



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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electromécanique
Electromécanique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

Amoria Mohammed Anwar \ Abdelatif Mohammed Elamine

Le : juin 2025

Réalisation pratique d'un système de protection différentielle numérique

Jury :

Dr	Chenoufi Halim	Pr	Université de Biskra	Président
Dr	Cheriet Ahmed	Pr	Université de Biskra	Encadreur
Dr	Ben Alia Khaled	Pr	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2024\2025



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

MÉMOIRE DE MASTER

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electromécanique
Electromécanique

Réf. : Entrez la référence du document

Réalisation pratique d'un système de protection

Le : juin 2025

Présenté par :

Amoria Mohammed Anwar
Abdelatif Mohammed Elamine

Avis favorable de l'encadreur :

Cheriet Ahmed

Signature Avis favorable du Président du Jury

Chenoufi Halim

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

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 : Electromécanique Option : Electromécanique

Thème :

Réalisation pratique d'un système de protection

Résumé :

Ce mémoire a pour principal objectif la réalisation pratique d'un système de protection électrique basé sur la protection différentielle, un mécanisme reconnu pour son efficacité dans la détection des courants de fuite ou des défauts d'isolement. Le système a été conçu et testé dans un cadre didactique au sein du laboratoire de notre université. Le dispositif développé repose sur la carte Arduino pour l'acquisition et le traitement des signaux, et sur le logiciel LabVIEW pour l'interface de visualisation et de contrôle. Les essais réalisés ont démontré que le système est capable de détecter efficacement les défauts simulés, avec une réponse rapide et fiable.

Mots clés : protection différentielle, relais numérique, Labview, réalisation pratique.

الملخص

الهدف الرئيسي من هذه الأطروحة هو التنفيذ العملي لنظام السلامة الكهربائية القائم على الحماية التفاضلية، وهي آلية معترف بها لفعاليتها في الكشف عن تيارات التسرب أو أعطال العزل. لقد تم تصميم النظام واختباره في بيئة تعليمية داخل مختبر جامعتنا. يعتمد الجهاز المتطور على بطاقة Arduino لالتقاط الإشارة ومعالجتها، وعلى برنامج LabVIEW لمواجهة التحكم. تم دمج العديد من المكونات الكهربائية في النموذج، بما في ذلك الثنائيات والمكثفات والمقاومات، من أجل محاكاة البيئة الحقيقية. وقد أثبتت الاختبارات التي أجريت أن النظام قادر على اكتشاف الأخطاء المحاكاة بشكل فعال، مع استجابة سريعة وموثوقة.

الكلمات المفتاحية: الحماية التفاضلية، مرحل رقمي، لافيفو، انجاز عملي.

DEDICACES

الحمد لله... ما انتهى عمل ولا ختم جهد ولا تم سعي الا بفضلله وتوفيقه وكرمه.. الحمد لله على
البلوغ ثم الحمد لله على التمام. الحمد لله حتى يبلغ الحمد منتهاه. وصلى الله على سيدنا محمد
وعلى آله وصحبه أجمعين..

إلى عائلتي.. إلى النور لدرب "إقرأ" □

إلى أبي محفزي وملهمي لكلمة " إقرأ □

إلى أمي.. إلى بعضي وكلي من وهبتي الأمل "لأقرأ" □

إلى أفراد أسرتي.. إخوتي الساعيين لمجد "إقرأ" □

إلى وطني.. إلى بلدي الغالية. إليك جزائر "إقرأ" □

إلى أساتذتي.. إليك معلمي " لأقرأ □

إلى رفقاء الدرب.. زملائي في مشوار " إقرأ □

إلى نفسي من عملت لأجل أن "أقرأ" □

إلى كل من طلب الأعالى.. إليكم طلبه " إقرأ □

أهديكم ثمرة إنتاجي..

Remerciements

Je remercie DIEU qui m'a donné la force, la patience et la volonté tout au long des années de mes études, et m'a honoré de sa science pour la réalisation de ce travail.

Je tiens, au terme de ce travail, à exprimer mon plus grand remerciement à Monsieur : **CHERIET Ahmed**, qui a suivi de près et qui a accepté de diriger mon travail avec patience et beaucoup d'intérêt, pour ses conseils judicieux, ses observations et son assistance. Je lui exprime vivement mon grand respect.

Mes vifs remerciements vont aussi à Monsieur **Chenoufi Halim** qui m'a honoré d'avoir accepté de présider mon jury.

Aussi je tiens à remercier Monsieur **Ben alia Khaled** pour l'honneur qu'il m'a donné en étant l'examineur de mon mémoire.

Je ne saurai oublier les responsables du Laboratoire Génie Electrique pour leur précieuse aide.

Sans oublier les professeurs du département de Génie Electrique pour leurs efforts et leurs sincérités.

Listes des figures

Figure I.1 : Types de court-circuit	15
Figure I .2 : Frappe directe de la foudre sur une ligne électrique	17
Figure I .3 : Frappe de foudre lointaine (indirecte)	17
Figure I .4 : Schéma d'un réseau triphasé avec des récepteurs déséquilibrés alimenté par une Source triphasée de tension	24
Figure I .4 : défaut de la terre	27
Figure II.2.1 : Système de protection	30
Figure II.2.3 : Types des relais	33
FigureII.3.1: Protection à max de courant	34
Figure II.3.1.2.1: Protection à Temps Indépendant	35
Figure II.3.1.2.2 : Protection à Temps Inverse	35
Figure II.3.2 : Protection à min de courant	36
Figure II.3.3: Protection directionnelle	37
Figure II.3.4: Protection à max de tension	38
Figure II.3.5: Protection à min de tension	39
Figure II.3.6: Protection différentielle	40
FigureIII.3.1.2.1 : Sélectivité ampérométrique	44
Figure III.3.1.2.2 : Sélectivité chronométrique	44
Figure III.3.1.2.3 : Exemple d'utilisation de la sélectivité logique	45
Figure III.3.1.3.2: Disjoncteurs différentiels à courant résiduel (DDR).....	46
Figure IV.1 : : Fenêtre de l'environnement de développement sur LabVIEW(diagramme)....	53
Figure IV.2 : : Fenêtre de l'environnement de développement sur LabVIEW(face-avant) ...	54
Figure IV.3 : Illustration de la palette d'outils	55
Figure IV. 4 : Illustration de la palette des commandes	55
FigureIV.5 : Illustration de la palette des fonctions	56
Figure IV.6 : Les différents types de structures de données dans LabVIEW.	57
Figure IV.7 : Schéma électrique (sans protection)	57
FigureIV.8 : Photo de Schéma électrique (sans relais)	58
Figure IV.9 : schéma de Système de protection (relais différentiel)	59
Figure IV.9 : Système de protection (relais différentiel)	59
Figure VI.7 : Tore Magnétique	62
Figure VI.10 : Pont de redressement	63
Figure VI.11 : la plaque d'essai	64
Figure VI.12 : Arduino	66
Figure IV.13 : comparateur dans LabVIEW	66
Figure IV.14 : diagramme dans LabVIEW	67
Figure IV.1 : Courbe caractéristique entre $U_{out}(V)$ et $I_f(A)$	68
Figure IV.15 : schéma relai numérique différentiel on LabVIEW	69

Listes des tableaux

Tableau II.2.3 Types des relais.....	35
Tableau IV.1 Résultats expérimentaux	70

Symbole

TC : Transformateur de courant

TT : Transformateur de tension

In : Courant nominale

Imax : Courant maximale

Icc : Courant de court-circuit

Iccmin : Courant de court-circuit minimum

Sommaire

Chapitre I : Les défauts électriques	16
1. Introduction.....	16
I .2. Défaut de court-circuit	17
I .2.1. Types de court-circuit	17
I.2.1.1. Court-circuit monophasé :	17
I .2.2. Classification du court-circuit selon la durée	18
I .2.4. Conséquences de court-circuit	21
I .2.5. Systèmes de protection contre le court-circuit.....	22
I .3. Défauts de surcharges	22
I .3.1. Causes des surcharges	22
I .3.2. Conséquences des surcharges	23
I .3.3 Systèmes de protection contre les surcharges	24
I .4. Défauts de surtension	24
I .4.1. Types de surtension	24
I .4.2. Causes de surtension	25
I .4.3. Conséquences de surtension	26
I .4.4. Systèmes de protection contre les surtensions	26
I .5. Défauts de déséquilibre	26
I .5.1. Causes du déséquilibre	27
I .5.2. Conséquences du déséquilibre	28
I .5.3. Système de protection contre les déséquilibres :	28
I .6. Défaut de terre	28
I .6.1. Causes des défauts de terre	29
I .6.2. Conséquences du défaut terre	29
I .6.3. Systèmes de protection contre les défauts de terre	30
I .7. Conclusion :	30
Chapitre II : Les systèmes de protection	31
II.1. Introduction	32
II.2. Système de protection	32
II.2.1. Les éléments	32
II.2.2. Capture de mesure	32
II.2.2.1. Capture de tension	33
II.2.2.2. Capteur de courant	33
II.2.3. Relais	33
II.2.3.1. Relais électromécanique	33

II.2.3.2. Relais statique	34
II.2.3.3. Relais numérique	34
II.2.4. Disjoncteurs	35
II.2.4.1. Disjoncteur a air:	35
II.2.4.2 Disjoncteur a huile:	35
II.3. Fonction de protection:	36
II.3.1. Protection à max de courant	36
II.3.1.1. Principe de fonctionnement	36
II.3.1.2. Types	37
II.3.2. Protection à min de courant	38
II.3.2.1. Principe de fonctionnement	38
II.3.2.2. Types	39
II.3.3. Protection Directionnelle	39
II.3.3.1. Principe de fonctionnement	39
II.3.3.2. Mesure de tension et courant	39
II.3.3.3. Coordination avec les disjoncteurs	39
II.3.3.4. Types	39
II.3.4. Protection à max de tension:	40
II.3.5. Protection a min de tension	40
II.3.6. Protection différentielle	41
II.3.6.1. Principe de fonctionnement:	41
II.3.6.2. Mesure des courants	42
II.3.6.3. Détection du courant de fuite:	42
II.3.6.4. Déclenchement:	42
II.3.6.5. Types :	42
II.4. Conclusion	43
Chapitre III : Qualité d'un system de protection.....	44
Qualité d'un system de protection	44
III.1. Introduction	45
III.2. Qualités principales d'un système de protection	45
III.2.1. Sélectivité	45
III.2.1.1. Types de sélectivité.....	45
III.2.1.3. Importance de sensibilité dans les systèmes électriques	48
III.2.2Sensibilité	49
III.2.2.1. Définition	49
III.2.2.2. Importance de Sensibilité dans les systèmes électriques	49
III.2.3 Fiabilité	50
III.2.3.1. Définition	50

III.2.3.2. Importance de la fiabilité dans les systèmes électriques	50
III.2.4. Rapidité	50
III.2.4.1. Définition	50
III.2.4.2. Importance de la rapidité dans la protection électrique	51
III.2.5. Facteurs influençant la qualité	51
III.2.5.1. Caractéristiques d'un équipement électrique de qualité	51
III.2.5.2. Importance de la qualité des équipements électriques	52
III.4. Conclusion	52
Chapitre IV: Réalisation pratique d'un système De protection différentielle.....	53
IV.1. Introduction :	54
IV.2. LabVIEW:.....	54
IV.2.1. L'environnement LabVIEW :	54
IV.2.3: Structure des données manipulées avec LabVIEW	58
IV.3. Réalisation pratique:.....	58
IV.3.1. Circuit sans protection :	58
FigureIV.8 : Schéma électrique (sans relais)	59
IV.3.2. Circuit avec système de protection :	60
IV.3.3. Eléments constitutifs du système de protection	62
IV.3.3.1. Tore Magnétique:	62
IV.3.3.2. Pont de redressement :	64
IV.3.3.3. La plaque d'essai:	65
IV.3.3.4. Arduino :	66
IV.3.3.5. Application LabVIEW :	68
IV.3.4. Résultats expérimentaux:.....	69
Conclusion IV.5 :	72

Introduction générale

La sécurité électrique constitue un enjeu fondamental dans la conception, l'exploitation et la maintenance des installations électriques. Avec l'augmentation constante de la demande en énergie et la complexité croissante des réseaux, les systèmes de protection deviennent indispensables pour garantir la sûreté des biens, la continuité de service et la protection des personnes contre les risques électriques.

Parmi les différentes méthodes de protection utilisées, la protection différentielle se distingue par sa capacité à détecter rapidement les défauts d'isolement et les fuites de courant, en comparant le courant entrant et sortant d'une installation. Son efficacité, sa rapidité d'intervention et sa simplicité d'intégration en font une solution largement adoptée dans les systèmes modernes.

Dans ce contexte, notre travail de fin d'études s'inscrit dans une démarche à la fois didactique et pratique, visant à concevoir et réaliser un système de sécurité électrique fonctionnel basé sur la protection différentielle. Ce système a été développé en utilisant une carte Arduino pour le traitement des signaux, en combinaison avec le logiciel LabVIEW pour l'acquisition et la visualisation des données. Plusieurs composants électroniques et électriques ont été intégrés afin de simuler des situations réelles de défaut.

Ce projet, réalisé au sein du laboratoire de notre université, a pour ambition de démontrer non seulement le fonctionnement d'un tel système de protection, mais aussi d'offrir une plateforme pédagogique pour l'apprentissage et l'expérimentation des principes fondamentaux de la sécurité électrique.

Ce mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre présente les défauts électriques.
- Le deuxième chapitre est consacré aux systèmes de protection.
- Le troisième chapitre présente la qualité d'un système de protection.
- Le quatrième chapitre concerne la réalisation pratique d'un système de protection différentielle.

Nous terminerons par une conclusion générale dans laquelle nous exposerons les perspectives futures de ce travail.

Chapitre I

Les défauts électriques

I.1. Introduction:

Les réseaux électriques sont constamment exposés à des défauts pouvant résulter de diverses perturbations, qu'elles soient d'origine humaine, électrique, atmosphérique ou encore mécanique.

Ces défauts peuvent compromettre la stabilité du réseau ainsi que la qualité de l'énergie fournie aux utilisateurs.

Les défauts varient selon leur nature et leurs causes. Ils peuvent être dus à un court-circuit, une perte d'isolement, une surtension, une surcharge, ou encore à des facteurs extérieurs comme les conditions climatiques. Bien que les types de défauts soient divers, leurs conséquences ont souvent un impact négatif sur la performance du système, d'où l'importance de les comprendre, les classer et d'étudier leurs origines et conséquences.

I.2. Défaut de court-circuit

Le court-circuit désigne un défaut électrique de nature transitoire qui survient lorsqu'il y a une défaillance de l'isolement entre deux conducteurs soumis à des potentiels différents, ou entre un conducteur actif et la terre. Ce phénomène peut se produire à l'intérieur ou à l'extérieur des équipements électriques tels que les machines ou les armoires de distribution [1].

I.2.1. Types de court-circuit:

I.2.1.1. Court-circuit monophasé:

Il implique un contact direct entre une phase et la terre ou une masse métallique. Ce type est fréquemment rencontré dans les réseaux moyens tension.

- Court-circuit biphasé : se produit lorsqu'il y a un contact entre deux phases. Il peut être soit biphasé à la terre ou biphasé isolé.
- Court-circuit triphasé : un court-circuit simultané entre les trois phases. Il peut également inclure la terre dans le cas d'un défaut triphasé à la terre. Ce type est le plus grave en termes de courant de défaut.

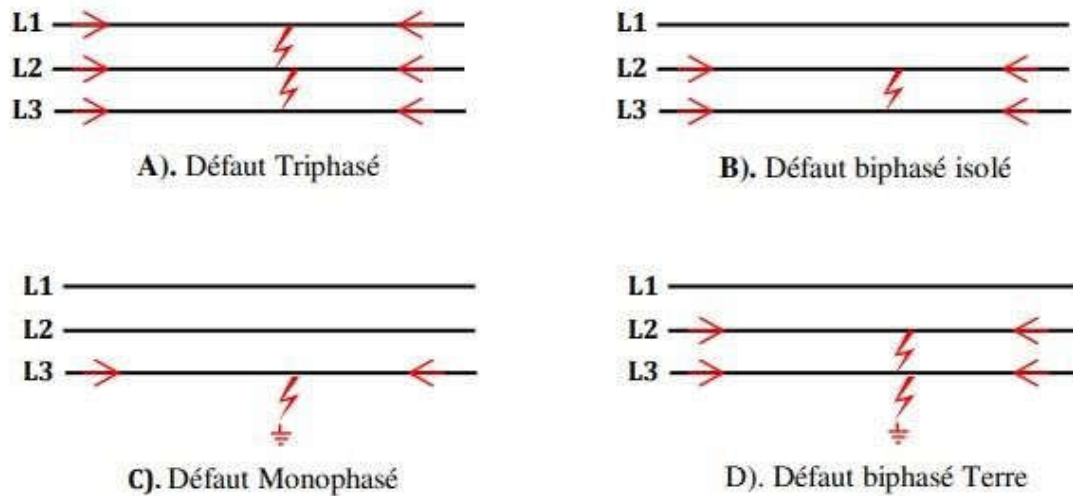


Figure I.1 : Types de court-circuit

I.2.2. Classification du court-circuit selon la durée:

Les courts-circuits peuvent être classés en fonction de leur durée d'existence dans le réseau. Cette classification permet de mieux adapter les dispositifs de protection et les procédures de rétablissement du service. [2]

- Court-circuit auto-extincteur : ce défaut disparaît spontanément en un temps très court, sans provoquer le déclenchement des dispositifs de protection. Il est souvent lié à des phénomènes transitoires atmosphériques ou mécaniques.
- Court-circuit fugitif : il s'agit d'un défaut de très courte durée, généralement inférieur à une seconde. Il nécessite une seule coupure automatique du système de protection.
- Court-circuit semi-permanent : ce défaut dure plus longtemps qu'un court-circuit fugitif, typiquement de quelques dizaines de secondes. Une ou plusieurs coupures automatiques peuvent suffire pour rétablir l'alimentation.
- Court-circuit permanent : ce type de défaut persiste tant qu'il n'est pas isolé. Il entraîne un déclenchement définitif des protections et requiert l'intervention du personnel technique pour localiser la zone défectueuse.

I.2.3. Causes de court-circuit:

Les court-circuit peuvent être provoqués par plusieurs facteurs: [3]

- Causes électriques : les défauts d'isolement électriques sont souvent causés par la dégradation des matériaux isolants qui séparent les conducteurs sous tension de la masse (terre). Cette dégradation peut être progressive en raison de facteurs tels que l'usure thermique, mécanique, ou chimique, ou soudaine à la suite de surcharges électriques ou de défauts transitoires. L'altération des isolants peut mener à des arcs électriques, où un courant traverse l'air ou d'autres gaz ionisés, ou à des décharges partielles, qui sont des phénomènes localisés dans les isolants avant une défaillance complète. Ces défauts peuvent à terme provoquer un court-circuit en permettant le contact direct entre les conducteurs sous tension et la terre ou entre conducteurs eux-mêmes.
- Causes atmosphériques : les lignes électriques aériennes sont particulièrement vulnérables aux perturbations dues aux conditions climatiques, telles que la foudre, les tempêtes, et les vents violents. La foudre peut induire des surtensions extrêmement élevées qui provoquent des ruptures d'isolement, soit par décharge directe sur les conducteurs, soit par effet induit. Les tempêtes et les vents violents peuvent également provoquer des contacts accidentels entre les conducteurs ou entre un conducteur et la terre, notamment si des branches d'arbres ou des débris sont soufflés sur les lignes électriques, créant ainsi un court-circuit.

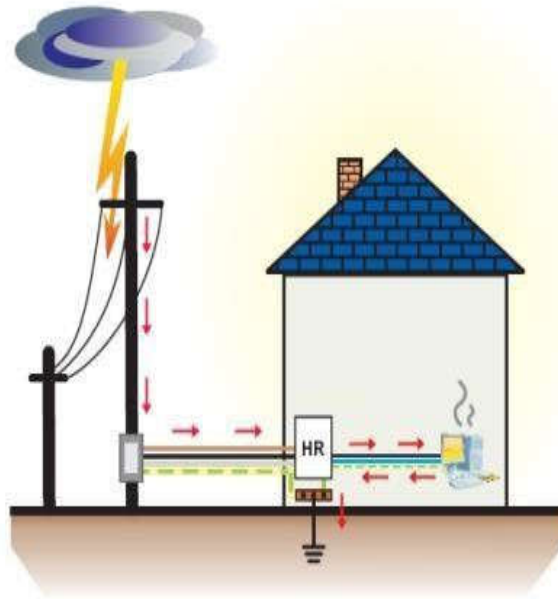


Figure I.2 : Frappe directe de la foudre sur une ligne électrique



Figure I.3 : Frappe de foudre lointaine (indirecte)

- Causes mécaniques : les défauts mécaniques, tels que la rupture d'un conducteur ou la chute d'un objet étranger sur une ligne sous tension, représentent également des causes fréquentes de courts-circuits. Par exemple, la défaillance des supports de lignes ou des fixations peut entraîner un contact direct entre les conducteurs, créant ainsi une connexion non désirée entre phases ou entre une phase et la terre. Les vibrations ou les forces électrodynamiques, en particulier dans les systèmes à haute tension, peuvent également affaiblir les composants physiques, comme les

câbles ou les isolateurs, entraînant une dégradation de l'isolement et une propagation du court-circuit.

- Causes humaines : Les erreurs humaines constituent une cause importante de défaillances électriques. Cela inclut des actions telles que l'ouverture d'un sectionneur sous charge, l'absence de maintenance préventive sur les équipements de protection ou encore la manipulation incorrecte des installations électriques pendant les opérations de maintenance.

Par exemple, l'ouverture d'un interrupteur sous charge peut provoquer une étincelle ou un arc électrique, qui peut endommager l'isolant ou entraîner un court-circuit. De plus, des défauts de câblage, des erreurs dans le choix des composants ou une mauvaise gestion des essais peuvent également favoriser l'apparition de courts-circuits.

I.2.4. Conséquences de court-circuit:

Un court-circuit, selon sa nature et son intensité, peut avoir des impacts significatifs sur le réseau électrique, notamment [2]. Les court-circuit ont des conséquences graves sur le réseau électrique et sur les équipements associés. Ces conséquences peuvent être de nature mécanique, thermique ou électrique.

Lorsqu'un court-circuit survient, les dispositifs de protection (comme les disjoncteurs ou les fusibles) interviennent automatiquement pour isoler la zone défectueuse. Cela peut entraîner la coupure temporaire de l'alimentation pour éviter une propagation du défaut, affectant ainsi la continuité du service et perturbant l'alimentation électrique des utilisateurs.

Un court-circuit génère des courants très élevés qui provoquent des forces électrodynamiques sur les conducteurs et leurs supports. Ces forces peuvent endommager les connexions mécaniques, les câbles, les barres omnibus, et autres éléments du réseau, entraînant leur déformation, rupture ou même leur désintégration sous la pression des courants de défaut.

Les courants de court-circuit génèrent une chaleur intense qui peut dégrader rapidement l'isolation des conducteurs. Cela peut entraîner la fusion de l'isolant et la défaillance des

conducteurs eux mêmes, voire leur rupture, créant ainsi un risque supplémentaire de propagation du défaut ou de dommages à d'autres parties du réseau.

Lors de la rupture de l'isolement, des arcs électriques peuvent se former au point de défaut. Ces arcs dégagent une énergie thermique importante, capable de provoquer des incendies, des explosions ou des destructions mécaniques sur les équipements électriques. L'intensité de ces arcs dépend de l'énergie impliquée et peut avoir des conséquences dramatiques sur la sécurité des installations et du personnel.

Durant la détection et l'extinction du défaut, des creux de tension peuvent apparaître dans le réseau. Ces perturbations de tension peuvent entraîner un mauvais fonctionnement ou une dégradation des performances des équipements sensibles, tels que les moteurs, les appareils électroniques, ou les systèmes de commande automatisés, pouvant causer des arrêts de production ou des dommages à l'équipement.

I.2.5. Systèmes de protection contre le court-circuit:

Les principaux systèmes de protection sont :

- Disjoncteurs : coupent automatiquement le courant en cas de court-circuit, grâce à une détection souvent de type électromagnétique.
- Fusibles : fondent rapidement lorsqu'un courant anormal circule, interrompant ainsi le circuit.
- Sectionneurs à fusibles : Assurent à la fois la coupure mécanique et la protection contre les court-circuit.

I.3. Défauts de surcharges [1]:

Une surcharge dans un réseau électrique se définit comme une situation où l'intensité du courant dépasse la capacité admissible des conducteurs ou des équipements, et ce de manière progressive. Cela se produit généralement en raison d'une augmentation de la charge connectée au réseau, ce qui entraîne un courant excédant les niveaux prévus.

I.3.1. Causes des surcharges:

Lorsqu'un court-circuit survient, il peut provoquer une surintensité, surtout si la protection n'est pas activée ou si elle met du temps à détecter le défaut. Ces événements génèrent des courants très élevés qui, si non limités, peuvent endommager les équipements et provoquer une surcharge dans d'autres parties du réseau.

Aussi, lorsqu'un appareil est utilisé à une puissance supérieure à celle pour laquelle il a été conçu, cela entraîne une demande excessive de courant. Cette surcharge peut être temporaire, mais si elle persiste, elle endommage les conducteurs, les câbles, voire le dispositif lui-même, en augmentant la résistance thermique et risquant la dégradation des isolants.

□.3.2. Conséquences des surcharges

Les surcharges, notamment causées par des court-circuit ou une mauvaise utilisation des équipements, peuvent avoir des effets significatifs sur le réseau électrique et ses composants :

- Une surintensité causée par le court-circuit : lorsqu'un court-circuit survient, le courant peut dépasser largement la capacité des conducteurs et des équipements du réseau. Cette surintensité peut endommager les systèmes électriques, les câbles et les protections si elles ne sont pas dimensionnées pour supporter de telles valeurs.
- Des chutes de tension et de fréquences importantes : les surcharges peuvent entraîner une baisse notable de la tension dans le réseau, appelée « creux de tension » (voltage sag), et une perturbation des fréquences, particulièrement dans les réseaux sensibles. Cela perturbe le bon fonctionnement des équipements connectés et peut provoquer des arrêts ou des dysfonctionnements dans les installations industrielles ou domestiques.
- Causes des échauffements et déséquilibre du fonctionnement du réseau : une surcharge entraîne une accumulation de chaleur dans les conducteurs et équipements, augmentant ainsi la température des éléments électriques. Cela peut

mener à des défaillances matérielles, à la fusion de conducteurs ou à l'endommagement des isolants. De plus, cela peut déséquilibrer le réseau, entraînant une distribution non uniforme de l'énergie, ce qui affecte la stabilité et la fiabilité du système.

- Accélère le vieillissement des équipements du réseau : les surcharges récurrentes ou prolongées provoquent un vieillissement prématuré des composants du réseau, notamment des câbles, transformateurs et disjoncteurs. L'accumulation de chaleur et la sollicitation constante des équipements réduisent leur durée de vie utile, ce qui entraîne des coûts de maintenance plus élevés et une augmentation du risque de pannes futures.

I.3.3 Systèmes de protection contre les surcharges:

- Relais thermiques : Protègent les moteurs contre les surintensités prolongées dues à des surcharges.
- Disjoncteurs thermiques : Réagissent à l'échauffement provoqué par un courant trop élevé.
- Systèmes de gestion de charge : Limitent la puissance appelée par certaines charges pour éviter la surcharge.
- Surveillance de température des câbles et transformateurs : Permet d'agir avant la dégradation thermique.

I.4. Défauts de surtension: [1]

Les surtensions sont des augmentations temporaires de la tension qui dépassent les valeurs normales de fonctionnement des équipements électriques. Elles peuvent être classées en deux types:

- Surtension différentielle : lorsque la tension entre un conducteur de phase et la terre dépasse la valeur maximale admissible pour le matériel.
- Surtension commune : lorsque la tension entre deux conducteurs de phase dépasse la limite tolérée par les équipements.

Les surtensions peuvent être causées par des phénomènes tels que la foudre, des manœuvres sur le réseau ou des défaillances dans les systèmes de protection. Elles peuvent endommager les équipements électriques en réduisant leur durée de vie ou en provoquant des pannes immédiates.

I.4.1. Types de surtension:

Les surtensions peuvent être classées en plusieurs types en fonction de leur origine et de leurs caractéristiques.

Surtensions de manœuvres surviennent lors des opérations de commutation, telles que l'ouverture ou la fermeture d'un circuit. Les changements rapides dans les conditions du réseau, comme le démarrage ou l'arrêt d'un moteur, peuvent entraîner une variation brusque de la tension, provoquant ainsi une surtension.

Surtensions de foudre peut soit frapper directement les lignes électriques, soit induire une surtension par effet électromagnétique à distance. Ces surtensions sont souvent très élevées et peuvent causer des dommages importants aux équipements électriques.

Surtensions lentes qui se développe progressivement et peut résulter de facteurs comme une modification lente de la charge sur le réseau ou des anomalies dans les systèmes de régulation de la tension. Elles peuvent persister pendant une période prolongée sans causer de dommages immédiats mais affectent progressivement la performance du système.

I.4.2. Causes de surtension: [4]

Les surtensions peuvent être provoquées par plusieurs facteurs, qui incluent des phénomènes internes et externes au réseau électrique.

Contact avec une ligne de tension plus élevée, lorsqu'un défaut d'isolement se produit entre deux conducteurs ou lorsqu'un câble sous tension est déplacé accidentellement (par une erreur humaine ou un phénomène naturel comme le vent), il peut entrer en contact avec une ligne de tension plus élevée.

Ce contact non désiré entraîne le transfert d'une tension plus élevée vers une ligne de tension inférieure, ce qui provoque une surtension instantanée susceptible d'endommager les isolants et les équipements sensibles.

Ce type de défaut est particulièrement dangereux dans les réseaux de transport.

Coupure brutale d'une ligne sous charge, lorsqu'une ligne transportant un courant est interrompue de manière soudaine, l'énergie stockée dans les composants inductifs (comme les transformateurs ou les lignes) ne disparaît pas instantanément.

Selon la loi de Faraday-Lenz, une variation brusque du courant génère une tension inverse qui peut provoquer une surtension.

Ce phénomène est appelé phénomène de commutation, et il est pris en compte lors de la conception des disjoncteurs et des dispositifs de protection.

Coups de foudre directs ou indirects. Lorsqu'un éclair frappe directement une ligne électrique, il engendre une tension très élevée (plusieurs centaines de kilovolts) qui se propage dans le réseau, avec un risque élevé de destruction des équipements (transformateurs, disjoncteurs, etc.). Même sans impact direct, le champ électromagnétique généré par un coup de foudre à proximité peut induire des tensions et courants parasites dans les lignes avoisinantes, causant des surtensions potentiellement dommageables.

I.4.3. Conséquences de surtension:

Les surtensions peuvent dégrader les isolants utilisés pour séparer les conducteurs et la terre. L'exposition répétée à des niveaux de tension élevés peut entraîner une dégradation progressive des matériaux isolants, provoquant leur rupture (claquage) et réduisant leur durée de vie utile.

Lorsque des surtensions persistent pendant une période prolongée, elles peuvent entraîner une surcharge des lignes électriques. Cela peut provoquer un échauffement excessif des conducteurs et des pertes d'énergie importantes, affectant la stabilité et la performance du réseau.

Si les surtensions endommagent suffisamment les isolants, cela peut entraîner un court-circuit, qui est un défaut majeur dans le réseau. Le court-circuit peut se propager, causant des coupures de service, des défaillances d'équipement et des risques d'incendie.

I.4.4. Systèmes de protection contre les surtensions:

- Parafoudres : Dévient les surtensions vers la terre lors d'événements transitoires.
- Éclateurs à gaz ou à air : Déclenchent un arc pour limiter la surtension.
- Filtres RC ou varistances : Limitation des surtensions de manœuvre dans les circuits sensibles.
- Mise à la terre renforcée : Permet une évacuation rapide de l'énergie transitoire.

□.5. Défauts de déséquilibre

Les déséquilibres dans les réseaux électriques se manifestent par une répartition inégale des charges entre les trois phases d'un système triphasé. Ce phénomène est particulièrement fréquent dans les réseaux de distribution, notamment lorsqu'une grande partie des charges est monophasée ou mal répartie.

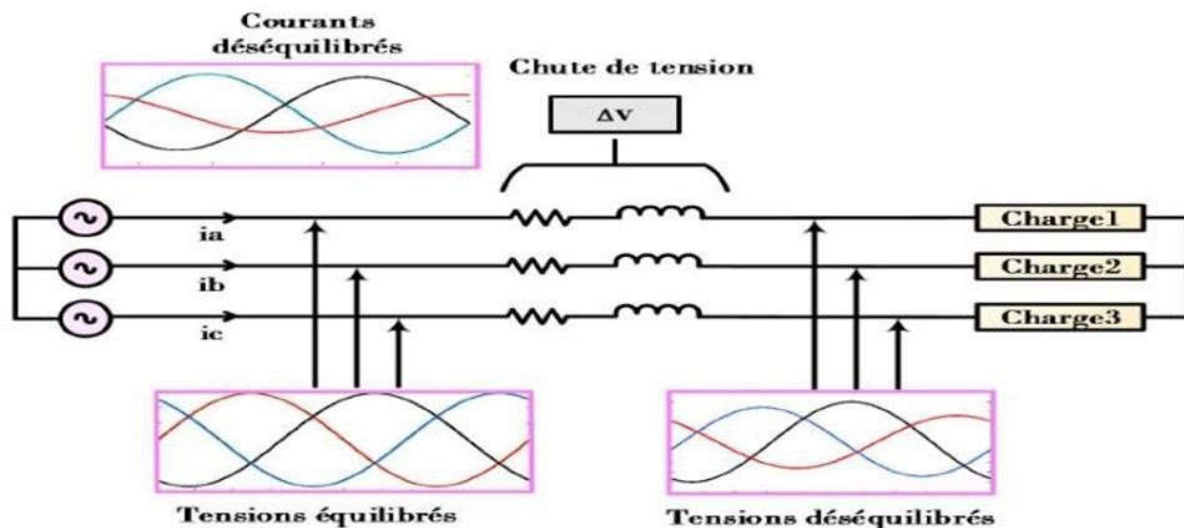


Figure I.4 : Schéma d'un réseau triphasé avec des récepteurs déséquilibrés alimenté par une source triphasée de tension

I.5.1. Causes du déséquilibre:

Lorsqu'un disjoncteur ou un sectionneur triphasé n'ouvre pas ou ne ferme pas simultanément les trois pôles peut provoquer un déséquilibre.

Dans les réseaux de distribution basse tension, notamment résidentiels, les abonnés sont souvent alimentés en monophasé à partir d'un réseau triphasé. Lorsque les consommateurs sont répartis de façon non uniforme entre les phases, cela également peut conduire à un déséquilibre. Cela conduit à une augmentation du courant de neutre, voire à une surcharge de celui-ci si la dissymétrie est forte.

Ces situations génère une distorsion des tensions de phase, ce qui affecte la stabilité des équipements électroniques et peut perturber les systèmes de protection.

I.5.2. Conséquences du déséquilibre:

Les effets des déséquilibres sur le réseau peuvent être multiples et potentiellement graves. Dans les réseaux haute tension triphasés sans conducteur neutre, la somme vectorielle des courants n'est plus nulle, ce qui entraîne des déséquilibres de courant importants.

Courants de retour dans le sol via le neutre des transformateurs : Ces courants peuvent générer des tensions parasites dans les câbles métalliques ou de télécommunication situés à proximité, risquant de perturber les systèmes de signalisation ou de communication.

Apparition de la composante inverse du courant. Ce courant asymétrique génère plusieurs effets indésirables, telles que les chutes de tension supplémentaires, échauffement des équipements.

I.5.3. Système de protection contre les déséquilibres:

- Relais de déséquilibre de courant ou tension : Détectent toute dissymétrie entre les phases.
- Disjoncteurs différentiels triphasés : Interrompent l'alimentation en cas d'écart anormal entre phases.

- Répartiteurs de charge automatiques : Corrigent la répartition des charges monophasées entre phases.
- Surveillance du neutre : Protège contre les surtensions dues à une rupture du conducteur de neutre.

I.6. Défaut de terre

Un défaut de contact à la terre est une connexion non intentionnelle entre un conducteur électrique et la terre ou une partie mise à la terre. Lorsque ce type de défaut se produit dans un réseau dont le point neutre est relié directement à la terre (mise à la terre rigide), on parle alors de court-circuit à la terre, ce qui entraîne généralement une coupure immédiate du courant électrique dans le réseau.

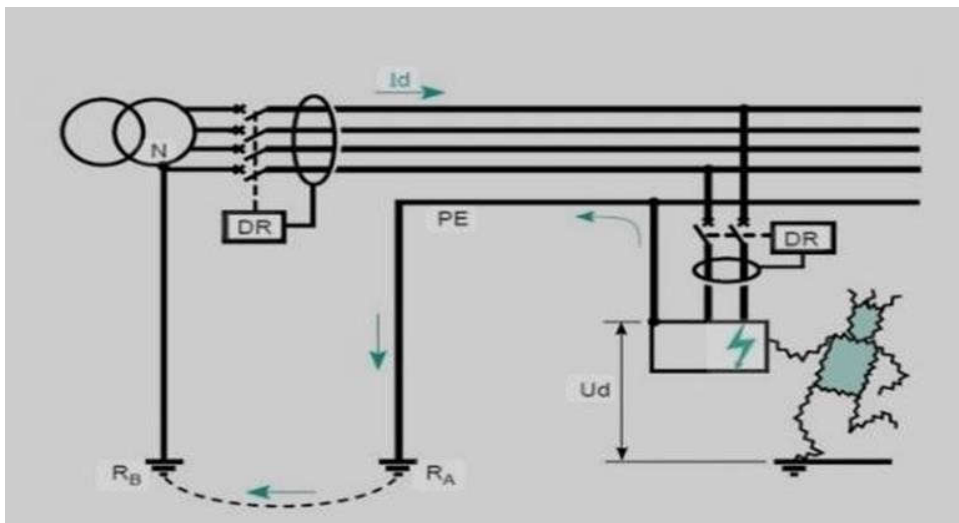


Figure I.4 : défaut de la terre

□.6.1. Causes des défauts de terre:

- Dégradation de l'isolation électrique.
- La présence d'humidité ou d'eau s'infiltrant dans les câbles ou les équipements.
- Les câbles peuvent être endommagés lors de l'installation, de la maintenance ou à la suite de vibrations répétées. Chute de branches d'arbres sur les lignes électriques.
- Animaux entrant dans les armoires ou postes, provoquant des contacts indésirables.
- Défaillance d'équipement électrique.

I.6.2. Conséquences du défaut terre:

Les défauts d'isolation sont particulièrement risqués dans les salles de bain, cuisines ou espaces extérieurs où l'eau favorise la conduction du courant vers le sol, amplifiant ainsi le risque d'électrocution [5].

En l'absence d'une bonne mise à la terre, les courants de fuite ne sont pas dirigés vers le sol. Ceci implique que toute personne en contact avec un équipement ou une structure métallique connectée au réseau électrique peut agir comme conducteur pour le courant, ce qui expose à une électrisation (circulation du courant à travers le corps entraînant des brûlures, des dysfonctionnements cardiaques, des dommages aux organes) voire une électrocution, potentiellement fatale [6].

Un défaut de mise à la terre peut engendrer des arcs électriques ou des étincelles, susceptibles d'allumer des matériaux inflammables et de provoquer des incendies, notamment en cas de surtensions ou de court-circuit mal gérés.

Si plusieurs défauts de terre surviennent simultanément, cela peut conduire à des courants de court-circuit importants, même dans des réseaux normalement protégés, aggravant les risques d'incendie et de panne.

I.6.3. Systèmes de protection contre les défauts de terre:

Disjoncteur différentiel, qui surveille la différence entre le courant entrant et le courant sortant. En cas de fuite de courant, il détecte cette différence. Il coupe rapidement l'alimentation (généralement en moins de 30 ms) pour éviter tout choc électrique.

Relais de terre, utilisé dans les réseaux industriels. Il mesure le courant de défaut circulant vers la terre et envoie un signal de déclenchement à l'élément de coupure lorsque le seuil est dépassé.

I.7. Conclusion:

En résumé, les défauts électriques constituent une problématique majeure dans les installations électriques, tant sur le plan de la sécurité que de la performance. Qu'il s'agisse de court-circuit, de surtensions, de défauts d'isolement ou de mise à la terre,

chacun de ces incidents peut entraîner des conséquences graves : détérioration des équipements, interruption du service, incendies, voire risques pour les personnes.

Ce chapitre a concerné une connaissance approfondie des différents types de défauts, de leurs causes et de leurs effets, permet de mieux anticiper les risques et de mettre en place des systèmes de protection adaptés. Ces protections jouent un rôle crucial dans la prévention des accidents et dans la continuité de fonctionnement des réseaux électriques, en particulier dans les milieux industriels et critiques.

Chapitre II

Les systèmes de protection

II.1. Introduction:

La protection des réseaux électriques fait référence à tous les dispositifs de contrôle et de sécurité garantissant la stabilité d'un réseau électrique. Cette sauvegarde est indispensable pour prévenir la détérioration fortuite d'appareils onéreux et garantir une fourniture d'énergie continue. Elle a aussi la responsabilité d'assurer la stabilité des réseaux électriques. La majorité des systèmes de distribution d'énergie électrique sont reliés entre eux. Et devraient bénéficier de ces protections.

Elles doivent être ajustées selon plusieurs critères : l'architecture du réseau, le régime de neutre, l'intensité du court-circuit, les capteurs de mesure disponibles et la sélectivité. Il est donc nécessaire de réaliser une analyse de réseau. La sélectivité est un critère crucial pour la protection électrique, diverses techniques sont disponibles pour l'assurer. Afin d'assurer la sécurité, le réseau électrique est segmenté en zones distinctes par l'intermédiaire des disjoncteurs. Il est essentiel d'assurer une protection adéquate pour chaque zone.

II.2. Système de protection.

II.2.1. Eléments constitutifs:

Le système de protection électrique constitue de plusieurs éléments (alimentation, transformateur de courant, transformateur de tension, relais, disjoncteur).

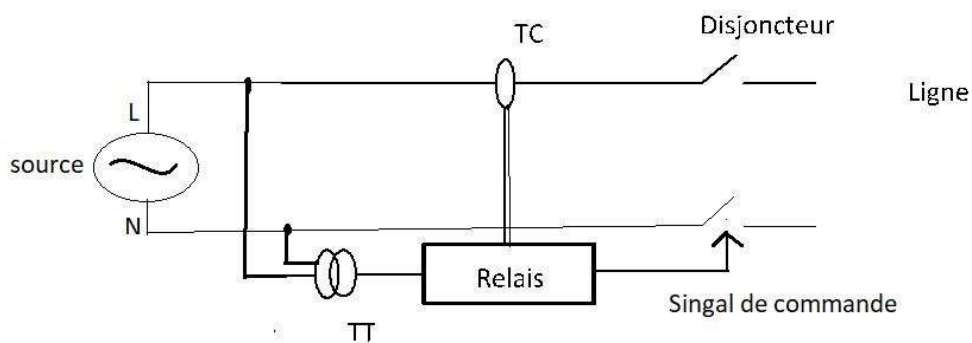


Figure II.1 : Eléments constitutifs d'un système de protection

II.2.2. Capture de mesure:

Le capteur, qui est le premier élément de la chaîne de mesure, est la source décisive du signal électrique que les autres éléments de la chaîne doivent manipuler et utiliser. Un capteur est un instrument qui convertit une mesure physique (comme la température, la vitesse ou la force) en une mesure électrique applicable (telle que la résistance, la tension ou le courant), qui en représente l'équivalent. En d'autres termes, un capteur est un appareil qui permet de mesurer un paramètre physique ou chimique. Il offre une représentation aussi précise que possible d'une grandeur électrique. Habituellement, cette grandeur électrique fluctue en proportion avec le paramètre mesuré.

II.2.2.1. Capture de tension:

Un capteur de tension est un instrument qui évalue la disparité de potentiel électrique entre deux points d'un circuit, transformant cette différence en un signal fonctionnel, habituellement analogique ou numérique, destiné à des systèmes de contrôle, de gestion ou d'automatisation⁸³. Ces détecteurs sont employés pour des tensions continues (DC) tout autant que alternatives (AC), et couvrent une vaste gamme d'applications, de l'électronique intégrée à l'industrie pesante.

II.2.2.2. Capteur de courant:

Un détecteur de courant est un instrument qui évalue l'ampleur du courant électrique se déplaçant à travers un circuit. Il transforme cette intensité en un signal utilisable (tension, courant ou numérique) qui permet la supervision, la régulation ou la gestion de l'énergie dans différents systèmes électriques et électroniques.

II.2.3. Relais:

II.2.3.1. Relais électromécanique:

Ces relais fonctionnent sur la base d'un disque d'induction actionné par des bobines qui sont alimentées par des variables électriques du réseau, grâce à des transformateurs De

tension et de courant. La portée de l'action du disque sur un déclencheur (points de réglage) est déterminée par un ressort de rappel ajustable.

Les équipements électromécaniques constituent des combinaisons de fonctions : Identification de seuils et temporisation. Ils bénéficiaient d'une robustesse, de la capacité à fonctionner sans besoin d'une source d'énergie supplémentaire et d'une faible sensibilité aux interférences électromagnétiques. Ces relais se distinguent par leur robustesse et leur fiabilité élevée, d'où la nécessité d'un entretien réduit. Ils sont connus pour leur crédibilité dans les contextes de travail les plus sensibles.

II.2.3.2. Relais statique:

Apparue autour de 1970, la technologie analogique statique, utilisant des circuits intégrés analogiques et logiques, a donné naissance aux relais analogiques constitués en gros de trois composants [1]. Une unité d'adaptation et de filtrage, faite de petits transformateurs, d'impédances et de filtres passe-bas pour supprimer les composants transitoires rapides, une unité de traitement et de détection, constituée d'un circuit analogique ajusté, transformant la grandeur surveillée en une tension ou un courant continu proportionnel, ainsi que d'une bascule utilisée pour détecter le franchissement d'un seuil,

Une unité de sortie, qui inclut un temporisateur, comme un circuit RC, et un relais électromécanique.

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

II.2.3.3. Relais numérique:

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

intégrées aux équipements de protection. Les protections numériques, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de mesure, en signaux numériques de faible tension [1].

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 (pétrographe)., Ils permettent aussi de bénéficier des récentes découvertes dans le domaine de l'intelligence artificielle, comme les réseaux neuronaux et la logique floue. [2]

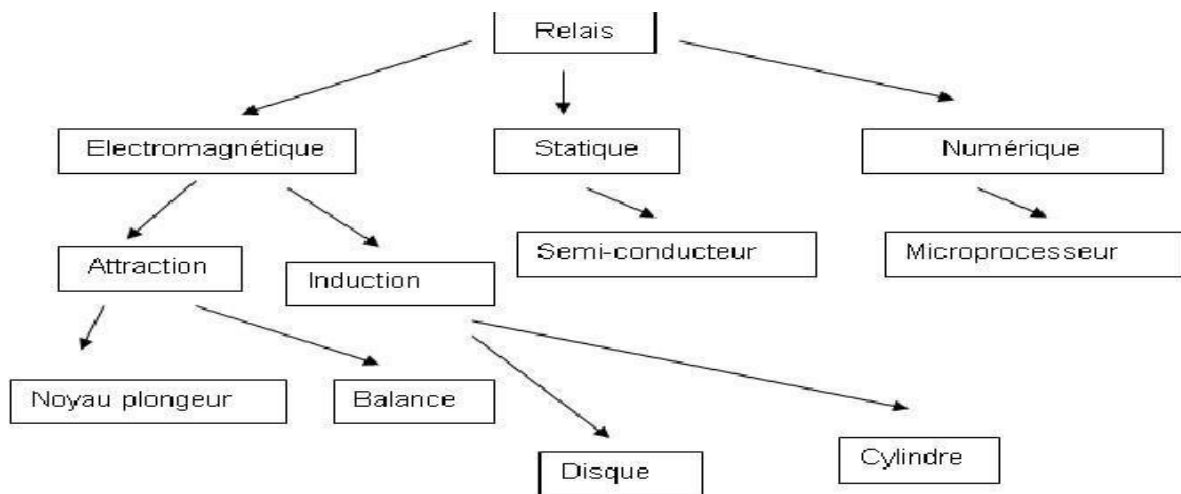


Figure II.2 : Types des relais [3]

II.2.4. Disjoncteurs.

II.2.4.1. Disjoncteur a air:

Un disjoncteur à air est un mécanisme de sécurité électrique principalement employé dans les circuits basse tension (habituellement inférieurs à 450-500 V) pour couper le courant lors d'une surcharge, d'un court-circuit ou toute autre anomalie électrique.

II.2.4.2 Disjoncteur a huile:

Un disjoncteur huileux est une variante de disjoncteur couramment employée en moyenne et haute tension (allant de 5 kV à plusieurs centaines de kV) qui emploie l'huile diélectrique pour éteindre l'arc électrique créé lors de l'ouverture des contacts.

II.3. Fonction de protection:

II.3.1. Protection à max de courant:

II.3.1.1. Principe de fonctionnement:

Une protection à maximum de courant est une protection électrique qui consiste à comparer le courant mesuré dans le réseau à une valeur limite. Si le seuil est dépassé la protection conclut qu'un court-circuit ou une surcharge, selon les cas:

Mesure du courant: Le système utilise des transformateurs de courant pour réduire le courant électrique à un niveau mesurable par des appareils électroniques. Ces transformateurs permettent de convertir le courant élevé du réseau en un signal plus faible et plus facile à analyser.

Comparaison avec un Seuil: Le courant mesuré est comparé à un seuil prédéfini. Si le courant dépasse ce seuil, le système conclut qu'un défaut (surcharge ou court-circuit) est présent dans le réseau

Déclenchement: Lorsqu'un défaut est détecté, le système envoie un signal pour ouvrir le disjoncteur associé, ce qui coupe l'alimentation électrique de la section en défaut. Cela permet d'éviter des dommages supplémentaires aux équipements électriques.

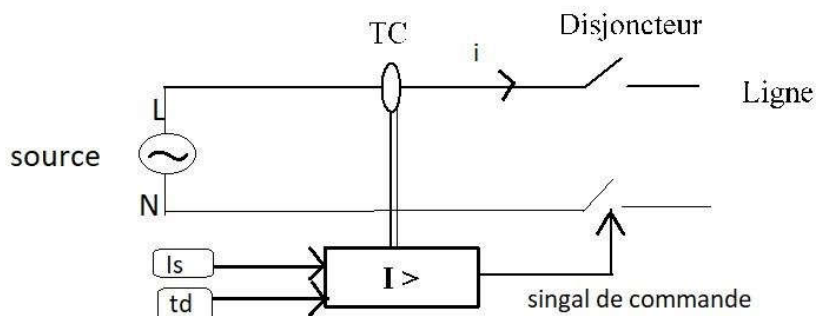


Figure II.3: Protection à max de courant

II.3.1.2. Types:

II.3.1.2.1. Protection à temps indépendant:

Ce type de protection déclenche immédiatement ou après un délai fixe si le courant dépasse le seuil. Elle est souvent utilisée pour protéger contre le court-circuit violent.

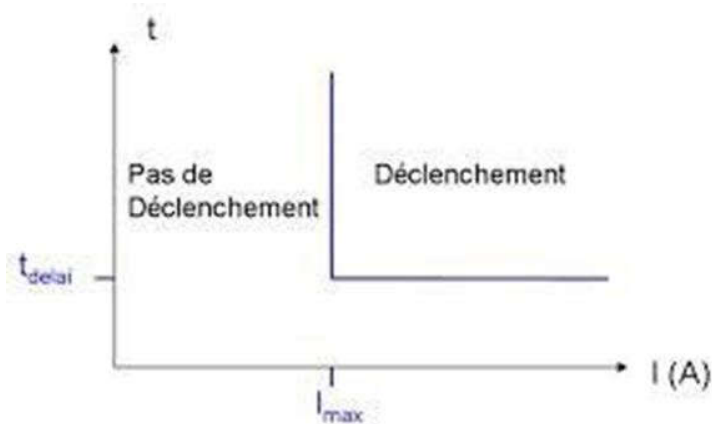


Figure II.4: Protection à Temps Indépendant [4]

II.3.1.2.2. Protection à temps inverse:

La temporisation de déclenchement diminue à mesure que le courant augmente. Cela permet une intervention rapide en cas de forts courants et évite les déclenchements intempestifs pour les courants plus faibles.

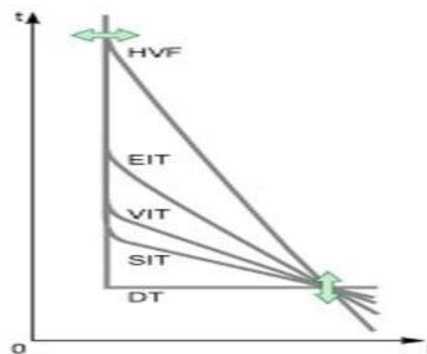


Figure II.5 : Protection à Temps Inverse

II.3.2. Protection à min de courant:

II.3.2.1. Principe de fonctionnement:

Une protection à minimum de courant serait conçue pour détecter des situations où le courant dans un circuit est inférieur à une valeur seuil prédéfinie. Ce type de protection

pourrait être utilisé pour détecter des problèmes tels que des ruptures de câbles ou des défaillances dans les composants du circuit.

II.3.2.1.1. Détection du courant:

UN capteur ou UN transformateur de courant mesure le courant dans le circuit

II.3.2.1.2. Comparaison avec UN seuil:

Le courant mesuré EST comparé à UN seuil prédéfini. Si le courant est inférieur à ce seuil, cela indique une anomalie.

II.3.2.1.3. Action de la protection:

En cas de dépassement du seuil vers le bas, la protection peut déclencher une action, comme l'envoi d'un signal d'alarme ou l'arrêt du circuit pour éviter des dommages supplémentaires. Ce type de protection n'est pas courant dans les systèmes électriques standards, où l'on se concentre généralement sur la protection contre les surintensités (protection à maximum de courant) pour éviter le court-circuit et les surcharges. Cependant, dans certains cas spécifiques, comme la surveillance de circuits critiques où une baisse de courant. Pourrait indiquer une défaillance, une protection à minimum de courant pourrait être utile.

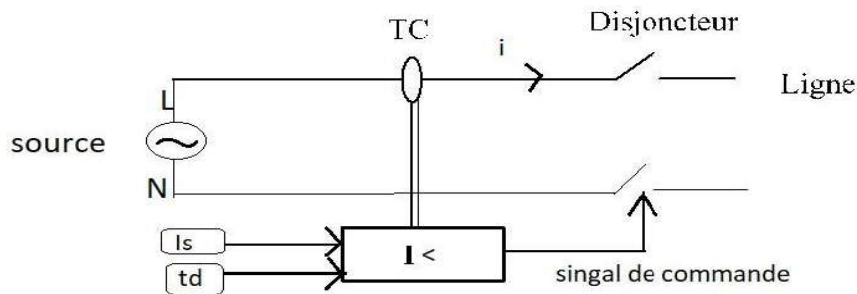


Figure II.6 : Protection à min de courant

II.3.2.2. Types:

Les systèmes de protection électrique existants peuvent être classés en plusieurs types, bien que la plupart se concentrent sur la protection contre les surintensités ou les défauts internes.

II.3.3. Protection Directionnelle:

II.3.3.1. Principe de fonctionnement:

La protection directionnelle permet de distinguer si un défaut se trouve en amont ou en aval du point de mesure, en fonction du sens du courant.

II.3.3.2. Mesure de tension et courant:

Les relais de protection utilisent les mesures de tension et de courant pour déterminer la direction du courant de défaut.

II.3.3.3. Coordination avec les disjoncteurs:

Une fois la trajectoire du courant identifiée, le relais a la capacité de déclencher l'ouverture du disjoncteur adéquat pour isoler la zone défectueuse.

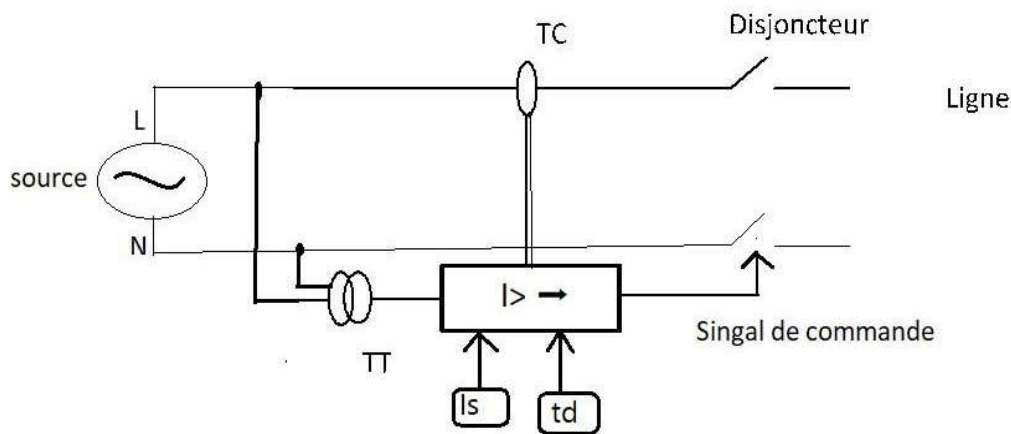


Figure II.7: Protection directionnelle

II.3.3.4. Types:

II.3.3.4.1. Protection directionnelle de terre:

Cette protection utilise le courant résiduel et la tension résiduelle pour détecter les défauts à la terre. Elle requiert que le courant résiduel franchisse un seuil précis et que le décalage entre le courant et la tension se situe dans une zone déterminée pour le déclenchement.

II.3.3.4.2. Protection de surintensité directionnelle:

Cette protection identifie l'orientation des courants de court-circuit afin d'éviter les déclenchements accidentels et de préserver les équipements contre les courts-circuits entre phases et terre.

II.3.3.4.3. Protection de puissance active directionnelle:

Ce dispositif de protection identifie les irrégularités dans la circulation de l'énergie active, signalant un comportement atypique du réseau, autre qu'une situation de court-circuit.

II.3.3.4.4. Protection de puissance réactive directionnelle:

Elle détecte les anomalies dans l'écoulement de la puissance réactive, utile pour identifier des conditions anormales dans le réseau

II.3.4. Protection à max de tension:

Les protections de tension sont conçues pour détecter et réagir aux anomalies de tension dans un réseau électrique. Ces anomalies peuvent inclure des surtensions ou des baisses de tension. Le but est de protéger les équipements électriques contre les dommages potentiels causés par ces variations de tension.

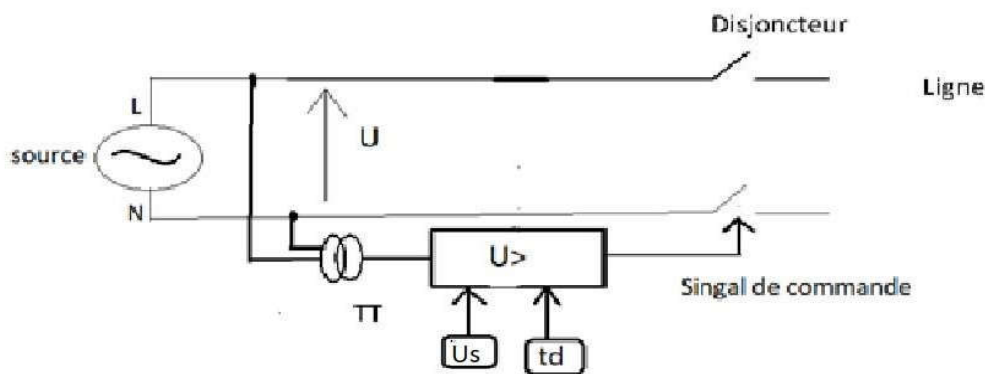


Figure II.8: Protection à max de tension

Cette protection détecte lorsque la tension dépasse un seuil prédéfini, généralement fixé à un pourcentage de la tension nominale (par exemple, 125 %). Lorsqu'une surtension est détectée, le système déclenche une action pour protéger l'équipement. Cela peut inclure l'ouverture d'un disjoncteur pour isoler l'équipement de la source de tension anormale.

II.3.5. Protection à min de tension.

La protection à minimum de tension est une fonction de relais de protection utilisée pour détecter une chute anormale de la tension électrique dans un réseau ou une installation. Elle intervient principalement pour protéger les équipements et le réseau contre des conditions de sous-tension qui peuvent indiquer un défaut important comme un court-circuit polyphasé.

La protection évalue la tension moyenne des phases (ou tension composée) au point de connexion ou dans la zone protégée. Elle met en parallèle cette tension avec un seuil minimal ajusté, généralement autour de 85% de la tension nominale. Si la tension détectée baisse de manière persistante sous ce niveau (par exemple, plus de 60 à 100 ms), un système d'alerte ou une interruption automatique se met en marche. Cette baisse de tension est typique d'un défaut polyphasé ou d'une situation anormale sérieuse (par exemple : l'îlotage d'une centrale électrique).

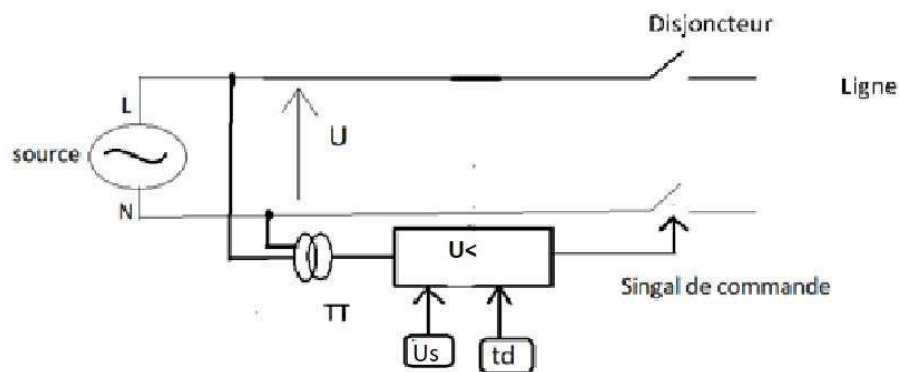


Figure II.9: Protection à min de tension

La protection à minimum de tension est une fonction de relais utilisée pour détecter une chute anormale de la tension dans un réseau électrique, signalant souvent un défaut grave comme un court-circuit polyphasé ou un isolement.

II.3.6. Protection différentielle:

II.3.6.1. Principe de fonctionnement:

Le principe de fonctionnement de la protection différentielle repose sur la comparaison des courants entrant et sortant d'un appareil ou d'un circuit électrique.

II.3.6.2. Mesure des courants:

Des transformateurs de courant ou des capteurs mesurent les courants entrant et sortant d'un appareil. Dans le cas des installations basse tension, cela se fait souvent à l'aide d'un circuit magnétique en forme de tore sur lequel sont bobinés les conducteurs des phases et du neutre.

II.3.6.3. Détection du courant de fuite:

En l'absence de fuite, les courants entrant et sortant sont égaux, ce qui signifie que la somme algébrique des courants est nulle. Si une fuite se produit, une partie du courant s'échappe vers la terre, créant une différence entre les courants entrant et sortant.

II.3.6.4. Déclenchement:

Lorsqu'une différence significative est détectée, le dispositif de protection différentielle envoie un signal pour couper le circuit. Cela se fait généralement par l'ouverture d'un disjoncteur ou d'un interrupteur différentiel, protégeant ainsi les personnes contre les chocs électriques et les appareils contre les dommages.

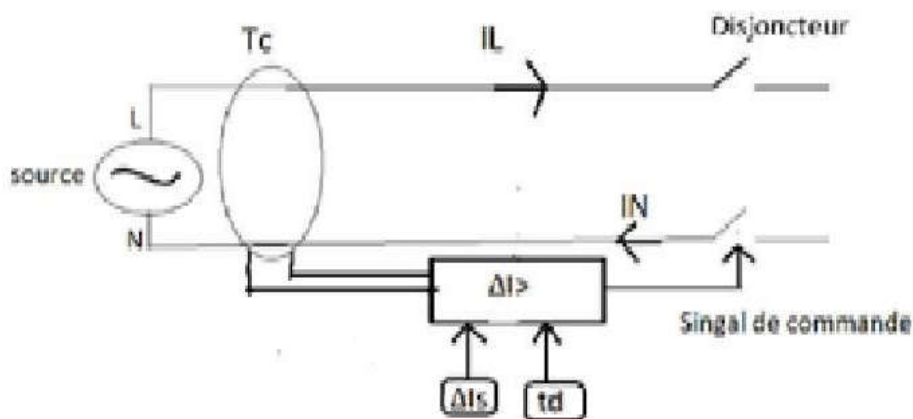


Figure II.10: Protection différentielle

II.3.6.5. Types :

II.3.6.5.1. Type AC:

Conçu pour protéger contre les courants alternatifs, cet équipement est adapté pour des circuits courants tels que les prises électriques et les systèmes d'éclairage.

II.3.6.5.2. Type A:

Il s'agit d'une protection contre les courants alternatifs et continus, utilisée pour des équipements spécifiques tels que les machines à laver et les plaques de cuisson.

II.3.6.5.3. Type F:

Destiné aux équipements sensibles aux micros interruptions, tels que les ordinateurs et les congélateurs.

II.4. Conclusion:

Les systèmes de protections électriques jouent un rôle fondamental dans la sécurité et la stabilité des installations électriques. Leur mission principale est de détecter rapidement les anomalies (Telles que les courts-circuits, surcharges ou défauts à la terre) et d'isoler la zone concernée afin de limiter les dégâts et d'éviter la propagation du problème à l'ensemble du réseau. Chaque type de protection a un rôle spécifique dans la détection des défauts et leur élimination rapide, tout en minimisant l'impact sur le reste du réseau. Leur bonne coordination permet d'éviter les coupures inutiles, de protéger les équipements sensibles et de garantir la continuité de service.

Chapitre III

Qualité d'un system de protection

III.1. Introduction

La performance d'un dispositif de sécurité électrique dépend de sa capacité à garantir la protection des individus, la sauvegarde des matériels et la pérennité du service électrique lors de défaillances ou d'anomalies au sein d'un réseau électrique. L'objectif de la protection électrique est de prévenir ou de minimiser les dommages causés par les surcharges, les problèmes d'isolement ou le court-circuit, en isolant rapidement l'élément défaillant du réseau. La protection électrique par redondance présente de multiples bénéfices cruciaux pour assurer la continuité, la fiabilité et la sécurité des systèmes électriques.

III.2. Qualités principales d'un système de protection.

III.2.1. Sélectivité

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

III.2.1.1. Types de sélectivité:

III.2.1.1.1. Sélectivité ampérométrique par les courants [1]

Cette technique repose sur le décalage en intensité des courbes de déclenchement temps/courant des disjoncteurs amont est aval. Elle se vérifie en s'assurant que ces courbes ne se chevauchent pas.

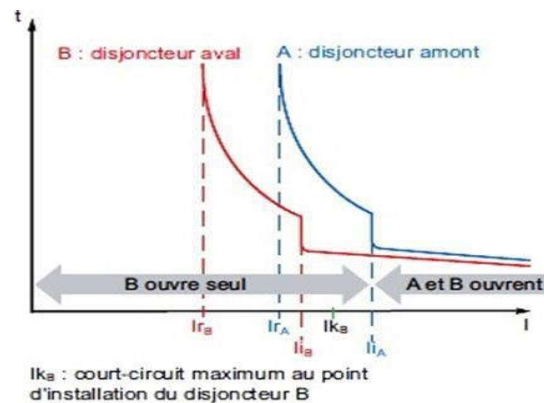


Figure III.1 : Sélectivité ampérométrique

Elle s'applique à la zone des surcharges et à la zone du court-circuit de faible intensité et elle est d'autant meilleure que les calibres des appareils sont éloignés. La sélectivité ampérométrique est adaptée pour les circuits terminaux où les niveaux de courts circuits sont relativement faibles.

III.2.1.1.2. Sélectivité chronométrique par le temps [1]

Cette technique repose sur le décalage temporel des courbes de déclenchement temps/courant des disjoncteurs en série. Elle se vérifie en s'assurant que ces courbes ne se chevauchent pas. Elle s'applique pour la sélectivité dans la zone des courts-circuits d'intensité moyenne.

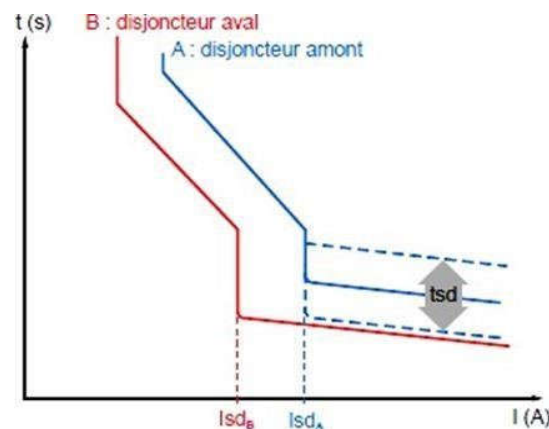


Figure III.2 : Sélectivité chronométrique

La sélectivité chronométrique s'utilise en complément de la sélectivité ampérométrique afin d'obtenir une sélectivité au-delà du courant de réglage magnétique du disjoncteur amont.

III.2.1.1.3. Sélectivité logique par échange d'information [2]

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 et elle provoque le déclenchement du disjoncteur associé. La Figure suivante décrit de façon simplifiée une distribution en antenne.

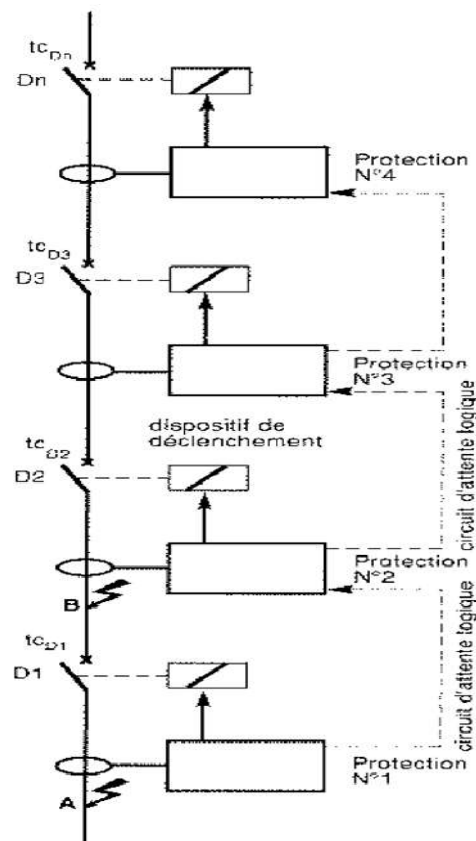


Figure III.3 : Exemple d'utilisation de la sélectivité logique

III.2.1.1.4. Sélectivité mixte:

La sélectivité mixte est un concept qui combine plusieurs types de sélectivité dans les systèmes de protection électrique afin d'améliorer la rapidité et la fiabilité de l'isolement des défauts tout en réduisant les temporisations nécessaires.

Cette association permet de réduire les temps de déclenchement par rapport à une sélectivité purement chronométrique, tout en assurant un secours en cas de défaillance de la sélectivité logique. Par exemple, dans un tableau électrique, une sélectivité logique est mise en place entre certains disjoncteurs, et une sélectivité chronométrique entre tableaux distants, ce qui évite la nécessité de liaisons logiques longues et coûteuses tout en optimisant la protection.

III.2.1.3. Importance de la sensibilité dans les systèmes électriques

III.2.1.3.1. Identification des faiblesses:

Un dispositif sensible peut repérer les anomalies de faible niveau, telles que les légers courants indésirables ou les problèmes d'isolation naissants, qui autrement pourraient rester invisibles et progresser vers des défaillances majeures ou des dangers d'incendie.

III.2.1.3.2. Protection des individus:

Les équipements hautement sensibles, comme les disjoncteurs différentiels à courant résiduel (DDR) paramétrés à 30 mA ou moins, sont capables de repérer les courants de fuite très faibles susceptibles d'affecter le corps humain. Cette sensibilité favorise une activation rapide pour prévenir les électrocutions et assurer la protection des utilisateurs.

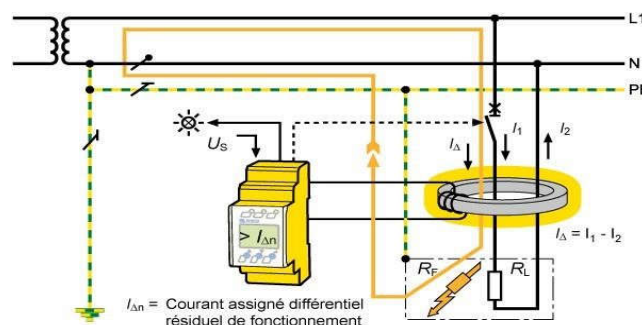


Figure III.4: Disjoncteur différentiel à courant résiduel (DDR)

III.2.1.3.3. Respect des normes:

Les standards électriques, tels que les recommandations de la commission électrotechnique internationale (CEI), définissent des niveaux de sensibilité ajustés en fonction des différentes installations et applications, assurant une protection conforme aux critères de sécurité.

III.2.2Sensibilité:

III.2.2.1. Définition

La protection doit être opérationnelle dans une vaste gamme de courants de court-circuit, y compris Un courant minimal dont la mesure est extrêmement complexe et qui correspond à une situation de court-circuit généralement hors du commun. Le terme de sensibilité d'une protection est souvent employé pour désigner le courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection peut opérer.

III.2.2.2. Importance de Sensibilité dans les systèmes électriques

La sensibilité est un critère crucial dans les systèmes électriques, particulièrement dans les dispositifs de protection. Elle permet d'identifier tous les anomalies, y compris les plus discrètes, garantissant ainsi une protection intégrale et performante du réseau électrique. Importance de la sensibilité dans les systèmes électriques.

III.2.2.2.1. Identification exacte des faiblesses:

Une protection sensible peut détecter des anomalies de faible amplitude qui pourraient autrement être négligées, Ce qui aide à prévenir que ces petites défaillances ne se développent ET provoquent des dommages majeurs aux installations ou au réseau.

III.2.2.2.2. Sécurisation des individus face aux dangers électriques:

Les appareils très sensibles, tels que les disjoncteurs différentiels résiduels (DDR) ayant UN seuil de déclenchement de 30 mA ou moins, sont conçus pour repérer des courants résiduels très faibles, généralement associés à UN contact fortuit avec une partie sous tension. Ce niveau de sensibilité est essentiel pour interrompre rapidement le courant électrique et éviter les risques d'électrocution.

III.2.2.2.3. Renforcement de la sûreté du réseau:

UN niveau de sensibilité accru permet d'identifier rapidement les anomalies d'isolement, les fuites de terre ou les arcs électriques, réduisant ainsi les dangers d'incendie ET de dommages matériels.

III.2.2.2.4. Assurer la stabilité et la continuité du réseau:

En identifiant tous les problèmes, même les plus minimes, la protection sensible aide à localiser rapidement la zone défaillante sans perturber le reste du réseau, assurant ainsi la pérennité du service et empêchant des interruptions massives.

III.2.3 Fiabilité

III.2.3.1. Définition

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné [3]. La fiabilité d'un système électrique se définit comme son aptitude à accomplir une fonction requise dans des conditions données et pendant un intervalle de temps déterminé. Elle mesure la capacité du système à fonctionner sans défaillance, garantissant ainsi la continuité et la qualité du service électrique.

III.2.3.2. Importance de la fiabilité dans les systèmes électriques

III.2.3.2.1. Une fiabilité adéquate:

Permet de prévoir les phases de maintenance, d'améliorer la sécurité ET de contrôler les dépenses tout au long de la durée de vie du système. [3] Elle est primordiale pour la sauvegarde des réseaux électriques, lesquels doivent repérer et couper rapidement les anomalies pour éviter les défaillances importantes et assurer la continuité de l'approvisionnement.

III.2.3.2.2. La fiabilité conjuguée:

Les concepts de sûreté (aptitude à se déclencher en cas de panne) et de sécurité (prévenir les activations accidentelles), garantissant un fonctionnement constant et sûr des dispositifs de protection électrique.

III.2.4. Rapidité:

III.2.4.1. Définition

La rapidité est un critère crucial d'un système de protection électrique, puisqu'elle offre la possibilité d'intervenir sans délai en cas de défaillance, réduisant par conséquent les dangers pour les individus, le matériel et le réseau. Elle est fortement associée aux attributs des appareils de coupure (comme les disjoncteurs et les fusibles) et à leur aptitude à contrôler l'arc électrique lors de la coupure du courant.

III.2.4.2. Importance de la rapidité dans la protection électrique

III.2.4.2.1. Diminution des dégâts matériels:

Plus la coupure intervient rapidement, moins le matériel est soumis à des stress thermiques et mécaniques causés par les courants de défaut, ce qui allonge leur longévité et prévient des réparations onéreuses. [4]

III.2.4.2.2. Suppression rapide des anomalies :

La protection doit intervenir rapidement pour éliminer les anomalies, y compris les court-circuit, afin de minimiser les dégâts matériels et les dangers potentiels pour les individus. Un problème électrique provoque des tensions thermiques (production de chaleur) et mécaniques (forces électrodynamiques) susceptibles d'entraîner des dommages significatifs si le problème n'est pas résolu rapidement.

III.2.4.2.3. Conservation de la continuité de service:

Une intervention rapide permet d'isoler seulement la section du réseau touchée par le problème, évitant ainsi des interruptions superflues sur d'autres segments du réseau. Cela garantit une continuité et une qualité de service supérieures pour les utilisateurs. [5]

III.2.5. Facteurs influençant la qualité:

III.2.5.1. Caractéristiques d'un équipement électrique de qualité

III.2.5.1.1. Sécurité intégrée:

Les dispositifs de protection (disjoncteurs, interrupteurs différentiels, boîtiers isolants) doivent minimiser les risques de choc électrique, d'incendie, de court-circuit ET d'autres dangers liés à l'électricité [6].

III.2.5.1.2. Marquages ET certifications:

La présence des marquages CE et NF est un indicateur clé de qualité, attestant que le matériel répond aux exigences réglementaires et de sécurité en vigueur [7].

III.2.5.1.3. Solidité et longévité:

Les dispositifs doivent être fabriqués pour supporter les conditions environnementales (chaleur, humidité, poussière, vibrations, produits chimiques) et les contraintes mécaniques, dans le but de garantir une longue durée de vie et un fonctionnement fiable.

III.3.5.2. Importance de la qualité des équipements électriques

III.3.5.2.1. Performance optimale:

La performance des dispositifs garantit une opération précise ET efficace des systèmes électriques, en particulier via une gestion thermique adéquate, une défense contre les perturbations électromagnétiques et une intégration fluide au sein du réseau [8].

III.3.5.2.2. Réduction des coûts de maintenance:

Des équipements robustes et bien conçus nécessitent moins d'interventions, facilitent la maintenance et prolongent la durée de vie des installations, ce qui optimise le coût total de possession [9].

III.3.5.2.3. Conformité réglementaire:

Utiliser des équipements certifiés permet de respecter les obligations légales ET normatives, évitant ainsi des sanctions ET garantissant une installation sécurisée ET contrôlée [10].

III.4. Conclusion:

La qualité d'un système de protection électrique est déterminante pour assurer la sécurité des personnes, la préservation des équipements et la stabilité du réseau. Un bon système doit détecter rapidement les défauts (surcharges, court-circuit, défauts à la terre, etc.) et agir de manière sélective pour isoler uniquement la partie défectueuse du réseau, tout en maintenant l'alimentation des autres sections. Les critères essentiels d'un système de protection de qualité sont : la rapidité, la fiabilité, la sensibilité et la sélectivité, etc. Grâce

aux progrès technologiques, notamment les protections numériques et les systèmes de supervision, il est aujourd'hui possible d'optimiser le fonctionnement et la surveillance des installations électriques.

Chapitre IV

Réalisation pratique d'un système de protection différentielle

IV.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la réalisation pratique d'un système de protection différentielle commençant par la mise en évidence du logiciel LabVIEW, et son utilisation. Ainsi que l'explication du montage réalisé avec présentation de quelques photos relatives aux éléments constitutifs, et enfin les résultats expérimentaux avec discussions.

IV.2. LabVIEW:

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un Logiciel de programmation développé par National Instrument. Ce qui différencie LabVIEW des méthodes classiques. 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 des 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 d'ajouter les objets de commandes (boutons, commandes numérique.) et des visualisations (Leds, afficheurs, graphes...) qui constituent les mécanismes d'entrées et sorties. [1]

IV.2.1. L'environnement LabVIEW :

L'environnement LabVIEW repose sur le concept d'instrument virtuel (Virtual Instrument ou VI). Chaque instrument virtuel se compose de deux parties principales:

- **La première partie (partie interne ou cachée) :**

Cette partie représente l'algorithme du programme, exprimé sous forme de diagramme de flux de données en langage graphique.

- **La seconde partie (partie visible) :**

Il s'agit de l'interface graphique utilisateur, qui permet à l'utilisateur d'interagir avec le programme, de visualiser les données et de contrôler les opérations.

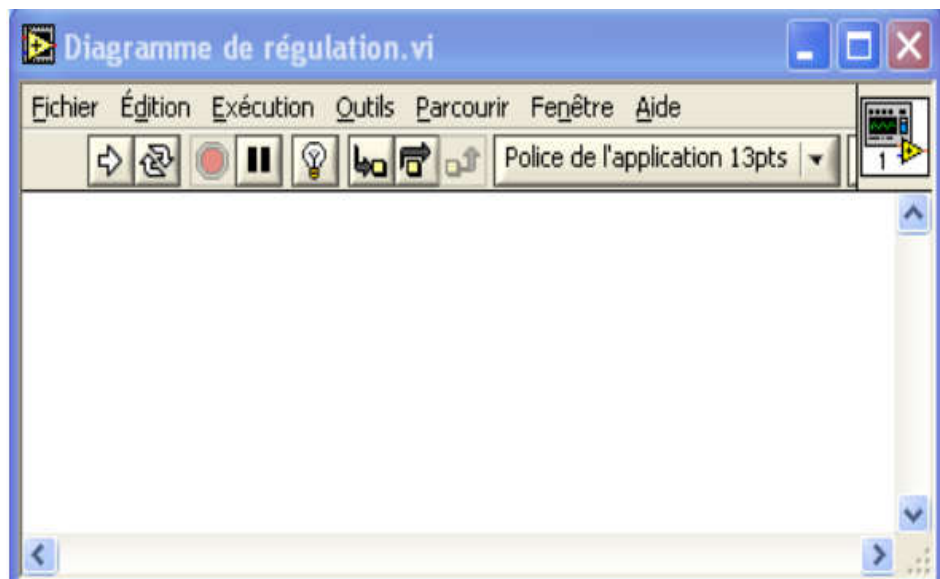


Figure IV.1 :: Fenêtre de l'environnement de développement sur LabVIEW(diagramme)

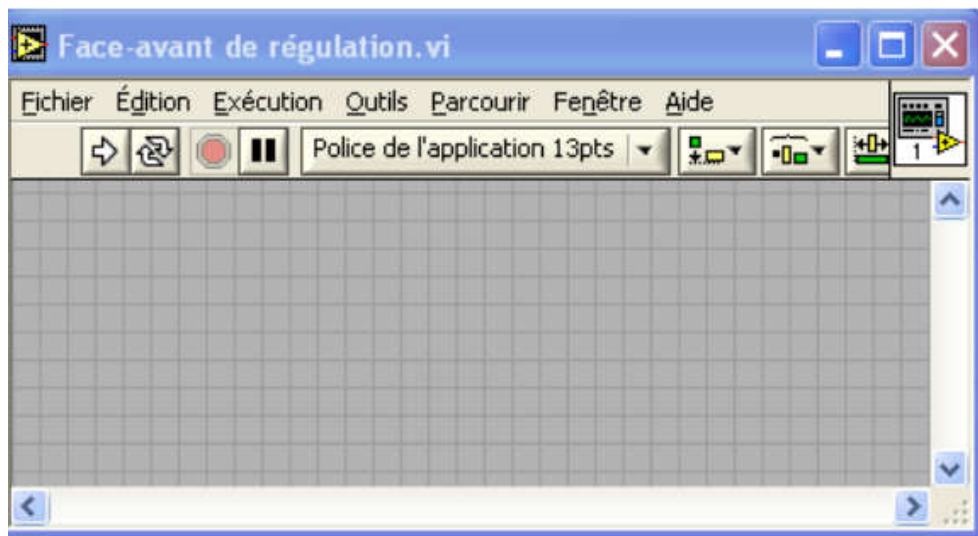


Figure IV.2 :: Fenêtre de l'environnement de développement sur LabVIEW(face-avant)

Pour concevoir un programme sous LabVIEW, l'utilisation des *palettes* est essentielle. Celles-ci permettent de modifier à la fois la face avant (interface utilisateur) et le diagramme (logique de programmation). Il existe trois types principaux de palettes :

- **La palette d'outils :**

Accessible depuis la face avant et le diagramme, cette palette regroupe les outils nécessaires à la manipulation et à la modification des éléments graphiques, que ce soit au niveau de l'interface utilisateur ou du diagramme de blocs.



Figure IV.3 : Illustration de la palette d'outils

- **La palette des commandes:**

Disponible uniquement sur la face avant, cette palette regroupe les commandes et les indicateurs nécessaires à la conception de l'interface utilisateur.

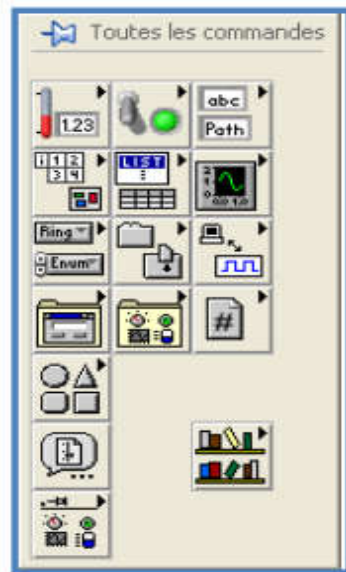


Figure IV. 4 : Illustration de la palette des commandes.

- **La palette des fonctions :**

Accessible uniquement depuis le diagramme, cette palette contient les éléments nécessaires à la programmation graphique. On y trouve notamment des fonctions d'arithmétique, des opérations d'entrée/sortie pour les instruments, la gestion des fichiers, ainsi que des outils d'acquisition de données à partir de différents instruments de National Instruments. [2].



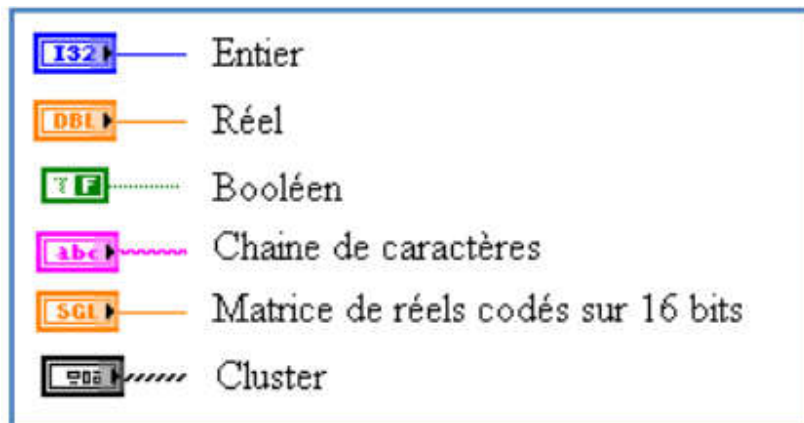
FigureIV.5 : Illustration de la palette des fonctions

IV.2.3. Structure des données manipulées avec LabVIEW :

LabVIEW utilise un langage fortement typé, ce qui signifie que chaque donnée ou structure de données ne peut être manipulée que par des fonctions compatibles avec son type. Dans LabVIEW, on retrouve plusieurs types de données de base, notamment :

- Les types scalaires,
- Les entiers (signés ou non, codés sur 8, 16 ou 32 bits),
- Les nombres réels (codés sur 16, 32 ou 64 bits),
- Le type booléen,

Il est également important de souligner que chaque type de donnée, ainsi que les connexions associées dans le diagramme, se distinguent par une forme et une couleur spécifique [2].



FigureIV.6 : Les différents types de structures des données dans LabVIEW.

IV.3. Réalisation pratique :

IV.3.1. Circuit sans système de protection :

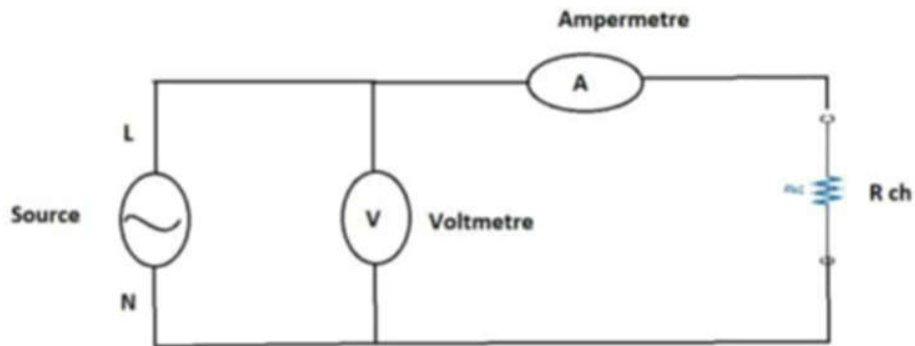


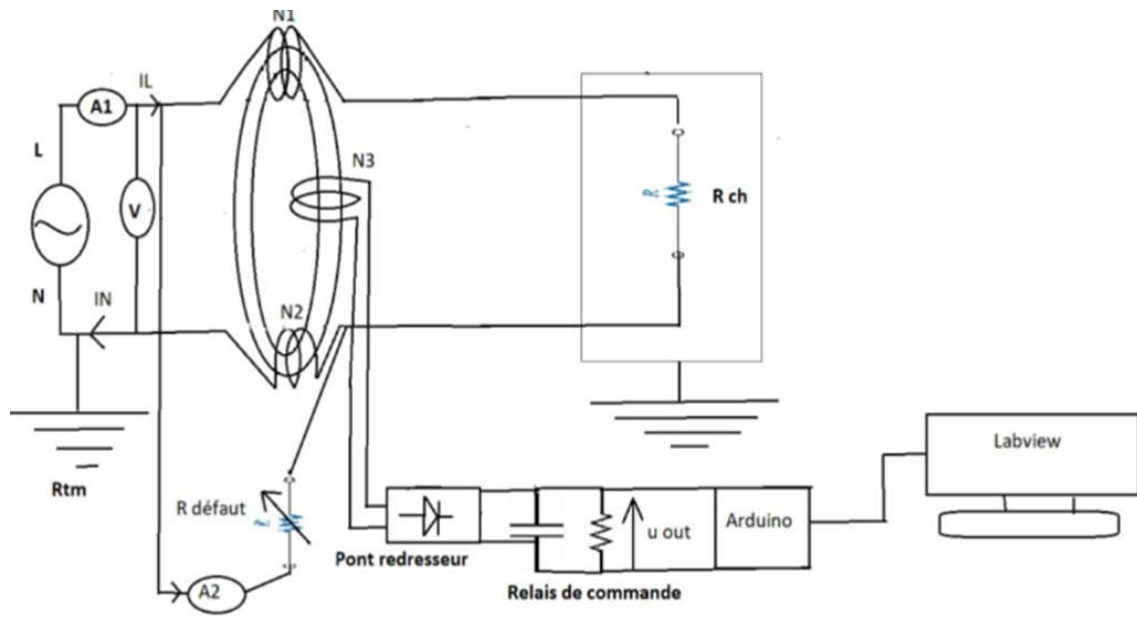
Figure IV.7 : Schéma électrique (sans protection)



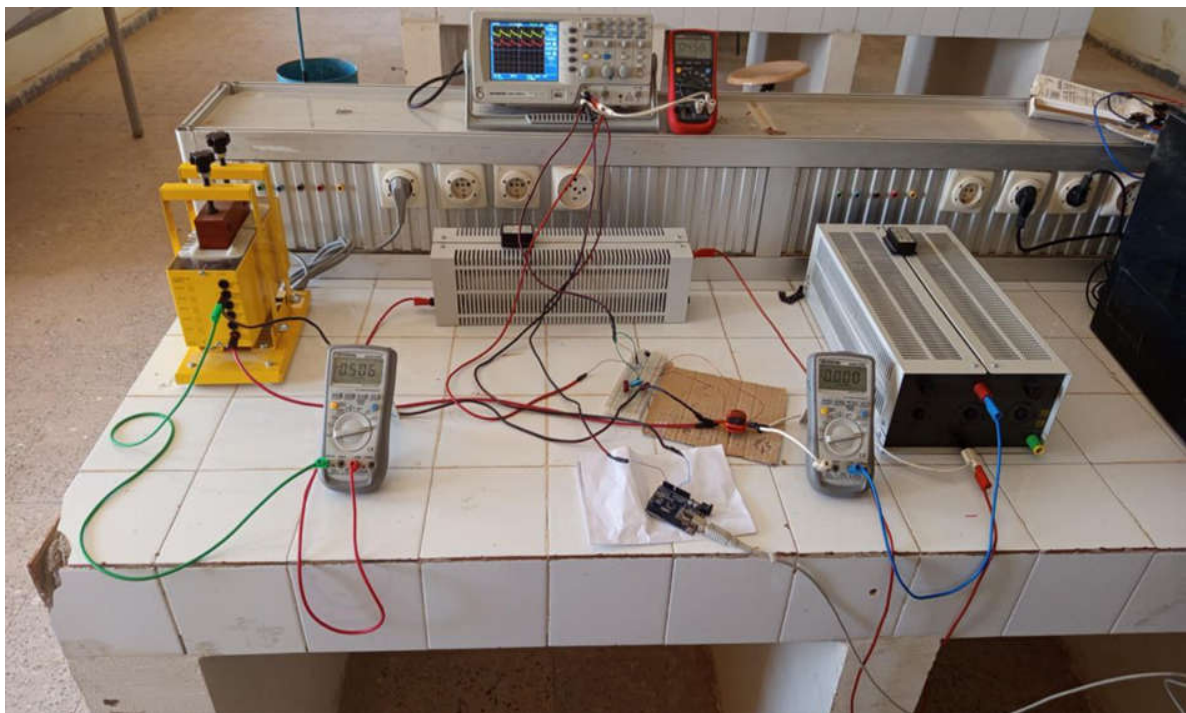
Figure IV.8 : Photo du circuit sans système de protection

Le circuit électrique est composé d'un transformateur de tension et d'une résistance, sans aucun système de protection tel qu'un relais différentiel, présente plusieurs limites en termes de sécurité et de fiabilité. Alors, sans relais différentiel, le circuit ne peut pas détecter un courant de fuite de terre. Cela peut être dangereux pour les personnes et peut provoquer un incendie. En effet, si quelqu'un touche une partie sous tension, le courant ne sera pas coupé automatiquement. Cela peut entraîner une électrocution.

IV.3.2. Circuit avec système de protection :



(a)



(b)

Figure IV.10 : Système de protection réalisé (relais différentiel numérique)

Eléments constitutifs de cette protection différentielle réalisée:

- Transformateur de tension : afin d'avoir une tension réduite de 45V.
- Résistance fixe : charge.
- Résistance variable : pour créer un défaut différentiel (courant I_f variable).
- Tore Magnétique avec trois bobines : bobine de la phase=2spires, bobine du neutre=2spires et la bobine de mesure=20spires.
- Arduino : pour l'acquisition de la tension image du courant de défaut I_f .
- Plaque d'essai : contient le redresseur et le circuit de filtrage.
- Ordinateur doté du logiciel Labview.

Nous avons réalisé un circuit électrique expérimental dans le but d'étudier et de comprendre la fonction du relais différentiel, un dispositif essentiel dans les systèmes de protection électrique utilisé pour détecter les défauts tels que les fuites de courant à la terre ou les défauts de masse.

Dans cette expérience, nous avons simulé différentes situations de défaut en modifiant la valeur de la résistance dans le circuit électrique. Ce changement de résistance représente des cas de défaut ou de fuite de courant, ce qui entraîne une différence entre le courant entrant et le courant sortant du circuit.

En surveillant le système lors de ces modifications, nous avons pu mesurer la valeur de la tension et du courant à différents points du circuit, notamment au seuil où le relais différentiel commence à détecter le défaut et intervient pour couper le courant.

La détermination de ce seuil est très importante car il représente la limite sensible à partir de laquelle le relais reconnaît la présence d'un défaut et déclenche rapidement la coupure afin de prévenir des dommages plus importants tels que les électrocutions ou les détériorations des équipements.

L'utilisation de l'Arduino et du logiciel LabVIEW à cette étape nous a permis de collecter des données avec une grande précision et d'analyser en temps réel le comportement du relais différentiel, offrant ainsi une compréhension pratique et réaliste du fonctionnement de ce dispositif sensible dans les systèmes de protection.

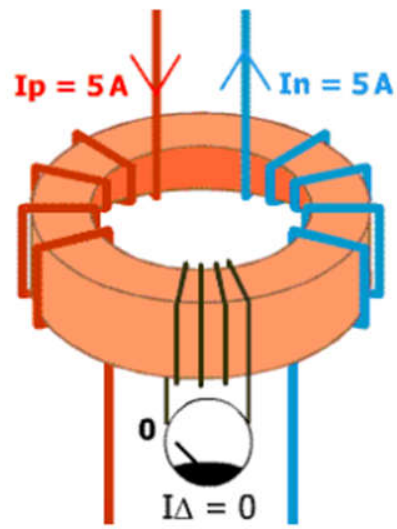
IV.3.3. Eléments constitutifs du système de protection réalisé:

IV.3.3.1. Tore Magnétique :

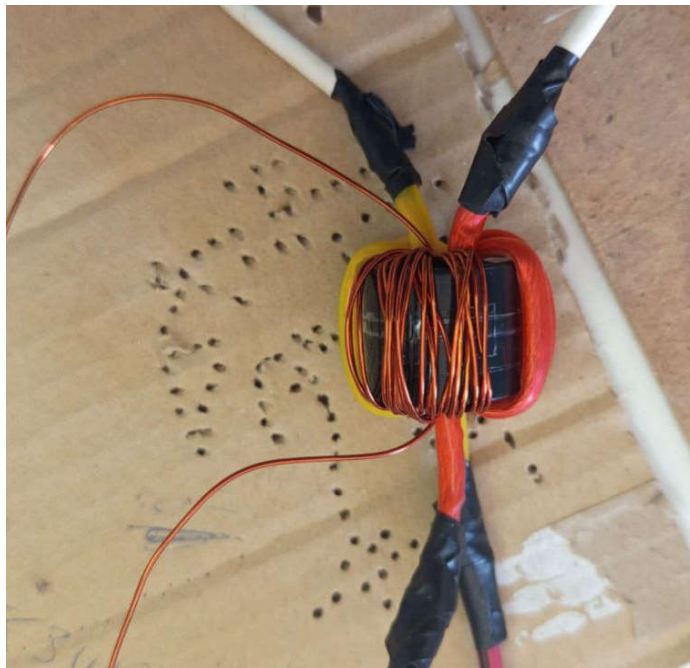
Désigne la partie constituée d'un noyau magnétique toroïdal entourant les conducteurs de phase, du neutre et de mesure. Elle est utilisée pour détecter les courants différentiels résultant d'une fuite de courant électrique. Cette phase constitue l'élément clé permettant de transformer la différence de courant en un signal magnétique qui active le mécanisme de protection.

Le relais différentiel repose sur le principe selon lequel la somme des courants circulant dans la phase et le neutre doit être égale en conditions normales. Ces courants traversent le noyau magnétique et génèrent des champs magnétiques opposés qui s'annulent mutuellement. En cas de fuite de courant vers la terre, cet équilibre est rompu, ce qui crée une différence entre les courants de phase et de neutre. Cette différence engendre un flux magnétique résiduel dans le noyau magnétique, induisant un courant dans l'enroulement secondaire. Si le courant différentiel dépasse le seuil, le relais active le dispositif de coupure pour interrompre le circuit électrique, assurant ainsi la protection des personnes et des équipements.

La tension induite aux bornes de la bobine de mesure peut être exprimée comme suit :
 $U_{out}=f(\Delta I)$, avec $\Delta I=I_n-I_p$.



(a)

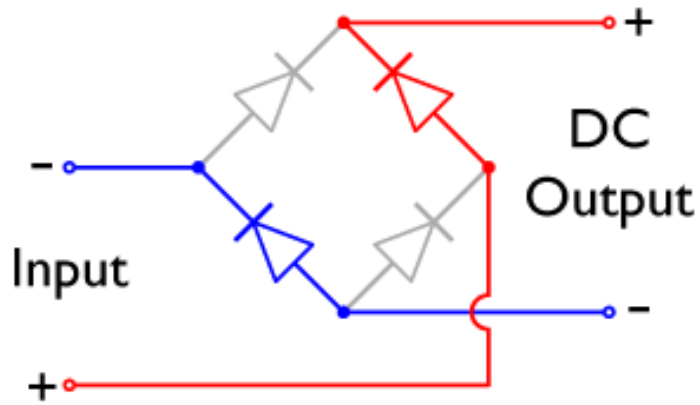


(b)

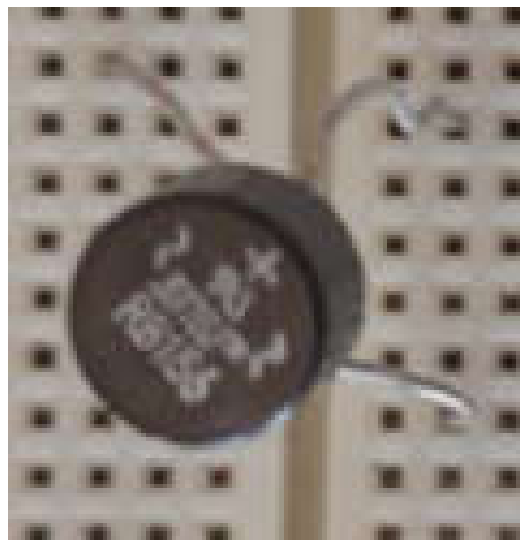
Figure VI.11 : Tore Magnétique

IV.3.3.2. Pont de redressement :

Un redresseur est un dispositif électronique qui convertit le courant alternatif (AC) en courant continu (DC).



(a)



(b)

Figure VI.12 : Pont de redressement

IV.3.3.3. Composants de la plaque d'essai :

La plaque d'essai constitue un outil fondamental dans le domaine de l'électronique et de l'électricité. Elle permet de concevoir et tester des circuits électriques et électroniques de manière temporaire, sans avoir recours à la soudure des composants. Ce type de plaque est largement utilisé dans les laboratoires éducatifs et de recherche en raison de sa flexibilité et de sa facilité d'utilisation, ce qui permet d'effectuer rapidement des modifications sur le circuit sans endommager les éléments. Elle représente un outil idéal durant les phases de développement de projets, notamment pour tester les performances et détecter d'éventuelles pannes avant de passer à un montage définitif sur un circuit

imprimé (PCB). Elle contribue également à gagner du temps, réduire les efforts et limiter les coûts liés à la conception de prototypes. Dans ce travail, elle contient le redresseur et le circuit de filtrage.

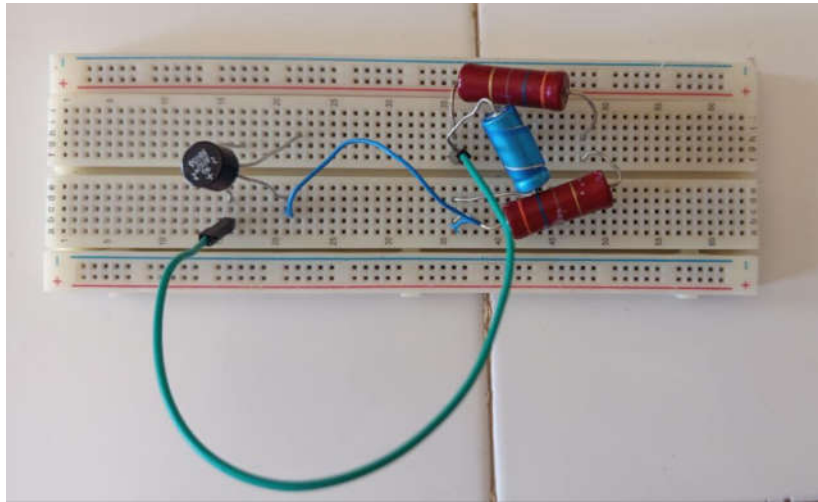
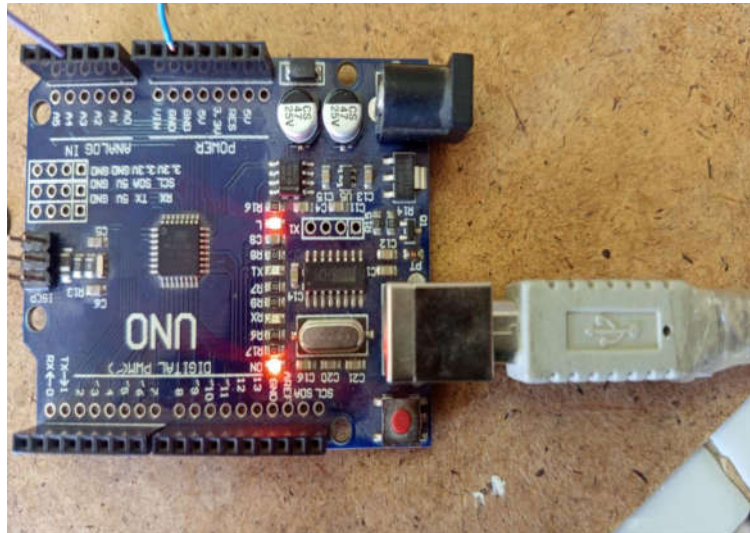


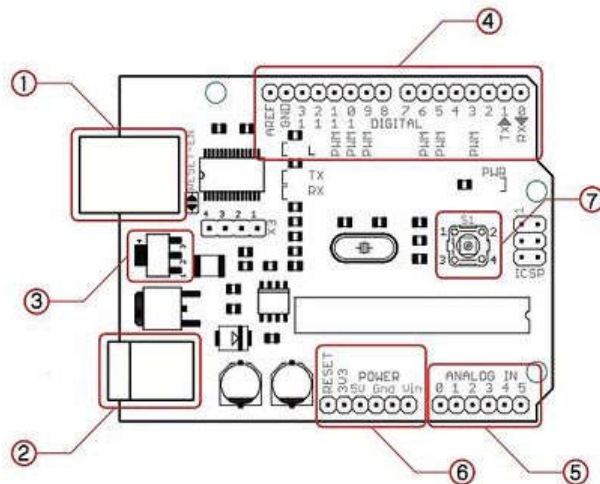
Figure VI.13 : Composants de la plaque d'essai

IV.3.3.4. Arduino :

L'Arduino UNO est une carte de développement électronique open source basée sur le microcontrôleur ATmega328P. Elle est utilisée pour concevoir et réaliser des projets électroniques et informatiques. C'est l'une des cartes Arduino les plus populaires et les plus faciles à utiliser, destinée aussi bien aux débutants qu'aux professionnels. L'Arduino est le point de liaison entre un circuit électronique et un ordinateur. Son objectif principal est de relier le monde numérique (informatique) au monde physique, en recevant des signaux provenant de capteurs, en les traitant, puis en envoyant des commandes à des actionneurs comme des moteurs ou des LED.



(a)



(b)

The most important parts on the Arduino board high lighted in red:

- 1: USB connector
- 2: Power connector
- 3: Automatic power switch
- 4: Digital pins
- 5: Analog pins
- 6: Power pins
- 7: Reset switch

Figure VI.14 : Arduino

IV.3.3.5. Application LabVIEW:

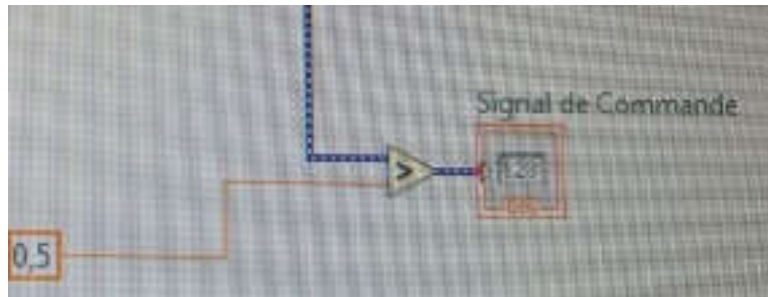


Figure IV.15 : Comparateur de l'application LabVIEW

Dans ce système, un comparateur est utilisé dans l'environnement de programmation LabVIEW pour surveiller la valeur du courant électrique circulant dans le circuit. Le courant mesuré est comparé à un seuil prédéfini de 0,5 A. Lorsque le courant dépasse ce seuil, cela est considéré comme un indicateur d'un dysfonctionnement ou d'un état de fonctionnement anormal, ce qui entraîne le déclenchement.

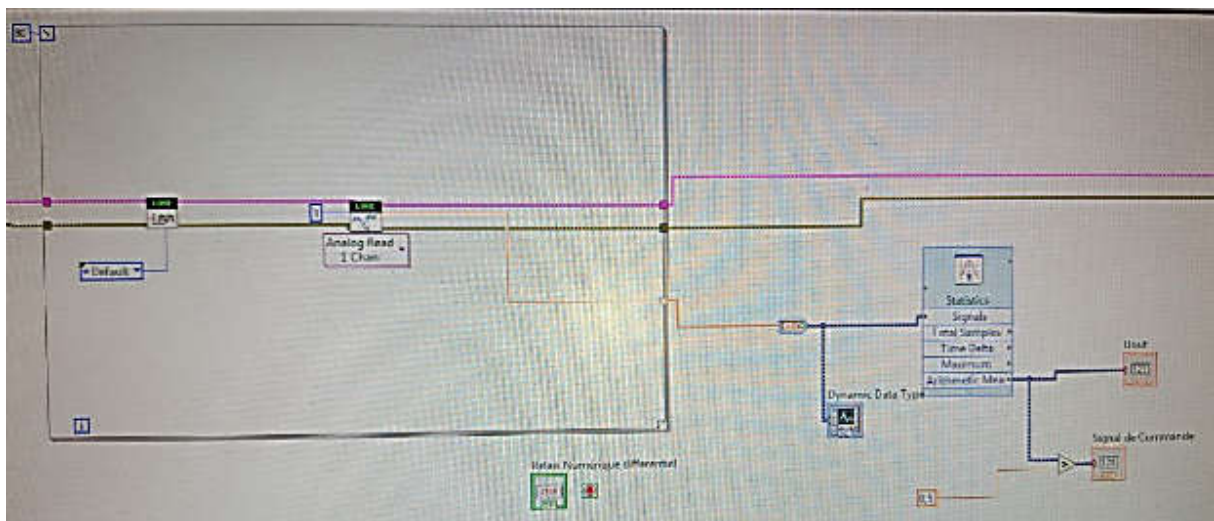
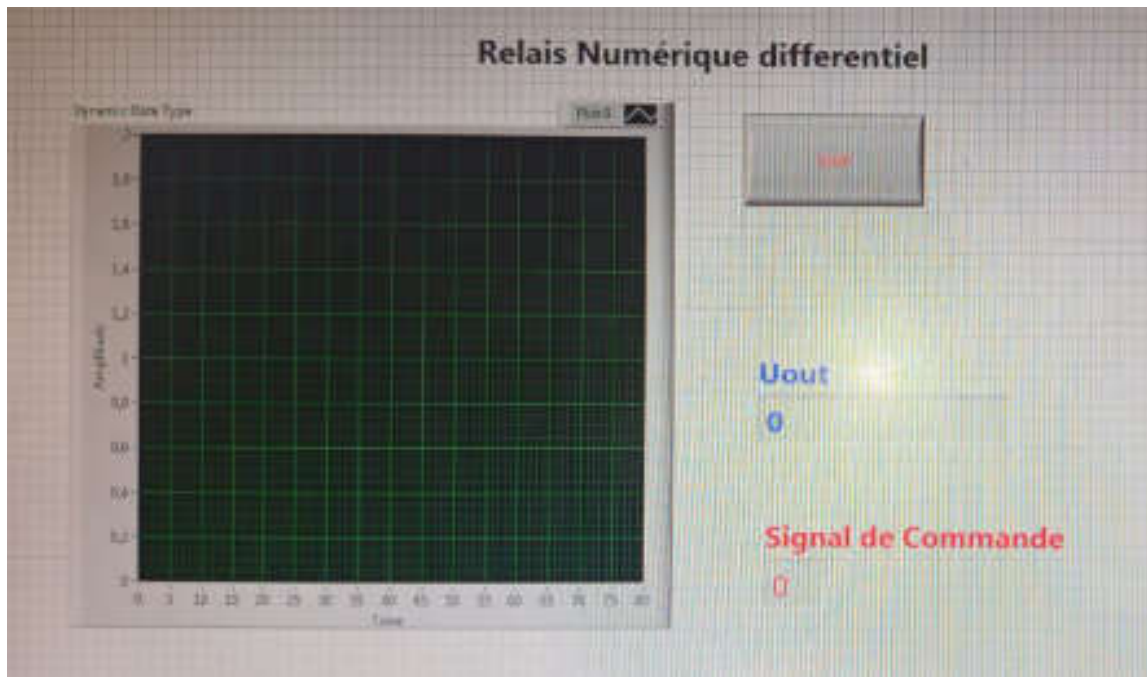


Figure IV.16: Diagramme de l'application LabVIEW



FigureIV.17: Interface du relais différentiel numérique sous LabVIEW

L'image représente une interface graphique d'un programme conçu avec LabVIEW, illustrant un système de relais différentiel numérique utilisé dans la protection électrique. L'interface comprend des outils essentiels de surveillance tels qu'un graphique affichant l'évolution du signal dans le temps, un bouton "Start" pour activer le système, ainsi que des indicateurs montrant la tension de sortie (U_{out}) et le signal de commande (Signal de Commande). Ce type de relais est utilisé pour détecter les différences anormales de courant ou de tension, ce qui permet d'identifier les défauts et d'intervenir afin de protéger les équipements électriques.

IV.3.4. Résultats expérimentaux :

Le Tableau IV.1 montre la caractéristique du relai différentiel réalisé (I_f est le courant du défaut et U_{out} est la tension image de I_f) :

If(A)	Uout(V)
0.15	0.2
0.2	0.23
0.25	0.28
0.3	0.33
0.35	0.37
0.4	0.40
0.45	0.43
0.5	0.49
0.55	0.52
0.6	0.55
0.65	0.59
0.7	0.62
0.75	0.65
0.8	0.71
0.85	0.75
0.9	0.77
0.95	0.80
1	0.83

Tableau IV.1 : Tableau des résultats de mesure : caractéristique $U_{out}(I_f)$ du relais numérique réalisé

La courbe suivante montre la caractéristique du relais numérique différentiel :

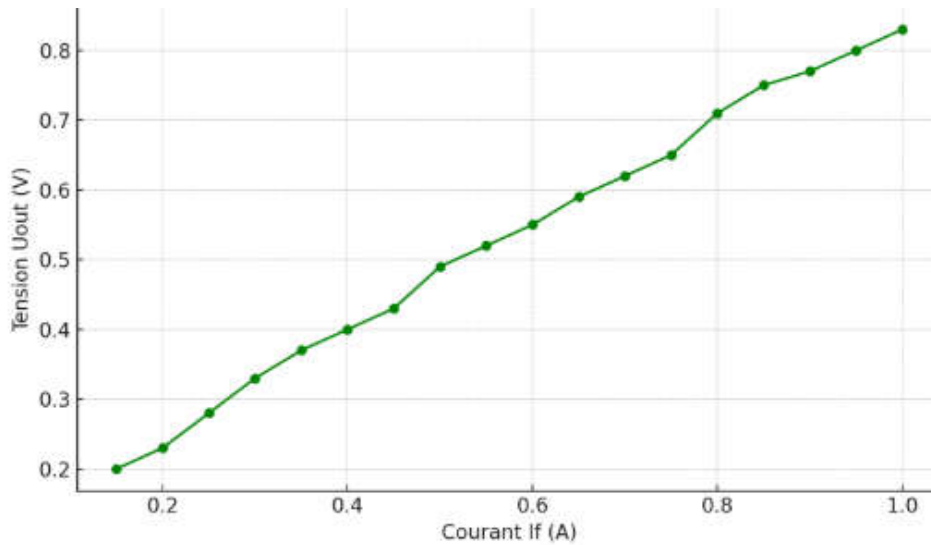


Figure IV.1 : Courbe de la caractéristique $U_{out}(I_f)$ du relais

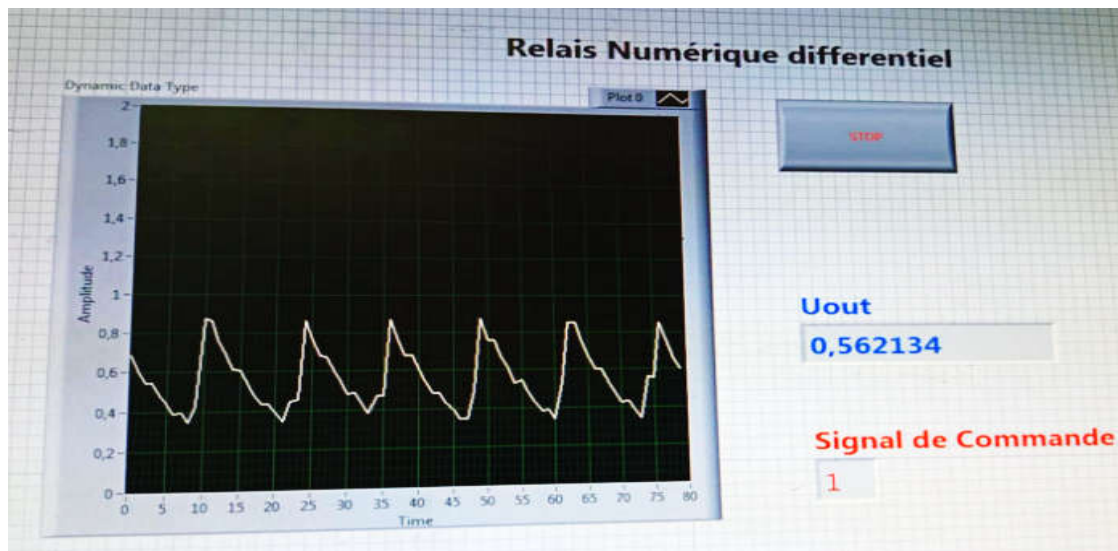
Cette courbe montre la relation entre la tension de sortie U_{out} et le courant de défaut I_f . Comme vous pouvez le constater, la relation est quasi linéaire, ce qui indique une réponse progressive et régulière de la tension avec la variation du courant I_f . Pour le choix du seuil de déclenchement du relais différentiel ΔI_s nous avons opté pour la valeur suivante :

$$\Delta I_s = 500 \text{ mA}$$

Ce seuil correspondant (voir la caractéristique mesurée) à une tension de sortie :

$$U_{out} = 0.49 \text{ V soit } 0.5 \text{ V}$$

Alors si le courant de défaut I_f dépasse le seuil $\Delta I_s = 500 \text{ mA}$ (or U_{out} dépasse 0.5 V) le relais envoie un signal de commande logique = 1 pour activer l'élément de coupure (le disjoncteur). Dans le cas contraire le signal de commande logique = 0, c.-à-d. fonctionnement normal du circuit (disjoncteur fermé).



FigureIV.18 : Interface LabVIEW du relai numérique différentiel (essai avec défaut).

On remarque sur cette photo que le signal de commande = 1 (dépassement du seuil), indiquant que le relai différentiel détectait un défaut et émettait une commande d'ouverture du disjoncteur, coupant ainsi le courant électrique pour protéger les personnes et les équipements.

IV.5. Conclusion

En conclusion de ce travail sur la réalisation pratique d'un système de protection différentiel, il est clair que ce type de protection joue un rôle essentiel dans la sécurisation des installations électriques, en particulier lorsqu'il s'agit de défauts internes touchant des équipements tels que les transformateurs ou les jeux de barres. Nous avons abordé dans ce projet les principes théoriques de la protection différentielle, qui repose sur la comparaison des courants entrants et sortants d'une zone protégée. Lorsqu'une différence anormale est détectée, indiquant un défaut interne, un signal de déclenchement est envoyé.

Conclusion générale

À l'issue de notre mémoire, nous avons réussi à concevoir, mettre en œuvre et vérifier un système de sécurité électrique opérationnel, qui répond aux critères essentiels pour une détection rapide des anomalies électriques et pour la protection des équipements.

Ce projet nous a donné l'opportunité de fusionner les savoirs théoriques obtenus tout au long de notre formation avec une mise en pratique tangible, en faisant appel à des instruments contemporains tels que la carte Arduino et le programme LabVIEW. En intégrant divers composants électriques, nous avons réussi à simuler différents scénarios de pannes et à tester la performance de notre système dans des conditions quasi réelles.

Les résultats obtenus se sont révélés satisfaisants et ont prouvé la fiabilité et la réactivité du système de protection dans un contexte pédagogique. De ce fait, ce système peut servir de fondation pour des évolutions plus sophistiquées à venir, en particulier dans des contextes industriels ou résidentiels.

Cette tâche nous a aussi donné l'occasion de renforcer notre sens critique, nos aptitudes techniques et notre aptitude à résoudre des défis pratiques, ce qui constitue une étape essentielle dans notre trajectoire d'ingénieur.

Pour conclure, cette expérience s'est révélée enrichissante tant d'un point de vue technique que personnel. Nous souhaitons qu'elle puisse servir de modèle ou d'outil pédagogique pour d'autres étudiants ou chercheurs intéressés par les systèmes de protection électrique.

Bibliographies

Bibliographie du chapitre I

- [1]: [Thompson Adu, Design and Implementation of A High Speed and Dependable Microprocessor Based Relay for Transmission Line Protection, Ph.D. Dissertation: University of Saskatchewan, Canada. 1993].
- [2]: [B. Mohammed, Etude et simulation d'un coupleur de signaux HF pour réseaux d'énergie électrique. Application : sélectivité logique des protections, Masters thesis: Université Mohamed Khider Biskra, 2013].
- [3]: [G. Friedrich et M. Kant, Choice of drives for electrical vehicles a comparison between two permanent magnet AC machines, IEE Proc. - Elec. Power App, vol. 145, no., . 3, May 1998.].
- [4]: [a. abdeldjabar, calcul des différents courant de court-circuit dans le réseau électrique, mémoire master : academiquekasdimerbahouargla , 2013] .
- [5]: [KHOUDRANE Ouassim et SELLAM Abderrahim , Classification et Localisation des Défauts dans les lignes Électriques, Mémoire de Master : L'Université Blida 1, 2021]

Bibliographie du chapitre II

- [1]: [Michel Meunier, "Protection des réseaux électriques", Éditions Lavoisier, 2004]
- [2]: [Protection à maximum de courant à caractéristique de déclenchement programmable, DJEDIDI Imene, 04 Juin 2017, Université Mohamed Khider Biskra]
- [3]: [“Protection des réseaux électrique, Année Universitaire : 2020/2021, Université TAHRI Mohamed Béchar, Code de la Matière : LETD611]
- [4]: [wikiwand, protection a maximum de courant, 17/01/2025]

Bibliographie du chapitre III

- [1]: [Université Mohamed Khider Biskra, Implémentation de la technique CPL dans un système de protection à sélectivité logique, BENDJEDOU Rahima, 03 Juin 2015]
- [2]: [UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, Etude et Conception d'une Installation

Electrique, Etude et Conception d'une Installation Electrique, OUATOUAT Amar\ BENZAOUI

Khaled Mohammed Said]

[3]: [Estimation de la fiabilité d'une turbine à gaz, HADDOUM Idir, Université Mouloud

Mammeri de Tizi-Ouzou, Année universitaire : 2022/2023]

[4]: [https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Les_fusibles]

[5]: ["Protection des réseaux électrique, Année Universitaire : 2020/2021, Université TAHRI

Mohamed Béchar, Code de la Matière : LETD611]

[6]: [/nov.2024, <https://safetyculture.com>28]

[7]: [Marine ,1 Avril 2025•<https://www.one-elec.com/> <https://izi-by-edf.fr/>]

[8] : [<https://izi-by-edf.fr/>,Marine ,1 Avril 2025]

[9] : [04 août 2023, <https://www.trace-software.com>]

Bibliographie du chapitre IV

[1] : [Université Mohamed Khider Biskra, Simulation et réalisation pratique d'une protection directionnelle, NECIRA Abdel Waheb, Juin 2016]

[2] : [Université de Médéa, Étude et réalisation de régulateur intelligent du niveau D'eau dans une enceinte métallique avec appoint, M elle MAIZI samiha - M elle KHANAFIF Aicha, 2012-2013]