blanche) et une interface utilisateur nommée face-avant (fenêtre grise). De plus, un vi sera symbolisé par son icône. Il est important de retenir qu'un vi est stocké dans un unique fichier .vi : 2 fenêtres, mais 1 seul



fichier.

Figure.IV.2. Un VI LabView est composé d'un diagramme (fenêtre blanche) et d'une face avant (fenêtre grise) et représenté par une icône

Sur la face-avant, nous serons donc amenés à placer des éléments graphiques (entrées du programme, à l'instar des boutons d'un instrument, sorties à l'instar des éléments affichés sur un instrument, éléments de décoration,...), alors que sur le diagramme nous placerons la logique du programme, en général logique qui relie les entrées aux sorties : comment calculer les sorties à partir des entrées.

IV.2.4. 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. Nous verrons par la suite qu'il est souvent plus rapide de faire l'inverse (sauf pour le vi correspondant à ce qui sera montré finalement à l'utilisateur).

IV.2.4.1. Palette de commandes

Commençons donc comme tout débutant par créer l'interface graphique : supposons que le programme prenne 2 numériques en entrée, et calcule un résultat sous forme d'un numérique. Il nous faudra donc créer 2 entrées numériques, et 1 sortie numérique (affichage). Dans le jargon LabView, les entrées s'appellent des commandes et les sorties des indicateurs (toujours par analogie avec un instrument).

Les commandes, indicateurs et décoration sont disponibles à partir de la palette de commandes (voir Fig.III.6) de LabView Il y a plusieurs façons d'afficher la palette de commandes :

- ✚ 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.

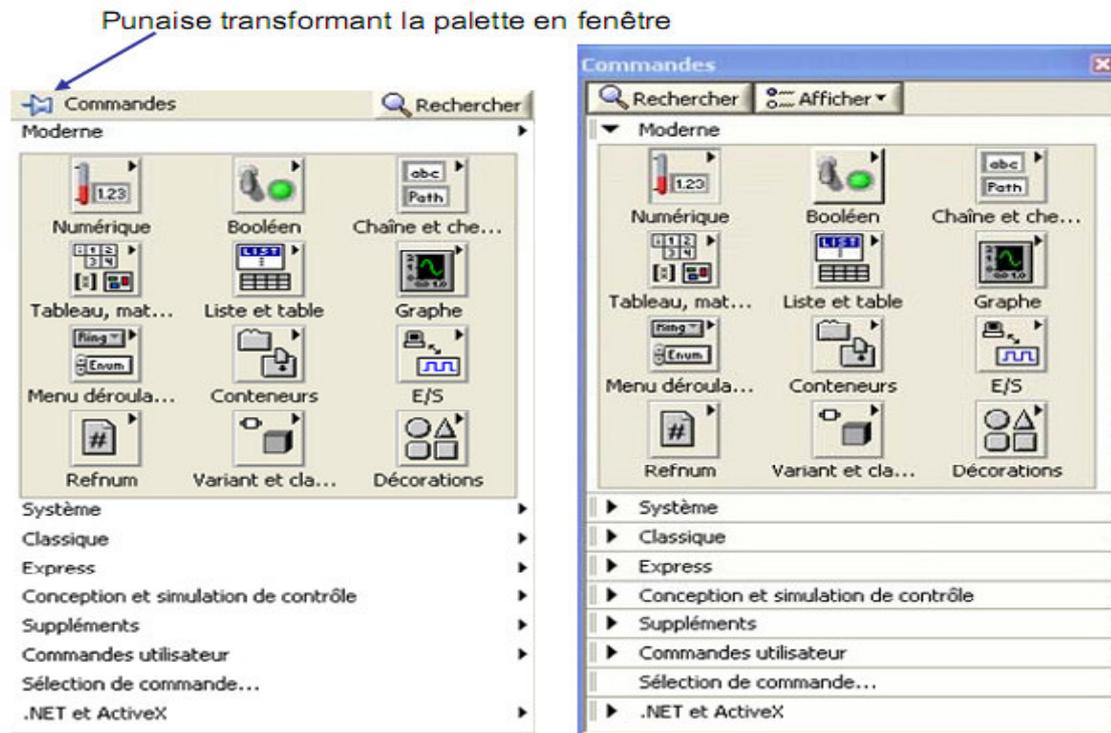


Figure.IV.3.Palette de commandes : à gauche sous forme de menu.

(Click droit sur la face-avant), à droite sous forme de fenêtre (via menu déroulant de la face avant, ou bien à l'aide de la punaise)

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).

✚ Fig. III.7. Commandes et un indicateur numériques.

IV.2.4.2. Palette d'outils

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, leredimensionner  (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 parce-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

(Voir Fig.III.8) La palette d'outils apparaît à l'aide du menu déroulant.

« 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.

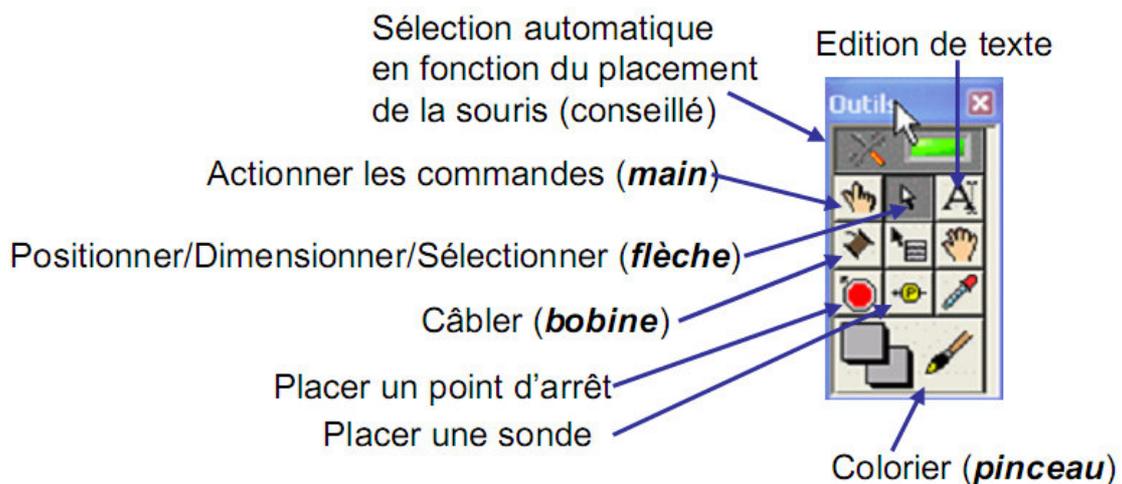


Figure.IV.4. La palette d'outils permet de choisir la fonctionnalité de la souris.

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.3. La partie pratique

IV.3.1 Réalisation pratique d'un système de protection à sélectivité logique

Le système réalisé est constitué de deux protections à max de courant. Chaque protection ce compose de plusieurs éléments :

- a) Capteur de courant
- b) Comparateur numérique
- c) Circuit de commande
- d) élément de coupure

Les donné de ce système

$U_s = 220V$ $F = 50 \text{ Hz}$ La Charge Variable = 250Ω

Le Rapport de transformation = $1/10$

La Seule des deux protections sont le même = 1.1 A

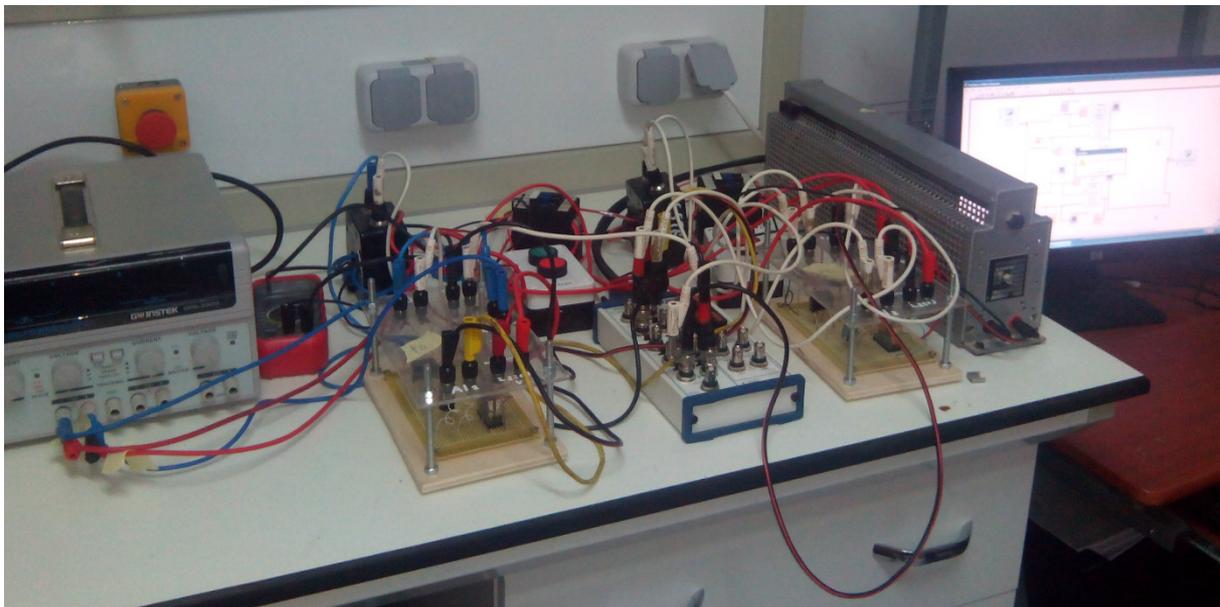


Figure.IV.5.Montage du système de protection à sélectivité logique réalisée au laboratoire du département de Génie électrique

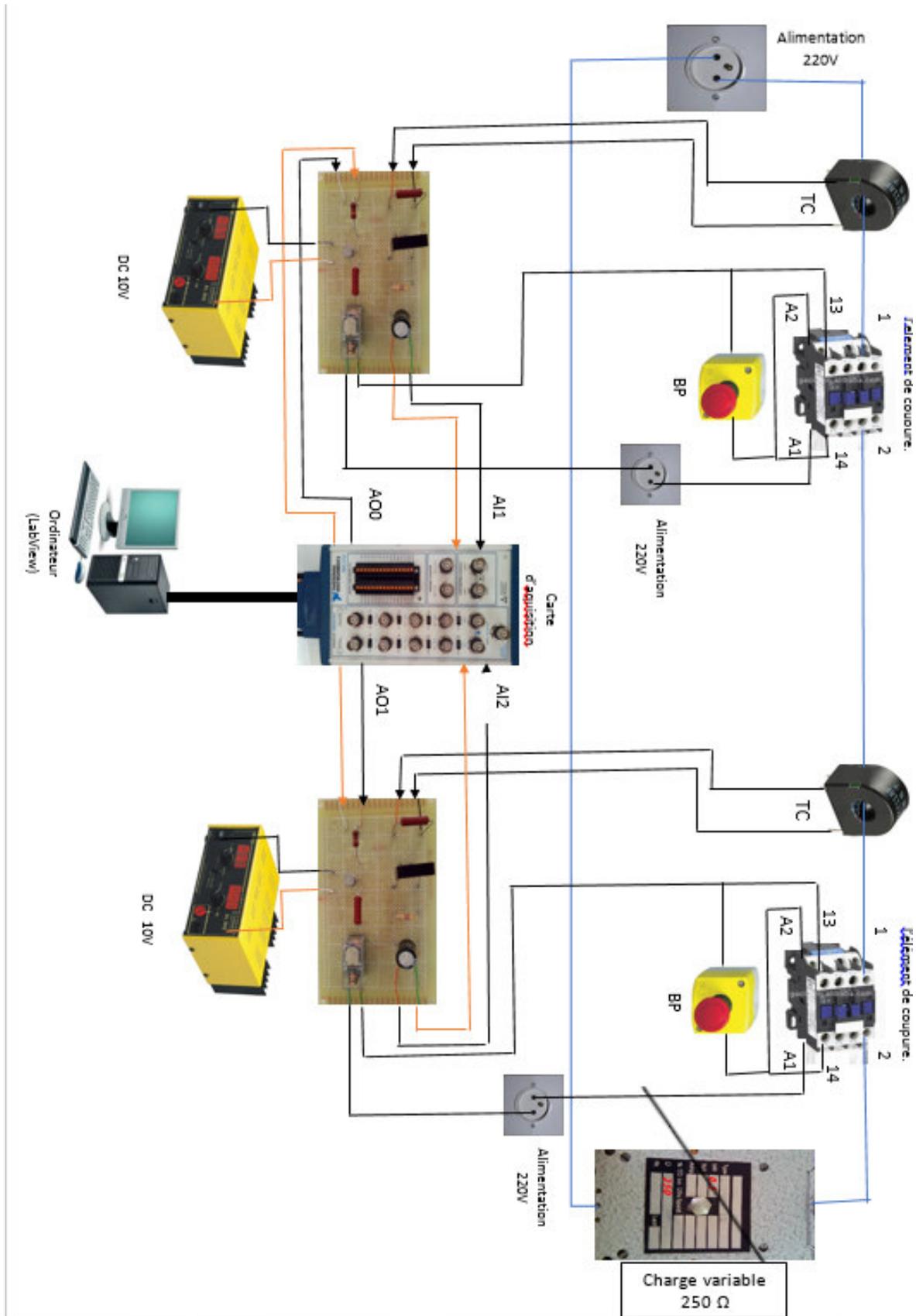


Figure.IV.6.Scéma synoptique du système de protection à sélectivité logique réalisé.

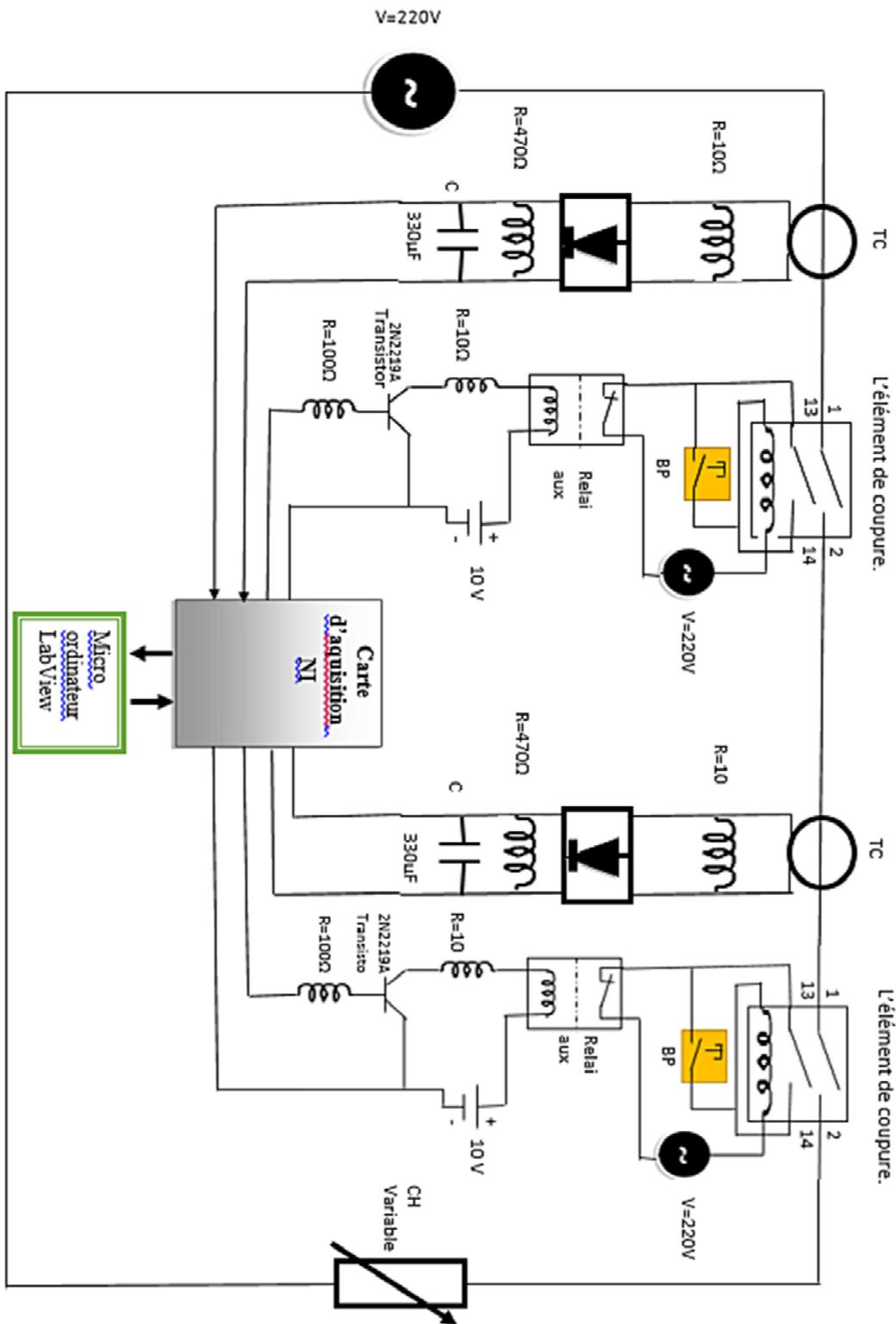


Figure.IV.7. Circuit électrique du système de protection réalisé

IV.3.2. La réalisation pratique d'un relai numérique

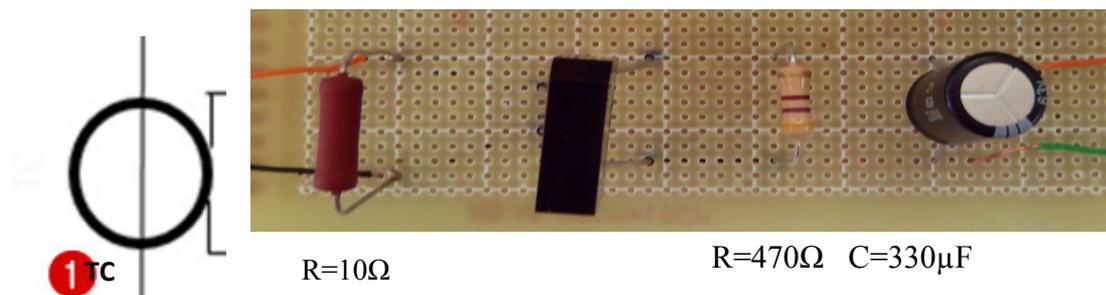
IV.3.2.1. La partie électronique

Les éléments nécessaires de ce partie est :

IV.3.2.1.A. Capteur de courant

Sont utilisés pour fournir l'information aux « relais » de protection et de mesure du courant,

la tension de sortie de TC est redressé par un pont à 4 diodes est filtrée par un RC parallèle $R=470\Omega$; $C=330\mu F$



- 1 Un TC tore
- 2 Une faible Résistance pour cour circuit le TC $R=10\Omega$
- 3 Pan de diode (redresseur)
- 4 Circuit RC pour le filtrage $R=470\Omega$ $C=330\mu F$

Figure.IV.8. Capteur de courant

IV.3.2.1.B. Amplificateur de puissance

- 1/ Résistance = 100Ω
- 2/ Transistor Réf : 2N2219A
- 3/ Source de courant continu 10V
- 4/ Résistance = 10Ω
- 5/ Relai auxiliaire

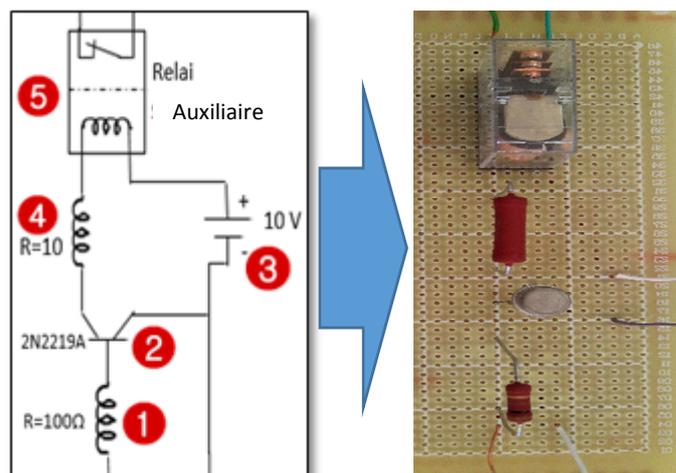


Figure.IV.9. Amplificateur de puissance

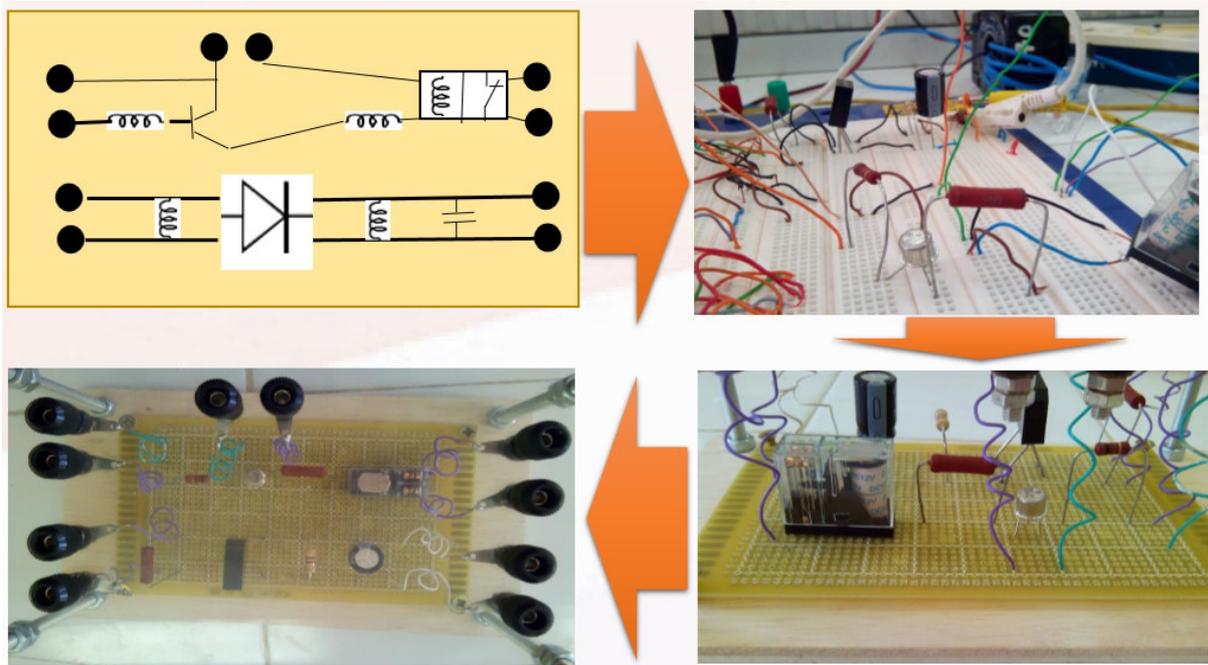


Figure.IV.10. Réalisation pratique d'un relai numérique

IV.3.2.2. La Partie Numérique

Pilotage sous LabView du système de protection à sélectivité

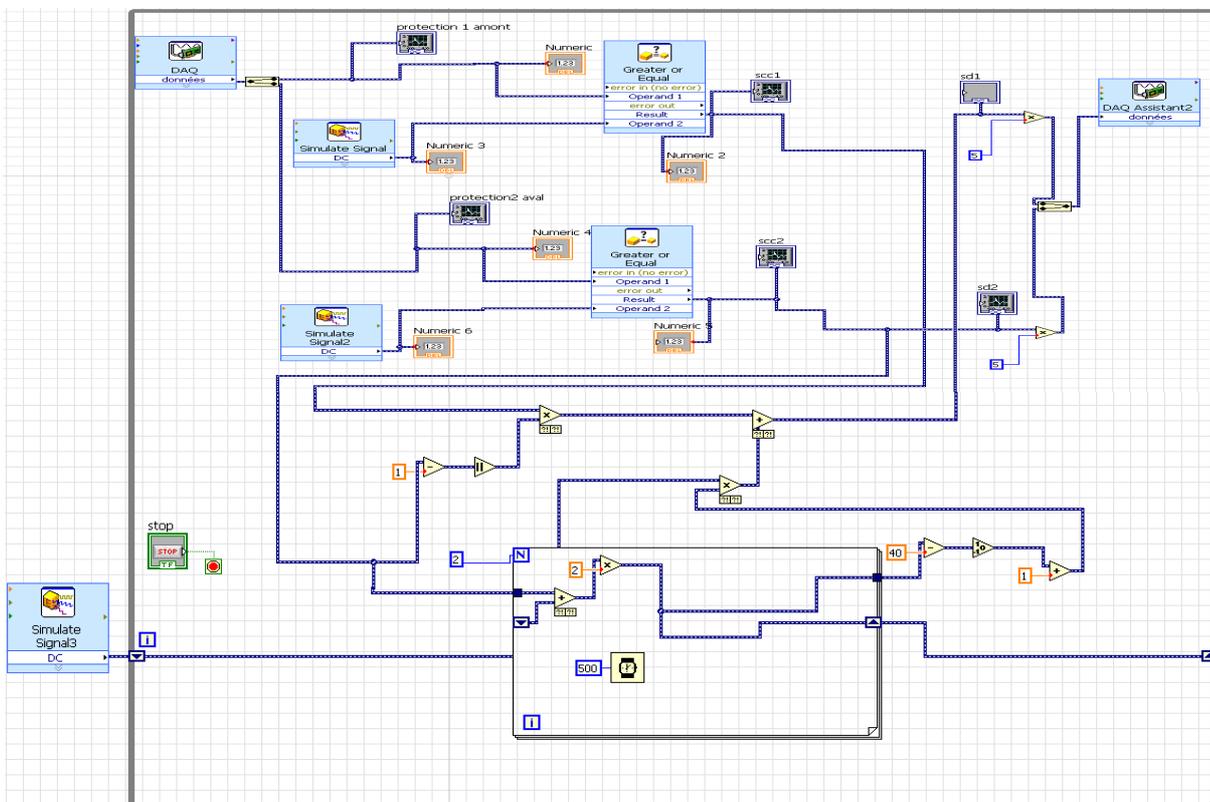


Figure.IV.11. Interface LabView du système

IV.3.3. Circuit de commande

- 1/ Carte d'acquisition
- 2/ Amplificateur de puissance
- 3/ Source continu 10V
- 4/ Contacteur
- 5/ Boutant Poussoir
- 6/ Alimentation 220V

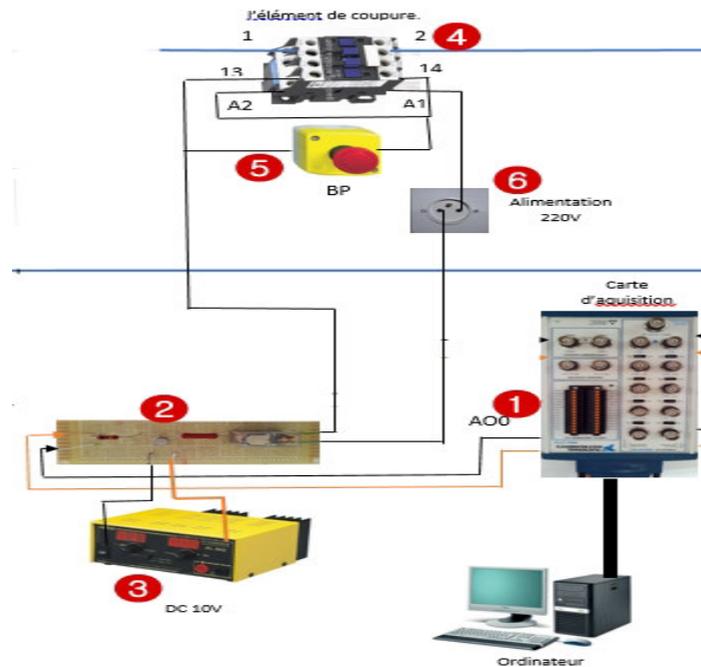


Figure.IV.12. Circuit de commande

IV.3.4. Traçage de caractéristique du capteur

I(mA)	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Uc(mv)	7	25	79	132	218	320	417	527	674	754

Tableau.IV.1. présenté la tension en fonction de courant

Cette figure présentée la relation entre le courant au niveau de TC et la tension a la sortie de redresseur.

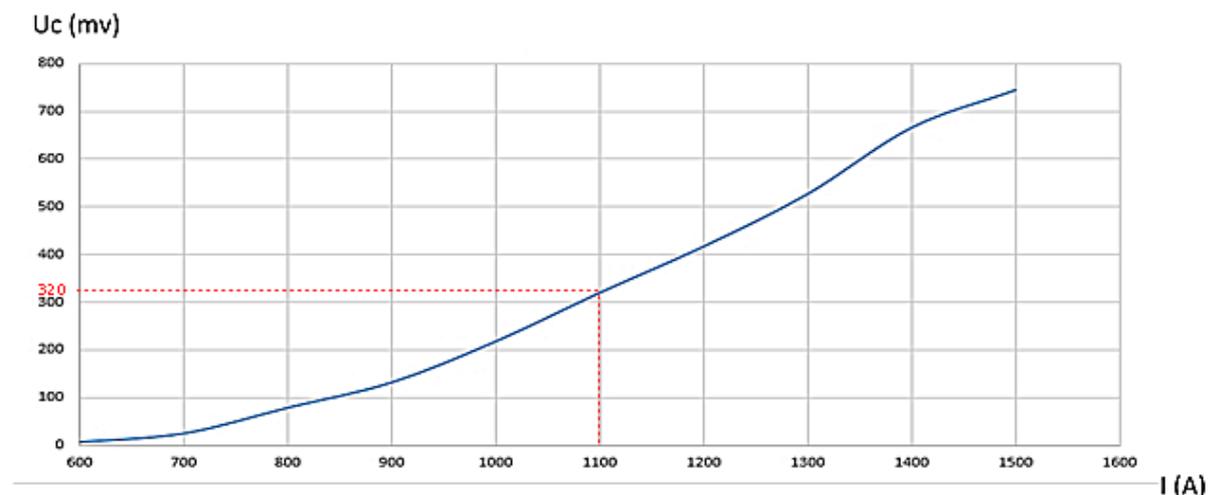


Figure.IV.13. Caractéristique du capteur

La Seuil de protection = 1.1 A \longrightarrow L'image de seuil = 0.32 V

IV.3.5. Les essais

IV.3.5.1. Premier cas (sans sélectivité logique)

Lorsqu'on a une augmentation brusque du courant (dépassé la valeur de seuil) au niveau de la deuxième protection, le relai numérique détecte le défaut et envoie un signal de coupure vers les deux éléments de coupure.

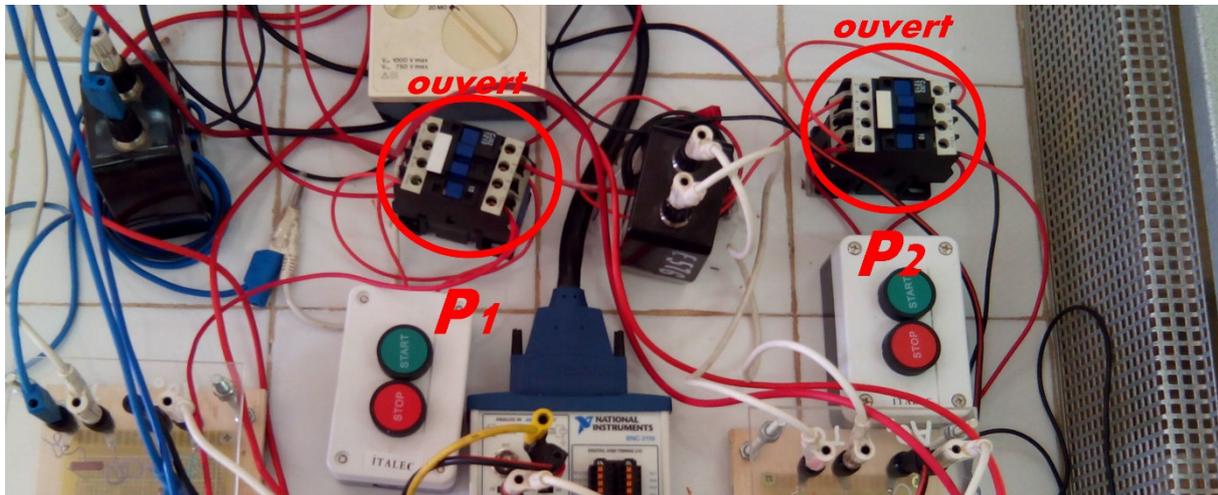


Figure.IV.14. Protection sans sélectivité logique

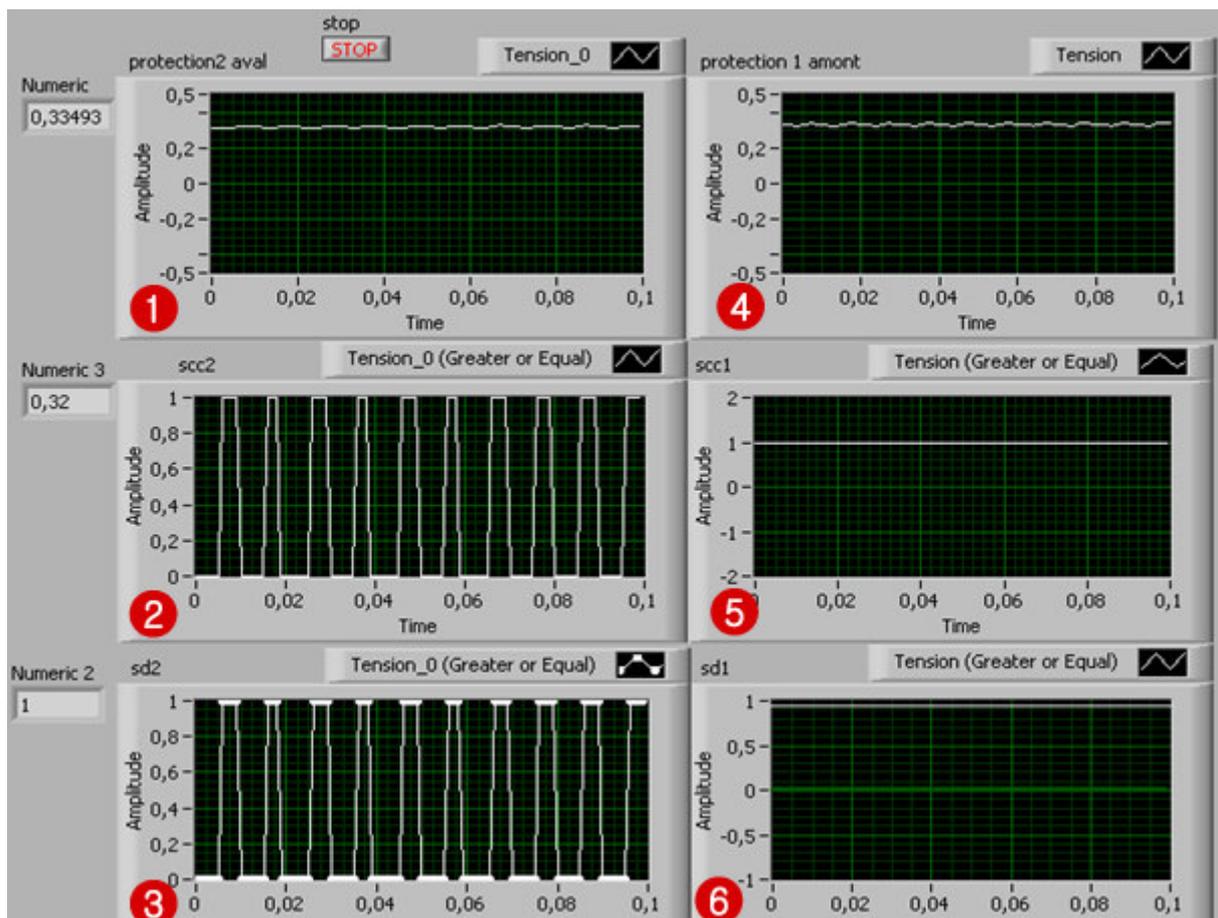


Figure .VI.15. Résultat de premier cas (sans sélectivité logique)

Dans ce cas on n'a pas une isolation du défaut et continuité de service pour les charges.

- 1/ Image de courant au niveau de première protection
- 2/ Signal de court-circuit de première protection
- 3/ Signal de déclenchement de première protection
- 4/ Image de courant au niveau de deuxième protection
- 5/ Signal de court-circuit de deuxième protection
- 6/ Signal de déclenchement de deuxième protection

IV.3.5.2. Deuxième cas (avec sélectivité logique)

Lorsqu'on a une augmentation brusque du courant, le relai effectue une comparaison entre la valeur de courant et la valeur de seuil afin d'envoyer un signal de coupure au P2 et un signal d'attente logique au P1 pour attendre une durée prédéfinie avant le déclenchement. Lorsque le défaut est suspendu l'élément de coupure de P1 ne déclenche pas : continuité de service pour les charges raccordées au niveau de cette dernière protection.

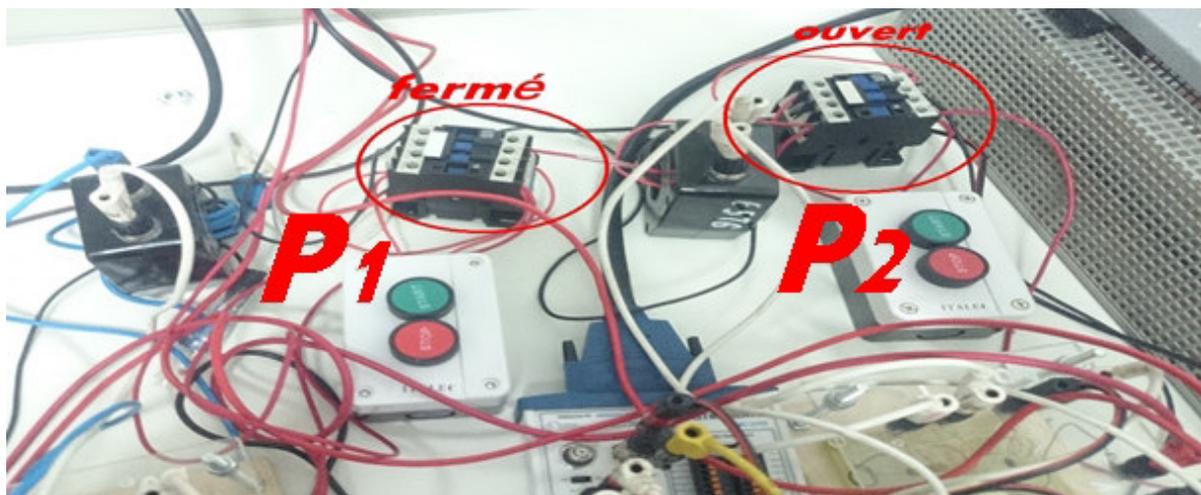


Figure.IV.16. Protection avec sélectivité logique

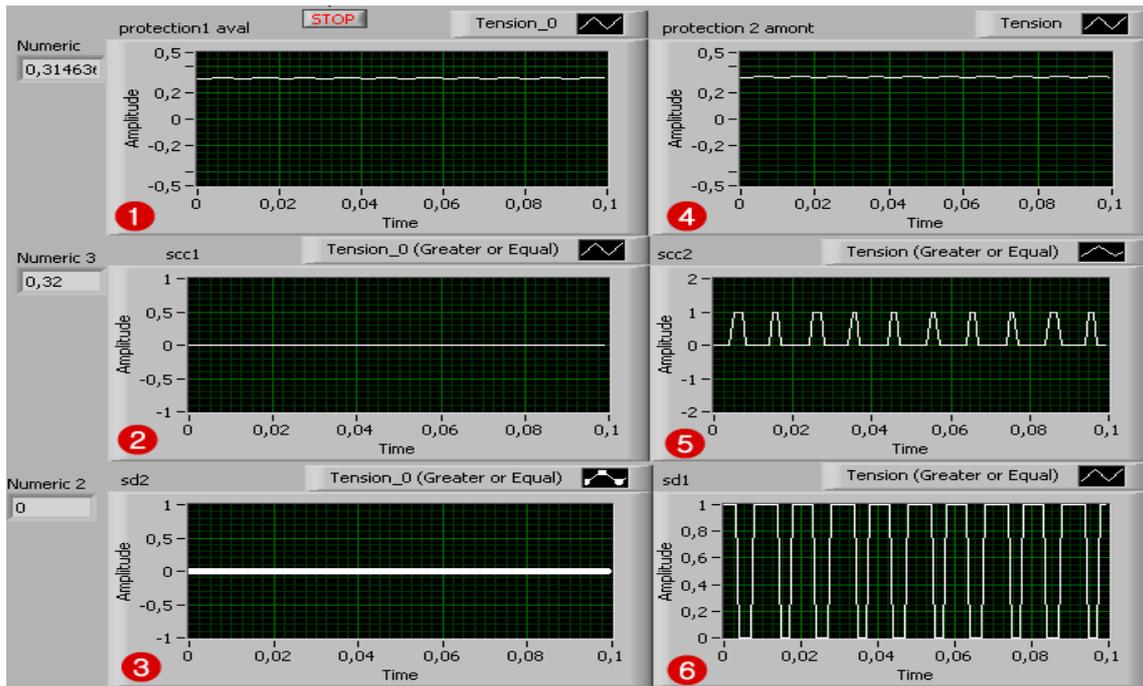


Figure .VI.1. Résultat de deuxième cas (avec sélectivité logique)

IV.4. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la réalisation pratique d'un système de protection à max de courant à sélectivité logique. Elle offre plusieurs avantages tels que la rapidité des déclenchements obtenue et qui permet de réduire les exigences sur la tenue au court-circuit des canalisations, de l'appareillage, des transformateurs de courant. Les essais pratiques effectués au sein du laboratoire montrent le bon fonctionnement de la protection réalisé.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Après cette étude et la recherche menée dans ce mémoire, nous avons constaté l'importance et la nécessité des systèmes de protection électriques dans un réseau électrique. Egalement l'importance de leur précision et rapidité avec une sélectivité qui a pour objectif d'assurer la continuité de service et la fonction secours entre les différents éléments constitutifs de la chaîne de protection. Dans un premier temps, nous avons rappelé les perturbations qui peuvent affectés le bon fonctionnement du réseau électrique ainsi que leurs origines et les conséquences. Sont étudiés le court-circuit, la surtension et les harmoniques.

L'objectif principal du présent travail a concerné la simulation et la réalisation pratique d'un système de protection à max de courant à sélectivité logique piloté sous le programme Labview. 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 du système proposé. En effet, pour arriver à cette fin nous avons mené le travail selon les étapes suivantes :

- Simulation / réalisation pratique d'un relais numérique sous Labview.
- Simulation / réalisation pratique d'une protection à max de courants contre les courts-circuits.
- Simulation / réalisation pratique d'un système de protection à max de courant à sélectivité logique à deux niveaux (2 protections à max de courant en cascade).
- Simulation d'un système de protection à max de courant à sélectivité logique à trois niveaux.

Les résultats obtenus (simulation / réalisation pratique) sont très encourageant et comme perspective nous pensons à rajouter d'autre fonctions telle que par exemple la directionnalité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bouchahdane Mohamed" Etude des équipements de protection de la nouvelle ligne 400 kv en Algérie" Mémoire de magister université Mentouri Constantine 2009.
- [2] B. de Metz-Noblat, F. Dumas. G. Thomasset, «Calcul des Courants de Courts Circuits", Schneider Electric, C. 158, 2000.
- [3] H.BEN Chikh, « Protection Etage MT», institut de formation en électricité et Gaz (IFEG) Ain M'Lila, Group SONELGAZ, Décembre 2009.
- [4] Meliki Okba, Terbak Tarek, «Etude de la Protection du Réseau Electrique de Biskra", Mémoire Master, Université de Biskra, 2011.
- [5] : J.C.Sabonnadière, N.Hadjsaid, « Lignes et réseaux électriques 2 »,J.C.Sabonnadière , Hermes science, Paris, 2007
- [6] : documente technique de Schneider « La protection différentielle dans les installations électriques basse tension » France, Juin 2001
- [7] : cahiers technique 2 de Schneider, Pierre Bertrand, « les protections directionnelles »,
- [8] Livre Etude de paratonnerres à dispositif d'amorçage (MM.CHARPENTIER HALAMA)
- [9] Les perturbations électromagnétiques basse et haute fréquence (Schneider)
- [10] DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE Thèse soutenue (Système de protections novateur et distribué pour les réseaux Moyenne Tension du futur) « Cristian Jecu » 16 septembre 2011
- [11] boughazala Mohamed Salah, mémoire Magistère << Etude et simulation d'un coupleur des signaux AHF pour réseau d'énergie électrique sélectivité logique des protections>> université de Biskra 2013
- [12] Tolba Amrane, "Coordination orientee objet de la protection des réseaux électriques, " Thèse de doctorat, université de BATNA 2007.
- [13] 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 ELECTRIQUE, Ecole Nationale Polytechnique,

[14] cahier technique 2 <<protection des réseaux par le Système de Sélectivité Logique>>

[15] Nicolas POUSSET Docteur Institut national de métrologie France 3/2/2010