



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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Réseaux Electriques

Réf. :

Présenté et soutenu par :
HAMRIT Salah Edine Barkat

Le : dimanche 24 juin 2018

Réalisation d'une armoire didactique pour la protection des réseaux électriques

Jury :

Dr.	BENMEDDOUR Mostefa	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	MAHDAD Belkacem	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	MEGHERBI Ahmed Chaouki	MCA	Université de Biskra	Examineur

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



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : électrotechnique
Option : Réseaux électrique

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

MASTER

Thème

**Réalisation d'une armoire didactique pour la
protection des réseaux électriques**

Présenté par :

HAMRIT Salah Edine Barkat

Avis favorable de l'encadreur :

MAHDAD Belkacem

Avis favorable du Président du Jury

BENMEDDOUR Mostefa

Cachet et signature

Résumé

Résumé

Les réseaux sont donc affectés de perturbations qui peuvent mettre en cause la pérennité matérielle et la qualité de service rendu. Il faut donc chercher à en minimiser les conséquences. Tout défaut doit donc être identifié immédiatement et, l'ouvrage affecté, séparé du réseau avec une temporisation minimale. C'est l'objet de la protection des réseaux. L'objectif principal de ce mémoire de fin d'étude consiste à la réalisation d'une armoire électrique didactique basée sur la technologie arduino et GSM permettant de réaliser deux objectifs : le premier objectif consiste à la simulation pratique de la sélectivité des protections dans un réseau radial, alors que le deuxième objectif est orienté à démontrer le principe de base du système SCADA par la commande à distance de l'ouverture et la fermeture d'un contacteur ainsi que la détection à distance du défaut type surcharge.

Les mots clé : Les réseaux électrique, défauts, système de protection armoire de distribution, carte Arduino, carte GSM, sélectivité, commande à distance.

المخلص :

تتعرض الشبكات الكهربائية إلى أخطاء متنوعة قد تؤدي إلى أضرار جسيمة بالمعدات كما تؤثر على نوعية الخدمات. إذا يتطلب التقليل من النتائج المترتبة من خلال التحديد السريع لموضع الخطأ مما يسمح من تحسين فعالية الحماية وذلك بالتقليل من مدة الفصل. يهدف موضوع هذه المذكرة إلى إنجاز خزانة توزيع ذات طابع بدائجي مكوناتها تحتوي أساساً على لوحة أردوينو ولوحة (جي اس ام) لتحقيق هدفين أساسيين يتعلق الأول بمحاكات مبدأ عمل الانتقائية في نظام الحماية لشبكة لشعاعية بينما يتمحور الهدف الثاني حول توضيح المبدأ الأساسي لنظام (SCADA) وذلك بالتحكم عن بعد في فتح وإغلاق القاطع الكهربائي وكذا التحديد عن بعد لخطأ الزيادة في الحمولة .

الكلمات المفتاحية: الشبكات الكهربائية ، اخطاء ، نظام الحماية ، خزانة توزيع ، لوحة اردوينو ، لوحة (جي اس ام) ، التحكم عن بعد.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à...

A mon très cher Père Ahmed

***Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,
l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours
eu pour vous.***

***Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et
nuit pour mon éducation et mon bien être.***

***Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as
consentis pour mon éducation et ma formation.***

A ma très chère mère bouziga fatiha

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon frère et mes sœurs

Zakariya , Rahifa ,Selsabile ,Mariya .

A ma très chère sœur Selma, son mari Zayd

A mes chères amies

*Issam, Mostafa, Souhaib, Mouhamed, Selm,
Islem,Nour eldin ,Oussama, Youcef, Masaoud,
A tous les internes et résidents de cité Alhadjeb*

A tout de société de Sonatrach Ain Aminas

Masaoud,Saai,Ben aissa , Ismaail, Fathi , Ali

*Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour
vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes
pour moi des frères, et des amis sur qui je peux
compter.*

*En témoignage de l'amitié qui nous uni et des
souvenirs de tous les moments que nous avons passés
ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite
une vie pleine de santé et de bonheur.*

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je remercie...

A notre maître et encadreur

Monsieur MAHDAD Belkacem

*Vous avez bien voulu nous confier ce travail riche
d'intérêt et nous guider à chaque étape de sa
réalisation.*

*Vous nous avez toujours réservé le meilleur accueil,
malgré vos obligations professionnelles.*

*Vos encouragements inlassables, votre amabilité, votre
gentillesse méritent toute admiration.*

*Nous saisissons cette occasion pour vous exprimer
notre profonde gratitude tout en vous témoignant
notre respect.*

Le président de jury

*Monsieur **BENMEDDOUR** Mostefa*

Veillez trouver ici l'expression de notre respectueuse

considération et notre profonde admiration pour

toutes vos qualités scientifiques et humaines.

Ce travail est pour nous l'occasion de vous témoigner

notre profonde gratitude.

Le membre de jury

Monsieur MEGHERBI Ahmed Chaouki

Vous nous faites l'honneur d'accepter avec une très

grande amabilité de siéger parmi notre jury le

mémoire.

Veillez accepter ce travail docteur, en gage de notre

grand respect et notre profonde reconnaissance.

Chapitre I

Figure I.1 : Structure générale de la protection d'un réseau électrique.....5

Figure I.2 : Structure d'un Système de protection de base.....6

Figure I.3 : Chambre de coupure d'un disjoncteur à coupure dans l'huile.....7

Figure I.4 : Chambre de coupure d'un disjoncteur à coupure dans l'air
(Disjoncteur de type Solénarc, marque : Merlin Gerin).8

Figure I.5 : Disjoncteur à gaz SF6 (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).....10

Figure I.6 : Constitution d'une ampoule de coupure dans le vide..... 11

Figure I.7 : Schémas unifilaires d'un sectionneur portes fusibles.....12

Figure I.8 : Sectionneurs portes fusibles (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).....13

Figure I.9: Sectionneurs HTB et HTA (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).....13

Figure I.10 : Relais électromagnétique (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).....14

Figure I.11 : Relais statiques (à semi-conducteur).....15

Figure I.12 Relais numériques sepam (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).....17

Figure I.13 : Transformateur de courant :
-a) TC bobiné HTA -b) modèle torique BTA (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*) ...18

Figure I.14 : Transformateur de courant torique (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).....18

Figure I.15 : Transformateur de courant a primaire bobiné
(*SONATRACH SH DP IN AMENAS*)..... 19

Figure I.16 : Transformateur de courant modèle bobiné.....20

Figure I.17 : Transformateur de courant torique résiduel
(*SONATRACH SH DP IN AMENAS*)..... 20

Figure I.18 : Schéma unifilaire d'un transformateur de courant21

Figure I.19: Principe de construction d'un transformateur de courant21

Figure I.20 : Transformateur de tension.....22

Figure I.21 : Principe de construction d'un transformateur de tension à un pôle isolé.....23

Figure I .22 : Transformateurs de tension (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).....23

Figure I.23 : Principe de base de la protection différentielle.....24

Figure I.24 : Le schéma de principe de la protection différentielle pour
le transformateur de puissance ($Y - \Delta$).....25

Figure I.25 : Protection des alternateurs.....26

Figure I.26 : Schéma de principe d'une différentielle jeux de barres.....27

Chapitre II

Figure II.1 : Kit Arduino.....	28
Figure II.2 : Carte Arduino.....	31
Figure II.3 : Logiciel de programmation de la carte ARDUINO	33
Figure II.4 : Interface IDE Arduino.....	34
Figure II.5 : Paramétrage de la carte.....	34
Figure II.6 : Paramétrage de la carte (Désignation du port d'entrée COM3).....	35
Figure II.7 : Vérification du code.....	35
Figure II.8 : Les étapes du transfert du code (téléverse).....	36
Figure II.9 : Fenêtre des résultats.....	36
Figure II.10 : Fenêtre du message.....	37
Figure II.11 : Capteur de Courant ACS712.....	37
Figure II.12 : Capteur de de tension.....	38
Figure II.13: Capteur de tension avec transformateur.....	39
Figure II.14: Exemple : allumer et éteindre une LED.....	40
Figure II.15 : Montage de Arduino avec LED.....	40

Chapitre III

Figure III.1 : Mesure des grandeurs électriques par utilisation de la carte Arduino.....	43
Figure III.2 : Résultats expérimentaux.....	45
Figure III.3 : Vérification de la tension mesurée par voltmètre.....	45
Figure III.4 : Principe de la sélectivité ampèremétrique.....	46
Figure III.5 : Principe de la sélectivité chronométrique.....	47
Figure III.6 : Principe de la sélectivité logique.....	48
Figure III.7: Principe de la sélectivité directionnelle.....	50
Figure III.8 : Schéma du circuit expérimental initial : sélectivité entre deux relais.	51
Figure III.9 : Photo de fonctionnement normal.....	52
Figure III.10 : Avant la variation de courant fonctionnement normal.....	53
Figure III.11 : Après la variation de courant fonctionnement anormal.....	53
Figure III.12 : Partie du programme associée aux mesures et aux réglages des relais de protection... ..	54
Figure III.13 : Grandeurs électriques mesurés lors de l'ouverture du relais secondaire.....	55

Liste des figures

Figure III.14 : Grandeurs électriques mesurés lors de l'ouverture du relais primaire.....	55
Figure III.15 : Schéma unifilaire du réseau test.....	56
Figure III.16 : Armoire générale dédiée à la sélectivité des protections et la commande à distance à base de l'Arduino et de la carte GSM.....	57
Figure III.17: Schéma expérimental de la sélectivité à base de l'Arduino.....	58
Figure III.18 : Désignation des éléments de l'armoire dédiée à la sélectivité.....	59
Figure III.19: Schéma unifilaire du réseau test.....	60
Figure III.20 : Grandeurs électriques mesurées : cas normal.....	61
Figure III.21 : Partie du programme de sélectivité (courant et temps) à deux niveaux.....	62
Figure III.22 : Installation dans le cas normal.....	63
Figure III.23 : Installation dans le cas anormal : test 1 : déclenchement de la deuxième protection.....	63
Figure III.24 : Grandeurs électriques mesurés : test 1.....	64
Figure III.25 : Installation dans le cas anormal test 2 : déclenchement de la première protection.....	65
Figure III.26 : Grandeurs électriques mesurées : test 2.....	65
Figure III.27 : photo du circuit expérimental de commande des relais à distance par carte GSM.....	66
Figure III.28 : Désignation des éléments de l'armoire dédiée à la simulation du System SCADA.....	67
Figure III.29 : Architecture de base d'un système SCADA.....	68
Figure III.30: Carte Sim 900 GSM/GPRS shield.....	70
Figure III.31 : Schéma de branchement de module Arduino avec carte GSM.....	71
Figure III.32 : Coordination entre les éléments de commande et de puissance.....	72
Figure III.33 : Structure du système de communication à base d'Arduino et GSM.....	73
Figure III.34 : Message reçu de la carte GSM : opération fermeture.....	74
Figure III.35 Message reçu de la carte GSM : opération ouverture.....	75
Figure III.36 : Appel téléphonique reçu lors d'un défaut de surcharge.....	76
Figure III.37 : Message SMS reçu lors d'un défaut de surcharge.....	76

Chapitre III

Tableau 1 : Désignation des caractéristiques des éléments du montage multimètre.....44
Tableau 2 : Courants de réglage et les temporisations de chaque zone de protection.....61

Table des matières

Liste des figures.....	I
Liste des tableaux	IV
Introduction général	1

Chapitre I

Généralités sur les éléments de base de la protection des réseaux

I.1 Introduction.....	4
I.2 Structure d'un système de protection de base	7
I.2.1 Les disjoncteurs	7
A) Disjoncteur à huile	7
B) Disjoncteur à air comprimé	8
C) Disjoncteur à gaz SF6	9
D) Disjoncteur à vide	11
I.2.2 Les sectionneurs.....	12
A) Différents types de sectionneurs.....	12
I.2.3 Les relais.....	14
A) Relais électromagnétique.....	14
B) Relais statiques (à semi-conducteur)	15
C) Relais numériques.....	15
I.2.4 Les Capteurs.....	17
A) Transformateur de courant.....	17
B) Transformateurs de tension.....	22
I.3 Protection différentielle.....	24
I.3.1 Définition de la protection différentielle.....	24
I.3.2 Application de la protection différentielle.....	24
A) Protection différentielle d'un transformateur.....	24
B) Protection différentielle des alternateurs.....	25
C) Protection différentielle du jeu de barres.....	26
I.4 Conclusion	27

Chapitre II

Généralités sur L'Arduino et les Capteurs

II.1 Introduction.....	28
II.2 Définition du module Arduino.....	29
II.3 Les gammes de la carte Arduino.....	29
II.4 Pourquoi arduino uno.....	31
II.5 Programmation.....	33
II.6 Transfert du programme.....	33
II.7 Capteur de courant ACS712	37
II.8 Capteur de tension	38
II.9 Adaptation de la tension du capteur.....	39
II.10 Exemple d'application.....	39
II.11 Conclusion	41

Chapitre III

Réalisation d'une armoire didactique de protection

III.1 Partie expérimentale.....	42
III.2 Partie 1 : Outil de mesure.....	42
III.3 Partie 2 : Réalisation d'une armoire pour la sélectivité des relais.....	46
III.3.1 Définition de la sélectivité.....	46
III.3.2 Type de sélectivité.....	46
A) Sélectivité ampérométrique.....	46
B) Sélectivité chronométrique.....	47
C) Sélectivité logique	47
D) Sélectivité directionnelle	49
III.3.3. Réalisation préliminaire	51
A) Réglages préliminaires des relais.....	54
III.3.4 Réalisation de l'armoire de sélectivité et de commande à distance.....	56
A) Phase 1 : sélectivité de la protection.....	56
B) Test de la sélectivité.....	60
C) Etapes du programme.....	61

Table des matières

III.4 Partie 3 : Commande des relais à distance par Module carte Arduino et carte GSM.....	66
III.4.1 Définition de system SCADA	68
A) VUE D'ENSEMBLE DU SCADA.....	68
B) TÉLÉCOMMUNICATION.....	69
C) Avantage du système SCADA dans la gestion des réseaux électriques	69
III.4.2 Commande des éléments de protection et commande.....	69
A) Carte GSM.....	70
B) Les cartes Shields Arduino.....	70
C) Carte Sim 900 GSM/GPRS shield.....	70
III.4.3 Description du montage réalisé.....	72
III.4.3.1 Tests de fonctionnement.....	73
A) Test 1.....	73
B) Test 2.....	75
III.4 Conclusion	77
Conclusion générale.....	78
Bibliographie.....	79

Introduction Générale

Les réseaux électriques représentent des investissements considérables consentis par les compagnies d'électricité pour alimenter leurs clients aux meilleures conditions de coût et de qualité de service. Pour des raisons techniques et économiques évidentes, il n'est pas possible de construire des réseaux exempts de défauts de fonctionnement. Ils sont en particulier, exposés aux agressions naturelles comme la foudre. Les réseaux sont donc affectés de perturbations qui peuvent mettre en cause la pérennité matérielle et la qualité de service rendu. Il faut donc chercher à en minimiser les conséquences. Tout défaut doit donc être identifié immédiatement et, l'ouvrage affecté, séparé du réseau sans délai. C'est l'objet de la protection des réseaux.

Les réseaux électriques moderne sont équipés d'un système de protection basé sur les technologies avancées par l'utilisation des relais numérique multifonction, d'un système de contrôle et de sélectivité intelligente, dont le but est d'assurer le maximum de sécurité est de continuité de service de relais de protection en particulier les relais à maximum de courant. Dans la littérature plusieurs travaux basés sur le module Arduino ont été proposés pour le contrôle et la commande de divers processus industriels et récemment une catégorie de recherches a été orienté pour réaliser la protection des éléments de réseaux électriques. Nous citons à titre d'exemple les travaux de [1], qui ont utilisés le module Arduino pour assurer une meilleure protection différentielle d'un transformateur. Dans l'article [2], le contrôleur arduino est appliqué pour contrôler le défaut dans les câbles. Dans l'article [3] les auteurs ont appliqué l'Arduino pour réaliser la sélectivité de protection dans un réseau radial. Afin de simuler le principe du système SCADA, les auteurs dans l'article [4] ont appliqués le module Arduino en coordination avec la carte GSM pour détecter et commander un réseau électrique. Les résultats expérimentaux trouvés prouvent l'efficacité et la simplicité d'utiliser ce système arduino du point de vue technique et économique. Dans l'article [5], l'arduino est appliqué pour surveiller le courant de surcharge ainsi que la température du transformateur.

Dans ce projet de fin d'étude on s'intéresse à la coordination des relais à maximum de courant installés dans un réseau radial par utilisation d'un module arduino. Les

Introduction générale

sélectivités ampérométrique et chronométrique entre les différentes étapes permettant ainsi d'assurer une parfaite sélectivité, par l'élimination du défaut affectant la zone. Afin de montrer l'importance du module arduino dans le domaine de la protection des réseaux électriques, la carte Arduino est adaptée et appliqué en coordination avec la carte GSM pour le contrôle et la commande d'une armoire de distribution. D'autre le programme réalisé a été validé pour détecter un défaut à distance. La structure du mémoire est composée de trois chapitres.

Dans le premier chapitre, un exposé généralisé sur les différents éléments d'un réseau électrique a été présenté, puis un aperçu sur la structure générale d'un système de protection, les différents types de relais et les disjoncteurs.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté le principe de module Arduino, les différents éléments qui constituent ce module, tels que les entrées et sorties, la structure du programme associée à la gestion de entrées et sorties, puis un aperçu sur les capteurs de courant et de tension. Ce chapitre se termine par donner un exemple de démonstration sur l'allumage et l'extinction temporisée d'une lampe.

Le troisième chapitre est réservé complètement à la partie expérimentale, ce chapitre se compose de trois parties.

La première partie est réservée à démontrer la particularité d'utiliser l'Arduino comme un outil de mesure de différentes grandeurs physiques tels que la tension, le courant, la puissance active et apparente ainsi que le facteur de puissance.

La deuxième partie est consacrée à la réalisation d'un montage de sélectivité à base de courant et des temporisations. On a commencé à donner un aperçu sur les éléments de l'armoire réalisée au laboratoire permettant ainsi de simuler la sélectivité entre les relais de protection.

La troisième partie est consacré dans un premier temps à démontrer l'efficacité du module arduino coordonné à la carte GSM pour simuler le fonctionnement de base d'un système SCADA. L'idée de base a été exploitée pour commander à distance l'ouverture

Introduction générale

et la fermeture d'un contacteur associé à une charge, et en particulier au contrôle des perturbations affectant les charges.

Et enfin ce mémoire se termine par une conclusion générale, est des perspectives permettant ainsi de mieux l'utilisation de cette technique basée sur le module Arduino et la carte GSM pour simuler d'une manière didactique le fonctionnement d'un système SCADA possédant la possibilité de réaliser des tâches approfondies liés à la gestion de l'énergie en cas de défauts.

I.1 Introduction

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. En général les systèmes de protection ne peuvent pas toujours empêcher les dommages des équipements, ils fonctionnent toujours après la détection de dommages susceptibles de se produire. Le but est de protéger le personnel, de minimiser les dommages que peuvent subir les équipements et de maintenir la stabilité du reste du réseau. De plus, pour n'importe quel type de défaut, le système de protection ne doit priver d'énergie qu'un nombre réduit de consommateurs. Cette propriété du système de protection est connue sous le nom de sélectivité de la protection différentielle, dont le résultat est une continuité de service maximale avec un minimum de déconnexions du réseau. Le système de protection doit être également fiable, rapide et économique autant que possible. Pour atteindre ces objectifs, les systèmes de protection doivent être conçus convenablement et leurs relais de protection ajustés en coordination entre eux [18].

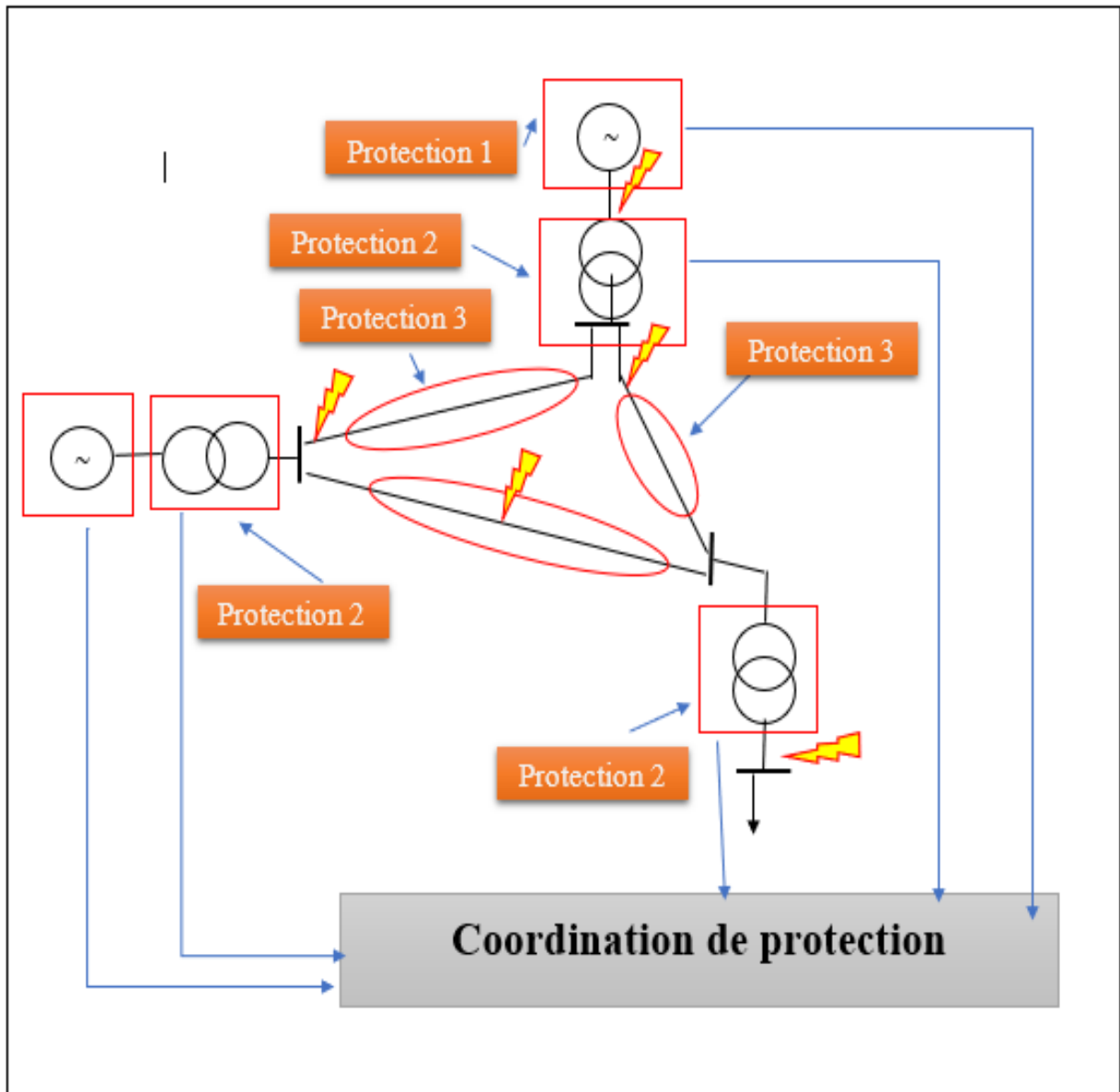


Figure I.1 : Structure générale de la protection d'un réseau électrique.

La Figure I.1 représente la structure générale de la protection d'un réseau électrique. Ces protections sont récapitulés comme suit :

1. Protection des alternateurs
2. Protections des transformateurs
3. Protections des lignes
4. Protections des jeux de barres

Afin d'assurer une continuité des services, le système de protection doit être coordonné d'une manière efficace.

Ce chapitre sera consacré à donner un aperçu général sur les principaux éléments d'un système de protections. La Figure I.2 montre les éléments d'un système de protection de base.

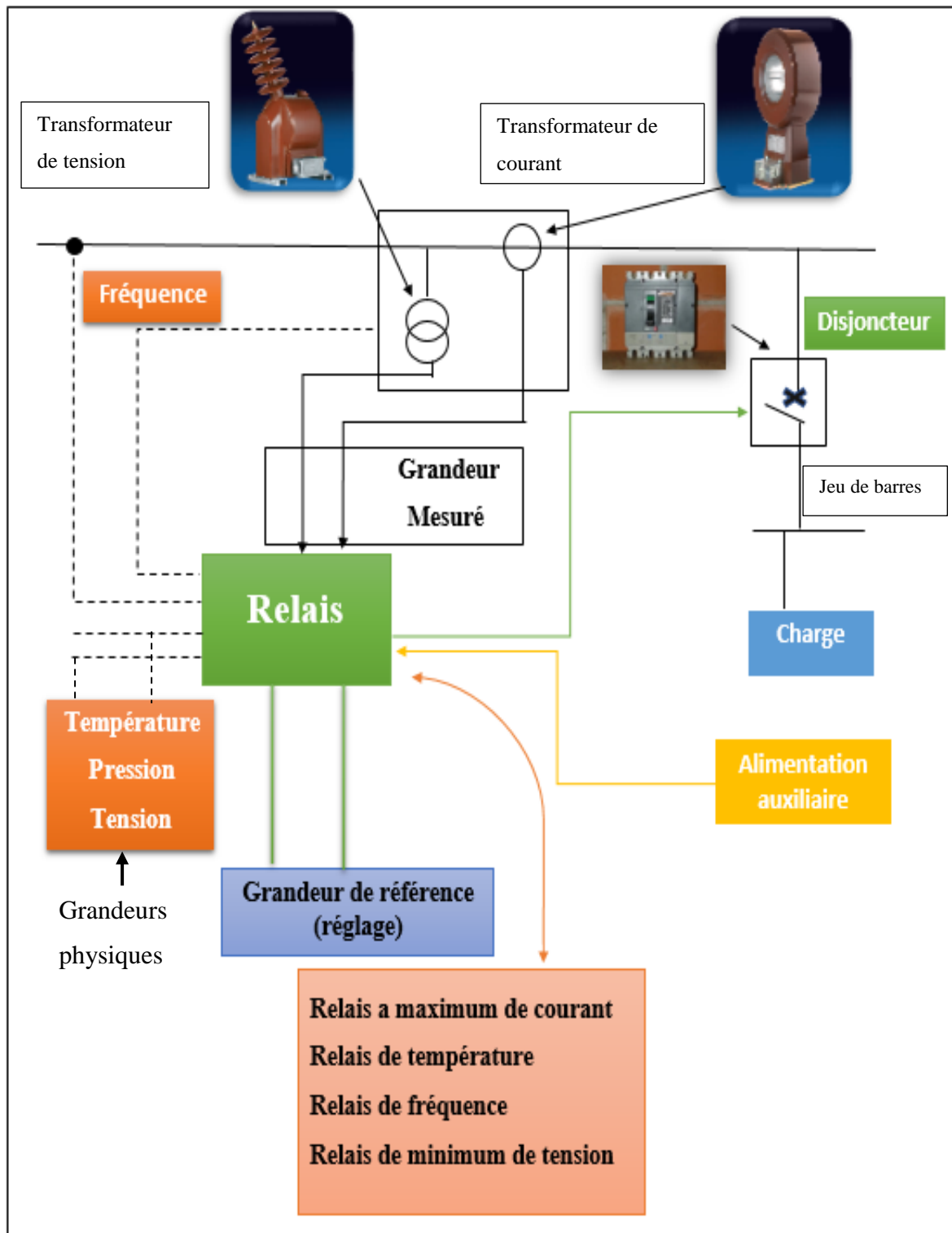


Figure I.2 : Structure d'un système de protection de base.

I.2 Structure d'un Système de protection de base

Un système de protection de base se compose des éléments suivants :

1. Disjoncteur : c'est l'élément de puissance destiné pour l'isolement de défaut, ce dispositif possède le pouvoir de coupure.
2. Capteurs : on peut distinguer plusieurs capteurs en fonction des grandeurs à surveillé :
 - capteur de courant
 - capteur de tension
 - capteur de fréquence
 - capteur de température
 - capteur de pression
3. Relais : le relais a pour fonction de comparer les grandeurs mesures aux grandeurs de références pour donner l'action au disjoncteur. Le type de relais dépend de la nature de la grandeur physique mesuré.
4. Alimentation auxiliaire : destinée principalement à assurer l'alimentation des relais.

I.2.1 Les disjoncteurs

A) Disjoncteur à huile

L'huile qui servait déjà comme isolant a été utilisée comme milieu de coupure car cette technique permet la conception d'appareils relativement simples et économiques. Les disjoncteurs à huile ont été utilisés principalement pour les tensions de 5 à 30 kV

(Voir Figure I.3) [6].

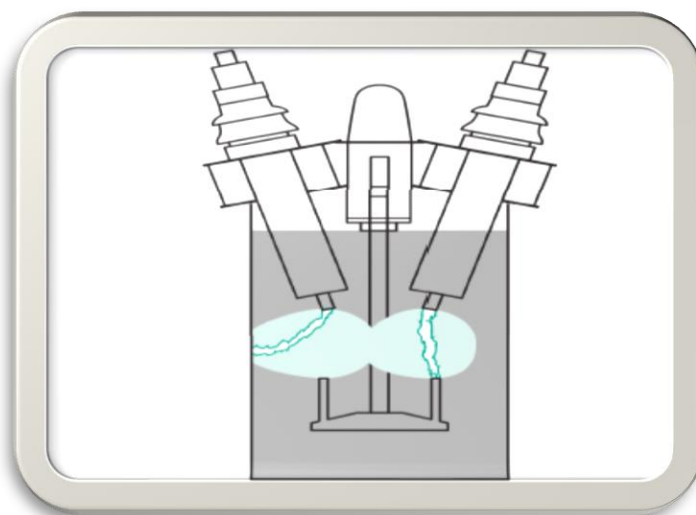


Figure I.3 : Chambre de coupure d'un disjoncteur à coupure dans l'huile.

- **Disjoncteurs à faible volume d'huile** : L'arc et la bulle sont confinés dans un pot de coupure isolant. La pression du gaz augmente lors du passage de l'arc dans une succession de chambres puis, quand le courant passe par zéro, se détend à travers une buse sur la zone d'arc [6].
- **Disjoncteurs à grand volume d'huile** : Dans les premiers appareils utilisant l'huile, l'arc se développait librement entre les contacts créant des bulles de gaz non confinées. Afin d'éviter des amorçages entre phases ou entre bornes et masse, ces bulles ne doivent en aucun cas atteindre la cuve ou se rejoindre. Les appareils dimensionnés en conséquence, atteignent des dimensions extrêmement grandes [6].

B) Disjoncteur à air comprimé

L'air comprimé est utilisé (Figure. I.4) pour assurer les fonctions suivantes :

- Refroidissement et allongement de l'arc, entraînement des particules ionisées.
- Après passage à zéro du courant, refroidissement de la colonne ionisée résiduelle et entraînement des particules ionisées restant dans l'espace entre contacts.
- Après l'extinction de l'arc, apparition d'une rigidité diélectrique élevée, d'autant plus élevée que la pression d'air est importante [6].

Les inconvénients de ce type sont :

- nécessité d'une station d'air comprimé.
- bruit violent.
- appareil plus cher.

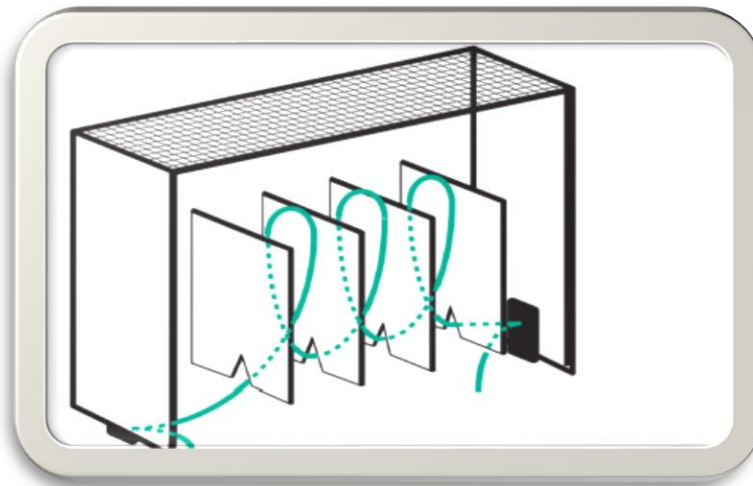


Figure I.4 : Chambre de coupure d'un disjoncteur à coupure dans l'air
(Disjoncteur de type Solénarc, marque : Merlin Gerin).

C) Disjoncteur à gaz SF₆

La mise au point de nouvelles générations de disjoncteur SF₆ (hexafluorure de soufre) très performantes a entraîné dans les années 1970 la suprématie des appareils SF₆ dans la gamme 7,2 kV à 245 kV. Sur le plan technique, plusieurs caractéristiques des disjoncteurs SF₆ peuvent expliquer leur succès :

- La simplicité de la chambre de coupure qui ne nécessite pas de chambre auxiliaire pour la coupure.
- L'autonomie des appareils apportée par la technique auto-pneumatique (sans compresseur de gaz).
- La possibilité d'obtenir les performances les plus élevées, jusqu'à 63 kA.
- Le nombre de chambres de coupure est réduit (01 chambre en 245 kV, 02 chambres en 420 kV, 03 chambres pour la ligne de 550 kV et 04 en 800 kV).
- Une durée d'élimination de court-circuit court, de 2 à 2,5 cycles en réseau THT.
- La durée de vie d'au moins de 25 ans.
- Faible niveau de bruit.
- Zéro maintenance (régénération du gaz SF₆ après coupure).
- Eteint l'arc dix fois mieux que l'air.

- L'un des inconvénients de ce type d'appareil est son prix élevé [6].

La figure I.5 représente un disjoncteur à gaz SF₆.



Figure I.5 : Disjoncteur à gaz SF6 (SONATRACH SH DP IN AMENAS).

D) Disjoncteur à vide

En principe le vide est un milieu diélectrique idéal : il n'y a pas de matière donc pas de conduction électrique. Cependant, le vide n'est jamais parfait et de toute façon a une limite de tenue diélectrique. Malgré tout, le « vide » réel a des performances spectaculaires : à la pression de 10^{-6} bar, la rigidité diélectrique en champ homogène peut atteindre une tension crête de 200 kV pour une distance inter électrodes de 12 mm [6]. (Figure I.6).

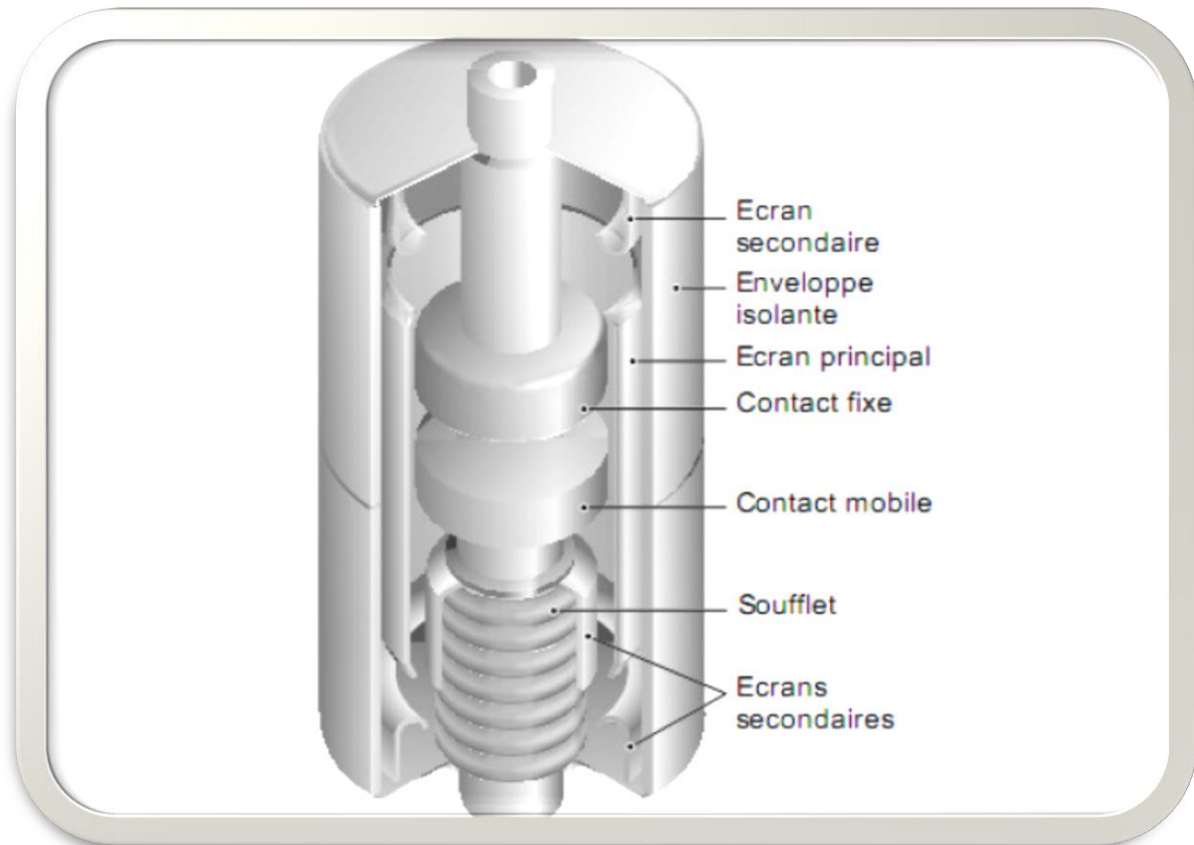


Figure I.6 : Constitution d'une ampoule de coupure dans le vide.

Tous les constructeurs ont été confrontés aux mêmes exigences :

- Réduire le phénomène d'arrachement de courant pour limiter les surtensions.
- Éviter l'érosion précoce des contacts pour obtenir une endurance élevée.
- Retarder l'apparition du régime d'arc concentré pour augmenter le pouvoir de coupure.
- Limiter la production de vapeurs métalliques pour éviter les re-claquages.
- Conserver le vide, indispensable pour garder les performances de coupure, pendant la durée de vie de l'appareil [6].

I.2.2 Les sectionneurs

Le sectionneur est un appareil mécanique de connexion capable d'ouvrir et de fermer un circuit lorsque le courant est nul ou pratiquement nul, afin d'isoler la partie de l'installation en aval du sectionneur. La Figure I.8 représente un échantillon des sectionneurs porte fusible destiné aux installations industrielles [9].

A) Différents types de sectionneurs

- Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contact(s) de pré-coupure avec poignée extérieure : A utiliser dans un circuit triphasé (sans neutre) : Les contacts de pré-coupure permettent d'isoler la partie commande du circuit.
- Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contact de neutre et de pré-coupure avec poignée extérieure : A utiliser dans un circuit triphasé avec neutre : le neutre du sectionneur ne doit pas contenir de fusible, mais une barrette de neutre prévue à cet effet. [9]. (Figure I.7).

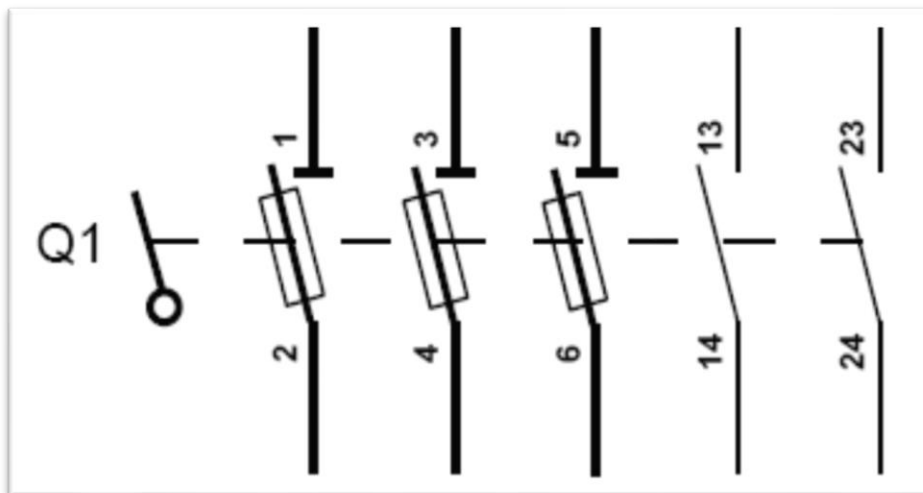


Figure I.7 : Schémas unifilaires d'un sectionneur portes fusibles.

Contacts de puissance (1-2). (3-4). (5-6).

Contacts de pré-coupure (13-14). (23-24).

- **Sectionneurs BT domestique** La fonction sectionneur est obligatoire au départ de chaque circuit est réalisée par des sectionneurs à fusibles incorporés.
- **Sectionneurs industriels** Ces appareils assurent la fonction de sectionnement au départ des équipements. En général des derniers comportent des fusibles et des contacts auxiliaires [9].

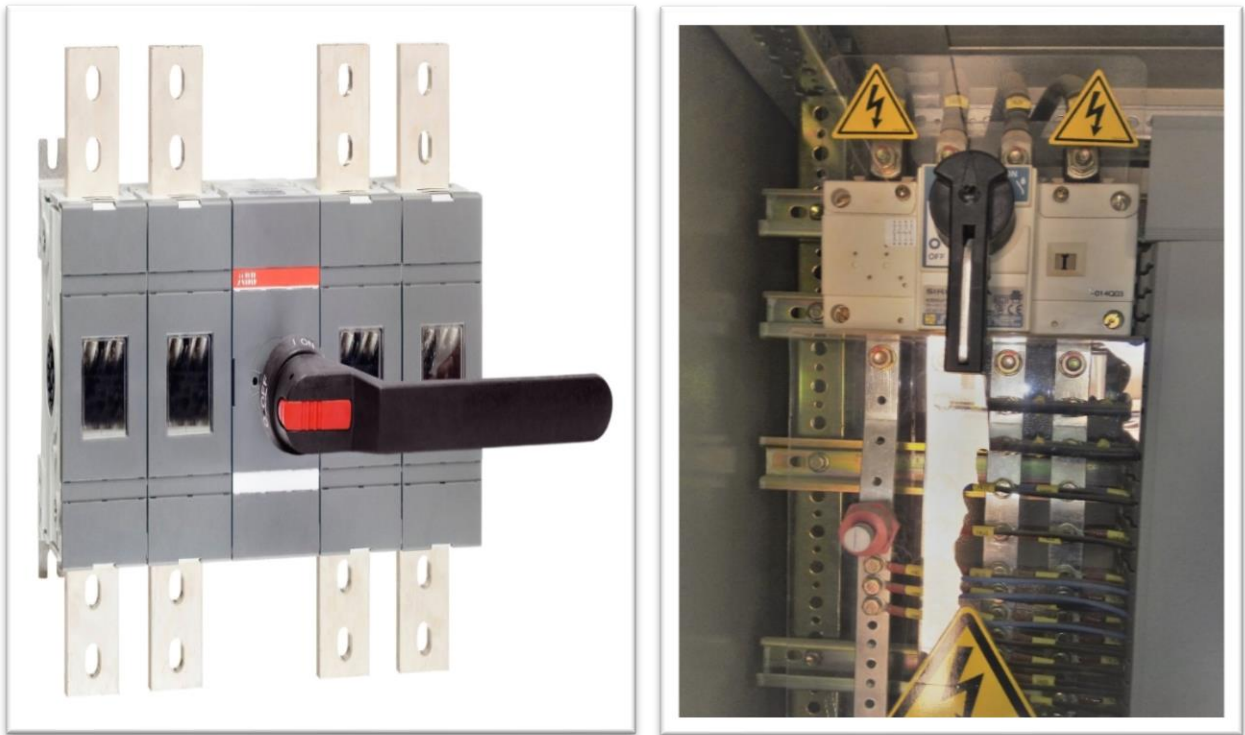


Figure I.8 : Sectionneurs portes fusibles (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).

- **Sectionneurs MT et HT**

Sont très employés dans les réseaux de moyenne et haute tension pour garantir l'isolement des lignes et des installations avec coupure visible [9]. (Figure I.9).



Figure I.9: Sectionneurs MT et HT (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).

I.2.3 Les Relais

L'application des relais de protection dans les systèmes d'alimentation remonte il y a presque 100 ans. Depuis lors, la technologie utilisée pour construire les relais a amélioré spectaculairement la taille, le poids, le coût et la fonctionnalité. Basé sur la technologie utilisée pour leur construction, les relais peuvent être chronologiquement classifiés comme électromécaniques, statiques ou à semi-conducteur et numérique [7].

A) Relais électromagnétique

Les premiers relais utilisés dans l'industrie électrique étaient des dispositifs électromécaniques. Leur principe de fonctionnement est basé sur la création d'une force mécanique pour actionner les contacts de relais en réponse à une situation de défaut. La force mécanique a été établie par l'écoulement d'un courant qui a reflété le courant de défaut à travers les enroulements montés dans des noyaux magnétiques. En raison de la nature de son principe de fonctionnement, les relais électromécaniques sont relativement plus lourds et plus volumineux que des relais construits avec d'autres technologies. En plus, la charge de ces relais peut être extrêmement haute, affectant le but de la protection [7]. Le relais électromagnétique est présenté dans la Figure I.10.

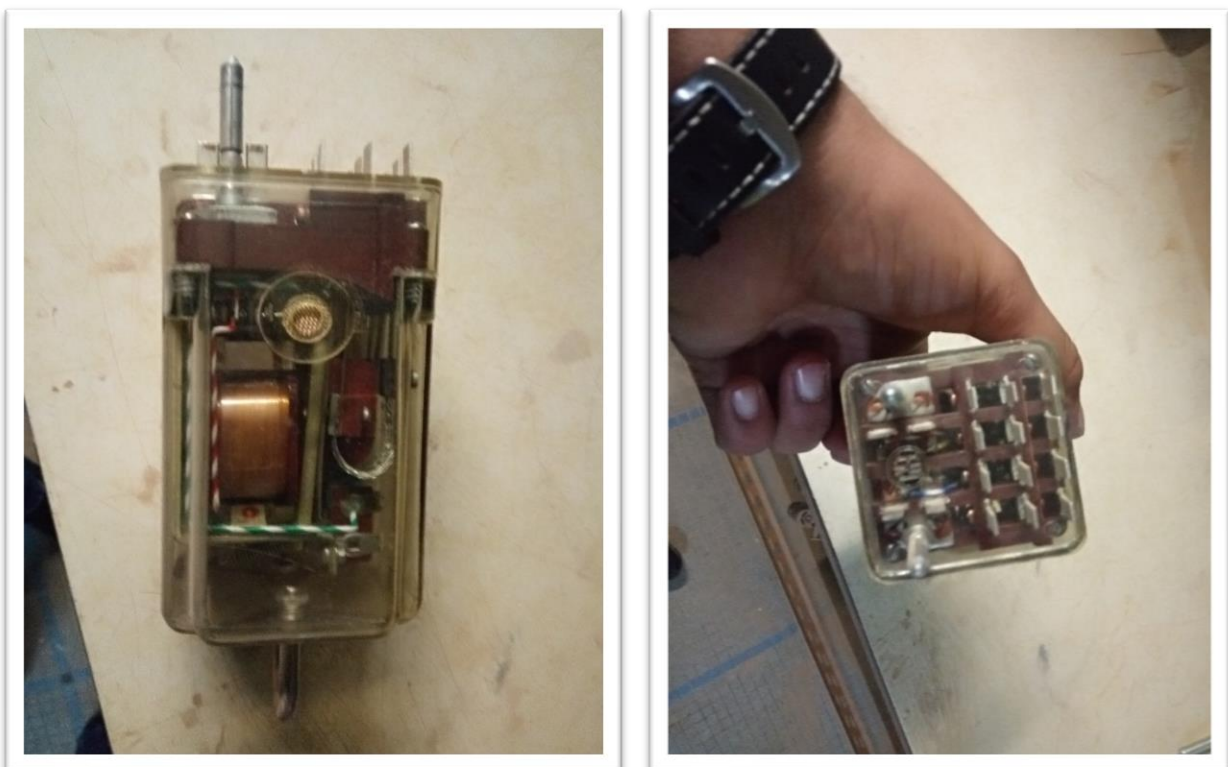


Figure I.10 : Relais électromagnétique (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).

B) Relais statiques (à semi-conducteur)

Les relais statiques sont des dispositifs à semi-conducteur composés de composants électroniques comme les résistances, les diodes, les transistors etc. Ces relais n'ont pas des pièces mobiles qui les rendent plus légers et plus petit que les relais électromagnétiques. Les relais à semi-conducteur exécutent les mêmes fonctions que les relais électromagnétiques, mais ces relais ont besoin de moins de tension pour fonctionner et la commutation peut être exécutée en très brèves durées. Les relais statiques sont fiables mais les composants électroniques peuvent dériver en raison de la température ambiante et du vieillissement élevés [7]. Le relais statiques (à semi-conducteur) est présenté dans la Figure I.11.



Figure I.11 : Relais statiques (à semi-conducteur).

C) Relais numériques

La protection des systèmes électriques a changé beaucoup depuis l'évolution des microprocesseurs. Leur intégration à très grande échelle a permis de réunir de nombreux composants dans une simple puce. La technologie numérique a fait sa place dans le domaine de la protection des systèmes électriques. Aujourd'hui, les relais numériques sont mis en application pour protéger presque tous les composants des systèmes électriques. (voir Figure I.12).

Les techniques fondamentalement numériques emploient les mêmes principes qui ont été employés par les relais électromécaniques et statiques. Les relais numériques ont beaucoup d'avantages telle que :

- **Economique** : La raison principale de l'acceptation des relais numériques est qu'ils présentent beaucoup de dispositifs au prix raisonnable.
- **Rapide** : Il y a deux raisons du fonctionnement rapide des relais numériques :
 - les relais numériques n'emploient aucune partie mécanique.
 - l'utilisation des processeurs à grande vitesse ont fait de ces relais très rapides.
- **Autocontrôle** : les relais numériques contrôlent eux-mêmes sans interruption. Par contre les relais électromécaniques doivent être examinés par le personnel à intervalles réguliers. D'autre part Le dispositif à autocontrôle épargne le temps aussi bien que l'argent.
- **Fonctions multiples** : Les relais, les compteurs, les commutateurs de commande, les indicateurs, et les appareils de communication peuvent être intégrés dans un relais protecteur simple à microprocesseur. Les schémas de sous-station/système et les diagrammes de câblage sont facilement produits en raison du nombre réduit de dispositifs et de câblage relatif.
- **Temps mise en marche réduit** : la mise en marche est un processus de vérification des performances d'un équipement avant qu'il ne soit mis en service. Les relais numériques ont des dispositifs de mesure et les compatibilités à distance, qui font la mise en marche simple et moins longue.
- **Economie de temps et d'effort** : la localisation rapide de l'endroit du défaut par les relais numériques dans les lignes de transport réduit le temps de coupure électrique considérablement.
- **Flexibilité** : les relais numériques peuvent être conçus et construits en prenant compte l'usage universel du matériel. Un relais peut être employé pour protéger différents composants de système d'énergie en chargeant différents logiciels.
- **Petite taille** : Les relais numériques sont plus légers dans le poids et ont besoin de moins d'espace que les relais électromécaniques et à semi-conducteur. Pour cette raison, il est facile de transporter ces dispositifs.
- **Remplacement facile** : si un relais numérique tombe en panne, peut être remplacé complètement. Ceci économise le temps et le travail nécessaire pour des réparations [7].



Figure I.12 Relais numériques 'Sepam' (SONATRACH SH DP IN AMENAS).

I.2.4 Les Capteurs

A) Transformateur de courant

Les transformateurs de courant (TC) sont des transformateurs conçus pour convertir le courant primaire assigné qui traverse l'enroulement primaire. Les appareils doivent être utilisés uniquement avec le secondaire en court-circuit, sous peine d'endommager les bornes secondaires par d'éventuelles surtensions [12]. La Figure I.13 montre deux modèles de TC, le premier type est destiné pour les réseaux HTB, tandis que le deuxième type est destiné aux installations BTA.



Figure I.13 : Transformateur de courant :

a) TC bobiné HTA b) modèle torique BTA (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).

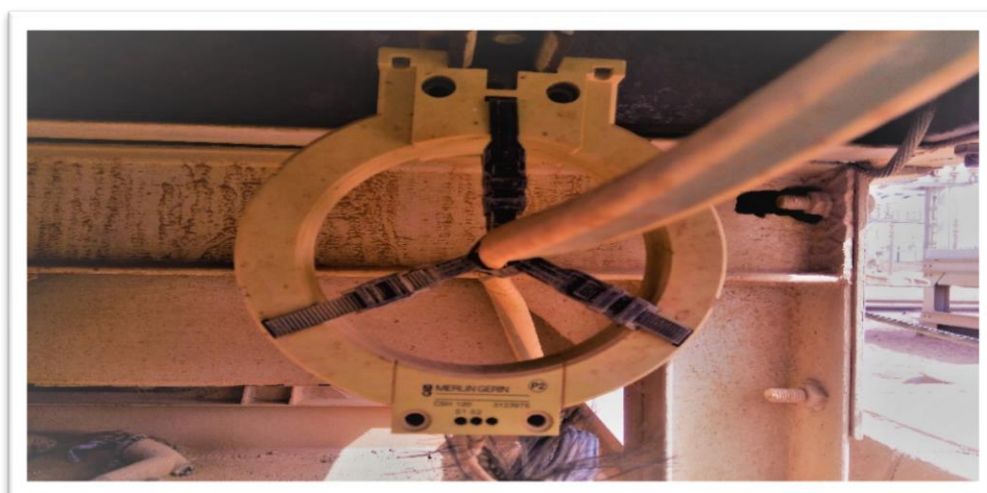


Figure I.14 : Transformateur de courant torique (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).

- **Transformateur de courant a primaire bobiné**

- Courant primaire de 0 à 150 A.
- Mesure et protection.
- Encombrement réduit.

Transformateurs de courant pour la mesure les courants alternatifs de 0 à 150 A. Ils sont sous boîtier moulé non inflammable et possèdent de série un isolement renforcé. Ces transformateurs de courant conviennent à toutes les applications. Grâce à leur faible encombrement et à leurs performances élevées, ils sont particulièrement adaptés aux tableaux à tiroirs débrochables [13]. Les Figures I.15- I.16 présentent deux types des TC à primaire bobiné.

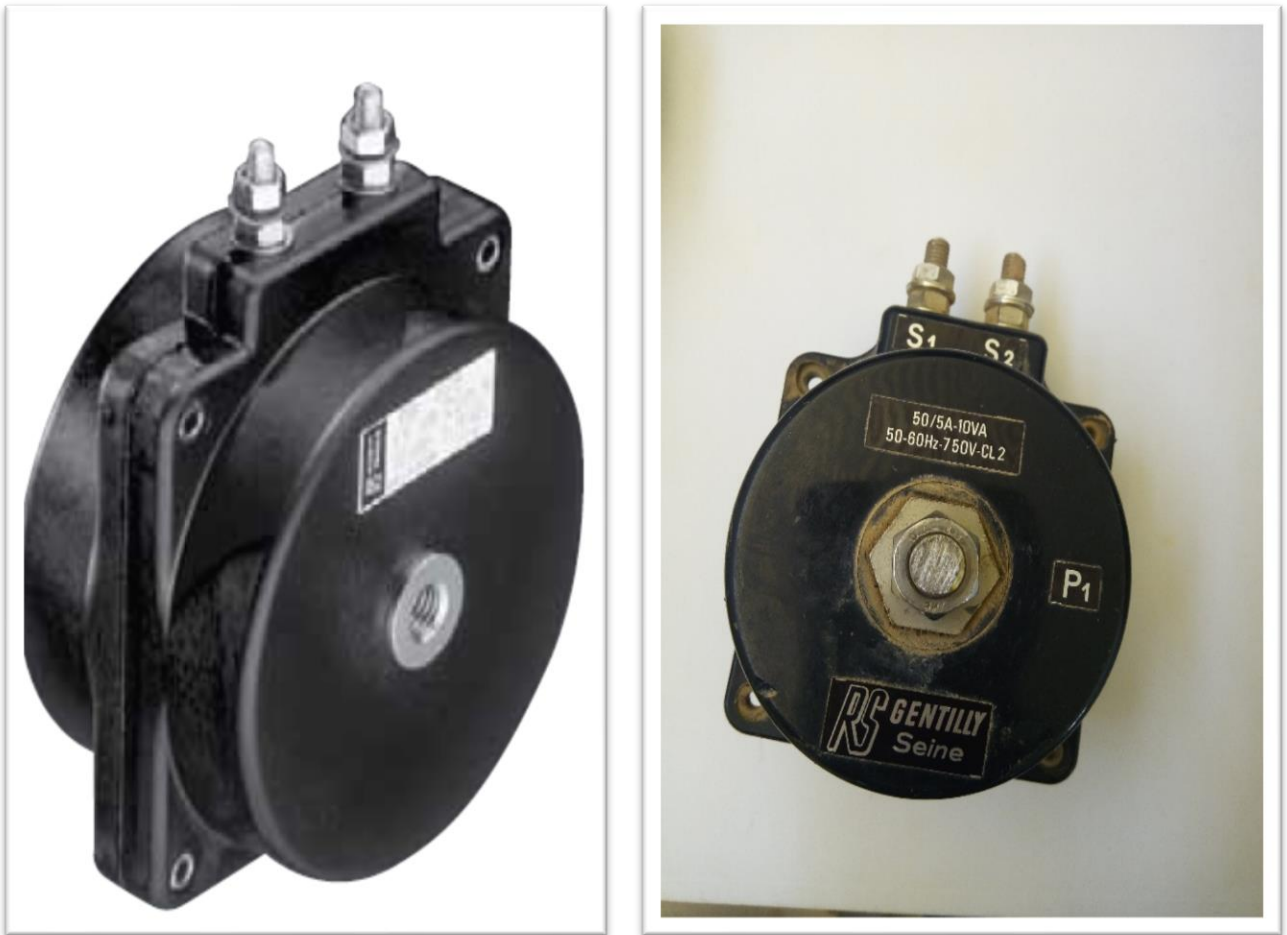


Figure I.15 : Transformateur de courant a primaire bobiné (*SONATRACH SH DP IN AMENAS*).



Figure I.16 : Transformateur de courant modèle bobiné.

- **Transformateur de courant torique résiduel**

Mesure directe par tore spécifique homopolaire connecté directement sur le relais de protection c'est un transformateur qui englobe les conducteurs actifs et crée directement le courant résiduel $I_r = I_1 + I_2 + I_3$. (Voir Figure I.17).



Figure I.17 : Transformateur de courant torique résiduel (SONATRACH SH DP IN AMENAS).

- Schéma unifilaire d'un transformateur de courant

La Figure I.18 représente un Schéma unifilaire d'un transformateur de courant.

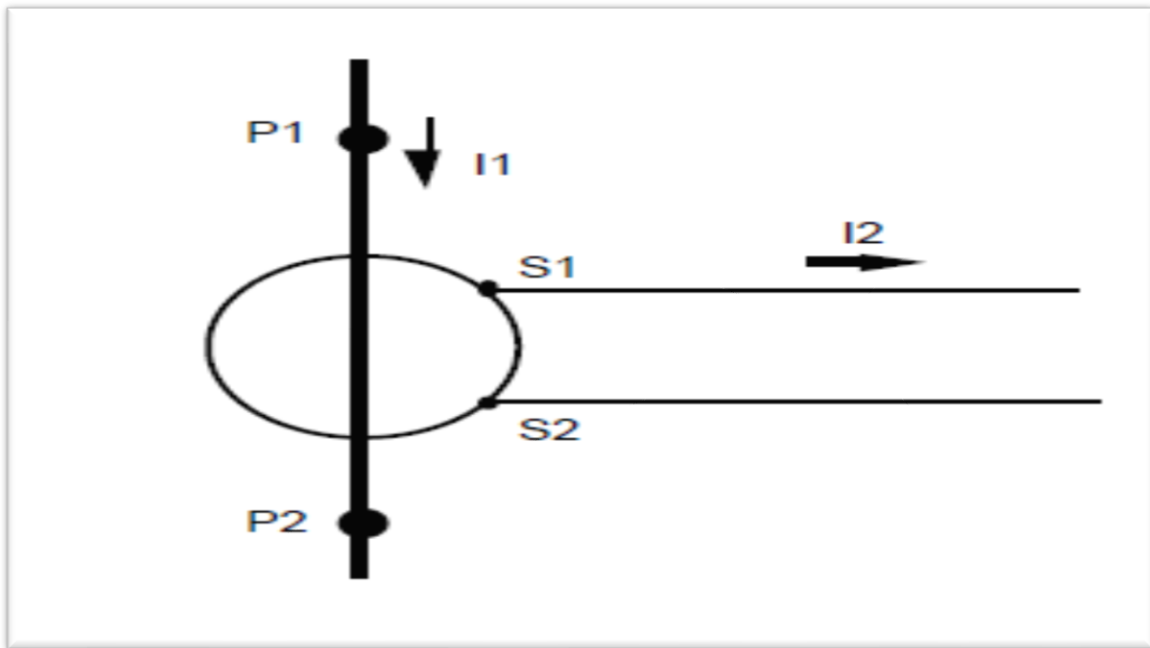


Figure I.18 : Schéma unifilaire d'un transformateur de courant.

La Figure I.19 représente le principe de construction d'un transformateur de courant.

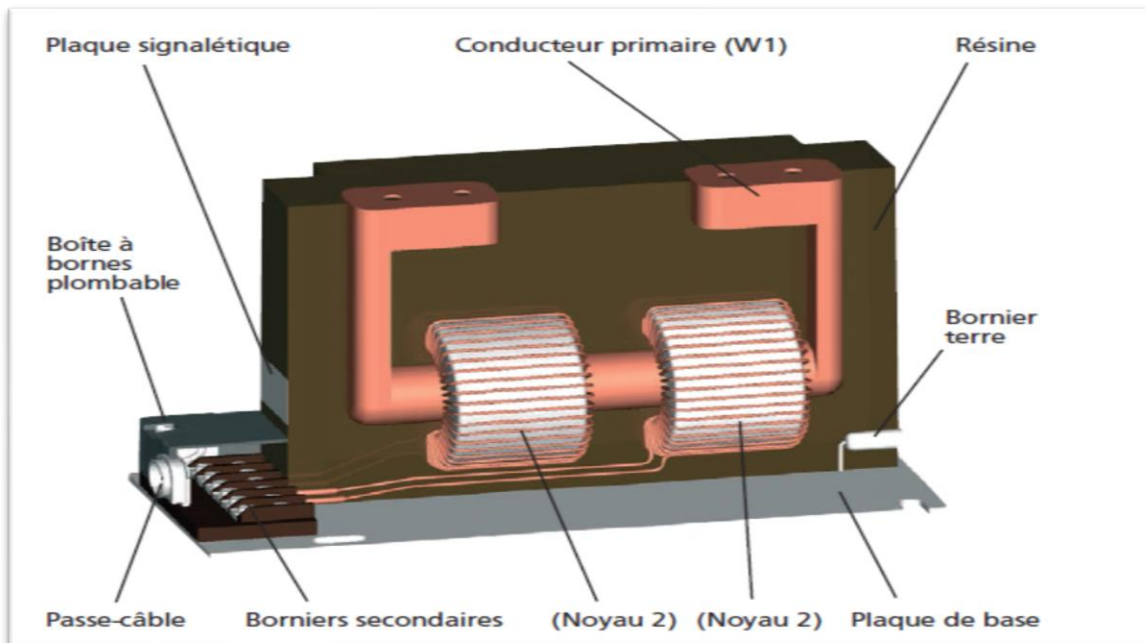


Figure I.19: Principe de construction d'un transformateur de courant.

B) Transformateurs de tension

Les transformateurs de tension sont des transformateurs permettant de convertir des tensions élevées en grandeurs, mesurables proportionnelles et en phase avec le signal primaire. Ils ne possèdent qu'un seul noyau en fer, et peuvent être définis pour un ou plusieurs enroulements secondaires. Les transformateurs de tension à un pôle isolé peuvent être, sur demande, prévus à côté de l'enroulement de protection ou de mesure avec un enroulement supplémentaire de détection de défaut terre appelé enroulement tertiaire. Les transformateurs de tension peuvent être construits comme transformateur à un pôle isolé (tension phase-terre) ou à deux pôles isolés (tension-phase-phase) [12]. La Figure I.20 présentent un transformateur de tension.



Figure I.20 : Transformateur de tension.

La Figure I.21 présentent le principe de construction d'un transformateur de tension à un pôle isolé, la Figure I .22 présente un transformateur de tension.

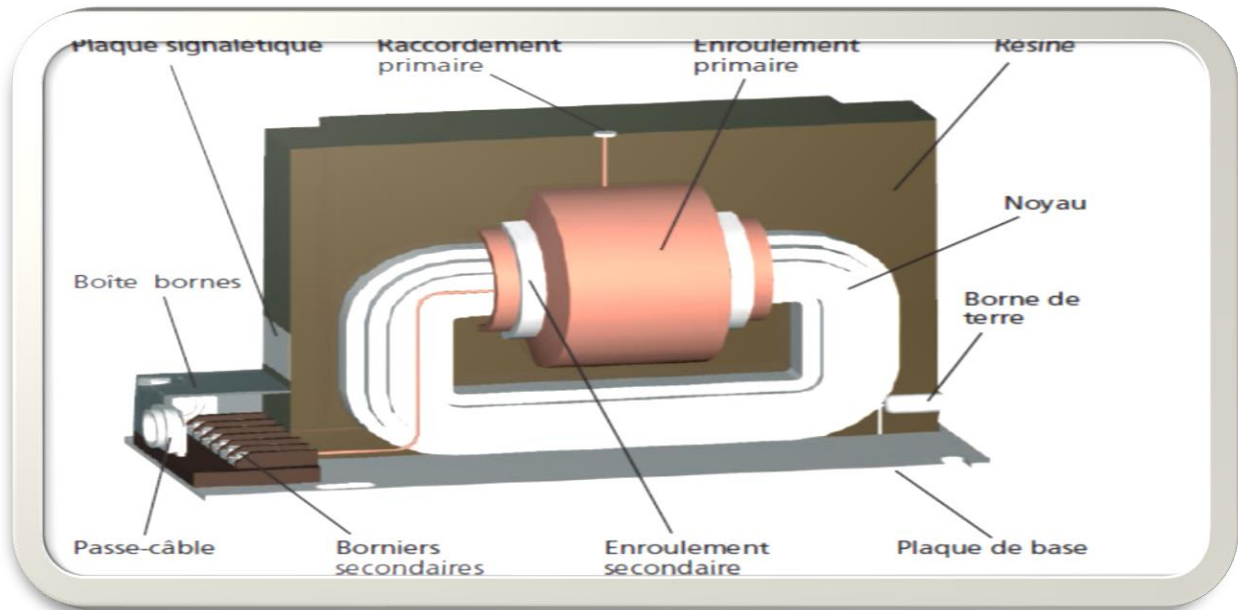


Figure I.21 : Principe de construction d'un transformateur de tension à un pôle isolé.



Figure I .22 : Transformateurs de tension (SONATRACH SH DP IN AMENAS).

I.3 Protection différentielle

I.3.1 Définition de la protection différentielle

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 [19]. (Figure I.23).

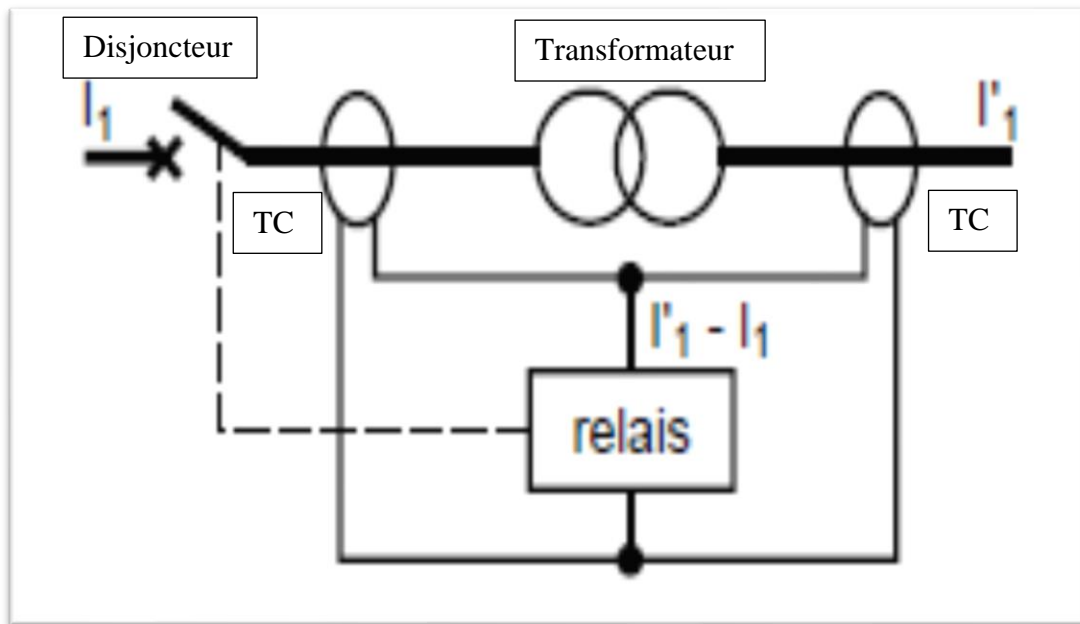


Figure I.23 : Principe de base de la protection différentielle.

I.3.2 Application de la protection différentielle

Cette section est consacrée à donner quelques applications de la protection différentiel dans les réseaux électriques.

A) Protection différentielle d'un transformateur

La protection différentielle, c'est un type de protection qui compare les courants entrants et sortant la zone protégée et fonctionne quand la différence entre ces courants dépasse une grandeur prédéterminée, la Figure I.24 montre le schéma de principe de la protection différentielle pour le transformateur de puissance ($\lambda - \Delta$). La protection différentielle devrait fonctionner en cas de défauts internes et ne devrait pas fonctionner en cas de défauts externes [20].

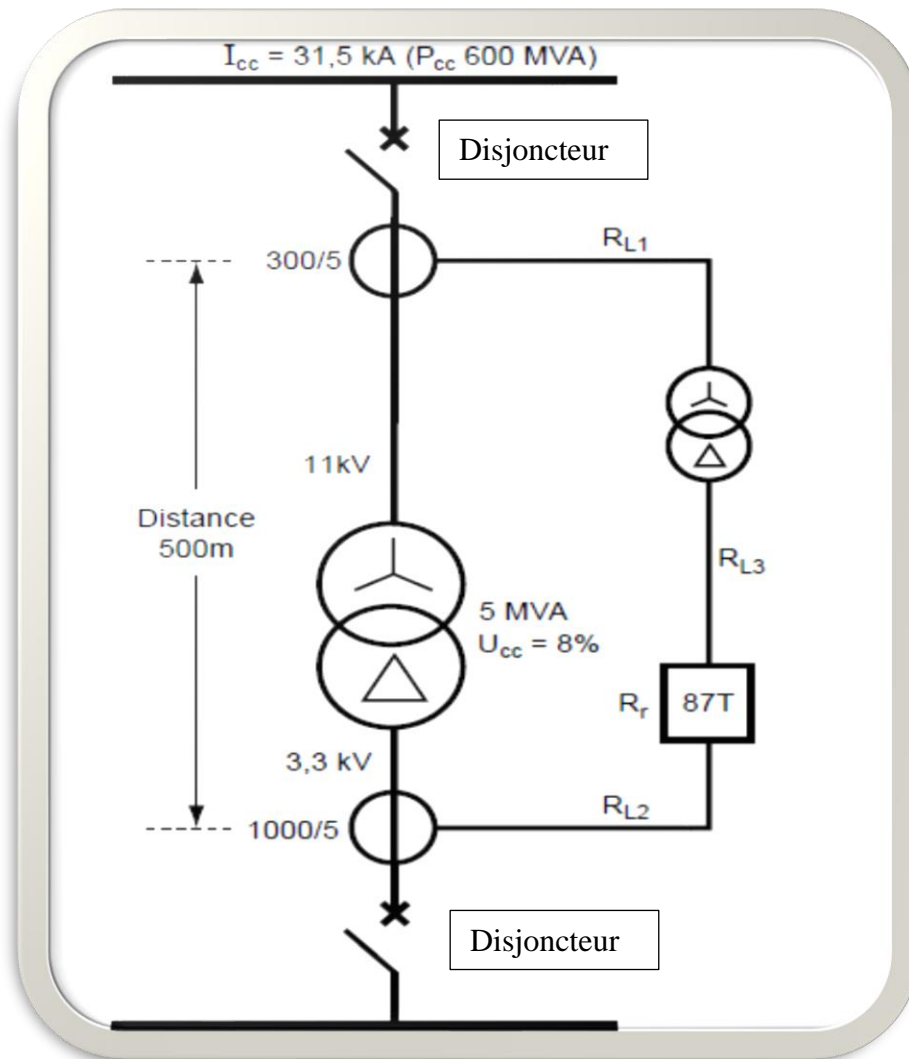


Figure I.24 : Le schéma de principe de la protection différentielle pour le transformateur de puissance ($Y - \Delta$).

B) Protection différentielle des alternateurs

Avec les alternateurs de grande puissance unitaire, on emploie aujourd'hui, de plus en plus, le système de protection différentielle 'Merz-Price', basé sur une comparaison des courants. Dans une protection différentielle, on compare toujours entre elles deux grandeurs de même nature dont on forme la différence.

Avec le système de protection différentielle ordinaire ou longitudinal, on compare entre eux les courants à l'entrée et la sortie de l'objet à protéger [15]. (Voir Figure I.25).

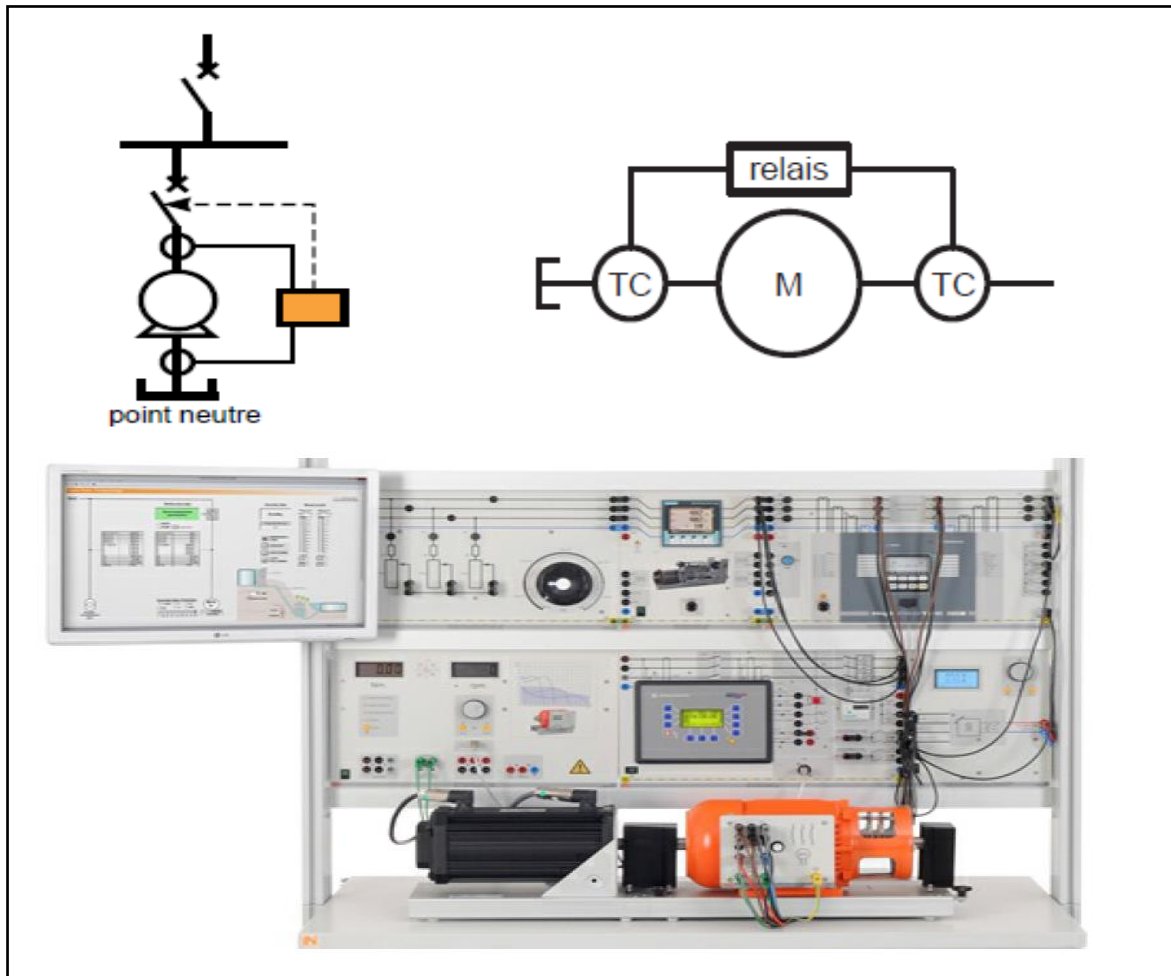


Figure I.25 : Protection des différentielle alternateurs.

C) Protection différentielle des jeux de barres

Pour la protection différentielle des jeux de barres : avec certains types d'appareils tous les TC doivent avoir un même rapport égal à celui du plus gros TC. Cette protection à haute-impédance, surtout employée dans les pays sous influence anglo-saxonne, présente de grosses difficultés :

- Pour l'aiguillage des circuits secondaires des TC, lorsque le jeu de barres alimente de nombreux départs avec différentes configurations.
- Pour la réalisation des fileries, car sa forte impédance peut pendant le défaut engendrer des surtensions sur la filerie au secondaire des TC. Ces surtensions peuvent nécessiter la mise en place de dispositifs parasurtenseurs [14].

(Voir Figure I.26).

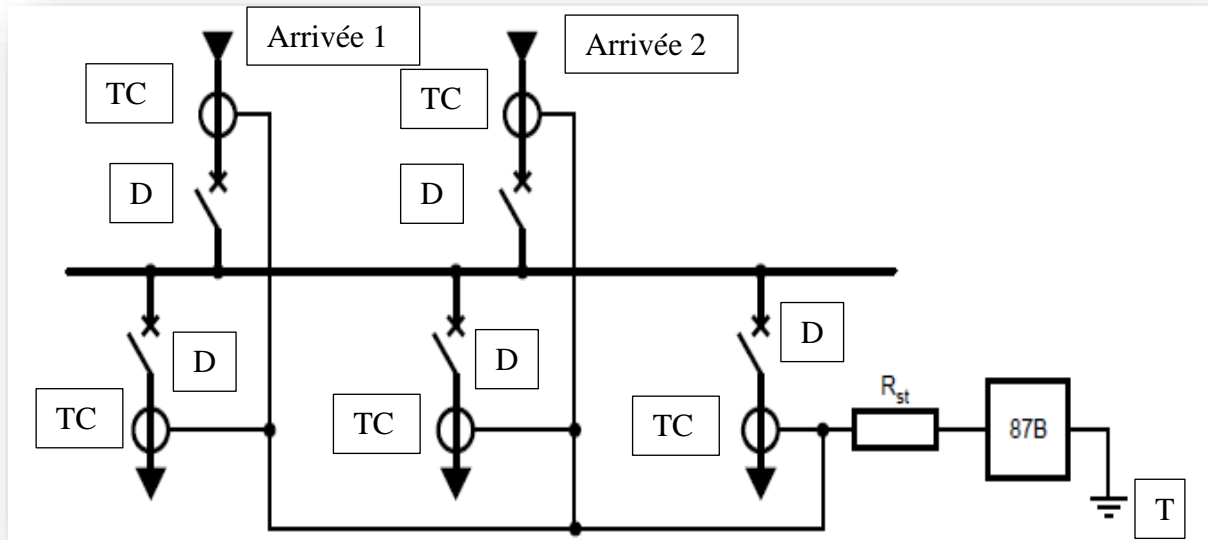


Figure I.26 : schéma de principe d'une différentielle jeux de barres.

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a donné un aperçu général sur la protection d'un réseau électrique et les différents éléments qui constituent le système de protection tels que, les disjoncteurs, les capteurs et les relais. Ces éléments sont très importants et très sensibles. Ensuite nous avons donné un aperçu général sur l'application de la protection différentielle pour la protection des transformateurs, les alternateurs, et les jeux de barres. Le prochain chapitre sera consacré à exposer le principe et les applications de l'arduino dans le domaine industriel qui sera par la suite adaptée et appliquée à la coordination des relais à maximum de courant.

II.1 Introduction

Aujourd'hui, le système de protection des réseaux électriques modernes est remplacé par l'électronique programmée. Pour simplifier les schémas utilisés et par conséquent réduire l'utilisation de composants électroniques anciens, réduisant ainsi le coût de fabrication d'un produit. Il en résulte des systèmes de protection plus complexes et coûteux, mais permettant d'améliorer considérablement le temps de coupure et la sécurité des réseaux tout en assurant une continuité de service adéquat.

Dans ce chapitre, nous allons procéder à l'étude du module Arduino et les capteurs qui vont être adaptés et appliqués pour la réalisation d'une armoire permettant de démontrer le principe de la sélectivité des réseaux électriques et le control à distance des disjoncteurs.

La Figure II.1 représente le kit Arduino.

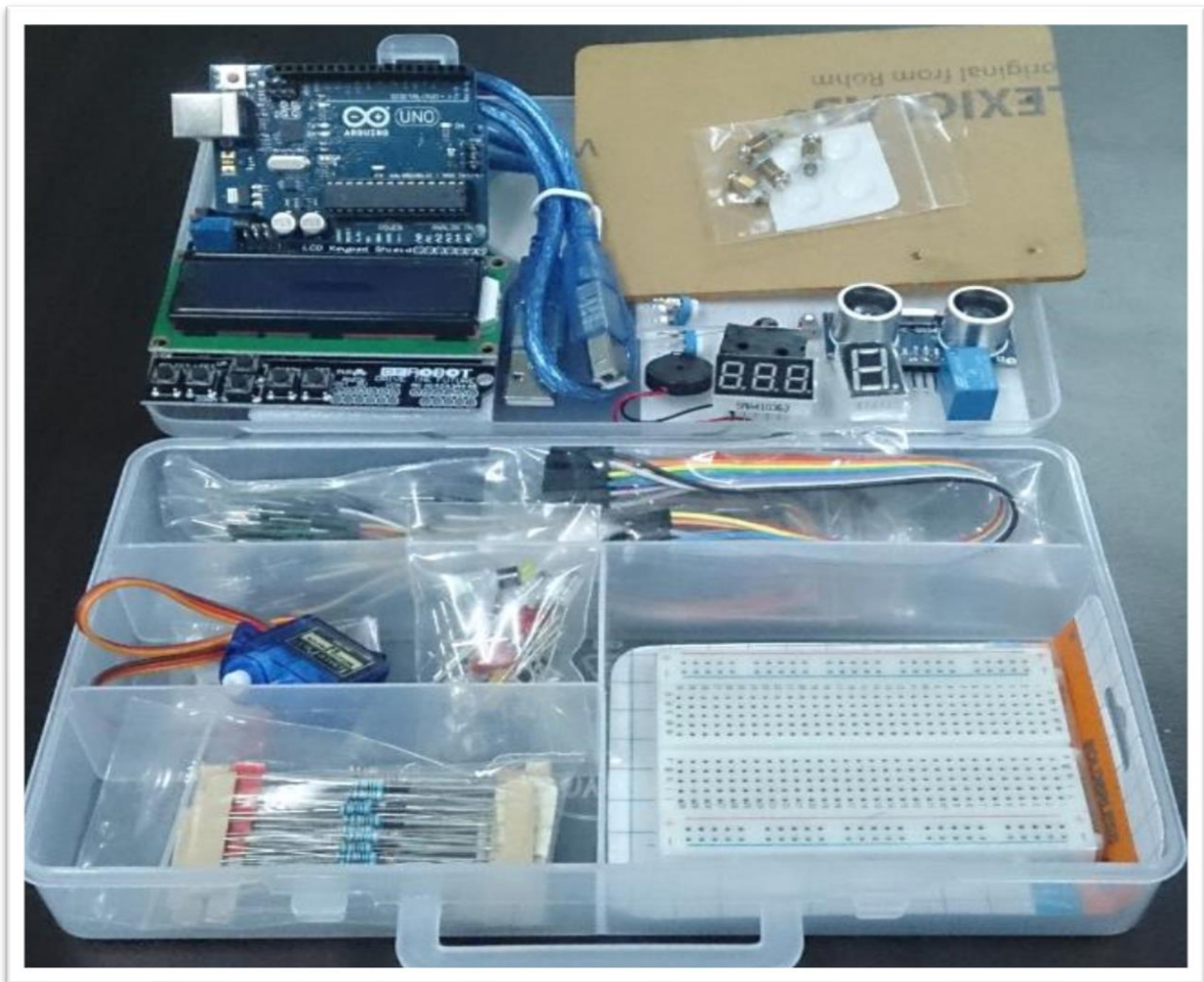


Figure II.1 : kit Arduino.

II.2 Définition du module Arduino

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants dont la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. (Voir Figure II.2. page 31)

Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle, mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme). Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino [10].

II.3 Les gammes de la carte Arduino

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, nous citons quelques-uns afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique :

- Le NG d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega8.
- L'extrémité d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un Microcontrôleur ATmega8.
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).
- Le Lily Pad Arduino, une conception de minimaliste pour l'application wear able en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- Le NG d'Arduino plus, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un Tmega168.
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Diecimila, avec une interface d'USB et utilise un microcontrôleur ATmega168.

- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.
- L'Arduino Mega, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.
- L'Arduino UNO, utilisations microcontrôleur ATmega328.
- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute La mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3).
- L'Arduino Leonardo, avec un morceau ATmega3U4 qui élimine le besoin de raccordement d'USB et peut être employé comme clavier.
- L'Arduino Esplora : ressemblant à un contrôleur visuel de jeu, avec un manche et des sondes intégrées pour le bruit, la lumière, la température, et l'accélération [11].

Parmi ces types, nous avons choisi une carte Arduino UNO (carte Basique). L'intérêt principal de cette carte est de faciliter la mise en œuvre d'une telle commande qui sera détaillée par la suite.

L'Arduino fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source comme interface de programmation. L'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code « HEX » dans la mémoire du microcontrôleur se fait d'une façon très simple par la liaison USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties. Cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega 328 et des composants complémentaires. La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kilo. Elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz une connexion USB et possède un bouton de remise à zéro et une prise jack d'alimentation [11].

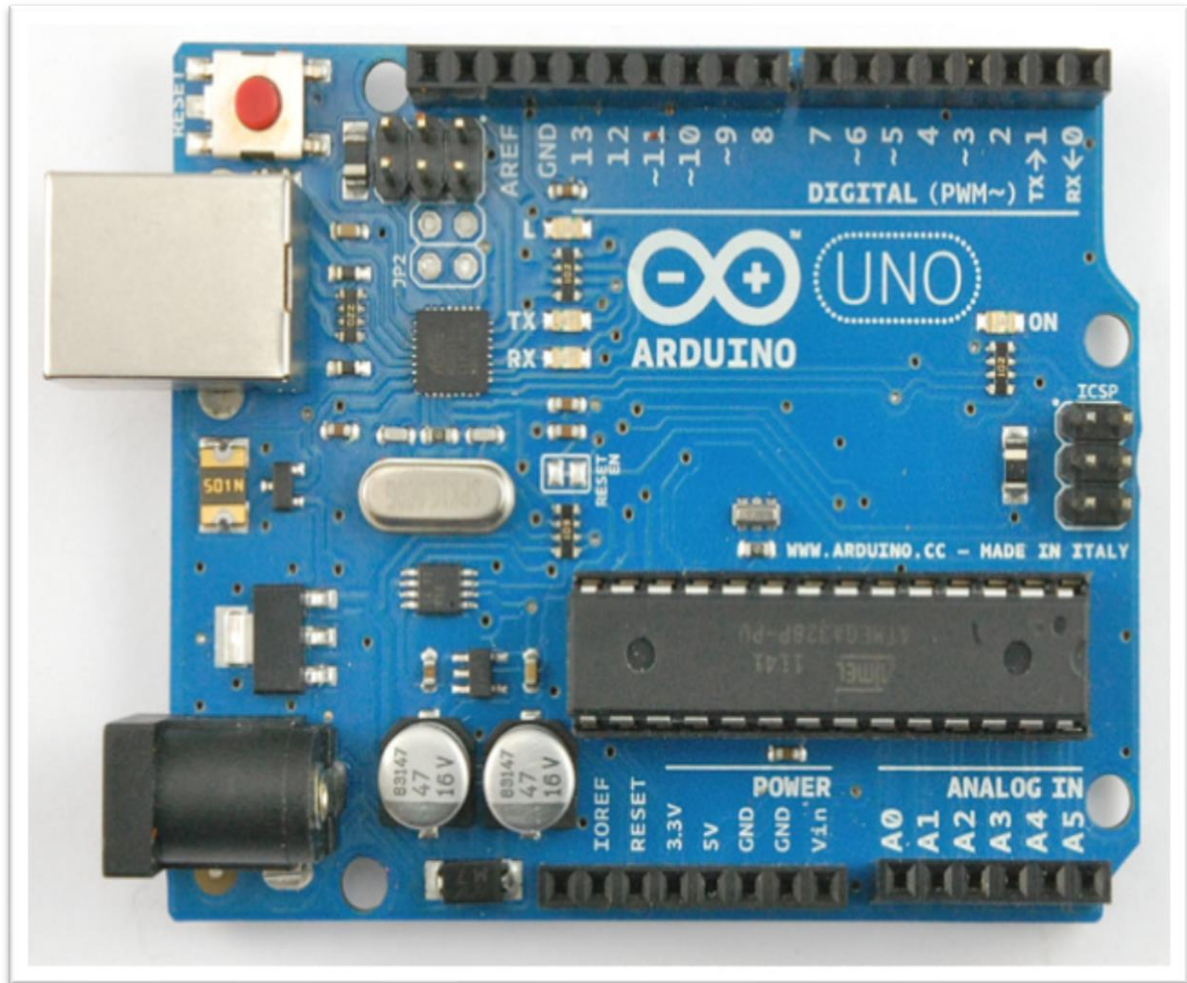


Figure II.2 : Carte arduino.

II.4 Pourquoi Arduino Uno

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation et les intègrent dans une présentation facile à utiliser. De la même façon, le système ARDUINO simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit :

- Le prix (réduits) : les cartes ARDUINO sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module ARDUINO peut être assemblée à la main, (les cartes ARDUINO pré- assemblées coûtent moins de 3000 Dinars).

- Multi plateforme : le logiciel ARDUINO, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.
- Un environnement de programmation clair et simple : l'environnement de programmation ARDUINO (le logiciel ARDUINO IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.
- Logiciel Open Source et extensible : le logiciel ARDUINO et le langage ARDUINO sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules ARDUINO est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).
- Matériel Open source et extensible : les cartes ARDUINO sont basées sur les Microcontrôleurs ATMEL ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes ARDUINO, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte ARDUINO, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût [10].

II.5 Programmation

Le logiciel de programmation (Figure II.3) de la carte ARDUINO sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE ARDUINO [10]. (Voir Figure II.4)



Figure II.3 : logiciel de programmation de la carte ARDUINO

II.6 Transfert du programme

Cette section est consacrée à donner un aperçu sur les étapes pour créer un programme et de le transférer dans la carte Arduino :

1. Spécifier le modèle de la carte utilisé (Voir Figure II.5).
2. Identifier les ports d'entrées (COM) (Voir Figure II.6).
3. Vérifier le programme, cette phase permet de localiser les erreurs existant dans le programme (Voir Figure II.7).
4. Transférer le code du programme vers la carte Arduino (Voir Figure II.8).
5. Après le transfert du code avec succès (absence d'erreur), les résultats sont affichés dans la fenêtre équivalente (Voir Figure II.9).
6. Après le transfert du code avec échec (erreurs), une boîte de dialogue s'affiche en indiquant la nécessité de corriger l'erreur (Voir Figure II.10).

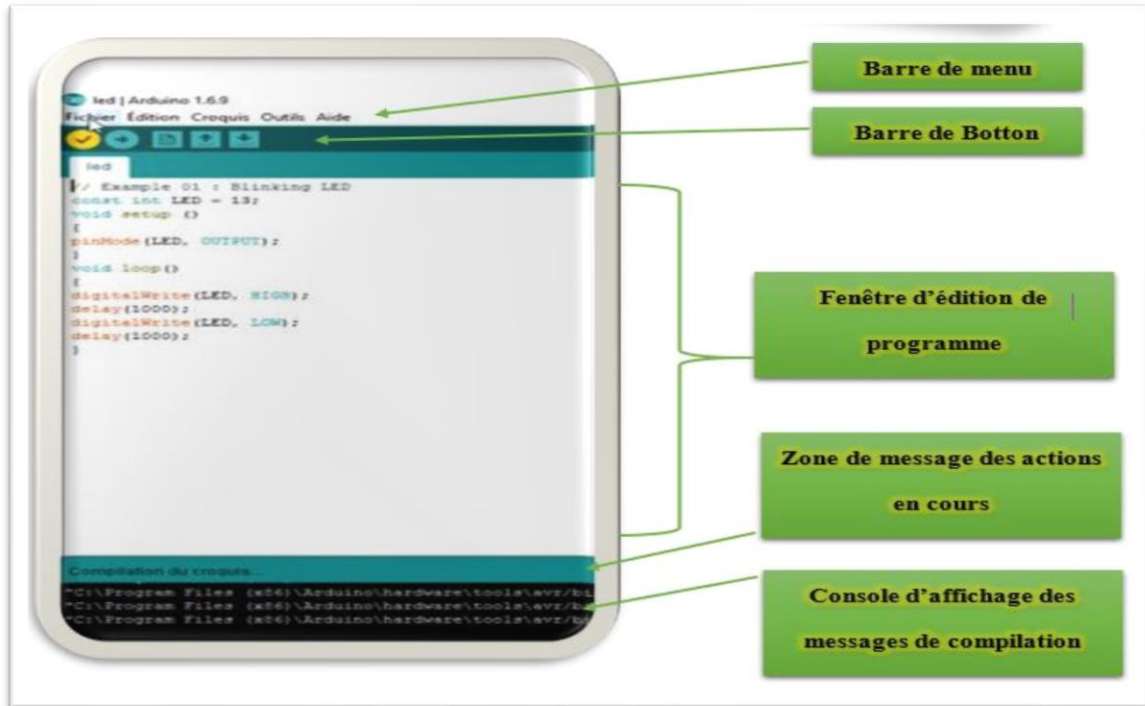


Figure II.4 : Interface IDE Arduino.

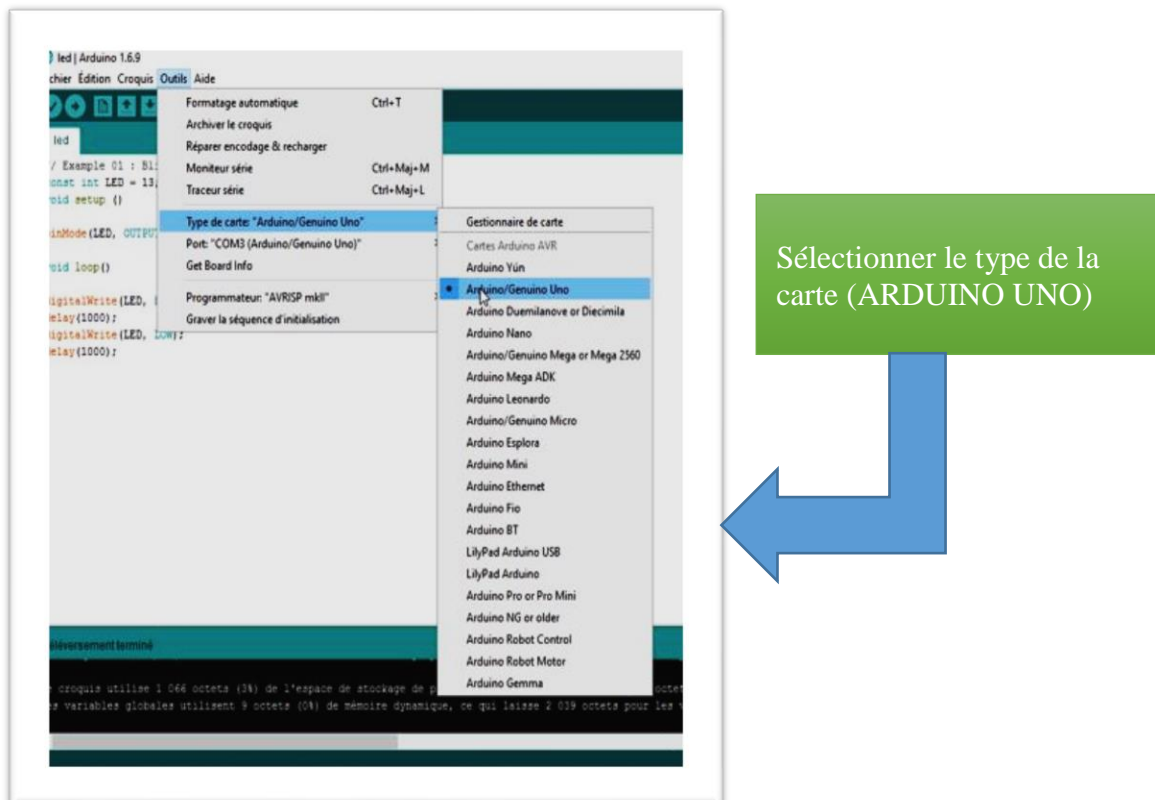


Figure II.5 : Paramétrage de la carte.

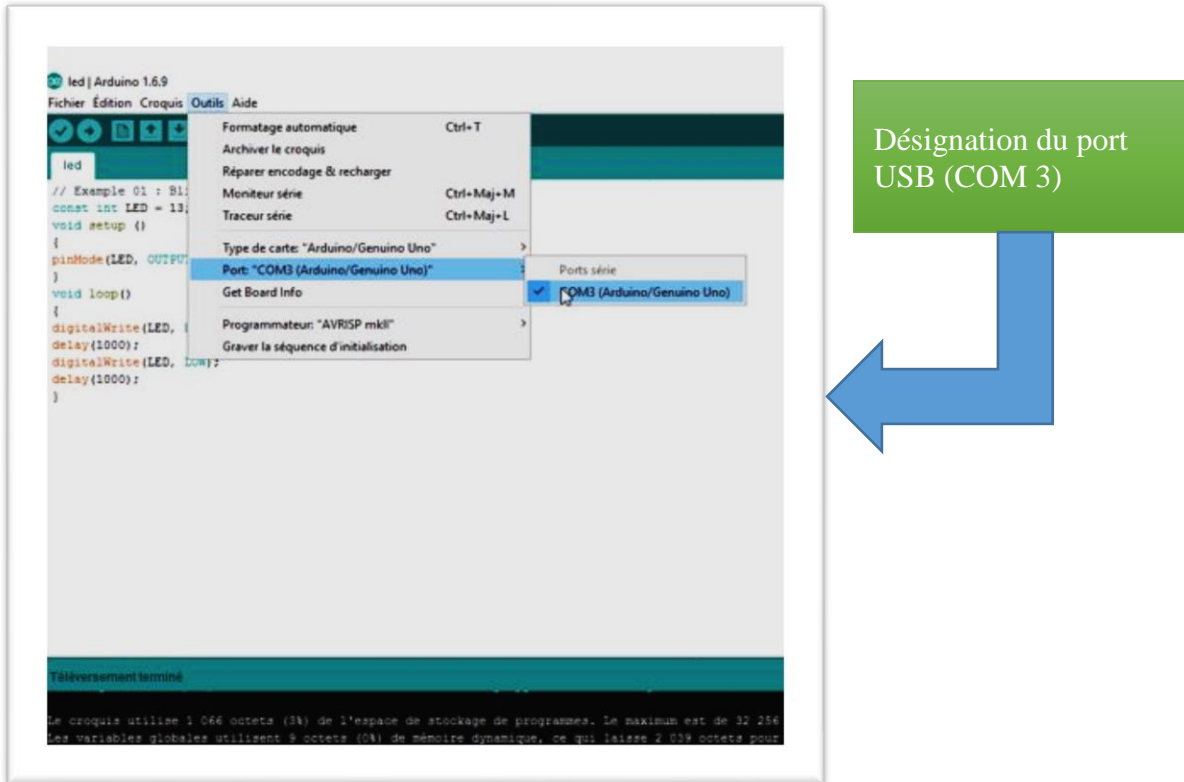


Figure II.6 : Paramétrage de la carte (Désignation du port d'entré COM3).

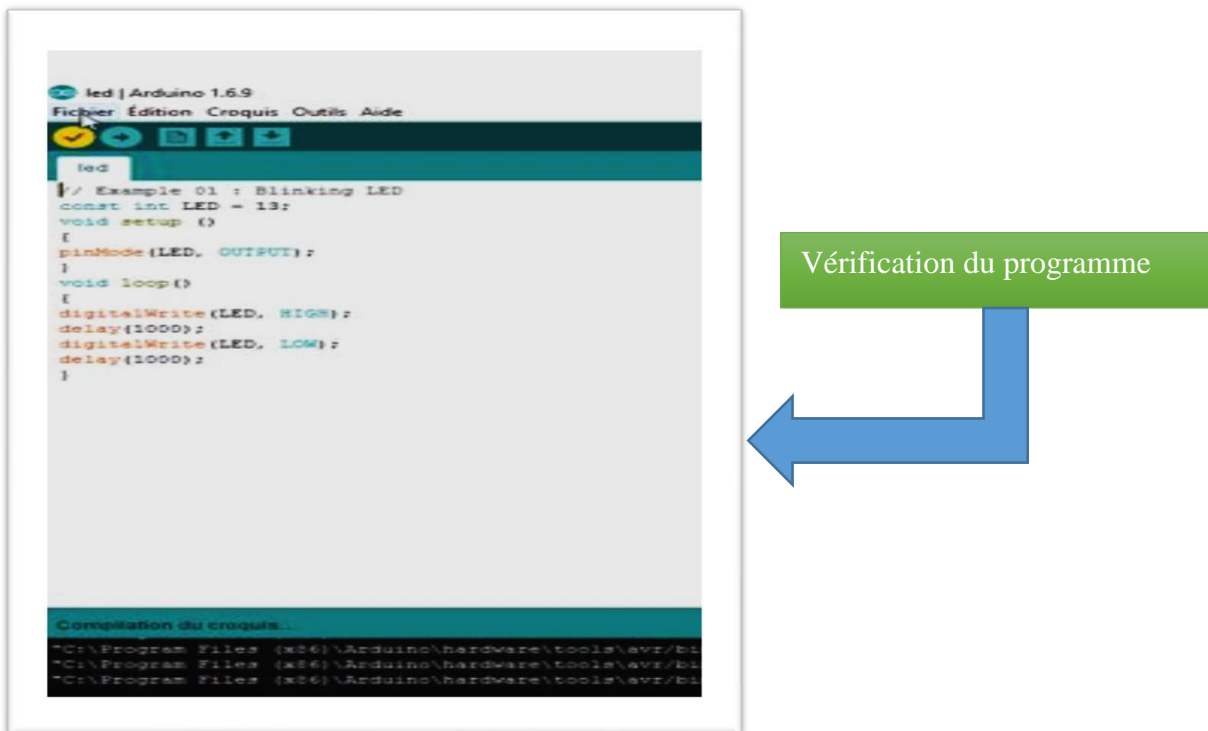
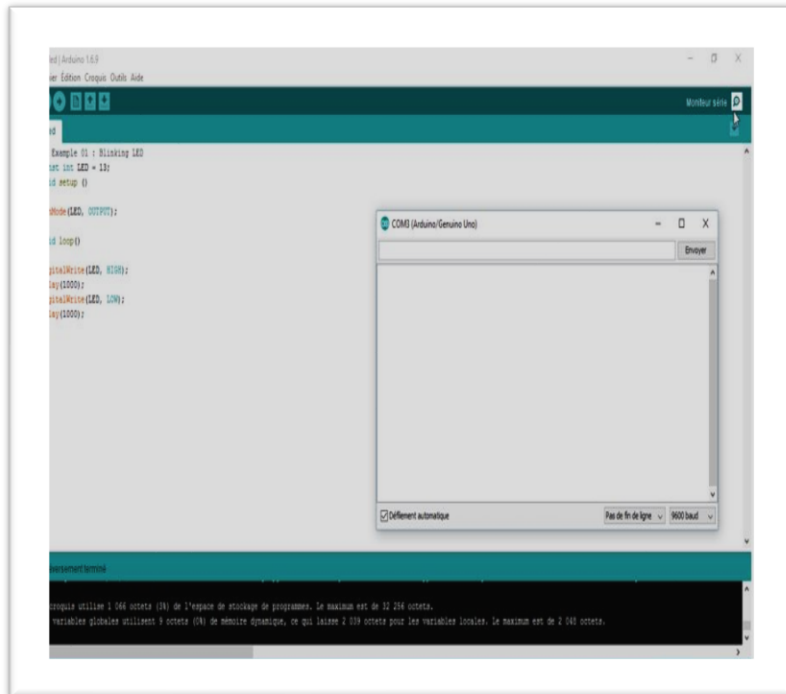


Figure II.7 : Vérification du code.

Pas d'erreur cliquer sur le bouton (téléverse) (compilation terminer)



Figure II.8 : Les étapes du transfert du code (téléverse).



Fenêtre des résultats

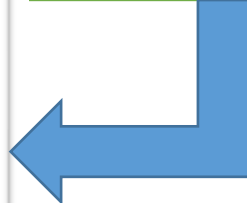


Figure II.9: Fenêtre des résultats.



Figure II.10 : Fenêtre du message.

II.7 Capteur de courant ACS712

Le dispositif ACS712 allegro offre un moyen économique et précis de détection de courants AC et DC. Ce capteur de courant allegro ACS712 est basée sur le principe de l'effet Hall, qui a été découvert par le Dr Edwin Hall en 1879 selon ce principe, quand un conducteur de courant est placé dans un champ magnétique déposé, une tension est générée sur ses bords perpendiculaires à la direction à la fois du courant et du champ magnétique. La Figure II.11 représente le schéma d'un capteur de courant ACS712 utilisé dans notre travail [16].

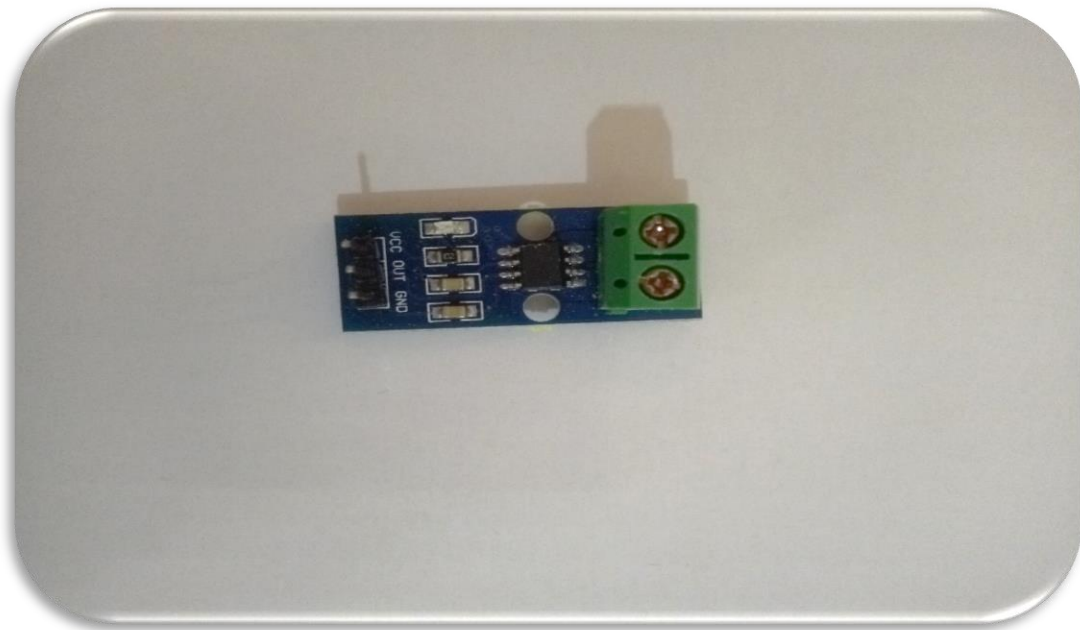


Figure II.11 : Capteur de Courant ACS712.

La sortie du dispositif a une pente positive lorsqu'un courant augmentant circule à travers le chemin de conduction de cuivre. Le ACS712-20 A peut mesurer le courant jusqu'à ± 30 A et fournit la sensibilité de sortie de 100 mV/A (à +5V), qui signifie que pour chaque augmentation de 1A dans le courant à travers les bornes de conduction dans le sens positif, la tension de sortie augmente aussi par 100 mV. Au zéro de courant, la tension de sortie est la moitié de la tension d'alimentation ($V_{CC} / 2$). Il est à noter que la sortie fournit ACS712 ratio métrique, ce qui signifie que le courant de sortie de zéro et la sensibilité de l'appareil sont à la fois proportionnel à la tension d'alimentation V_{CC} . Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour l'utilisation de la ACS712 avec un convertisseur analogique-numérique [16].

II.8 Capteur de tension

Le diviseur de tension peut détecter la tension d'alimentation jusqu'à 25 V. ce module diviseur de tension (figure II.12) est basé sur le principe diviseur de résistance. Le module de détection de tension permet à la tension d'entrée pour réduire à 5 fois. Comme la tension d'entrée analogique Arduino est à 5 V, si la tension d'entrée de tension module de détection ne peut pas être supérieure à $5 \times 5 = 25$ V [16].

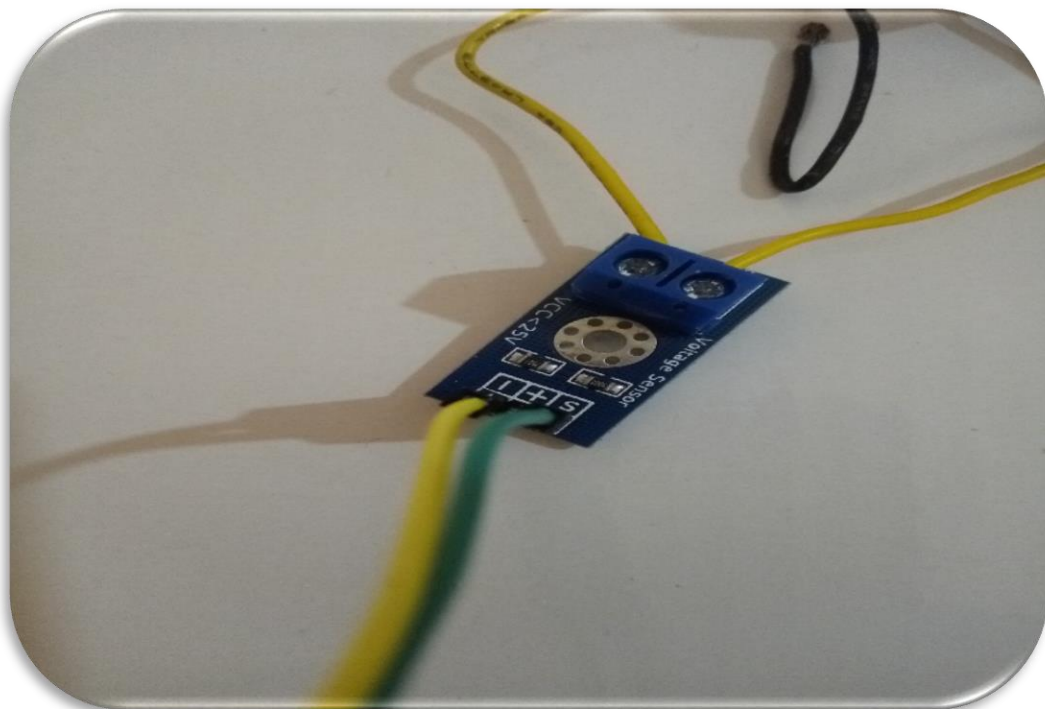


Figure II.12 : Capteur de de tension

II.9 Adaptation de la tension du capteur

Dans notre réalisation pratique et afin de réduire la tension à une valeur convenable, le capteur utilisé est adapté à la tension 6 V. La Figure II.13 montre le schéma de câblage du transformateur AC-AC 220 V/12 V avec le capteur.

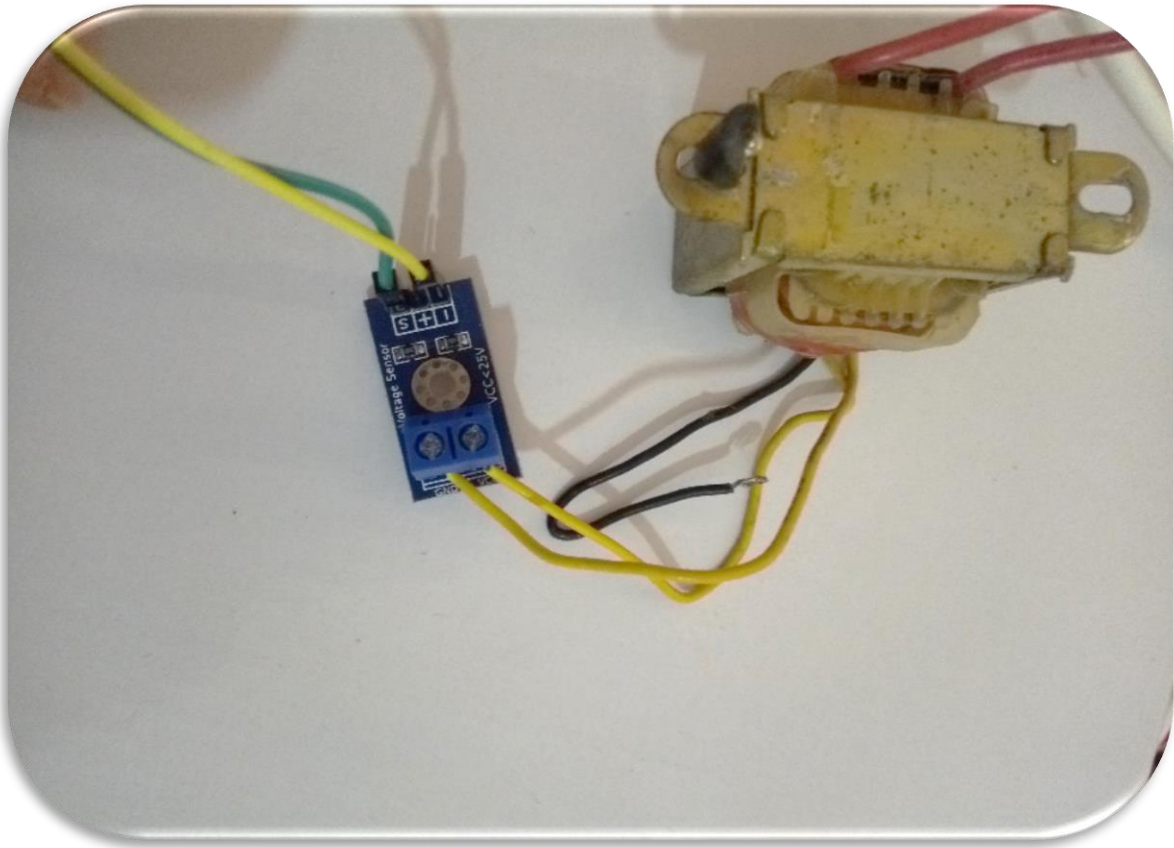


Figure II.13: Capteur de tension avec transformateur

II.10 Exemple d'application

Allumer et éteindre une LED.

Cet exemple simple illustre l'application des étapes mentionnés ci-dessus, permettant d'allumer et d'éteindre une LED. (Voir Figure II.14 et Figure II.15)

```
// Example 01 : Blinking LED
const int LED = 13;
void setup ()
{
  pinMode(LED, OUTPUT);
}
void loop()
{
  digitalWrite(LED, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(LED, LOW);
  delay(1000);
}
```

Allumer et éteindre le led
temporisé à 1000 ms

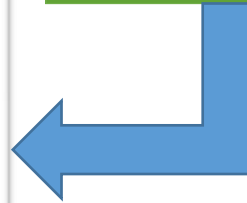


Figure II.14: Exemple : allumer et éteindre une LED.

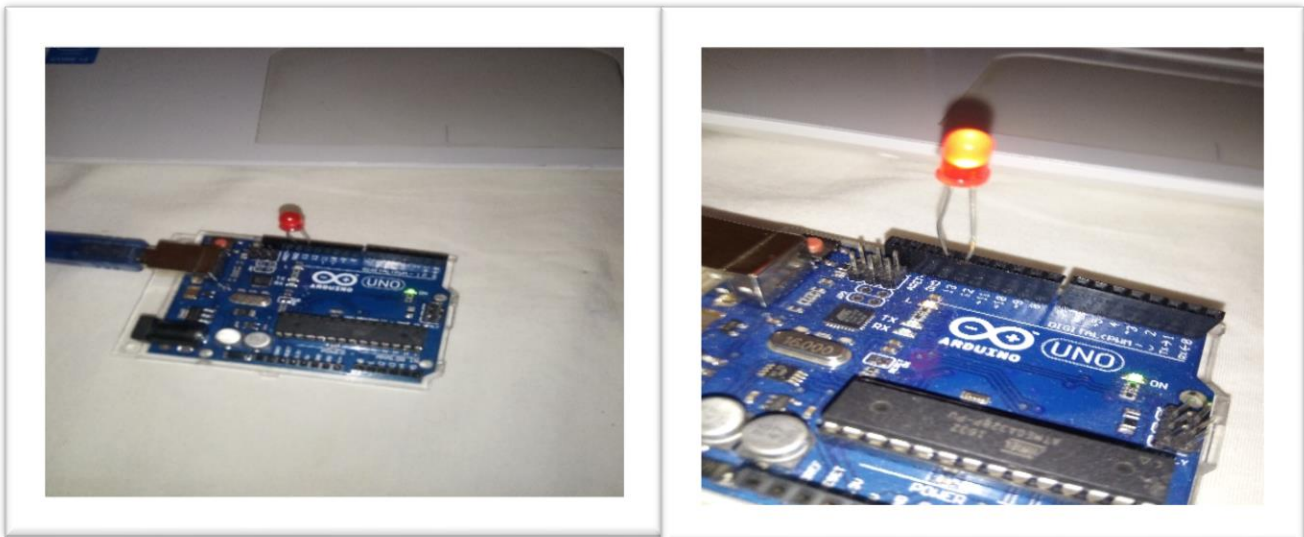


Figure II.15 : Montage de Arduino avec LED.

II.11 Conclusion

Nous avons expliqué les deux parties essentielles de l'Arduino (la partie matérielle et la partie programmation) plus précisément. Nous avons également expliqué le principe de fonctionnement de la carte Arduino sans oublier ses caractéristiques, puis on a donné un exemple simple d'application permettant d'allumer et d'éteindre une LED.

Le prochain chapitre sera consacré à exploiter les capacités de la carte Arduino en association avec les capteurs pour démontrer le principe de la sélectivité de la protection et le principe de base du système SCADA.

III.1 Partie expérimentale

Dans ce chapitre, on présentera de manière sommaire une vue d'ensemble du travail expérimental réalisé. Le travail expérimental réalisé se compose de trois parties : la première partie est consacré à démontrer la possibilité d'adapter est utiliser la carte Arduino pour mesurer les différentes grandeurs électriques. La deuxième partie est dédiée principalement à l'adaptation et l'utilisation de la carte Arduino pour démontrer la sélectivité ampérométrique et chronométrique dans le système de protection. Alors que la troisième partie a pour objectif de simuler le principe de base du système SCADA, par le contrôle à distance d'un contacteur alimentant une charge. Afin de réaliser cette tâche, une carte Arduino en coordination avec une carte GSM sont utilisés permettant ainsi de commander à distance l'ouverture et la fermeture du contacteur et aussi de détecter le défaut au niveau de la charge par l'envoi d'un message à l'opérateur.

III.2 Partie 1 : Outil de mesure

Cette partie est consacré à démontrer l'efficacité du module Arduino à utiliser comme outil de mesure par la programmation des entrées et sorties avec les capteurs de courant et de tension associées aux différentes charges. En effet, l'Arduino est exploité pour mesurer plusieurs grandeurs physiques tels que : la tension, le courant, la puissance active et réactive, le facteur de puissance ainsi que la puissance apparente. la Figure III.1 présente le montage réalisé permettant ainsi de mesurer ces grandeurs électriques. le tableau 1 récapitule les caractéristiques des éléments du montage réalisé. Pour ce montage on a utilisé les éléments suivants :

1. Capteurs de courant type ACS 712.
2. Capteurs de tension (25 V F031-06)
3. Relais électronique avec deux sorties
4. Carte Arduino type Uno
5. Transformateur (220 V/ 12 V).

A tire d'exemple, l'outil multimètre à base de l'Arduino est tester sur une charge, la figure III.2 présente les grandeurs mesurées tels que, la tension, le courant et la puissance. la figure III.3 présente la vérification de la tension mesurée par un voltmètre.

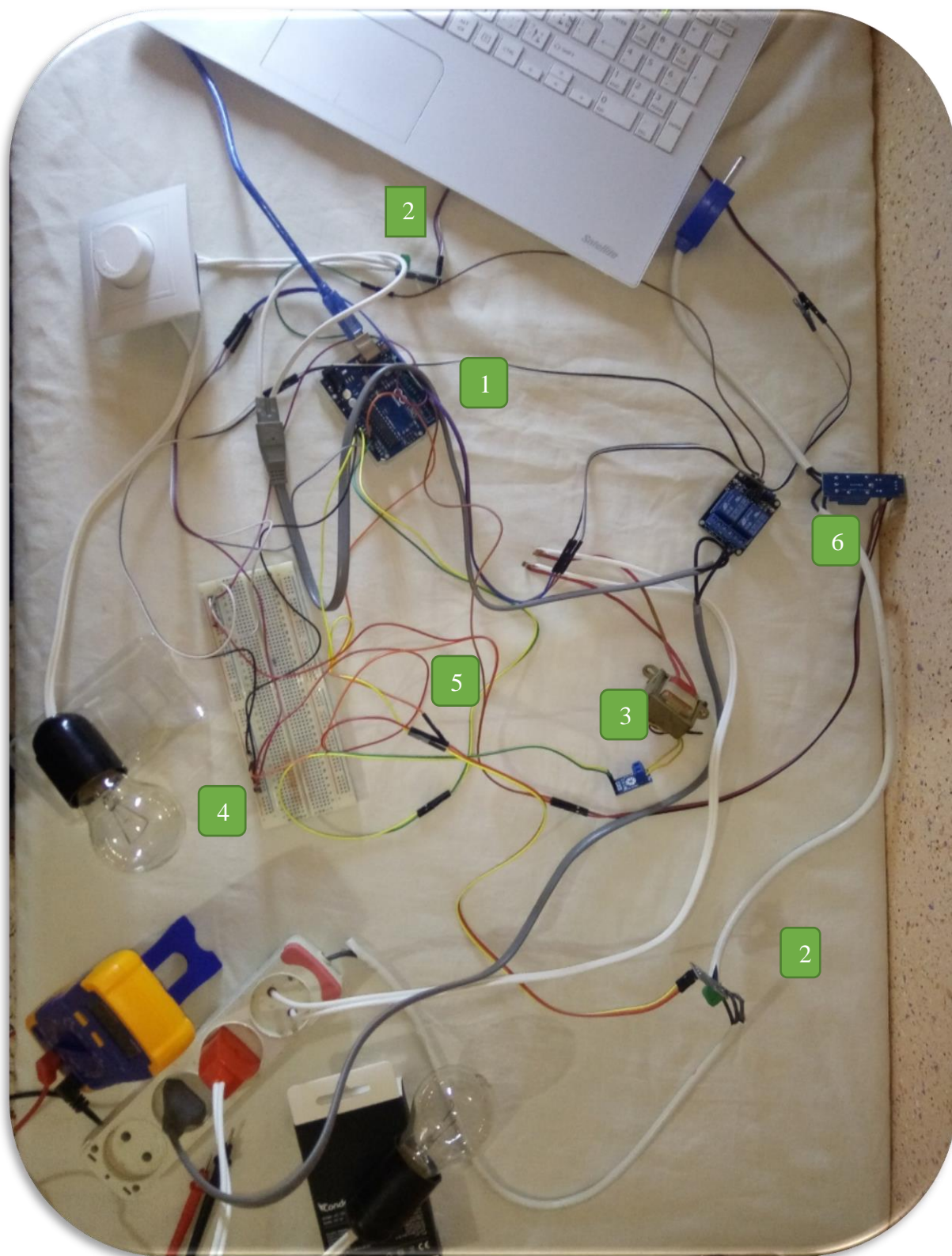


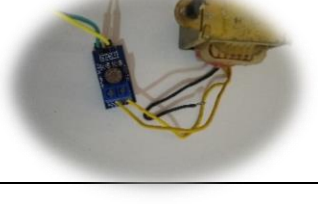
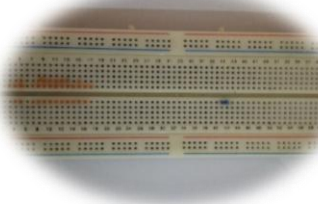




Figure III.1 : Schéma de câblage : mesure des grandeurs électriques par utilisation de la carte Arduino.

Tableau 1 : Désignation des caractéristiques des éléments du montage multimètre.

Composant	N°	Nom de composant	Caractéristiques
	1	Carte Arduino uno	Arduino Uno avec Microcontrôleur ATmega328
	2	Capteur de courant ACS712.	20 A- avec calibre spéciale
	3	Capteur de tension (25 V-F031-06)	En utiliser ce capteur avec une transformateur AC-AC 220/12 ou 6
	4	Plaque d'essai	
	5	Des fils de connexion	
	6	Relai électronique avec deux sorties	Module de 1 ou 2,4,8 pour l'utilisation

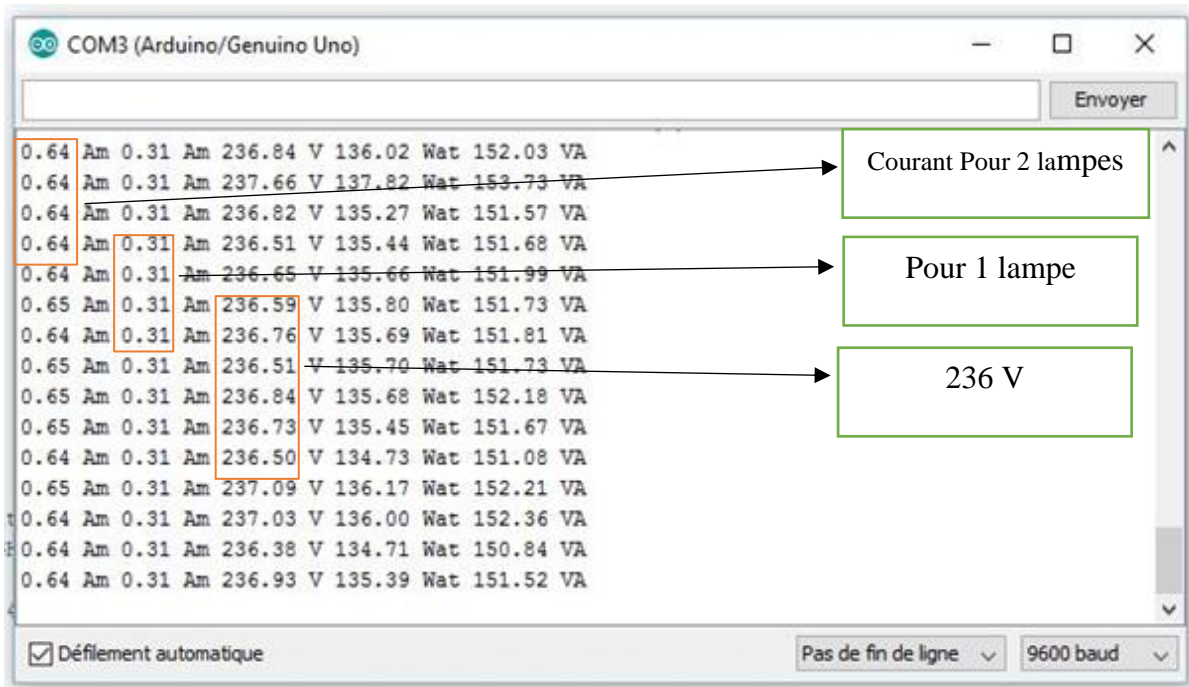


Figure III.2 : Résultats expérimentaux.



Figure III.3 : Vérification de la tension mesurée par voltmètre.

III.3 Partie 2 : Réalisation d'une armoire pour la sélectivité des relais

On commence par donner un aperçu sur le principe de base de la sélectivité des protections en particulier la sélectivité ampérométrique et la sélectivité chronométrique.

III.3.1 Définition de la sélectivité

La sélectivité des protections consiste à isoler le plus rapidement la partie du réseau affectée par un défaut et uniquement cette partie, en laissant sous tension toutes les parties saines du réseau [8].

III.3.2 Type de sélectivité

Pour y parvenir différents systèmes peuvent être mis en œuvre :

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

La sélectivité par utilisation de protections directionnelles ou différentielles [8].

A) Sélectivité ampérométrique

Elle est basée sur le fait que dans un réseau, la valeur du courant de court-circuit est d'autant plus faible que le défaut est plus éloigné de la source. La protection à maximum de courant est réglée à un seuil I_r vérifiant la relation : $I_{cc\ max\ (B)} < I_r < 0.8\ I_{cc\ min\ (A)}$.

Une protection ampérométrique est disposée au départ de chaque tronçon. Son seuil est réglé à une valeur inférieure à la valeur du courant de court-circuit minimal provoqué par un défaut sur la section surveillée, et supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un défaut situé en aval (au-delà de la zone surveillée) [8]. (Voir Figure III.4)

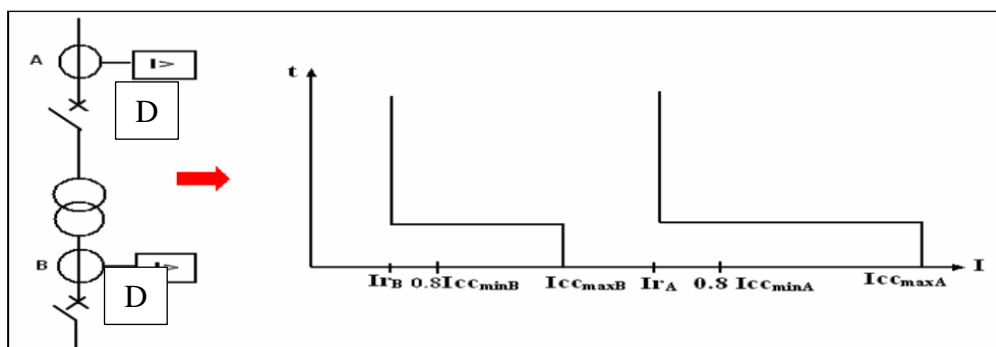


Figure III.4 : Principe de la sélectivité Ampérométrique.

B) Sélectivité chronométrique

Elle consiste à donner des temporisations différentes aux protections à maximum de courant.

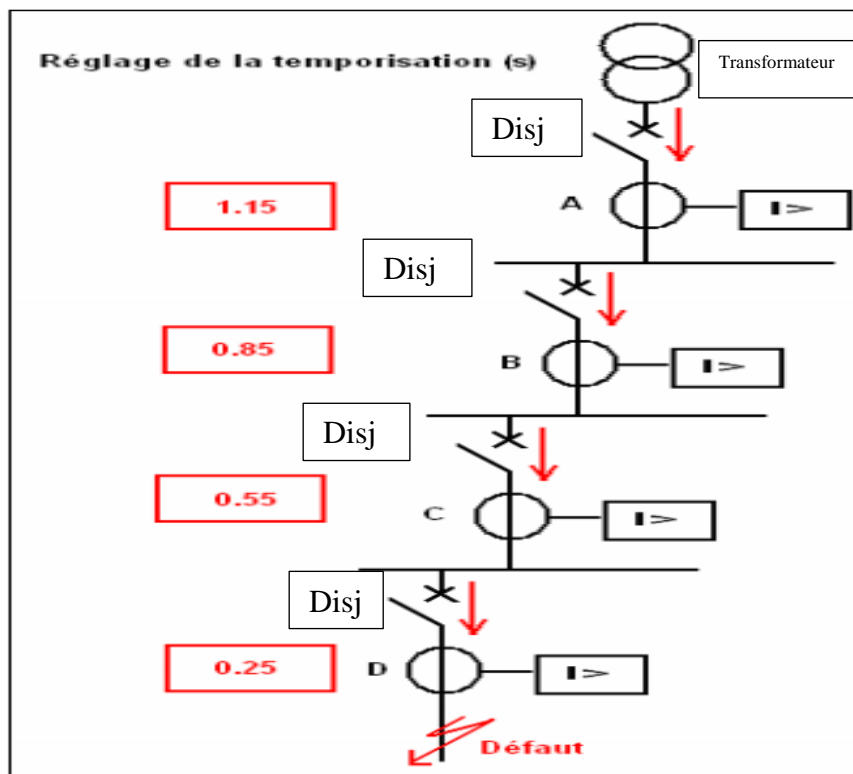


Figure III.5 : Principe de la sélectivité chronométrique.

Ces temporisations sont d'autant plus longues que la protection est plus proche de la source.

Le défaut en D est vu par toutes les protections (A, B, C et D). Cependant la protection située en D est activée plus rapidement que les protections situées en C, B et A.

$I_r(A) > I_r(B) > I_r(C) > I_r(D)$ [8]. (Figure III.5)

C) Sélectivité logique

Les sélectivités ampèremétriques et chronologiques (voir Figure III.6) ont des inconvénients : Si le nombre de protections en cascade est grand, le temps d'élimination du défaut le plus en amont est prohibitif et incomparable avec la tenue des matériels au courant de court-circuit. De plus, le courant de défaut le plus élevé est éliminé après la temporisation la plus longue. Lorsqu'un défaut apparaît dans un réseau en antenne, le courant de court-circuit circule du point de défaut jusqu'à la source :

- Les protections en amont du défaut sont sollicitées.
- Les protections en aval du défaut ne sont pas sollicitées.
- Seule la première protection directement en amont du défaut doit être activée.

Dans le système de sélectivité logique, à chaque disjoncteur est associée une protection apte à émettre et à recevoir un ordre d'attente logique. Lorsqu'une protection est sollicitée par un courant de défaut :

- Elle émet un ordre d'attente logique à la protection située directement en amont
- Elle provoque le déclenchement du disjoncteur associé si elle n'a pas reçu d'ordre d'attente logique par une autre protection [8].

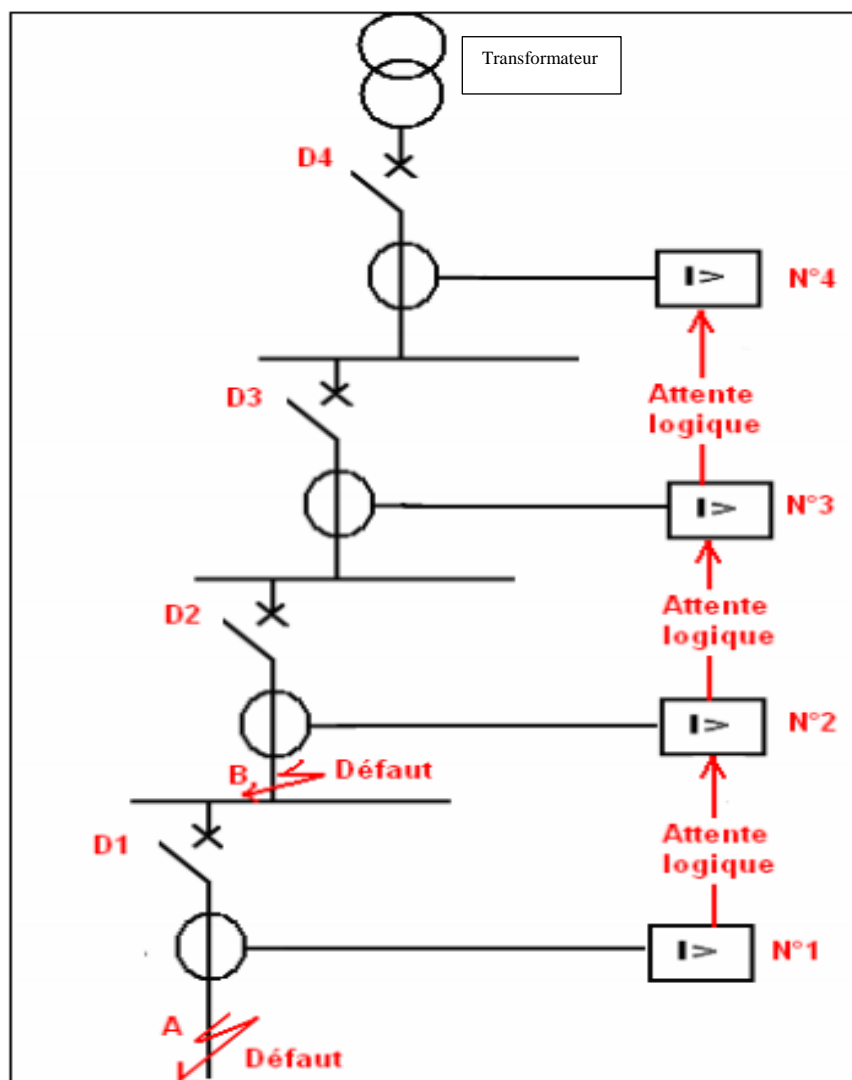


Figure III.6 : Principe de la sélectivité logique.

Lors d'un défaut en A :

- Les protections 1, 2, 3 et 4 sont sollicitées.
- La protection 1 émet un ordre d'attente logique vers la protection amont N°2 et un ordre de déclenchement au disjoncteur D1.
- La protection N°2 émet un ordre d'attente logique vers la protection N°3 et reçoit l'ordre d'attente logique provenant de la protection N°2 qui verrouille l'ordre de déclenchement du disjoncteur D2.
- La protection N°3 émet un ordre d'attente logique vers la protection amant N°4 et reçoit l'ordre d'attente logique provenant de la protection N°2 qui verrouille l'ordre de déclenchement du disjoncteur D3.
- La protection N°4 reçoit l'ordre d'attente logique provenant de la protection N°3 qui verrouille l'ordre de déclenchement du disjoncteur D4.

Le disjoncteur D1 élimine le défaut en A au bout de temps : $t_{D1} = t_1 + t_{c(D1)}$

Avec : t_1 : temporisation de la protection N°1.

$t_{c(D1)}$: temps de coupure du disjoncteur D1.

Par soucis, de sécurité, la durée l'attente logique est limitée par exemple à 200 ms après la temporisation de la protection aval donnant l'ordre d'attente logique [8].

D) Sélectivité directionnelle

Dans un réseau bouclé, où un défaut est éliminé par les deux extrémités, il faut utiliser des protections sensibles au sens de circulation du courant de défaut, pour pouvoir le localiser et l'éliminer de façon sélective. On utilise pour cela des protections à maximum de courant directionnelles. (Voir Figure III.7)

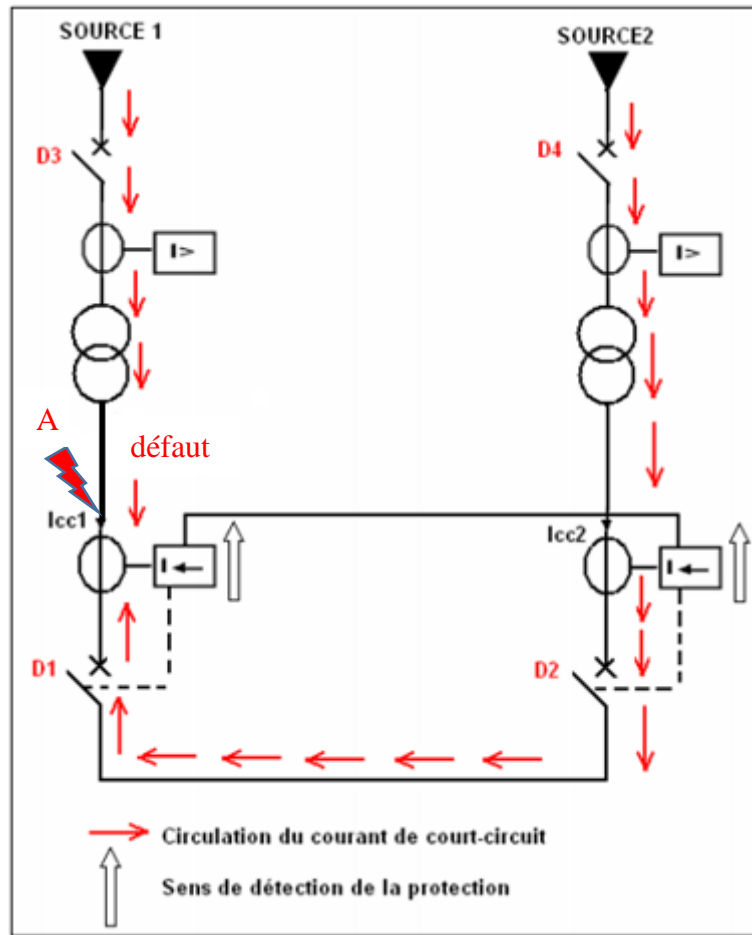


Figure III.7: Principe de la sélectivité directionnelle.

D1-D2 : Disjoncteur équipés de protection à maximum phase directionnel.

D1-D2 : Disjoncteur équipés de protection à maximum phase.

Lorsqu'un défaut apparaît en A :

- Les courants de court-circuit I_{cc1} et I_{cc2} s'établissent simultanément.
- La protection directionnelle en D2 n'est pas activée car elle est traversée par un courant circulant dans un sens opposé à son sens de détection.
- La protection directionnelle en D1 est activée car elle est traversée par un courant circulant dans le sens de sa détection. Elle provoque le déclenchement du disjoncteur D1, le courant I_{cc2} est coupé.
- Un système d'inter-déclenchement provoque l'ouverture de D3, le courant I_{cc1} est coupé.

- La protection en D4 n'est plus activée.
- Le tronçon en défaut est isolé [8].

III.3.3 Réalisation préliminaire

Cette phase, représente les premiers tests préliminaires effectués pour réaliser la sélectivité entre deux relais en se basant sur le courant et la temporisation. Plusieurs tentatives ont été réalisées avant la mise en conception de l'armoire. La Figure III.8 représente le schéma expérimental initial réalisé pour la coordination entre deux relais. Et les Figures III.9 page 52, III.10 page 53 représente le cas de fonctionnement normal.

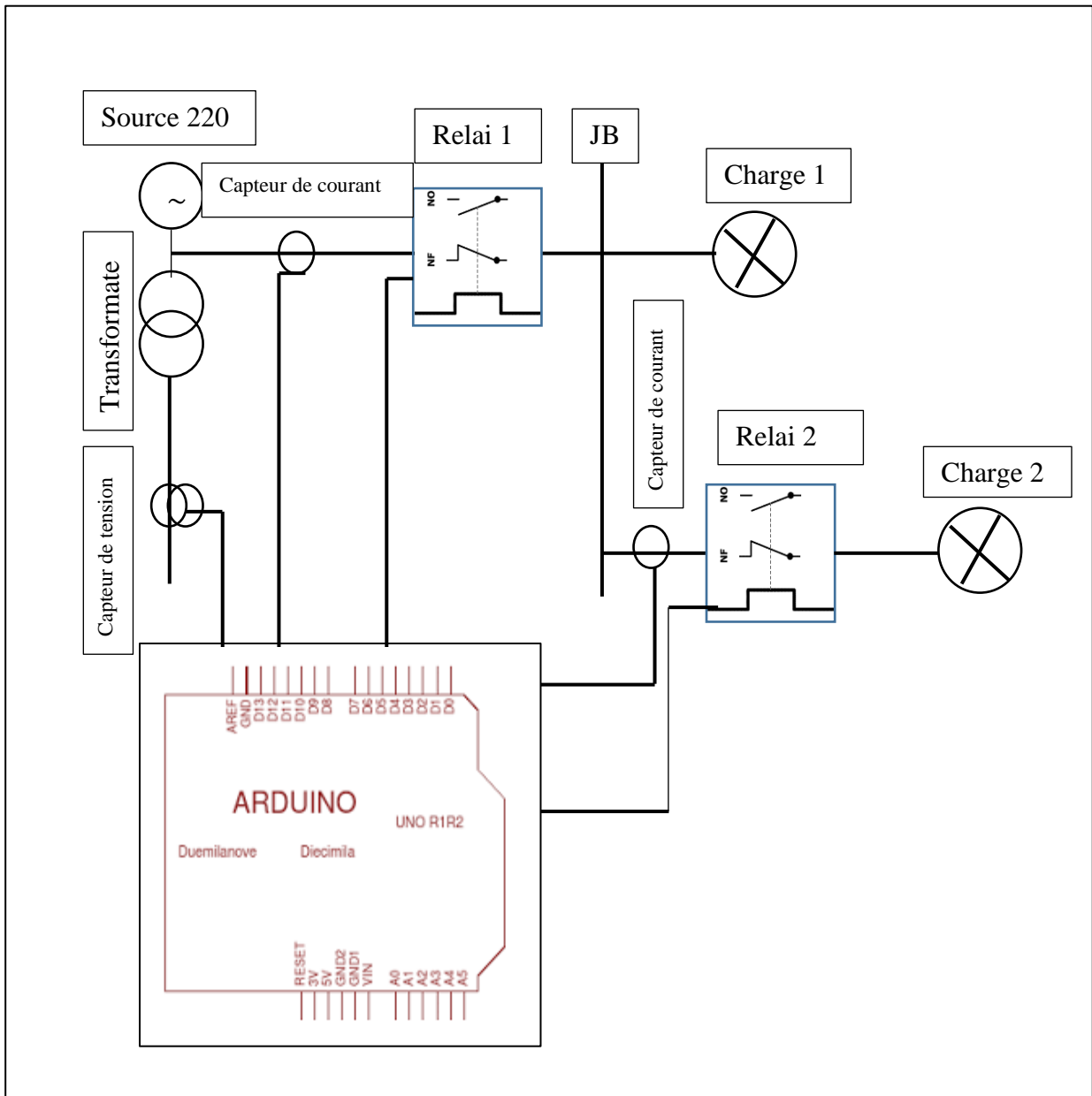


Figure III.8 : Schéma expérimental initial : sélectivité entre deux relais.

Le schéma expérimental se compose de composants suivants :

- Relais principal avec capteur de courant principal (Capteur de courant ACS712 Relai électronique avec une sortie).
- Relais secondaire avec un capteur de courant secondaire (Capteur de courant ACS712 Relai électronique avec une sortie).

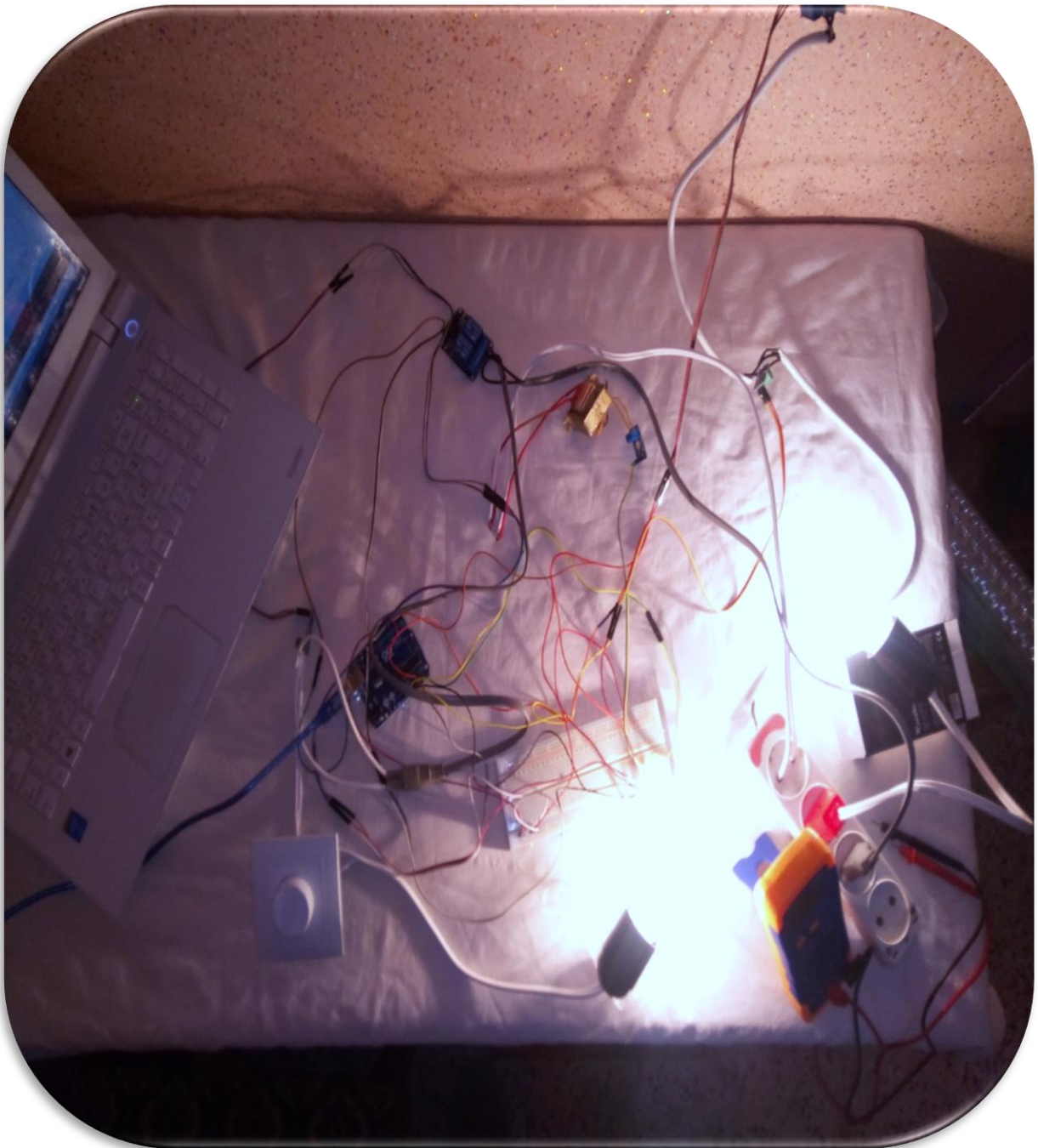


Figure III.9 : Photo de fonctionnement normal.

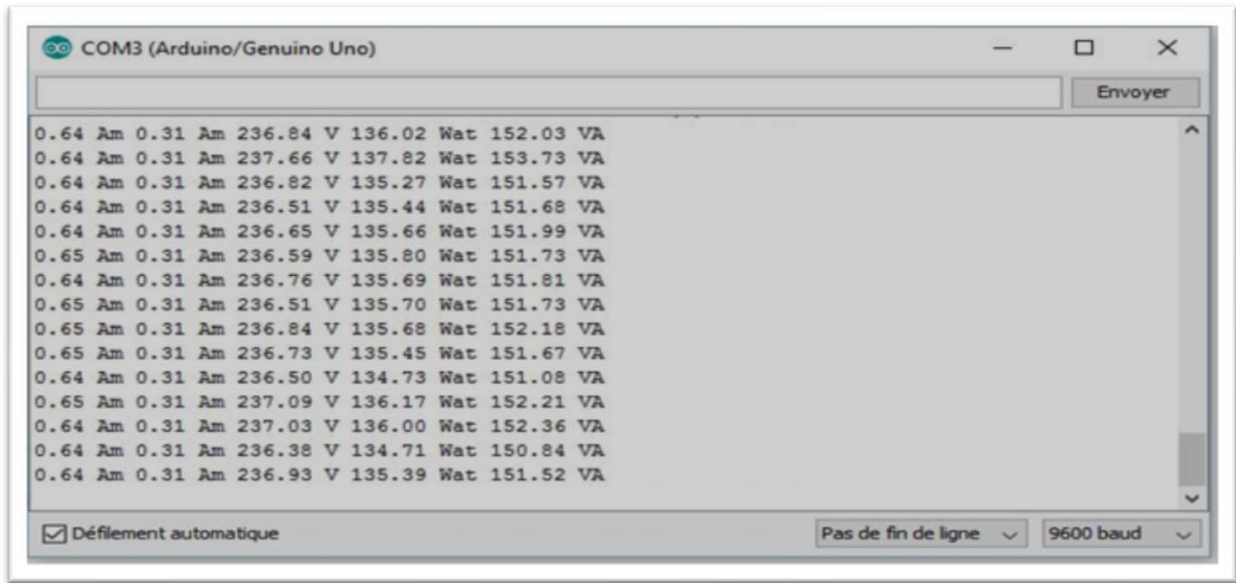


Figure III.10 : Grandeurs électriques mesurés dans le cas normale (sans défaut).

Cas 1 : défauts au jeu de barre 2

Pour ce cas, les réglages du courant au niveau de la protection associée au jeu barre principal 1 est fixé à 0.57 A. Afin de simuler les défauts différentiels, une variation de courant progressif est effectuée au niveau de la charge 2. (Figure III.11).

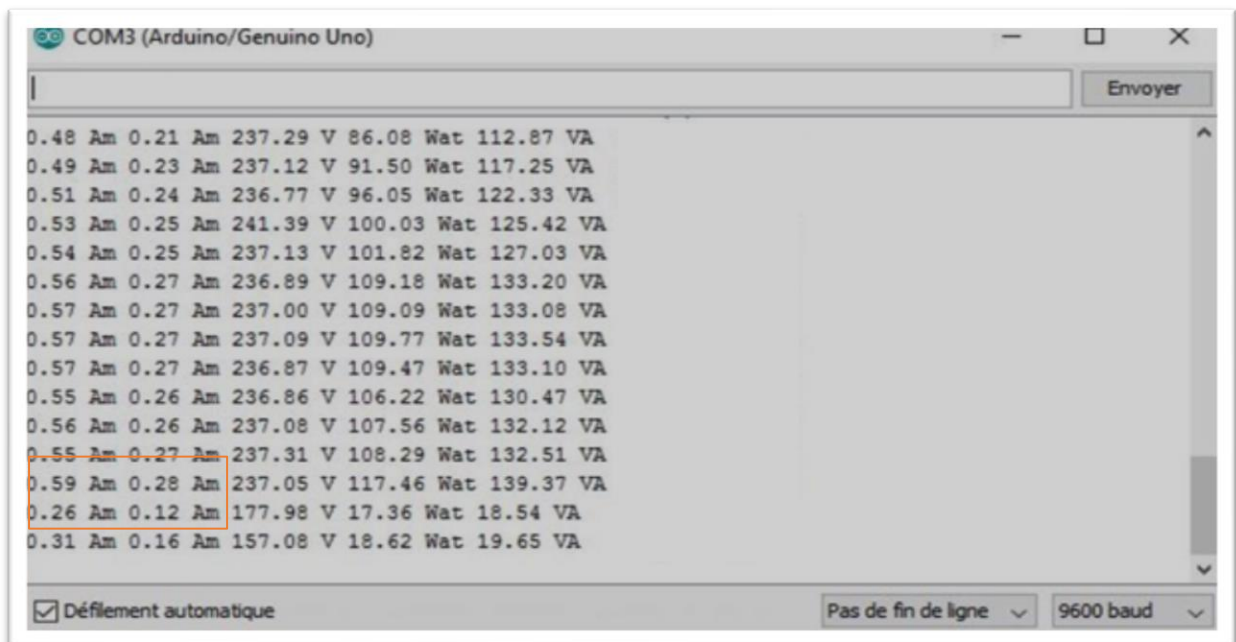


Figure III.11 : Grandeurs électriques mesurés dans le cas anormale (avec défaut).

La Figure III.12 représente une partie du programme associée aux mesures et aux réglages des relais de protection. Le programme principal se compose de trois parties, la première partie est réservée à l'initialisation des ports d'entrées et de sorties, la deuxième partie permet de coordonner les courants reçus des capteurs de courant avec les temporisations associés à chaque relais, tandis que la troisième partie permet d'afficher les grandeurs électriques tels que, les courants, la tension et les puissances avant et après les défauts. .

```
    serial.print( " V ", );
    float realPower      = emon1.realPower;      //extract Real Power into variable
    serial.print(realPower );
    serial.print(" Wat ");
    float apparentPower  = emon1.apparentPower; //extract Apparent Power into variable
    serial.print( apparentPower);
    serial.print(" VA ");
    float powerFactor    = emon1.powerFactor;   //extract Power Factor into Variable
    serial.print(" cos(Q) = ");
    serial.println(powerFactor );
    delay(500);

    if (Irms2<0.29 && Irms2>0.21 ){digitalWrite(realyS,HIGH);delay(500);} //else digitalWrite
    if (Irms2>0.31 ){digitalWrite(realyS,LOW);delay(500);} //else digitalWrite(realyS,HIGH)
    if (Irms2<0.19 ){digitalWrite(realyS,LOW);delay(500);}

    if (Irms>0.57 ){
        delay(8000);digitalWrite(realyP,LOW);delay(500);} //else digitalWrite(realyS,HIGH);dela
```

Figure III.12 : Partie du programme associée aux mesures et aux réglages des relais de protection.

A) Réglages préliminaires des relais

1. Le courant d'une seule charge (lampe 75 W) et de 0.31A.
2. On simule les défauts différentiels qui affectent le modèle par la variation de la résistance variable installée aux jeux de barre spécifiés.
3. La résistance est en série avec la charge 2 après le capteur de courant et le relais dans l'étage secondaire.
4. Les courants de réglages associés à chaque étage sont donnés comme suit :
 - Pour le fonctionnement normal : [0.29 S 0.21 S]

(Voir Figure III.13).

- Le capteur de courant fourni le courant au relais du premier étage (lampe 2), le courant de réglage est de 0.64 A (Figure III.14).

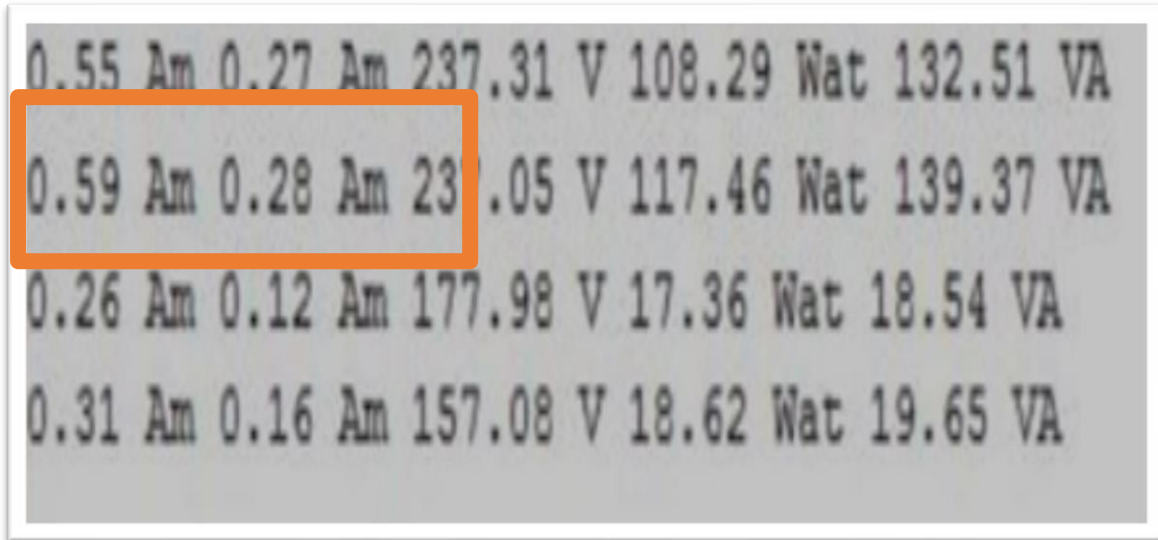


Figure III.13 : Grandeurs électriques mesurés lors de l'ouverture du relais secondaire.

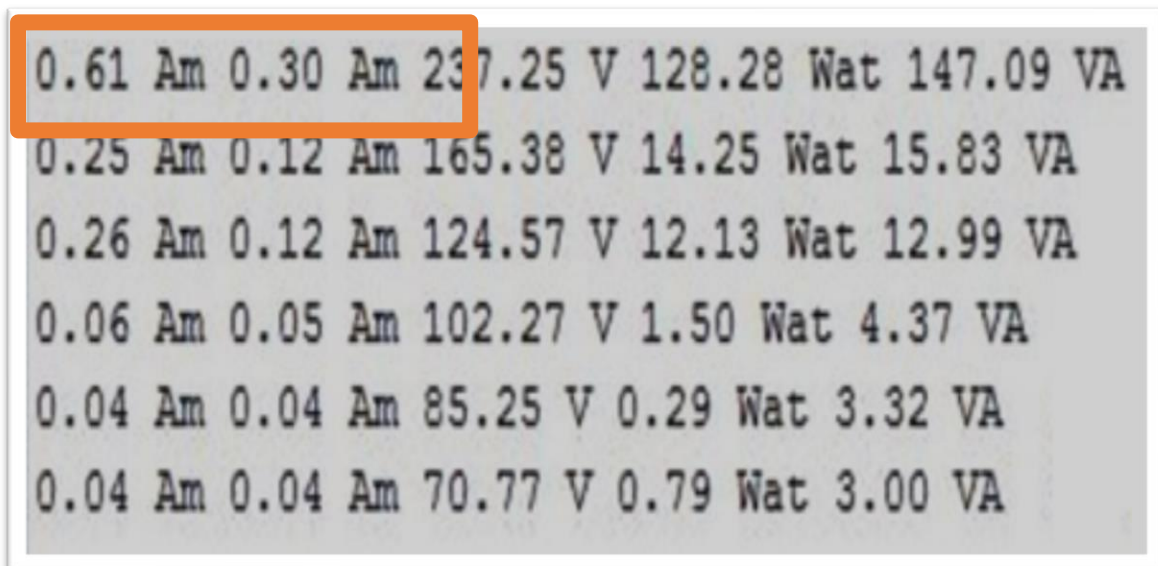


Figure III.14 : Grandeurs électriques mesurés lors de l'ouverture du relais primaire.

III.3.4 Réalisation de l'armoire de sélectivité et de commande à distance

Après avoir effectués les tests prémunir sur le choix des capteurs et les temporisations nécessaires associés aux relais, nous avons entamé la phase de conception de l'armoire didactique dédiée à la sélectivité ampérométrique et chronométrique d'un réseau radial à deux étages et pour la commande à distance d'un contacteur alimentant une charge.

A) Phase 1 : sélectivité de la protection

Le premier montage de l'armoire est dédié à l'application du module arduino pour réaliser la sélectivité ampérométrique et chronométrique entre deux relais installés dans un réseau radial à deux niveaux. Le schéma unifilaire du réseau test est présenté dans la figure III.15.

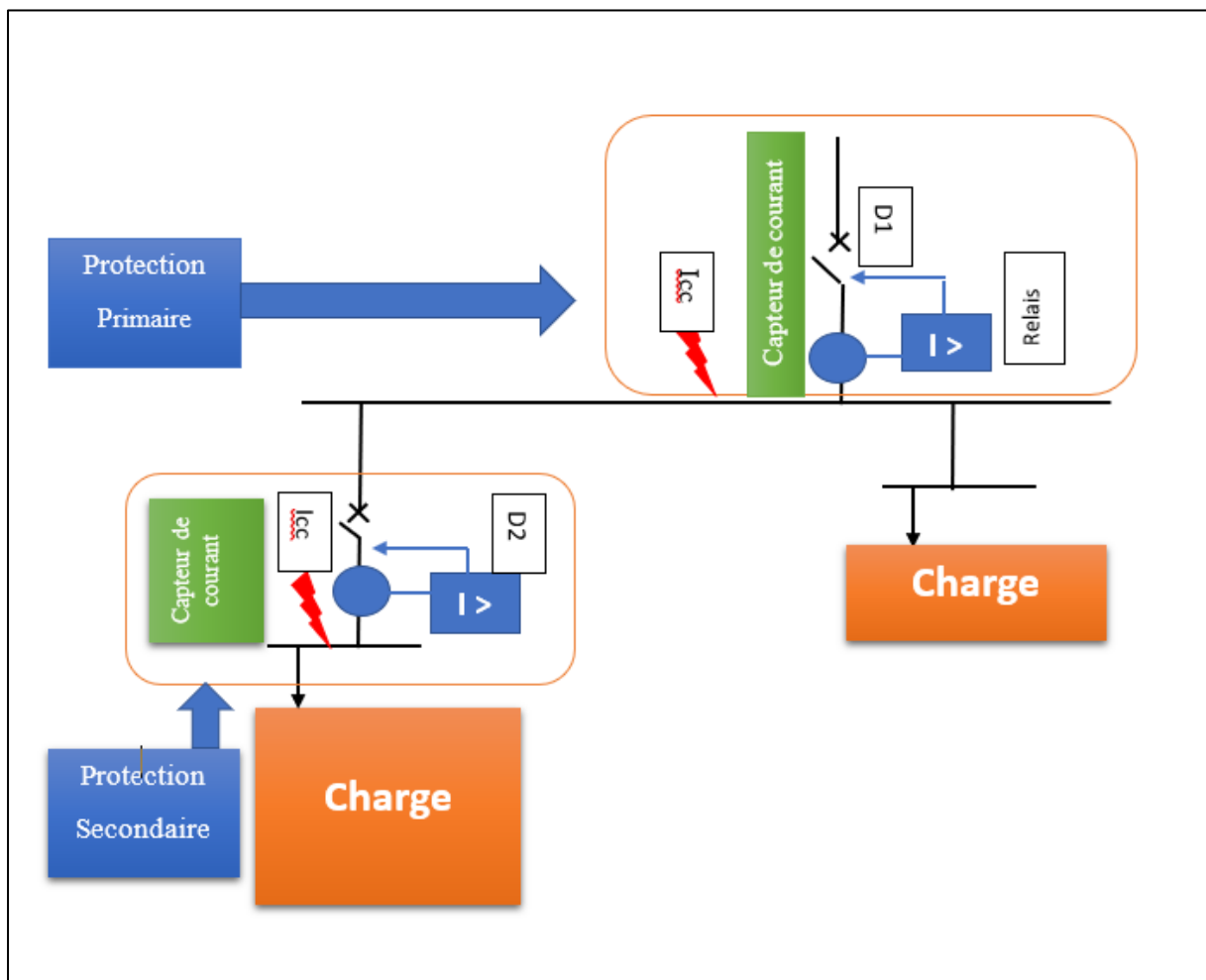


Figure III.15 : Schéma unifilaire du réseau test.

La figure III.16, montre le montage global de l'armoire permettant de réaliser la sélectivité de protection et la commande à distance d'un élément de puissance (contacteur). Le schéma expérimental de la sélectivité à base de l'Arduino est présenté dans la figure III.17, désignation des éléments de l'armoire dédiée à la sélectivité des protections est présentée dans la figure III.18.



Figure III.16 : Armoire générale dédiée à la sélectivité des protections et la commande à distance à base de l'Arduino et de la carte GSM.

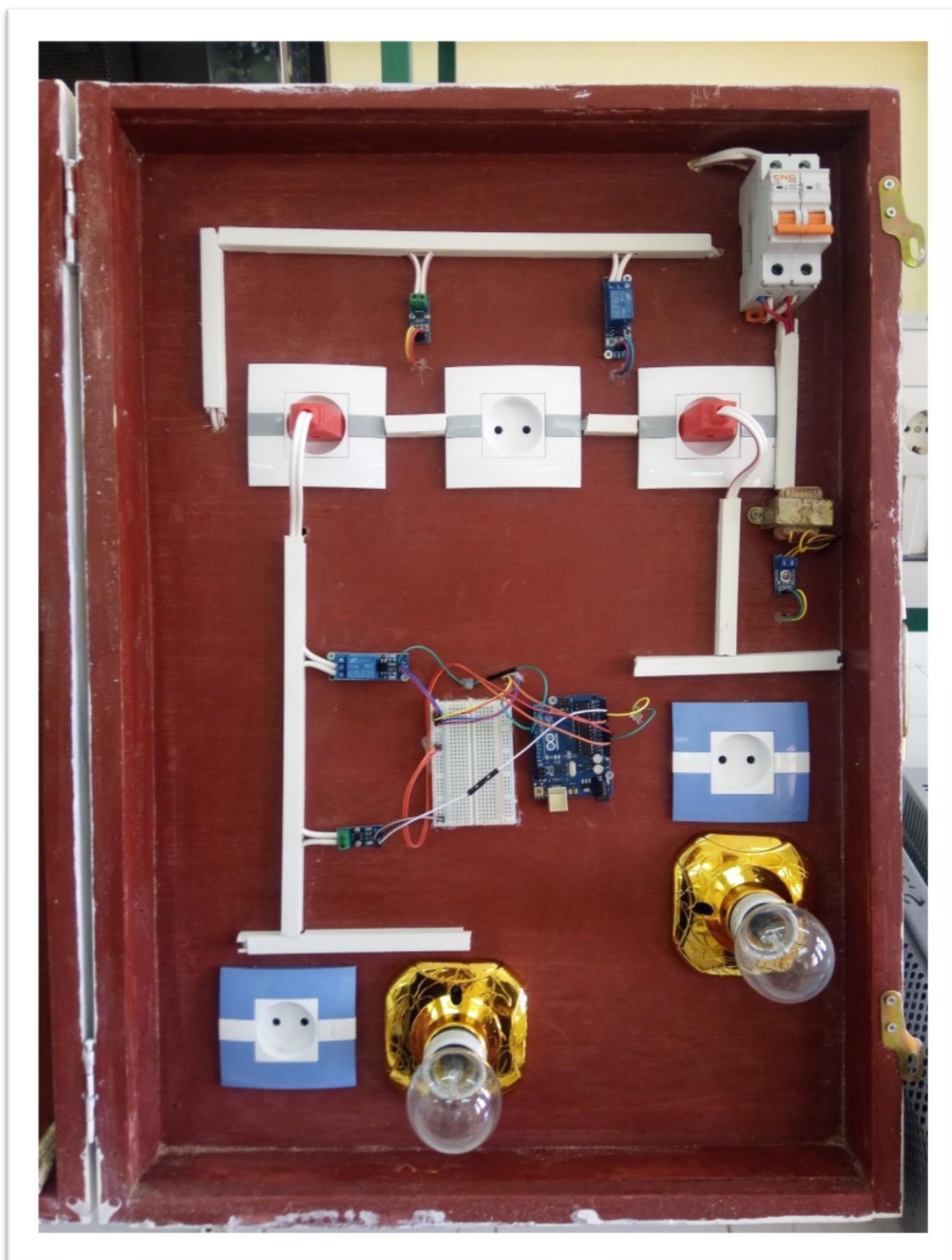


Figure III.17: Schéma expérimental de la sélectivité à base de l'Arduino.

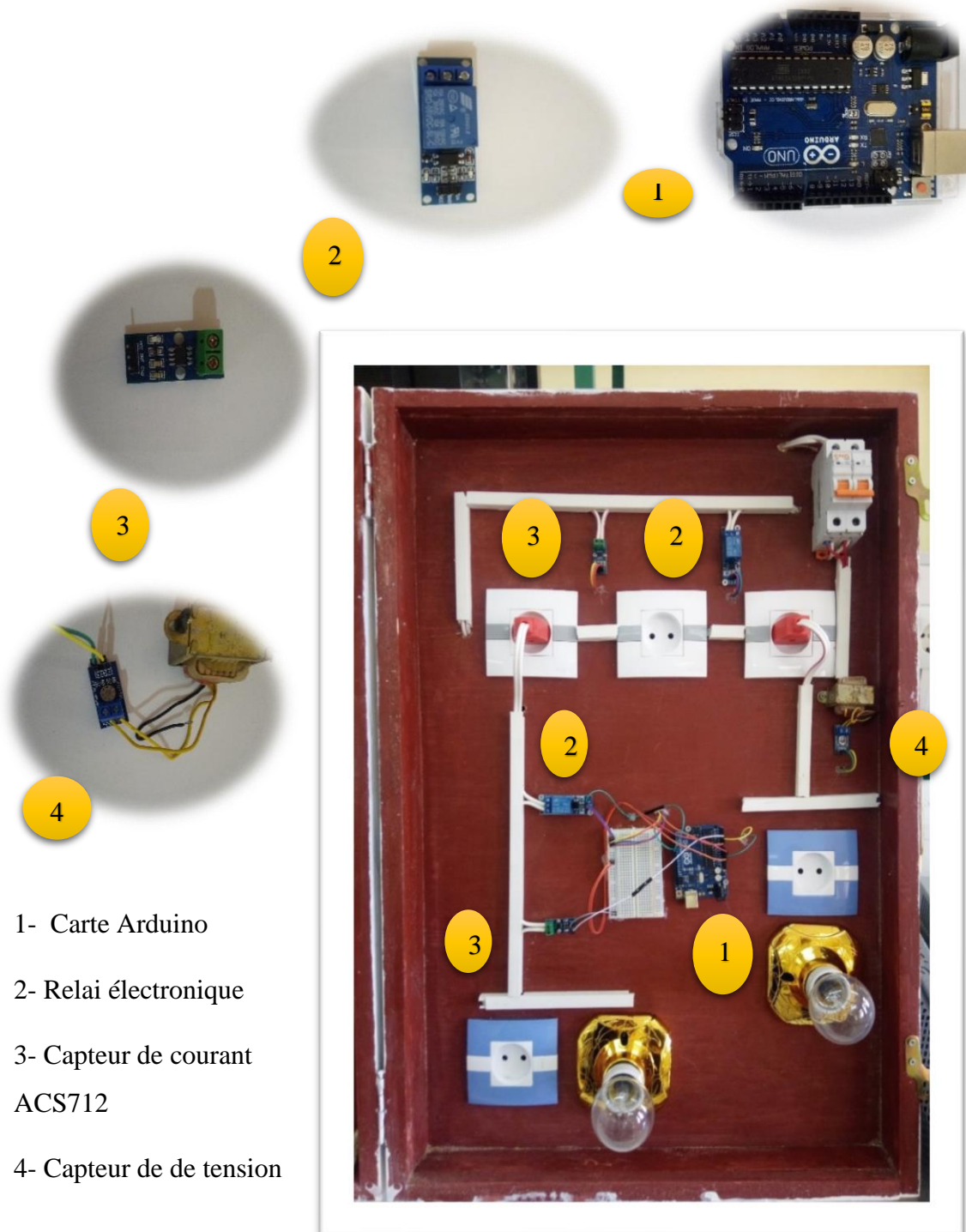


Figure III.18 : Désignation des éléments de l'armoire dédiée à la sélectivité.

B) Test de la sélectivité

Cette première configuration de l'armoire permet d'assurer la sélectivité d'un réseau radiale simple composé de deux zones de protection la figure III.19 représente le schéma unifilaire du réseau test.

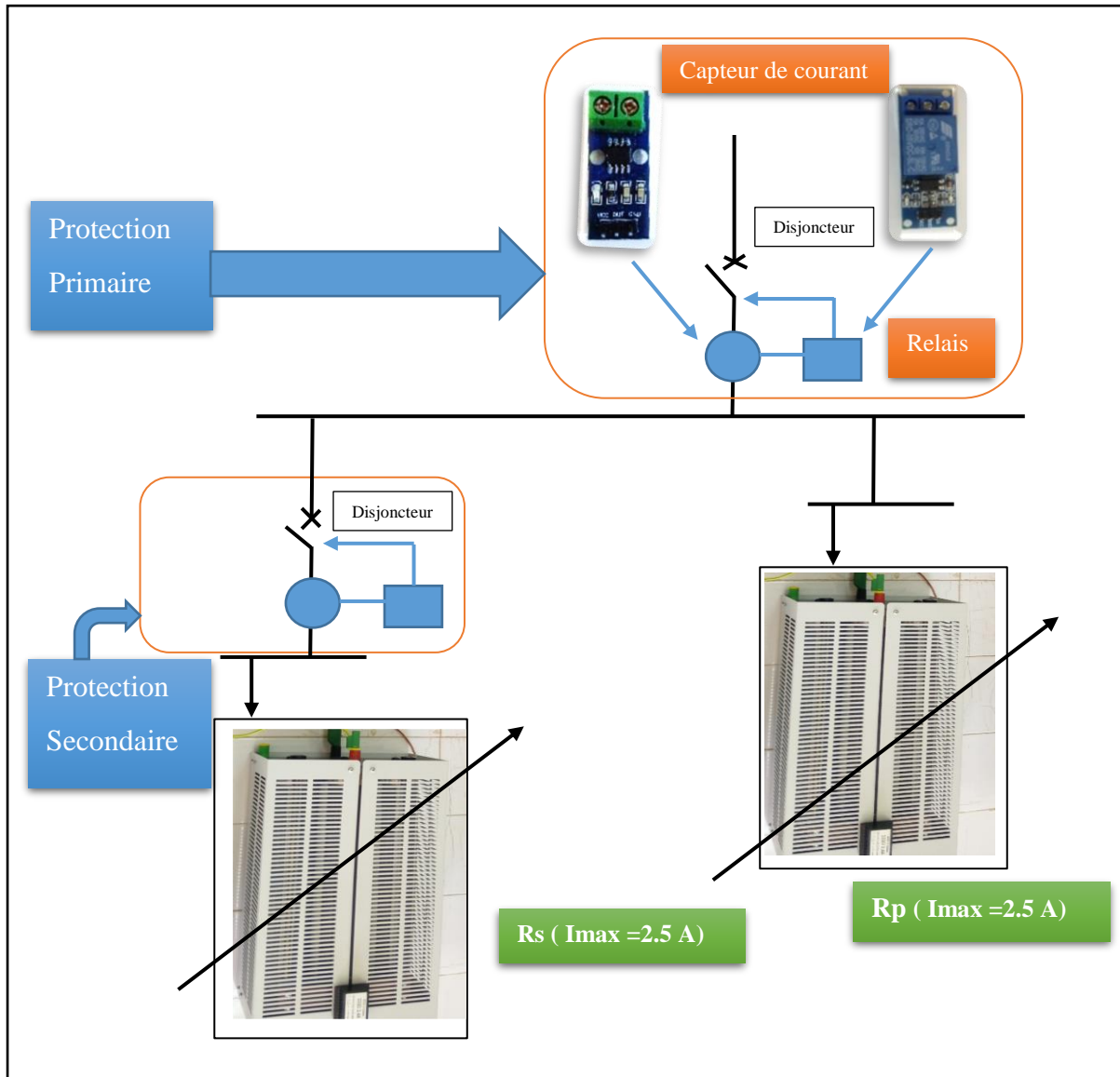


Figure III.19: Schéma unifilaire du réseau test.

R_p : résistance de réglage utilisé pour simuler le déclenchement de la protection primaire en cas de défaillance (non déclenchement) de la protection secondaire

R_s : résistance de réglage permettant d'assuré le déclenchement de la protection secondaire.

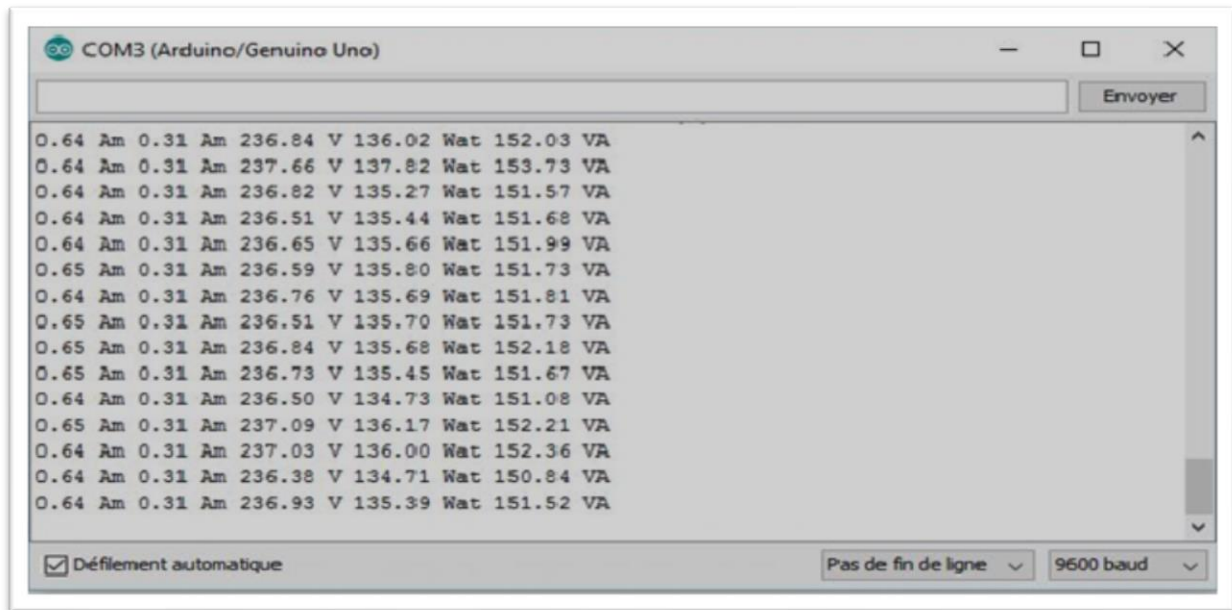


Figure III.20 : Grandeurs électriques mesurées : cas normal.

La figure III.20 montre les grandeurs électriques mesurées dans le cas normal. Le courant mesuré est de 0.65 A, la tension mesurée est de 237 V. Le tableau 2 représente les courants de réglage et les temporisations associées aux deux zones de protection (relais 1 et relais 2).

Tableau 2 : Courants de réglage et les temporisations de chaque zone de protection

Défaut	Courant de réglage (A)	Temporisation (S)
Zone 1	2.8 A	0.5 S
Zone 2	4.5 A	1 S

C) Etapes du programme

Le programme réaliser permet la coordination entre les deux protections (relais 1, relais2) basé sur la valeur de courant et les temporisations nécessaires afin d'assurer l'élimination de défaut et une continuité de service. La figure III.21 page 62 présente une partie du programme de sélectivité (courant et temps) à deux niveaux La principale étape réalisée est résumée comme suite :

- Introduire les paramètres de réglage des relais en se basant sur les charges existantes
- Introduire la temporisation de deux protections en se basant sur le principe suivant :

$$T1 = T2 + \Delta T$$

Tel que : T1 : temporisation de la protection 1 (relais 1) qui est fixé à 1 s.

T2 : temporisation de la deuxième protection (relais2) qui est fixé à 0.5 s.

Δt : intervalle de la sélectivité.

($\Delta t = 0.3$: $\Delta t = 0.2$)

```
Serial.print(Irms2);
Serial.print(" Am "); // Irms
float supplyVoltage = emon1.Vrms;
Serial.print(supplyVoltage );
Serial.print(" V ");
float realPower = emon1.realPower; //extract Real Power into variable
Serial.print(realPower );
Serial.print(" Wat ");
float apparentPower = emon1.apparentPower; //extract Apparent Power into variable
Serial.print( apparentPower);
Serial.println(" VA ");
delay(500);

if (Irms2>2.8 ){digitalWrite(realyS,LOW);delay(500); }//else digitalWrite(realyS,HIGH);delay(500); |

if (Irms>4.5 ){
  delay(1000);digitalWrite(realyP,LOW);delay(500);} //else digitalWrite(realyS,HIGH);delay(500);
```

Figure III.21 : Partie du programme de sélectivité (courant et temps) à deux niveaux.

Test 1 : Défaut dans la zone de protection 2

Pour ce test on a pratiqué un défaut de la deuxième zone de protection par l'action sur la valeur de la résistance de réglage (rhéostat).

Le relais 2 est réglé précédemment dans le programme a une valeur de 2.8 A détecte le défaut généré par la variation de la résistance de réglage, ce qui entraine le déclenchement du relais 2 avec un retard $t_2 = 0.5$ s. Cela permet d'isoler le défaut affectant la deuxième zone et sans affecter la protection de la première zone. Ce qui permet d'assurer une continuité de service du réseau radial. L'état du réseau radial (armoire de distribution) dans le cas normal et en cas de défaut sont présentés dans

les figures III.22-III.23, respectivement. Les grandeurs électriques mesurées dans le cas anormal sont présentées dans la figure III 24.

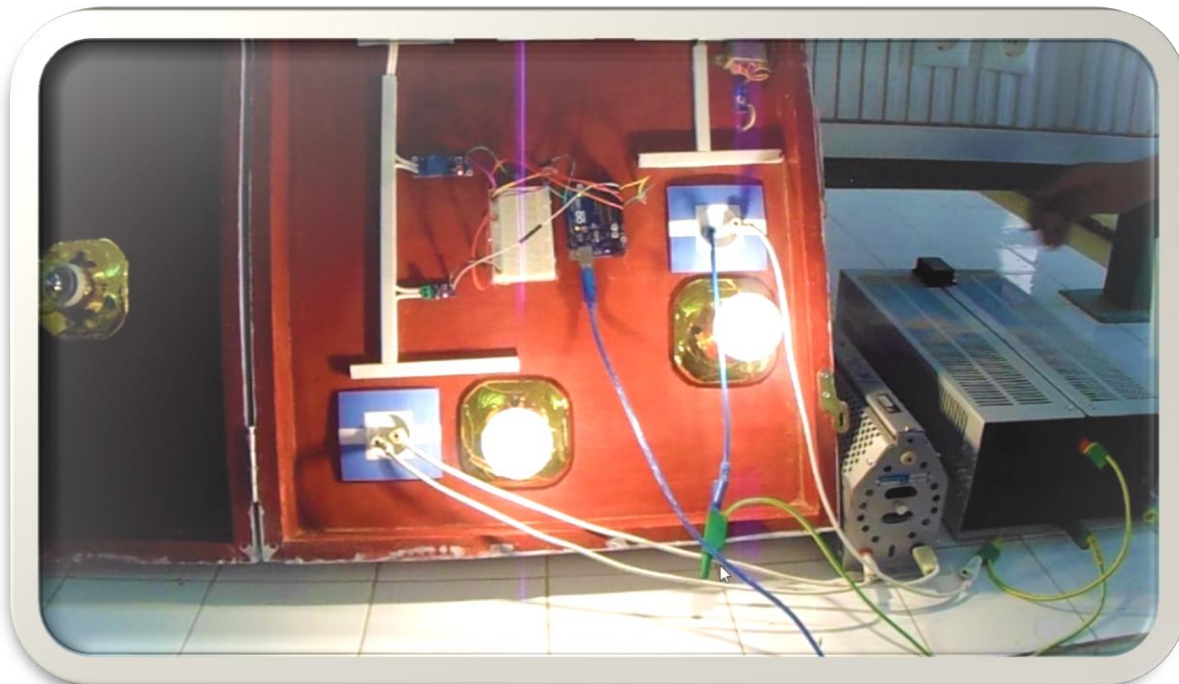


Figure III.22 : Test de l'armoire dans le cas normal.

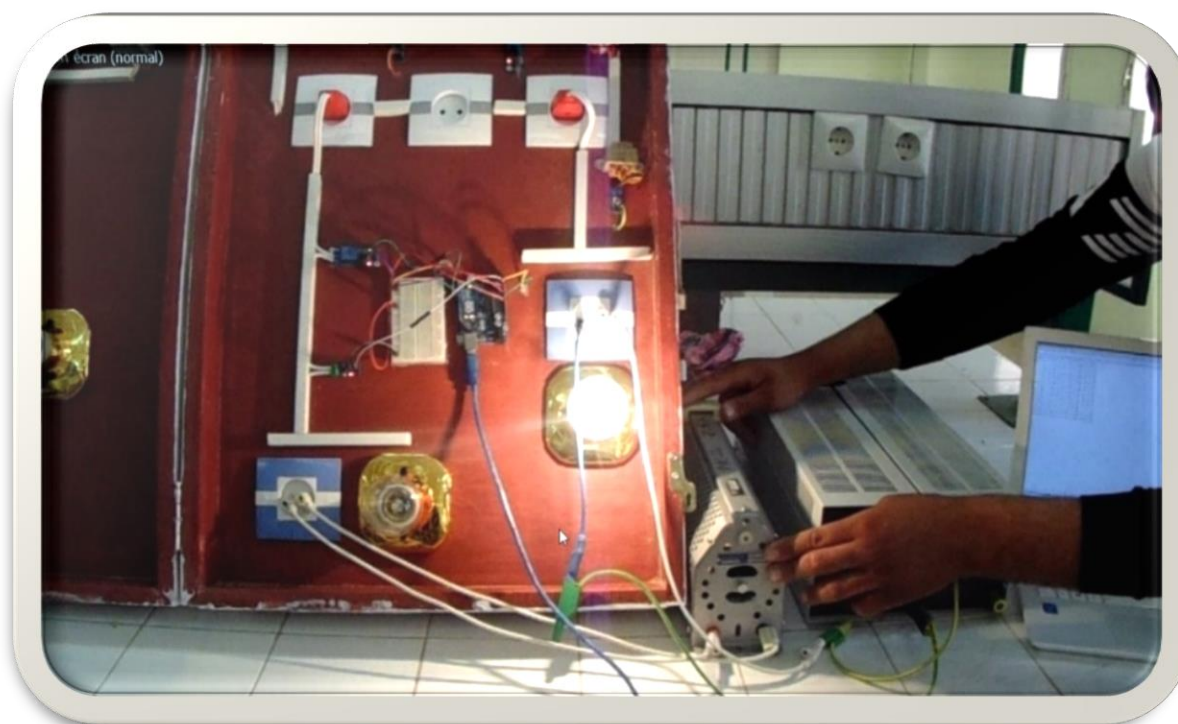


Figure III.23 : Test de l'armoire dans le cas anormal : test 1 : déclenchement de la deuxième protection.

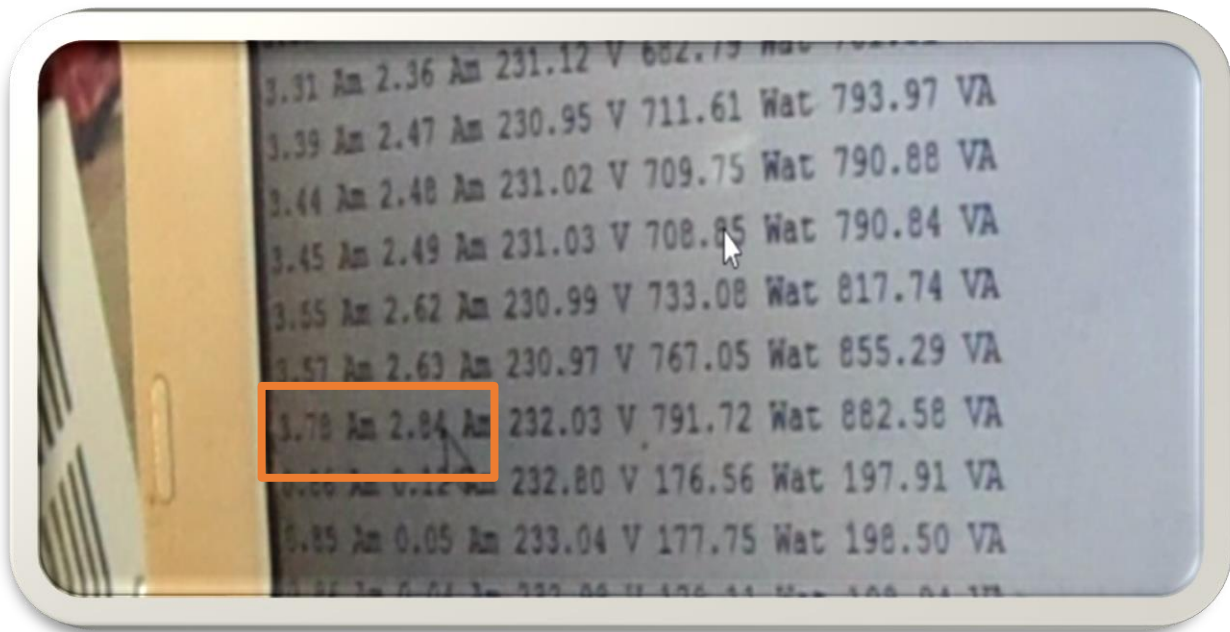


Figure III.24 : Grandeurs électriques mesure : test 1.

Test 2 : Efficacité de la sélectivité entre les deux zones

Afin de démontrer l'importance de la coordination entre les zones de protections et de détecter la défaillance du disjoncteur D2, on a effectué un deuxième test par l'addition d'une nouvelle résistance (rhéostat variable) de réglage permettant de tester l'action de la protection 1 en cas de défaillance de la deuxième protection, cela permet de protéger l'armoire contre les courants excessifs. La variation de la résistance de réglage de la protection primaire à une valeur bien déterminé, entraîne l'augmentation du courant de défaut à une valeur supérieure au seuil de déclenchement de la protection primaire fixée à 4.5. A (voir Figure III 25). Les grandeurs électriques mesurées pour le test 2 sont présentés dans la figure III 26.

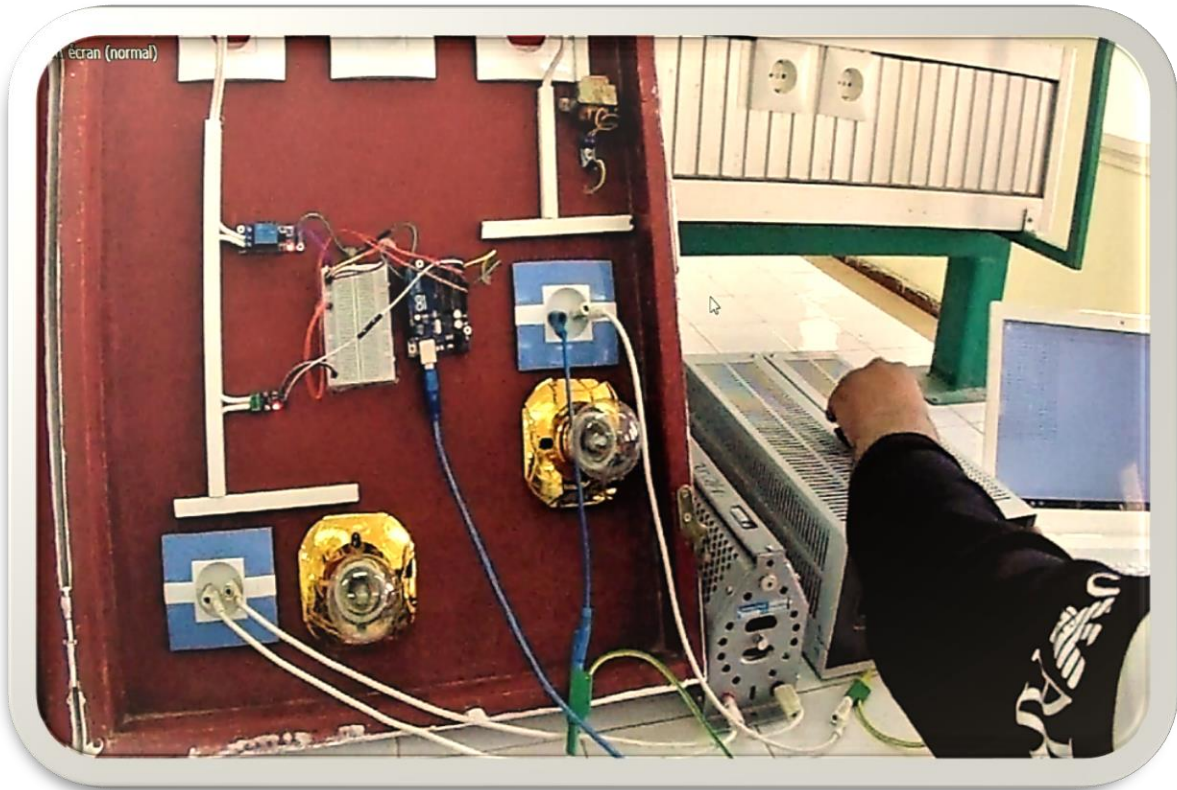


Figure III.25 : installation dans le cas anormal test 2 : déclenchement de la première protection.

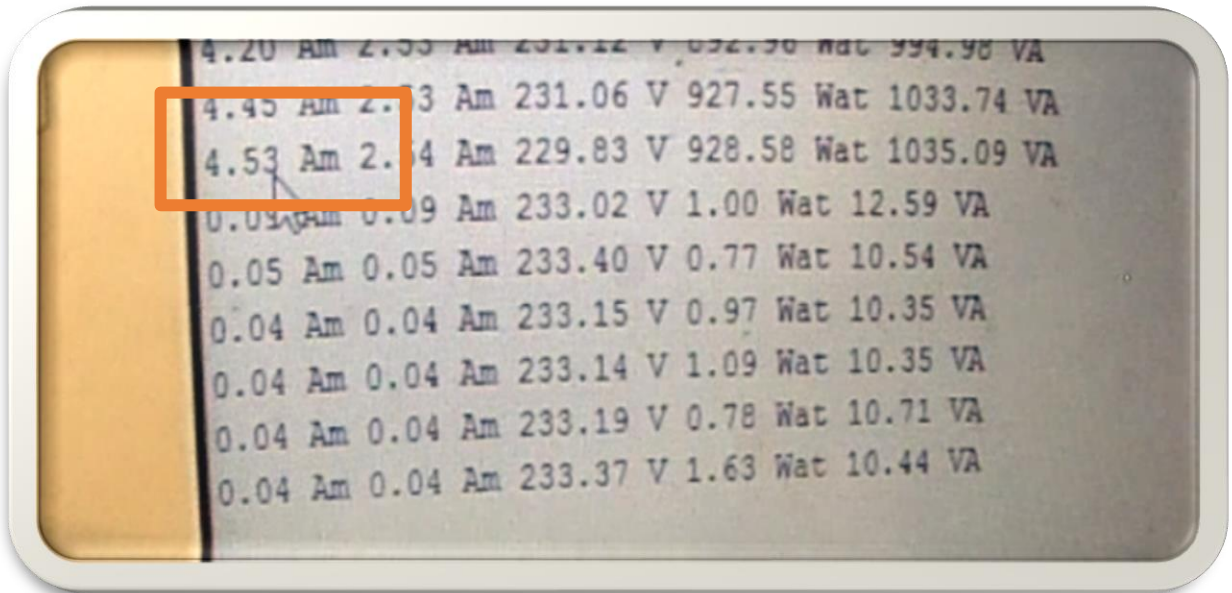


Figure III.26 : grandeurs électriques mesurées : test 2.

III.4 Partie 3 : Commande des relais à distance par Module carte Arduino et carte GSM

Cette partie a pour objective d'appliquer la carte Arduino en association avec la carte GSM pour simuler le principe du système SCADA par la commande à distance des relais. Le schéma expérimental de commande des relais à distance par carte GSM est présenté dans

la Figure III 27. La Figure III 28 présente la désignation des éléments de l'armoire dédié à la simulation du System SCADA.



Figure III.27 : Photo du circuit de commande des relais à distance par carte GSM.



1

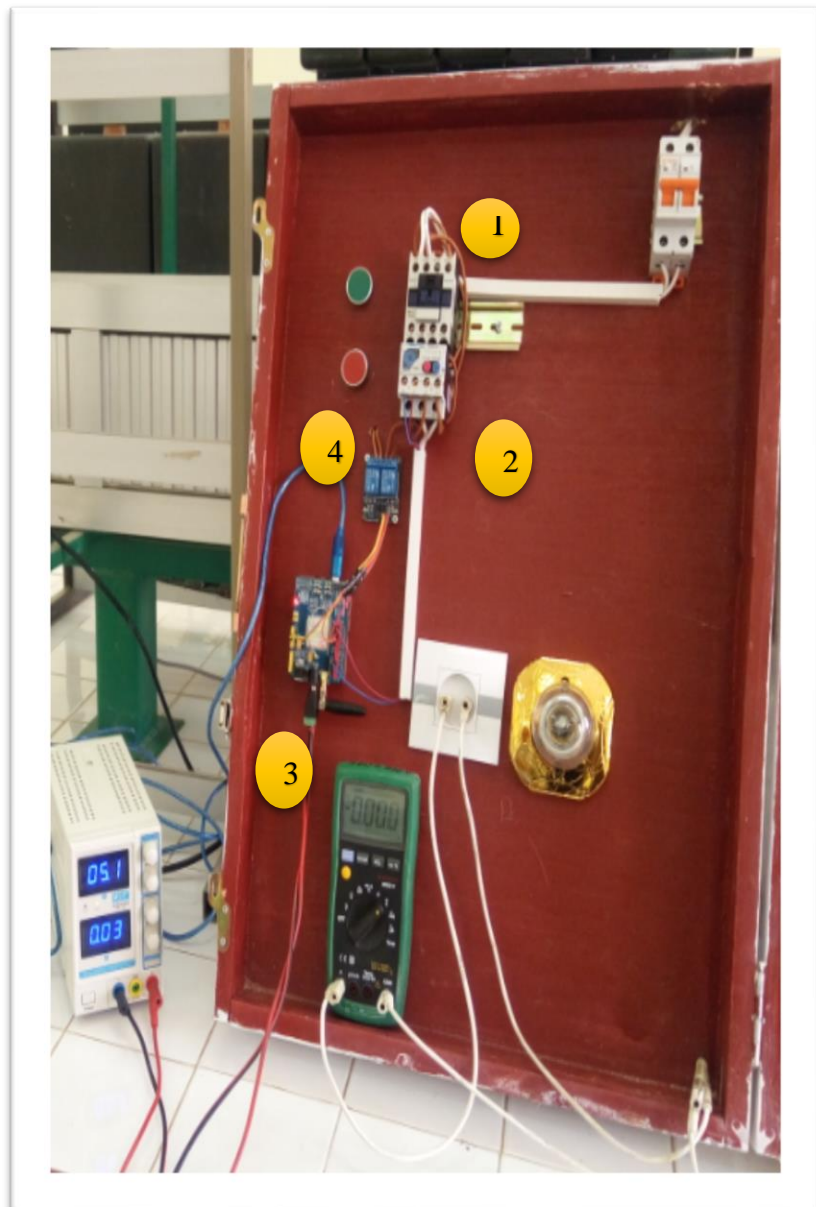
2



3



4



1- Relais thermique (2.5 A)

2- Contacteur (D 12)

3- Caret GSM/GPRS avec
caret Arduino uno

4- Relais électronique
(2 sortie)

Figure III.28 : Désignation des éléments de l'armoire dédiée à la simulation du System SCADA.

III.4.1 Définition de system SCADA

SCADA est l'acronyme de Supervisory Control And Data Acquisition (commande et l'acquisition de données de surveillance). L'idée générale est celle d'un système de télégestion à grande échelle réparti au niveau des mesures et des commandes. Des systèmes SCADA sont employés pour surveiller ou commander le produit chimique ou pour transporter des processus, dans les systèmes municipaux d'approvisionnement en eau, pour commander la génération d'énergie électrique, la transmission et la distribution, les canalisations de gaz et de pétrole, et d'autres protocoles industriels [21].

A) Vue d'ensemble du SCADA

Le SCADA est une partie importante d'un système de gestion de la distribution (DMS). c'est un système réparti qui reçoit les données temps-réel des équipements distants (RTUs) et des autres sources de communications. Il permet à des opérateurs de commander les appareils sur le réseau depuis leurs consoles.

Le SCADA est la première et principale fonction employée par une compagnie d'électricité. cette fonction peut tourner sur différentes plates formes (du PC à un système distribué) selon la taille et les futurs besoins des compagnies [21].

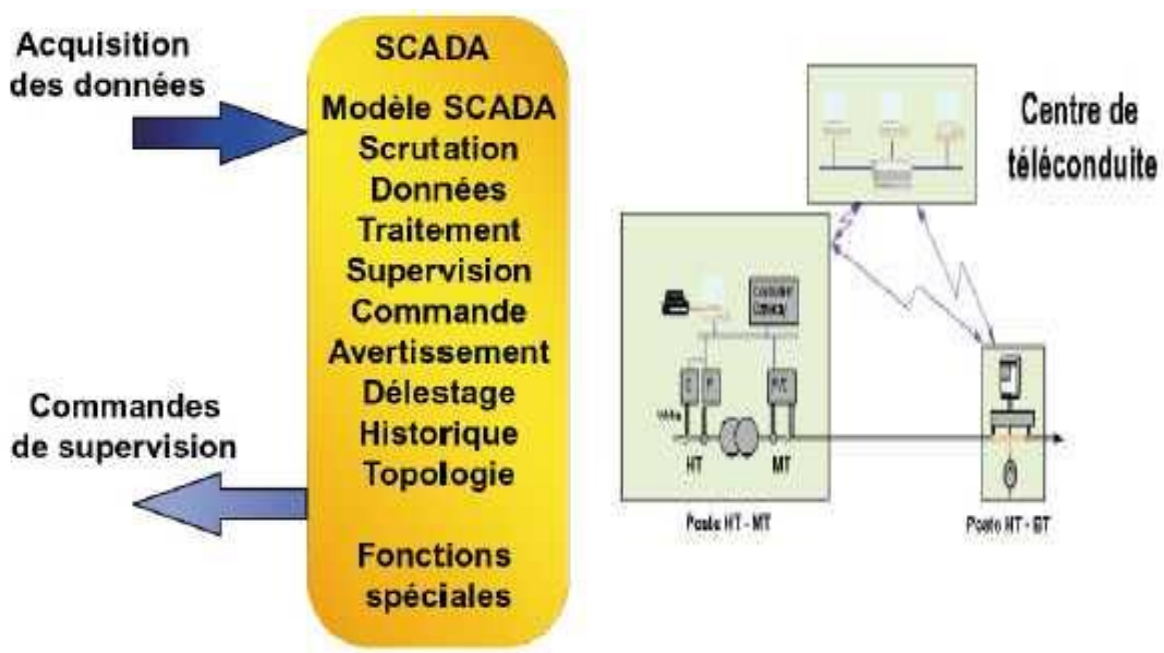


Figure III.29 : Architecture de base d'un système SCADA.

B) Télécommunication

Les systèmes de télécommunications sont utilisés pour transiter les flots de données entre les équipements de terrain et les centres de commande à distance. Ces systèmes de télécommunications sont spécifiés en termes de :

- Protocoles
- Support de communication (radio, RTC, fibre optique, câbles de puissance...) [21].

C) Avantage du système SCADA dans la gestion des réseaux électriques

- Réduction des temps d'interruption.
- Engagement sur la qualité de l'énergie (fréquence, tension,)
- Exploitation et utilisation optimisées du réseau n Gestion optimisée des équipes de terrain
- Réduction des pertes
- Optimisation de la maintenance [21].

III.4.2 Commande des éléments de protection

Cette partie va simuler la fonction d'un système SCADA de type1 qui consiste à la commande à distance d'un contacteur installé dans une armoire électrique par utilisation du module combiné carte Arduino avec une carte GSM. Le montage de principe réalisé se compose des éléments suivants :

- Contacteur
- Relais thermique
- Arduino
- Carte GSM
- Carte relais
- Alimentation externe
- Fils de connexion
- Téléphone portable
- Deux puces, l'une incorporé dans le téléphone et l'autre monté dans la carte GSM
- Deux boutons : marche et arrête
- Charge : une lampe ou un moteur

A) Carte GSM

B) Les cartes Shields Arduino :

Les Shields Arduino sont des cartes qui se branchent sans soudure aux cartes Arduino ou à d'autres Shields Arduino pour augmenter leurs capacités. Ces cartes ont des dimensions sensiblement voisines de la carte Arduino et peuvent s'enficher directement sur les connecteurs de celle-ci.

Les Shields Arduino conservent l'esprit original d'Arduino, facile à produire et à utiliser. Les cartes Arduino, comme les Shields Arduino sont particulièrement adaptées pour le monde des Makers et du DIY (Do It Yourself) [17].

C) Carte Sim 900 GSM/GPRS shield:

Cette platine GSM/GPRS permet d'échanger des données en utilisant les réseaux mobiles tout en gardant une consommation électrique faible. Il est basé sur le SIM900 Quadri bande GSM / GPRS.

Elle est contrôlée via des commandes AT (GSM et SIMCOM améliorée), et entièrement compatible avec Arduino Uno [17]. (Figure III.30)



Figure III.30: Carte Sim 900 GSM/GPRS shield.

L'équipe Arduino vient de lancer la commercialisation de leur nouveau shield GSM. Ce dernier, développé en partenariat avec (Telefónica Digital), va vous permettre d'utiliser une connexion téléphonique mobile pour réaliser de l'échange de données.

Avec GSM Shield, il sera donc possible de relier la carte Arduino à Internet en utilisant une connexion GPRS, et envoyer et recevoir des appels vocaux ou encore des SMS [17].

La Figure III.31 montre le schéma de branchement de module arduino avec carte GSM

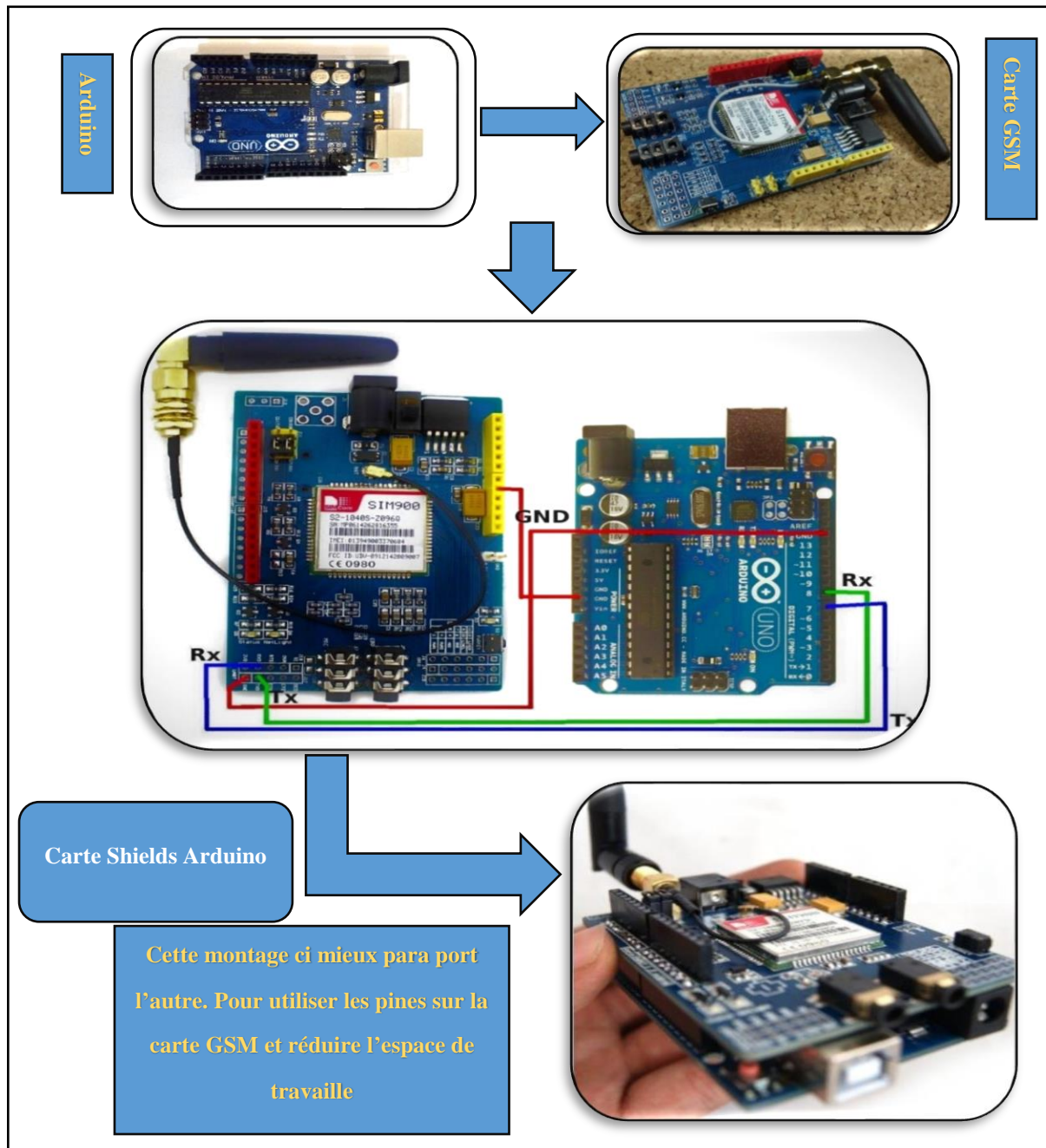


Figure III.31 : schéma de branchement du module arduino avec carte GSM.

III.4.3 Description du montage réalisé

Cette section est consacrée à donner une description des éléments de l'armoire réalisée, permettant ainsi d'effectuer des contrôles à distance. La figure III.32 schématise l'emplacement des éléments de puissance en coordination avec les éléments de commande et de contrôle. Le montage réalisé permet d'effectuer l'ouverture et la fermeture à distance du contacteur principale assurant l'alimentation d'une charge (moteur, lampe). La figure III.33 page 73 montre le fonctionnement de la carte GSM basé sur le protocole de commande permettant ainsi de transmettre l'information d'une manière réversible vers le contacteur. Le programme réalisé permet de simuler d'une manière flexible de transmission de l'information. A cet effet l'opérateur peut recevoir une réponse sur l'état de l'armoire (contacteur +charge) sous forme de message à travers un appel téléphonique (un message).

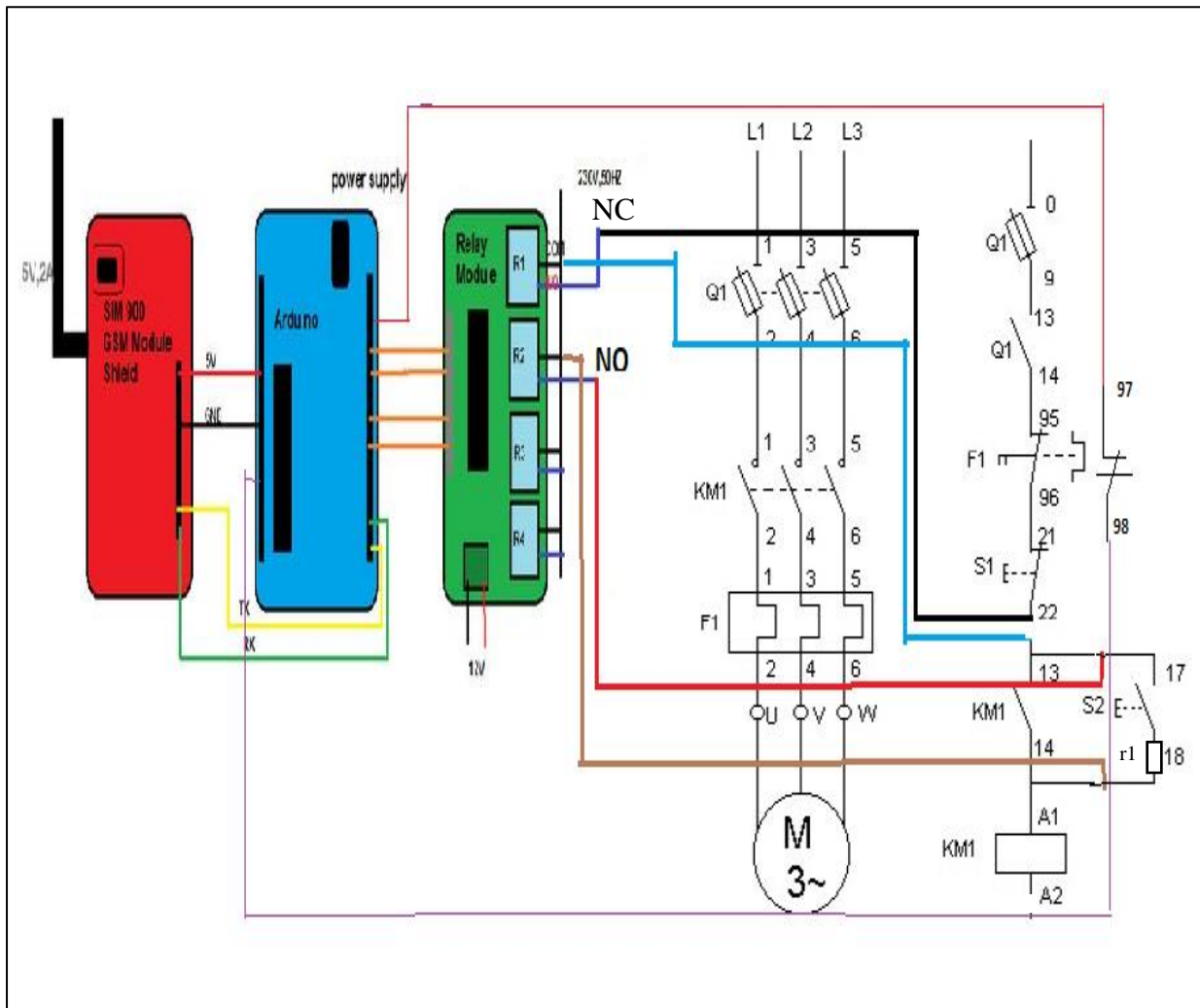


Figure. III.32 : Coordination entre les éléments de commande et de puissance

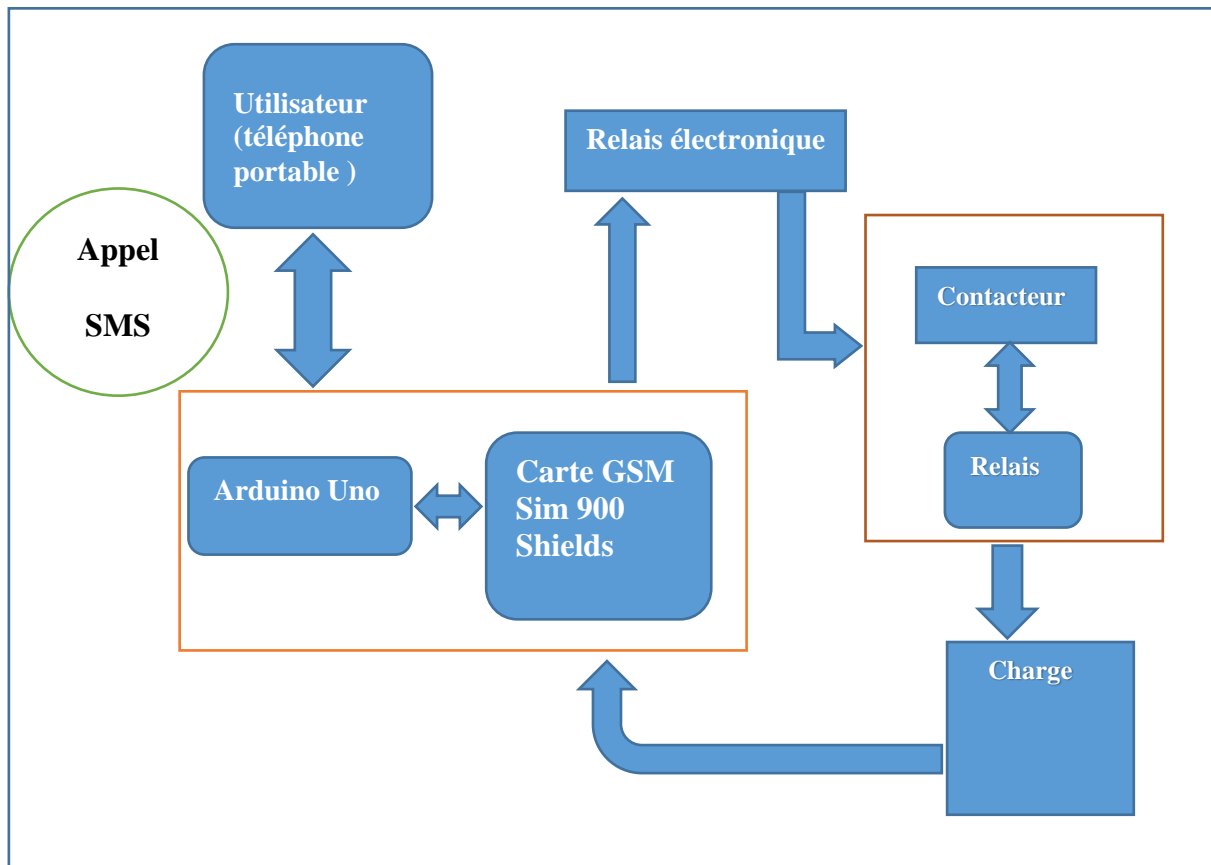


Figure III.33 : Structure de système de communication à base d'Arduino et GSM.

III.4.3.1 Tests de fonctionnement

Afin de valider l'efficacité du montage réalisé à base du module combiné, plusieurs tests ont été effectués :

A) Test1 :

- **Opération 1** : fermeture du contacteur

1. On fait appel le numéro de la puce installée dans la carte GSM
2. La carte GSM reçoit l'appel qui envoie un signal de commande permettant d'actionner le relais électronique (NO en parallèle avec le bouton vert), la bobine KM est alimentée, ce qui provoque la fermeture des contacts de puissance KM dans le circuit de puissance, et du contact auxiliaire KM placé en parallèle avec le bouton-poussoir S2, le moteur démarre. la bobine demeure alimentée par le biais de son contact auxiliaire KM qui joue le rôle de maintien

de l'alimentation de la bobine au travers de la résistance d'économie r1. Les contacts de puissance KM restent alors fermés et le moteur continue de tourner.

3. L'opérateur reçoit un appel téléphonique et un message (SMS) de confirmation de la fermeture du contacteur. La figure III.34 montre le message SMS « start motor », reçu de la carte GSM.

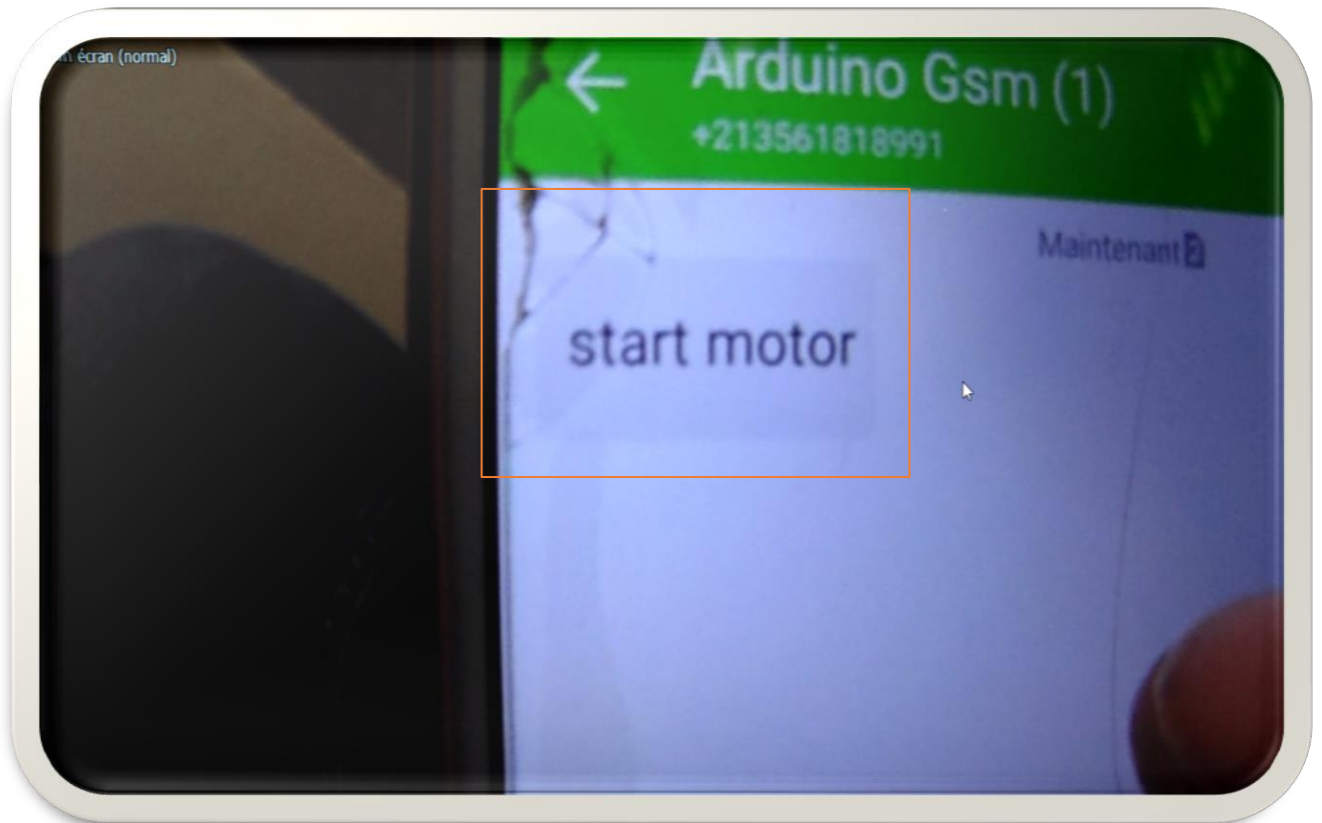


Figure III.34 : Message reçu de la carte GSM : opération fermeture.

- **Opération 2** : ouverture du contacteur

Cette opération est effectuée uniquement si le message reçu nous indique que le contacteur est en état de fermeture. Pour ce cas, on a effectué les mêmes étapes que précédemment. La figure III.35 montre le message reçu de la carte GSM.

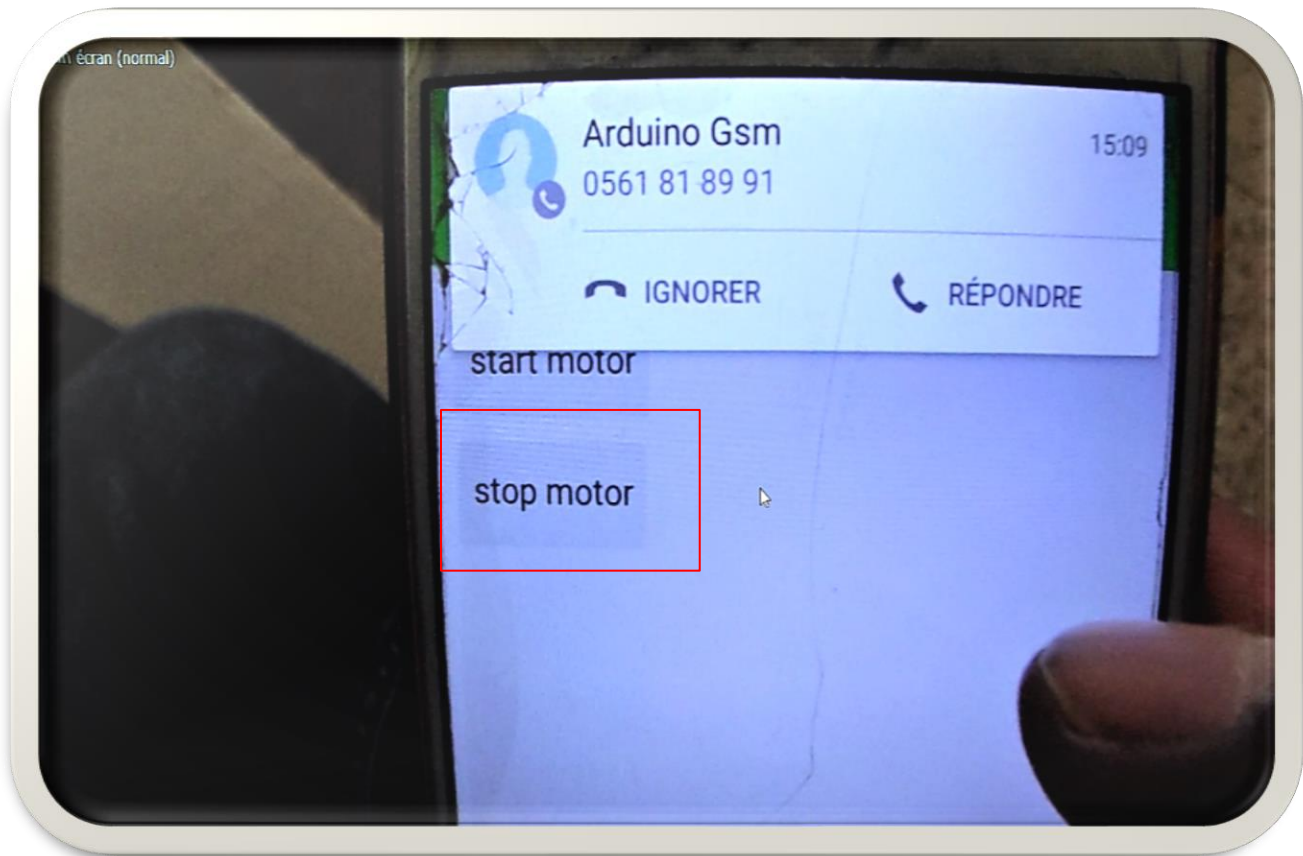


Figure III.35 : Message reçu de la carte GSM : opération ouverture.

B) Test 2 : Surcharge au niveau de la charge

- On a effectué une surcharge au niveau de la charge, le relais thermique détecte la surcharge ce qui provoque la fermeture du contact (97-98), ce dernier provoque le déclenchement du contacteur. La carte GSM envoie un signal sous forme d'un appel téléphonique est un message SMS à l'opérateur sur l'état de la charge « over load detection ».

Remarque :

Avant le défaut contact (95-96) fermer et le contact (97-98) ouvert

Après le défaut contact (95-96) ouvert et le contact (97-98) fermer (le programme envoyer une tension de 5 V pour vérifier les contacts)

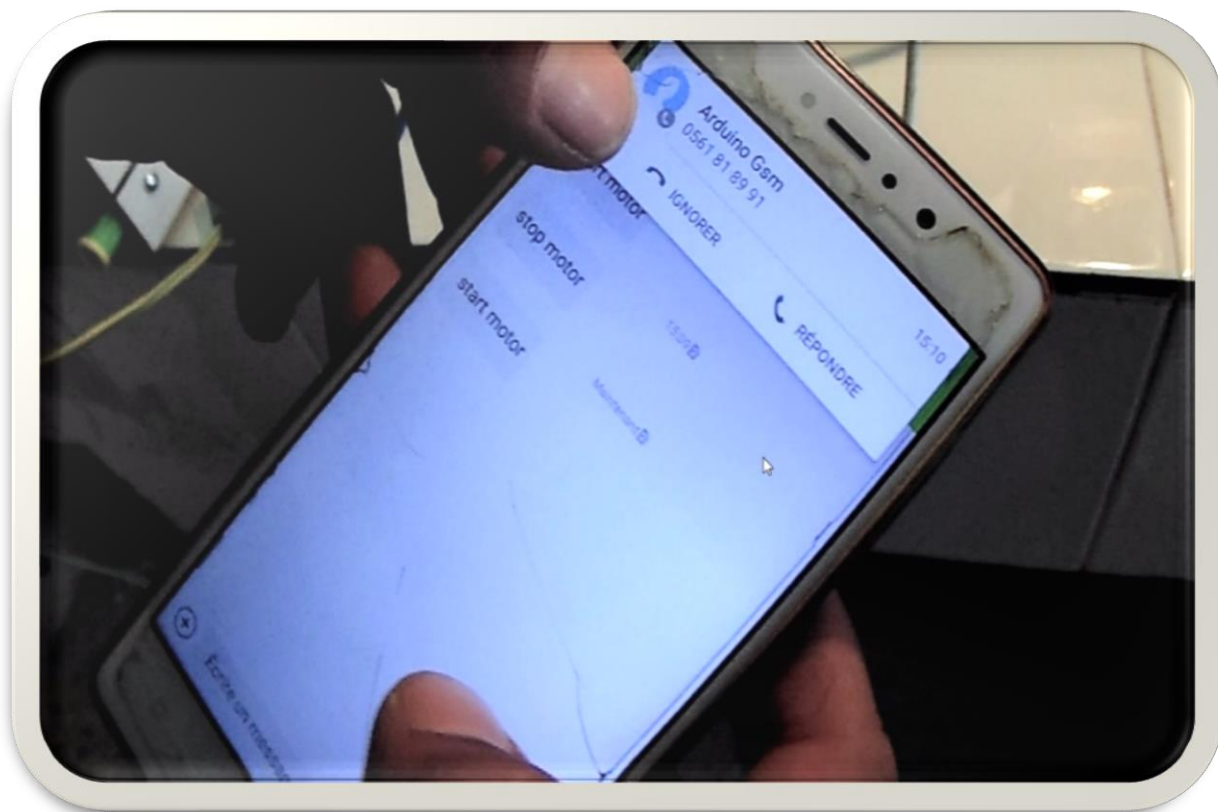


Figure III.36 : Appel téléphonique reçu lors d'un défaut de surcharge.

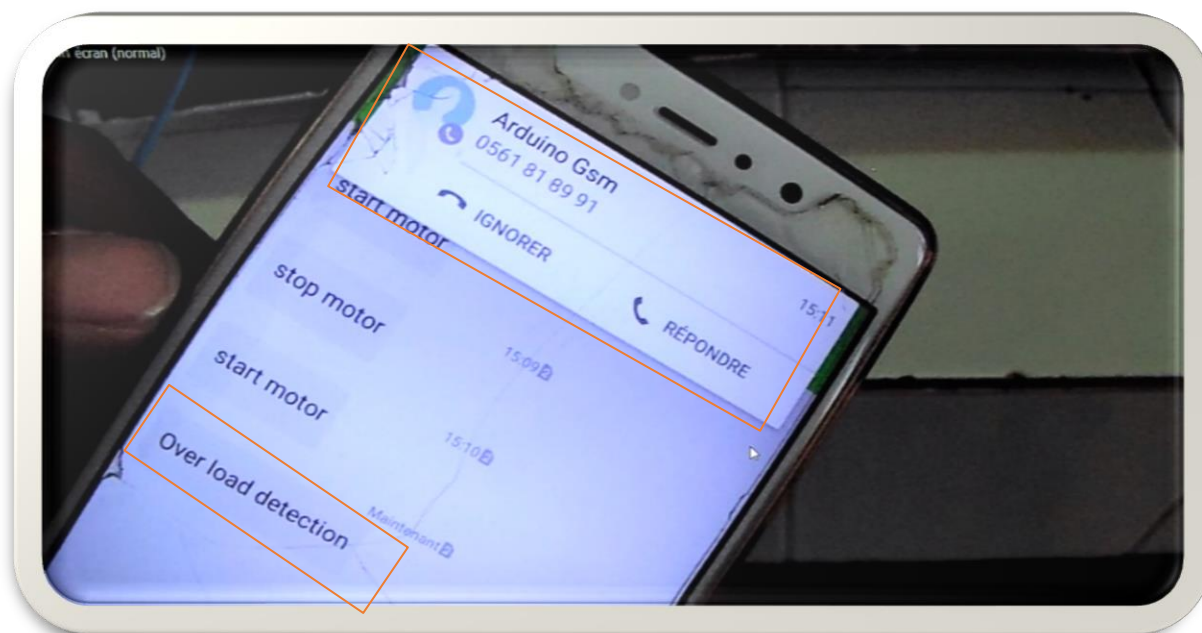


Figure III.37 : Message SMS reçu lors d'un défaut de surcharge.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a exposé le travail expérimental réalisé permettant de démontrer le principe et l'importance de la sélectivité ampèremétrique et chronométrique dans le système de protection, et de simuler le principe de base du système SCADA largement utilisé dans les réseaux modernes par l'adaptation et la coordination entre la carte arduino et une carte GSM.

Conclusion générale

À l'heure actuelle, les systèmes de protection des réseaux électriques jouent un rôle essentiel pour la sécurité et la fiabilité de ces derniers. Tous les réseaux électriques sont concernés, qu'il s'agisse de la production, du transport et de la distribution, des réseaux industriels, commerciaux, ferroviaires ou sous-marins. Pour garantir le bon fonctionnement de ces éléments vitaux du réseau, il y a lieu de procéder à des tests.

L'objectif principal de ce mémoire de fin d'étude consiste à la réalisation d'une armoire électrique didactique basée sur la technologie arduino et GSM permettant ainsi de réaliser deux objectifs : le premier objectif consiste à la simulation pratique de la sélectivité des protections dans un réseau radial, alors que le deuxième objectif est orienté à démontrer le principe du système SCADA par la commande à distance de l'ouverture et la fermeture d'un contacteur ainsi que l'identification à distance de défaut type surcharge.

L'armoire didactique réalisée est testé dans le laboratoire de réseau électrique de l'université de Biskra. Le premier test réalisé permet à l'étudiant d'assimiler l'aspect physique de la sélectivité ampérométrique et chronométrique qui sont deux propriétés essentielles pour assurer la coordination entre les protections permettant de garantir une continuité de service. Tandis que le deuxième test réalisé permet à l'étudiant de comprendre le principe de base du système SCADA, qui est devenu un système performant largement utilisé dans le monde pour la gestion optimal des réseaux électriques. Comme perspectives nous proposons d'élargir ce travail pour traiter les points suivants :

- Considérer les différents défauts qui affectent les réseaux électriques, par exemple, le défaut de déséquilibre, défaut de court-circuit entre phases, etc....
- La carte Arduino peut être interfacée avec le PC de sorte que l'historique des données peut être enregistré pour une utilisation future et envoyé à l'emplacement distant en utilisant la communication sans fil.

Bibliographies

[1] **Sarfaraz Nawaz Syed, S. Radhika, M.N. Sandhya Rani**, Differential Current Protection of Transformer using Arduino with Voice Alert, International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJET), Volume 6 Issue 2 December 2015.

[2] **T.Nandhini, J.Shalini, T. Sai Sangeetha, D.Gnanaprakasam**, Underground Cable Fault Detection using Arduino, International Journal of Engineering Science and Computing, April 2017, Volume 7 Issue No.4

[3] **Ishant Sharma, Tarak Patel, Dhaval Tailor**, Radial Feeder Protection using Arduino, International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering, vol. 3, Issues 7, 2016.

[4] **O. HEMAKESAVULU, M. VENKATAMAHESH, S. SIVAKUMAR, N. VENKATAIAH**, Transformer Protection by Using Arduino with GSM Modem, National Conference on Emerging Trends in Information, Management and Engineering Sciences NC's-TIMES #1.0- 2018.

[5] **Akshay R. Thakare, Sneha S. Yadaw, Pushkar I. Vasekar, Vanita M. Solanke**, Protection and Monitoring of Transformer Using Arduino, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), vol.6, pp. 1050-1056, 2018

[6] **ZELLAGUI Mohamed**. « ÉTUDE DES PROTECTIONS DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES MT (30 & 10 kV) » MÉMOIRE MAGISTÈRE- UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE 2010.

[7] **DAAOU Yassine**. « CLASSIFICATION ET LOCALISATION DES DÉFAUTS DANS LES LIGNES DE TRANSPORT ÀTHT EN TEMPS RÉEL » MÉMOIRE MAGISTÈRE Université des Sciences et de Technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF.2011

[8] **GHODBANE Fathi.** « *PROTECTION DES RESEAUX ELECTRIQUE* » COURS-
ECOLE NATIONALE DES INGENIEURS DE TUNIS.2004/2005.

[9] **BENAIED Norednine.** « Schémas et Appareillages électriques » COURS-Centre
Universitaire de Relizane .2014.

[10] **ZAOUI Med EL. Amine.SEDDIKI Saif Eddine.** « ETUDE ET REALISATION
D'UNE INTERFACE DE MESURE DE LA PRESSION ARTERIELLE » MÉMOIRE DE
MASTER Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen2016.

[11] **KRAMA Abdelbasset. GOUGUI Abdelmoumen.** « Etude et réalisation d'une carte de
contrôle par Arduino via le système Androïde » MÉMOIRE DE MASTER - UNIVERSITE
KASDI MERBAH OUARGLA 2015.

[12] **RITZ HAMBURG.** « Transformateurs de mesure de courant et de tension moyenne
tension » RITZ Instrument Transformers.2014

[13] **RS ISOLSEC** « *TRANSFORMATEUR DE COURANT À PRIMAIRE BOBINÉ - SÉRIE
STANDARD* » fiche technique.

[14] **André SASTRE.** « Protection des réseaux HTA industriels et tertiaires » Cahier
Technique Merlin Gerin n° 174

[15] **H. PUPPIKOFER** « Règles fondamentales pour la protection des alternateurs et des
transformateurs » Article publié par SHF

[16] **BOUDERHEM BRAHIM. SALHI YOUNES.** « Conception et Réalisation d'un
Hacheur Boost MPPT à Base d'une Carte ARDUINO Application PV » MÉMOIRE DE
MASTER - UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2017.

[17] **Chaouche Riadh Chetti Sif Eddine.** « Détection et diagnostic de défauts statorique externe d'un moteur asynchrone triphasé à l'aide de la carte ARDUINO MEGA 2560 » MÉMOIRE DE MASTER - UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2016.

[18] **BOUCHAHDANE Mohamed.** « COORDINATION DE SYSTEMES DE PROTECTION APPLIQUEE AU RESEAU NATIONAL » THESE DOCTORAT EN SCIENCES EN ELECTROTECHNIQUE-UNIVERSITE CONSTANTINE 1 .2013.

[19] **Michel Orlhac** « Le transformateur de courant pour la protection en HT » Cahier Technique Merlin Gerin n° 164. L'université de Stuttgart (RFA).

[20] **BEBOUKHA Abd Errazzak. GHILANI Moussa.** « Modélisation et simulation de la protection différentielle d'un transformateur de puissance » MÉMOIRE DE MASTER - Université d'EL-Oued.2014.

[21] « Power SCADA Expert Design Reference Guide » Cahier Technique. Schneider Electric Version 7.40 .04/2014