

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de
Master Académique
Domaine : **Sciences et Technologie**
Filière : **Electrotechnique**
Spécialité : **Electrotechnique Industriel**

Thème

Etude et Réalisation d'un détecteur de défaut pour réseau aérien

Présenté par :

- SADOUZI ZOUBIDA
- MEDJAHED ABD EL SSALEM EL AFFIF

Encadrant : **SOUAG SLIMENE**

Soutenue le **09 / 07 / 2024** devant le Jury :

Mr BEKOUVHE **Professeur** **Président**

Mme REZINI **Professeur** **Directeur de thèse**

Année : 2023/2024



Dédicaces

Je dédie ce travail à toutes les personnes qui m'ont encouragé de près

Ou de loin pour achever ce mémoire.

- *A mon cher père qui mérite toute l'appréciation et ma très chère mère qui*
- *Tous les membres de la famille Sadoudi et Achir*
- *m'ont toujours encouragé.*
- *Mon frère Farid et mes sœurs Amina, Rachida et Rabhia et ma belle Malek Nour Yakin et Safae et Soundos et Khadija et Abrar.*
- *Et mes neveux Rahimo, Ramzi et Ishak et Haroun et Nouh et Bidjad et Oussaid et Youcef.*
- *Et tous ma famille surtout beau-frère Charef et Mahdjoub.*
- *A ma tante Malika*
- *Mes enseignements de département de génie électrique en particulier Mr SONAG*
- *A mes chers copains et copines, en particulier Ali et Wahiba et Djamila.*
- *A tous mes collègues de la promotion d'Electrotechnique industriel 2024.*





Remerciement

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

Au terme de cette étude, il nous est agréable d'adresser nous vifs remerciements à notre promoteur Mr. SOUAG SLIMANE de nous avoir encadré, accepté de diriger ce travail, et pour son soutien. Nous tenons à témoigner notre reconnaissance à tous ceux qui ont

Contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Nos remerciements anticipés aux membres du jury qui nous ferons

L'honneur de juger notre travail Mr BEKOUCH et Md RESINI et membres du jury de startup et de GISB.



1 RÉSUMÉ :

La croissance rapide des systèmes d'énergie électrique observée au cours des dernières décennies a entraîné une forte augmentation du nombre de lignes de transmission et de distribution en service dans le monde. En outre, la commercialisation et la déréglementation introduites partout dans le monde imposent des exigences de plus en plus restrictives pour assurer une alimentation électrique continue et de bonne qualité, sans augmentation significative du coût de l'énergie fournie. Les défauts électriques sont l'un des facteurs les plus importants qui entravent la fourniture continue d'électricité et de courant. La détection des défauts sur les lignes de transmission constitue une partie majeure et importante de la surveillance et contrôle des systèmes électriques, l'intégration d'un système de protection intelligent va permettre de détecter rapidement voire prévoir l'occurrence d'un défaut, par conséquent éviter les dommages catastrophiques aux biens matériels et humains. Ce projet analyse l'utilisation des réseaux de neurones pour la détection, classification des défauts dans les lignes de transport de l'énergie électrique pour soutenir une nouvelle génération de système de détection à grande vitesse et avec précision. Les défauts entraînent des temps d'arrêt du système, des dommages aux équipements et présentent un risque élevé pour l'intégrité du réseau électrique, et affectent son opérabilité et sa fiabilité. Le réseau de neurones de type feedforward sera utilisé ainsi qu'un algorithme de rétropropagation (back propagation) pour chacune des trois phases pour indiquer l'absence ou la présence du défaut, le classifieur en fonction de ses caractéristiques transitoires et pointer son emplacement sur une ligne de transmission

Mots clés :

Réseaux électriques, réseau de neurones, détection, classification, des défauts, réseau de neurones feedforward, algorithme de backpropagation.

2 ABSTRACT:

The rapid growth of electric power systems over the last few decades has led to a sharp increase in the number of transmission and distribution lines in service around the world. In addition, commercialization and deregulation introduced worldwide are imposing increasingly restrictive requirements to ensure a continuous and good quality power supply without significant increases in the cost of the energy supplied. Electrical faults are one of the most important factors hindering the continuous supply of electricity and power. The detection of faults on transmission lines is a major and important part of the monitoring and control of electrical systems. The integration of an intelligent protection system will allow the rapid detection or even prediction of the occurrence of a fault, thus avoiding catastrophic damage to material and human assets. This project analyzes the use of neural networks for the detection and classification of faults in electrical power transmission lines to support a new generation of high-speed and accurate detection systems. Faults result in system downtime, equipment damage, and present a high risk to the integrity of the power system and affect network operability and reliability. The feedforward neural network will be used as well as a backpropagation algorithm for each of the three phases to indicate the absence or presence of the fault on a transmission line, classify it according to its transient characteristics on the line.

Keywords:

Electrical networks, neural network, detection, classification, fault, feedforward neural network, Back-propagation algorithm

Abréviation utilisées

ANN : Artificial Neural Network

C-C : Court-Circuit

IA : Intelligence Artificielle

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

RMS : Root Mean Square

RNA : Réseau de Neurones Artificiels

AG : phase A et Grond

BG : phase B et Grond

CG : phase C et Grond

ABG : phase A et phase B et Grond

ACG : phase A et phase C et Grond

BCG : phase B et phase C et Grond

ABCG : phase A et phase B et phase C et Grond

AB : phase A et phase B

AC: phase A et phase C

BC: phase B et phase C

ABC: phase A et phase B et phase C

Liste des symbols

A : Ampère

G : Générateur

H : Henry

I: Courant

Ia : Courant à la phase A

Ib : Courant à la phase B

Ic : Courant à la phase C

s : Seconde

S : Source

T : Tension

C/C++ : langage de programmation

Zi : impédance inverse

Zd : impédance directe

Zo : impédance harmonique

RBF : Réseau à fonction de base radiale

BT : basse tension

IoT :

LoRa :

Table des matières

| | |
|--|---|
| RÉSUMÉ : | 3 |
| Mots clés : | 3 |
| 2 ABSTRACT: | 3 |
| Keywords: | 3 |
| Abréviation utilisées | 4 |
| Liste des symbols | 4 |
| Chapitre I | 1 |
| Introduction | 2 |
| 1. L'importance du réseau électrique aérien : | 2 |
| 2. LIGNES ELECTRIQUES AERIENNES: | 2 |
| 3. L'état de l'art de la détection | 3 |
| 3.1. Réseaux de petite taille (résidentiels et commerciaux)..... | 3 |
| 3.2. Réseaux de taille moyenne (quartiers, petites villes) | 3 |
| 3.3. Réseaux de grande taille (villes, régions étendues) | 3 |
| 4. Les défauts : [4] | 3 |
| 4.1. Origine des défauts : [5] | 4 |
| • Electriques | 4 |
| • Atmosphériques | 4 |
| • Mécaniques | 4 |
| • Humaines | 4 |
| 4.2. La nature des défauts [6] | 4 |
| 4.3. Les différents Défauts dans les réseaux électriques aériens | 4 |
| 4.3.1. Court-circuit | 4 |
| <i>b-</i> Types de court-circuit | 5 |
| 5. Court-circuit biphasé terre [7] | 5 |
| a. Durée du court-circuit..... | 6 |
| b. Intensité du courant de court- circuit | 6 |
| c. La valeur efficace du courant de court-circuit maximal : Elle détermine : | 6 |
| d. La valeur crête du courant de court-circuit maximal..... | 6 |
| e. Le courant de court-circuit minimal | 7 |

| | |
|--|-----------|
| f. Etablissement des courants de court-circuit..... | 7 |
| g. Cause du court-circuit :..... | 7 |
| h. Conséquences du court-circuit :..... | 7 |
| 6. Les surintensités : | 7 |
| 6.1. Surcharges normales | 8 |
| 6.2. Surcharges anormales | 8 |
| 7. Surcharge : [7]..... | 8 |
| 7.1. Qu'est-ce qui provoque une surcharge électrique ?..... | 8 |
| 7.2. La solution : | 8 |
| 7.3. Cause des surcharges : [7]..... | 8 |
| 7.4. Les conséquences des surcharges | 8 |
| 8. Défauts d'isolement..... | 8 |
| 9. Défauts d'arc électrique | 8 |
| 10. Coupure de ligne :..... | 8 |
| 11. Déséquilibres :[7] | 8 |
| 11.1. Les causes des déséquilibres..... | 8 |
| 11.2. Les conséquences des déséquilibres :[7] | 9 |
| 12. Prévention et gestion du défaut | 9 |
| Chapitre II :..... | 10 |
| Les méthodes de détection des défauts dans les réseaux électriques..... | 10 |
| 1. INTRODUCTION :..... | 11 |
| 2. La détection des défauts :..... | 11 |
| 3. Classification des défauts :..... | 12 |
| 4. Les différentes méthodes de détection des défauts :..... | 12 |
| 4.1. Courant de phase :..... | 12 |
| 4.2. Tension neutre terre :..... | 12 |
| 4.3. Tension résiduelle et courant résiduel : | 12 |
| 4.4. La méthode wattmétrique traditionnelle : | 12 |
| 4.5. Exploitation des harmoniques :..... | 12 |
| 4.6. Relais pour les défauts transitoires | 13 |
| 4.7. La détection de défaut à l'aide de réseau de neurones artificiels :..... | 13 |
| a. Historique..... | 13 |
| b. Réseaux de neurones artificiels : | 14 |
| c. Neurones :..... | 14 |
| d. Les neurones biologiques : | 14 |

| | |
|--|-----------|
| e. Caractéristiques :..... | 14 |
| f. Modélisation d'un RNA : | 15 |
| g. Architecture du réseau de neurone : | 15 |
| h. Réseau de neurones monocouches Perceptron : | 16 |
| i. Réseaux de neurones multicouches : | 16 |
| j. Apprentissage des réseaux de neurones : | 16 |
| k. Le type d'apprentissage des réseaux de neurones : | 16 |
| l. Règle d'apprentissage : | 17 |
| m. Algorithme d'apprentissage : | 18 |
| n. Perceptron | 18 |
| o. Fonction de base radiale (RBF)..... | 19 |
| p. Les avantages et les inconvénients de réseaux de neurone : | 20 |
| Conclusion : | 20 |
| Chapitre III | 21 |
| I. Introduction : | 22 |
| II. Partie de la Mesure : | 22 |
| 1. Expressif et l'ESP32 | 22 |
| 1.1. Brochage de l'ESP32 :[20] | 23 |
| 1.2. ESP32 WROOM32 PIN [20]..... | 24 |
| 1.3. Les entrées et les sorties de la carte ESP32 WROOM32 : | 25 |
| 1.4. Caractéristiques de l'ESP32 :[21]..... | 25 |
| 1.5. La liste des composants de la carte ESP32 : [20] | 26 |
| 2. Le capteur de courant SCT-013 : | 26 |
| 2.1. Les caractéristiques du capteur de courant sct-013 : | 26 |
| 3. Le capteur de tension ZMPT101B : | 27 |
| 2.1. Caractéristiques | 27 |
| III. Partie de la communication :[22] | 27 |
| 1. Qu'est-ce que l'IoT ? | 27 |
| 2. Protocole de la communication LoRa :[22, 23] | 27 |
| 2.1. Réseau Lora : de quoi parle-t-on ? | 28 |
| 2.2. Caractéristiques : | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 3. Enregistrement de données ESP32 dans Google Sheets (à l'aide d'un compte de service Google) :[24] | 28 |
| 3.1. Prérequis..... | 29 |
| 3.2. Compte Google..... | 29 |
| 3.3. Compte de service Google | 29 |
| 3.4. Créer un projet Google | 29 |
| 3.5. Créer un compte de service..... | 29 |
| 3.6. Installation de la bibliothèque cliente Arduino Google Sheet pour les appareils Arduino : 33 | |
| 4. Mesure de la tension et du courant RMS à l'aide de l'ESP32 | 40 |
| 4.6. Capteurs de tension/courant et conditionnement du signal : | 40 |
| 4.7. Schéma de moyenne mobile pour les calculs RMS prenant en compte les sommations précédentes d'échantillons numériques :[25] | 40 |
| 4.8. Schéma de moyenne mobile pour le calcul RMS | 42 |
| 4.9. Convertisseur analogique-numérique (ADC) ESP32 | 42 |
| IV. Partie de traitement de données | 42 |
| Conclusion | 59 |
| Test et résultat | 60 |
| Chapitre IV | 60 |
| I. Introduction : | 61 |
| 1. Signal triphasé : | 61 |
| 2. Fonctionnement général :..... | 61 |
| 3. Prototype : | 62 |
| 4. Mesure des tension et courants des phases : | 63 |
| 3 II. Tester le system de détection et classification : | 65 |
| Défauts monophasé à la terre : | 65 |
| Défaut double phase : | 66 |
| Défaut double phase à la terre : | 67 |
| Défaut triphasé :..... | 68 |
| Conclusion | 68 |
| Conclusion général | 69 |

La liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure I-1: Réseau électrique aérien | 2 |
| Figure I-2: Lignes électriques aériennes | 3 |
| Figure I-3: Court circuit biphasé isolé | 5 |
| Figure I-4: Différents types du court-circuit. | 16 |
| Figure I- 5 : Schéma équivalent du réseau amont au court-circuit | 17 |
| Figure II-1 : Modèle d'un neurone artificiel | 14 |
| Figure II-2: Correspondance neurone biologique/neurone artificiel | 15 |
| Figure II-3: Le réseau monocouche. | 16 |
| Figure II- 4 : Schéma bloc de l'apprentissage supervisé d'un réseau de neurone | 17 |
| Figure II- 5 : Schéma bloc de l'apprentissage non supervisé d'un réseau de neurone..... | 17 |
| Figure II- 6 : Perceptron à une seule couche | 18 |
| Figure II- 7 : Perceptron Multicouche | 19 |
| Figure II- 8 : Réseaux de neurones à base radiale (RBF) | 19 |
| Figure III- 1:Créer un compte de service..... | 22 |
| Figure III- 2:Schéma globale du système de la conception | 22 |
| Figure III- 3:La carte L'esp32 | 22 |
| Figure III- 4:Logo d'expressif | 23 |
| Figure III- 5:L'ESP32..... | 23 |
| Figure III- 6:Brochage de l'ESP32 | 26 |
| Figure III- 7:Capteur de courant SCT-013 | 30 |
| Figure III- 8:Capteur de tension | 27 |
| Figure III-9: Le protocole IoT | 27 |
| Figure III- 10 :Module de LoRa | 28 |
| Figure III- 11:Système de communication entre les différents capteurs | 29 |
| Figure III-12:Google sheets..... | 29 |
| Figure III-13:Créer un compte de service..... | 29 |
| Figure III-14:Créer un compte google sheets | 30 |
| Figure III-15:Créer un compte de service..... | 30 |
| Figure III-16:Créer un compte de service..... | 30 |
| Figure III-17:Créer un compte de service..... | 30 |
| Figure III-18:Créer un compte de service..... | 30 |

| | |
|---|----|
| Figure III-19:Créer un compte de service..... | 30 |
| Figure III-22:Créer un compte de service..... | 30 |
| Figure III-21:Créer un compte de service..... | 33 |
| Figure III-22:Créer un compte de service..... | 30 |
| Figure III-23:Créer un compte de service..... | 30 |
| Figure III-24:Créer un compte de service..... | 30 |
| Figure III-25:Créer un compte de service..... | 30 |
| Figure III-26:RMS voltage calculation..... | 30 |
| Figure III-27:proposed RMS calculation..... | 30 |
| Figure III-28:Modèle des réseaux électrique avec jeux de barres | 43 |
| Figure III-29:Formes d'ondes de tension et de courant du système étudié sans défaut | 44 |
| Figure III-30 :Formes d'ondes de tension et de courant pour un défaut entre la phase A et terre | 45 |
| Figure III-31:Formes d'ondes de tension et de courant pour un défaut entre la phase A et B et C | 46 |
| Figure III-32 : Structure NN..... | 47 |
| Figure III-33:Réseau neuronal de détection de défaut | 47 |
| Figure III-34:Formation à la detection des pannes | 49 |
| Figure III-35:performances du reseau de detection | 51 |
| Figure III-36:Ajustement de la régulation pour la détection ANN..... | 53 |
| Figure III-37:Processus de formation pour la classification ANN | 54 |
| Figure III-28: Performances du reseau de classifictaion | 55 |
| Figure III-39:Ajustement de la regression pour la classification ANN..... | 56 |
| Figure III-40:Schema global de reseau Nourenal | 57 |
| Figure III-41: B-C défaut..... | 57 |
| Figure III-42: A-G défaut..... | 58 |
| Figure III-43: B-C-G défaut..... | 58 |
| Figure IV-1:Signale biphasé | 30 |
| Figure IV-2:Circuit fonctionne à un frequence fixe | 61 |
| Figure IV-3:Montage pour un ciurcuit déphaseur | 62 |
| Figure IV-4:Signale des deux phases Aet B | 62 |
| Figure IV-5:Signale de phase C..... | 62 |
| Figure IV-6:Schema de cablage pour mesurer les courants et les tensions RMS | 63 |
| Figure IV-7 :Capteur de courant brancher avec une phase..... | 63 |
| Figure IV-8:Mesure de courant alternative..... | 64 |
| Figure IV-9 : Les valeurs efficaces des courant et tension enregistrer dans le cloud..... | 65 |

| | |
|---|----|
| Figure IV-10 : les valeurs mesures des 3phases dans le matlab Simulink | 30 |
| Figure IV-11:les mesures obtient de la court-circuit phase A terre | 65 |
| Figure IV-12:La détection et la classification de défaut phase a-terre | 66 |
| Figure IV-13:Les mesures obtient de la court-circuit phase A phase B | 66 |
| Figure IV-14:la detection et la classifictaion de défaut phase A | 67 |
| Figure IV-15: Les mesures obtient de la court-circuit phase (A-B) et la terre | 67 |
| Figure IV-16: la detection et la classifictaion de défaut phases (A-B) et la terre..... | 67 |
| Figure IV-17: Les mesures obtient de la court-circuit phases (A-B-C) et la terre..... | 68 |
| Figure IV-18: la detection et la classifictaion de défaut phases (A-B-C) et la terre..... | 68 |

La liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau II-1 : Analogie entre le neurone biologique et le neurone artificiel..... | 15 |
| Tableau II-2 : Description de la PIN..... | 24 |
| Tableau II-3 : La liste des composants de la carte ESP32..... | 26 |
| Tableau III-1 :Entrées et sorties de detection de défaut. | 15 |
| Tableau III-2 :valeurs d'entrée du réseau neuronal pour différents cas de défaut..... | 51 |
| Tableau III-3 :Entrées et sorties cible pour le reseau de neurones de classifiction. | 52 |

Introduction General

La croissance rapide des systèmes d'énergie électrique observée au cours des dernières décennies a entraîné une forte augmentation du nombre de lignes de distribution en service dans le monde. En outre, la commercialisation et la déréglementation introduites partout dans le monde imposent des exigences de plus en plus restrictives pour assurer une alimentation électrique continue et de bonne qualité, sans augmentation significative du coût de l'énergie fournie.

A travers cette étude nous allons analyser des méthodes précises qui permettent, grâce à une bonne détection de réduire le temps et le coût de réparation et les différentes méthodes, mettons en lumière leurs intérêt et inconvénients avec présentation du matériel existant pouvant répondre aux différents besoins.

La détection et la localisation de défauts sont dès lors une composante de plus importante pour cette gestion. Dans les réseaux électriques, il existe plusieurs types de défauts (isolement, continuité). Lors de l'occurrence de ces défauts, les exploitants doivent avoir connaissance de l'existence du défaut, l'isoler et le réparer le plus rapidement possible pour réalimenter les clients. Ces actions constituent la détection et localisation de défauts dans les réseaux électriques [1]. Ce travail a pour but de définir des conditions et des méthodes pour méthodes, notamment la méthode des ondes mobiles pour mener à bien la localisation des défauts sur les câbles à l'aide de minimum de matériel spécialisé. Il regroupe trois chapitres : Chapitre I : on représente le réseau aérien et leur importance ainsi on traite les différents types de défaut (origines- types).

Chapitre II : On traite les différents méthodes de détection et localisation à savoir méthode de tension neutre terre et Tension résiduelle et courant résiduel et les autres méthodes (BT) puis nous finalisons par une technique de la détection de défaut à l'aide de réseau de neurones artificiels précise.

Chapitre III : Etude et la conception du système de détection, est basé en premier lieu sur l'ESP32, puis sur les protocoles de la communication LoRa et IoT et la relation entre eux et la création du compte sur Google sheets, et en deuxième est basé sur la simulation du système par logiciel Matlab.

Chapitre I : état de l'art du défaut dans les réseaux aériens

Introduction

Le réseau aérien est un système complexe et critique qui permet la transmission de l'électricité à travers les lignes électriques suspendues dans l'air. Cependant, comme tout système, il n'est pas sans défauts. Les défauts sur le réseau aérien peuvent causer des incidents majeurs, tels que des pannes électriques, des dommages matériels, ou même des accidents mortels. C'est pourquoi il est crucial de comprendre et de surveiller l'état de l'art du défaut sur le réseau aérien, afin de prévenir et d'atténuer les risques associés. Les technologies et les stratégies actuelles pour la détection, la localisation et la réparation des défauts sur le réseau aérien sont en constante évolution et amélioration, afin de garantir une alimentation électrique sûre, fiable et efficace.

Et est un système de distribution d'électricité dans lequel les câbles conducteurs sont installés en hauteur, souvent sur des poteaux ou des pylônes, plutôt que sous terre. Ces réseaux aériens sont utilisés pour transporter l'électricité sur de longues distances, fournissant de l'énergie aux habitations, aux entreprises et aux infrastructures. Ils sont constitués de lignes électriques suspendues et sont couramment utilisés dans de nombreuses régions du monde pour leur coût relativement bas et leur facilité d'installation et de maintenance.

Dans ce chapitre, nous expliquerons les types de défauts constatés dans le réseau électrique aérien à basse tension, notamment les courts-circuits, leurs origines, causes, conséquences et nature (Figure I.1).[34]



Figure I.1 :Réseau électrique aérien

1. L'importance du réseau électrique aérien :

Le réseau électrique aérien revêt une importance capitale dans la distribution de l'électricité à travers de vastes zones géographiques. Il permet de transporter l'énergie électrique sur de longues distances de manière relativement économique, facilitant ainsi l'accès à l'électricité pour les populations urbaines et rurales. De plus, il offre une flexibilité en termes de construction et de maintenance par rapport aux réseaux souterrains, ce qui en fait une option privilégiée dans de nombreuses régions du monde. Cependant, il présente également des défis en termes de sécurité, d'esthétique et de résilience aux intempéries et aux catastrophes naturelles.

2. LIGNES ELECTRIQUES AERIENNES :

Une ligne aérienne comprend des poteaux ou des pylônes supportant des circuits électriques isolés formés de trois conducteurs. Les conducteurs sont fixés par des isolateurs. Ces conducteurs sont en cuivre massif nu, ont une section pouvant atteindre jusqu'à 50mm^2 et sont formés d'un ensemble de fils torsadés pour des sections plus importantes (Figure I-2).[33]



Figure I-2: Lignes électriques aériennes [35]

2.1.1. Les avantages des lignes aériennes : [3]

- Sont moins coûteuses que les lignes souterraines du point de vue des frais d'installation et de réparation.
- Elles permettent une surveillance aisée de leur état et un repérage facile des accidents et des défauts.
- Elles peuvent être réparées très rapidement en cas d'accident ou de défaut.
- Elles peuvent être surchargées en intensité de courant sans trop de danger.

2.1.2. Les inconvénients des lignes aériennes :[3]

- L'exposition aux surtensions d'origine atmosphérique.
- Leur installation donne lieu à des oppositions des propriétaires des terrains surplombés. Elles soulèvent des problèmes d'esthétique et de respect des sites
- Elles sont susceptibles d'induire des forces électromotrices perturbatrices ou dangereuses dans les circuits de télécommunication.
- Elles sont susceptibles de produire des perturbations radioélectriques gênant les réceptions de radiodiffusion et de télévision.
- Selon certains, les champs électriques et magnétiques peuvent exercer une influence néfaste sur la santé.

3. L'état de l'art de la détection :

Les réseaux électriques aériens varient en fonction de la taille du réseau et des avancées technologiques disponibles. Voici un aperçu général :

3.1. Réseaux de petite taille (résidentiels et commerciaux)

Les défauts sont généralement : Détectés par des dispositifs de protection intégrés aux tableaux électriques, tels que les disjoncteurs différentiels

La surveillance à distance Et les systèmes d'alerte peuvent être utilisés pour détecter les défauts et alerter les utilisateurs en temps réel.

3.2. Réseaux de taille moyenne (quartiers, petites villes)

Les réseaux de cette taille peuvent bénéficier de systèmes de surveillance avancés, tels que des capteurs installés sur les lignes électriques pour détecter les fluctuations de courant ou les variations de tension Les relais de protection sont utilisés pour localiser les défauts et isoler les sections défectueuses du réseau afin de minimiser les interruptions de service

3.3. Réseaux de grande taille (villes, régions étendues)

Les réseaux électriques aériens de grande taille peuvent être surveillés à l'aide de réseaux de capteurs intelligents et de technologies de communication avancées pour une détection rapide des défauts Les systèmes de gestion de réseau utilisent des algorithmes sophistiqués pour analyser les données en temps réel et identifier les anomalies, permettant ainsi une réponse rapide et efficace aux incidents.

Evolutions récentes L'intégration de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique permet d'améliorer la capacité des systèmes à prédire les défauts potentiels en analysant les tendances et les modèles de données historiques Les technologies de l'internet des objets (10) sont de plus en plus utilisées pour connecter les équipements électriques et les capteurs, facilitant ainsi la surveillance et la gestion des réseaux électriques aériens à grande échelle.

4. Les défauts : [4]

Un défaut est caractérisé par un phénomène non conforme au fonctionnement normal du réseau et pouvant, dans certain cas, conduire à un effondrement électrique de celui-ci et à la mise en danger de son environnement, Le défaut peut être causé par des facteurs externes (naturels) ou internes (par l'action humaine ou par un mauvais équipement).

On parle également de défaut électrique lorsqu'on détecte la présence d'un courant de fuite, c'est-à-dire lorsque de l'électricité « fuit » d'un circuit, provoquant une variation de l'intensité du courant mesurée à la sortie d'une installation.



4.1. Origine des défauts : [5]

- **Electriques** : C'est l'altération des isolants des matériels de réseau, par exemple. En effet les matériels électriques que l'on trouve sur le réseau ou dans les postes comportent des isolants (solides, liquides ou gazeux) constitués d'assemblages plus ou moins complexes placés entre les par tiens sous tension et la masse. Ces isolants subissent des dégradations au cours du temps qui conduisent à des défauts d'isolement et donc des courts-circuits.
- **Atmosphériques** : Les lignes aériennes sont soumises aux perturbations extérieure stèles que la foudre, les tempêtes ou le givre.
- **Mécaniques** : C'est la chute d'un corps sur un conducteur ou la dégradation mécanique De conducteurs consécutive des agressions extérieures par des Engins de terrassement par exemple.
 - **Humaines** : Ce sont les fausses manœuvres telles l'ouverture d'un sectionneur en charge par exemple.

4.2. La nature des défauts [6]

-Défaut fugitif Ce défaut nécessite une coupure très brève du réseau d'alimentation de l'ordre de quelques dixièmes de seconde

-Défaut permanent Ce défaut provoque un déclenchement définitif de l'élément de protection. Il nécessite l'intervention du personnel d'exploitation.

-Défaut auto- extincteur C'est le défaut qui disparut spontanément en des temps très courtisans qu'il provoque le fonctionnement de la protection.

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

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

De 70 à 90% fugitifs.

De 5 à 15% semi permanents.

De 5 à 15% permanents.

4.3. Les différents Défauts dans les réseaux électriques aériens

4.3.1. Court-circuit

Lorsque deux conducteurs de phases se touchent directement ou indirectement, provoquant une baisse soudaine de la résistance électrique et un courant anormalement élevé.

Sont des phénomènes transitoires, ils apparaissent lorsque l'isolement entre deux conducteurs de tensions différentes ou entre un conducteur sous tension et la terre est rompu. Ils engendrent des courants très importants dans les éléments constituant le réseau.

Le court-circuit représente le test le plus sévère pour valider les modèles de systèmes connectés sur un réseau électrique. Alors le risque d'apparition d'un incident sur le réseau N'est pas nul car lié à de nombreux paramètres aléatoires. Ainsi, les courts circuits peuvent avoir diverses Leur localisation :

→ **Le court-circuit peut être interne à un matériel** (Câble, moteur, transformateur, tableau...), il entraîne généralement des détériorations.

→ Le court-circuit peut être externe à un matériel (Câble, moteur, transformateur, tableau...), les conséquences sont limitées à des perturbations pouvant entraîner à plus au moins longue échéance des détériorations dans le matériel considéré, et conduire ainsi à un défaut interne.

a- Les défauts de court-circuit amènent : [6]

À Deux types de contraintes :

→ **Contraintes thermiques** : Sont dues aux dégagements de chaleur par effet Joule dans les conducteurs électriques (échauffements anormaux des conducteurs).

→ **Contraintes mécaniques** : Le matériel qui supporte le passage du courant de CC est soumis à des efforts électrodynamiques importants ; en particulier, les conducteurs aériens (balancement), les jeux de barres, les supports d'isolateurs, les enroulements des transformateurs peuvent être déformés ou avariés si leur rigidité mécanique ne présente pas les garanties nécessaires. Ces efforts s'ils dépassent les limites admises sont souvent à l'origine d'avaries graves.

b- Types de court-circuit

→ **Court-circuit monophasé** Il correspond à un défaut entre une phase et la terre, c'est le plus fréquent.

→ **Court-circuit triphasé** Il correspond à la réunion des trois phases, c'est le courant de CC le plus élevé.

→ **Court-circuit biphasé isolé** Il correspond à un défaut entre deux phases. Le courant résultant est plus faible que dans le cas du défaut triphasé, sauf lorsqu'il se situe à proximité immédiate d'un générateur.

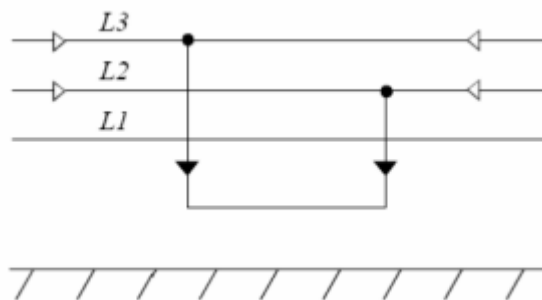


Figure I-3: court-circuit biphasé isolé

C'est un défaut dissymétrique. Il faut utiliser la méthode des composantes symétriques comme pour le défaut monophasé.

Pour un défaut entre les phases 2 et 3 on a :
$$I_2 = I_3 = \frac{\sqrt{3}V_n}{Z_d + Z_i} \quad (1)$$

Z_d , Z_i sont les impédances équivalentes à la somme de toutes les impédances directes et inverses parcourues par le courant de défaut.

$Z_d = Z_i$ (2) S'il n'y a pas d'alternateur et (3) $Z_d = Z_i$

$$I_2 = I_3 = \frac{\sqrt{3}V_n}{Z_d}$$

5. Court-circuit biphasé terre [7]

Il correspond à un défaut entre deux phases et la terre. Les courts-circuits peuvent provoquer des dégâts économiques importants s'ils ne sont pas éliminés rapidement par les systèmes de protection.

C'est un défaut dissymétrique. Il faut utiliser la méthode des composants symétriques comme pour le défaut monophasé terre Pour un défaut entre les phases 2 et 3 on a :

$$I_2 = I_3 = \frac{\sqrt{Z_i^2 + Z_0 Z_1 + Z_0^2}}{Z_d Z_i + Z_i Z_0 + Z_0 Z_d} \sqrt{3} V_n \quad (4)$$

Chapitre I: Etat de l'art du défaut dans les réseaux aériens

Z_d , Z_i , Z_0 sont les impédances équivalentes à la somme de toutes les impédances directes et inverses et homopolaire parcourues par le défaut.

S'il n'y a pas d'alternateur.

$$Z_d = Z_i$$

Et :

$$I_2 = I_3 = \frac{\sqrt{Z_i^2 + Z_0 Z_1 + Z_0^2}}{Z_i^2 + 2Z_d Z_0} \sqrt{3} V_n \quad (5)$$

Les court-circuit peuvent être : [6]

Monophasés : 80 % des cas,

Biphasés : 15 % des cas. Ces défauts dégénèrent souvent en défauts triphasés,

Triphasés : 5 % seulement dès l'origine.

Court-circuit à la terre : Lorsqu'un conducteur touche le sol ou un élément de mise à la terre, provoquant un écoulement de courant indésirable

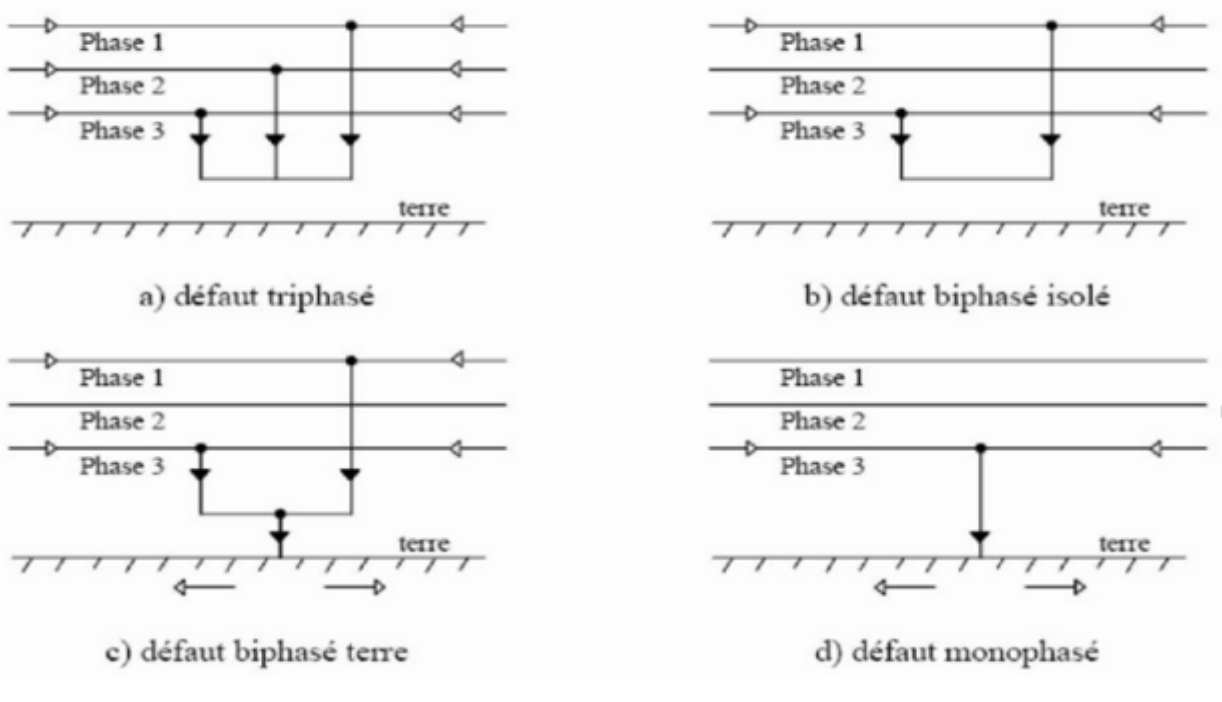


Figure I-4 : Différents types du court-circuit

a. Durée du court-circuit

Un défaut est toujours le résultat d'un manque d'isolement ; Si ce manque d'isolement est durable, le court-circuit est dit permanent dans le cas contraire est appelé fugitif

b. Intensité du courant de court-circuit

L'intensité du courant de court-circuit est une caractéristique importante, elle détermine la sévérité de la contrainte appliquée au réseau et au matériel en défaut. Elle dépend de la forme de court-circuit et, pour ceux impliquant la terre, du mode de mise à la terre des points neutres.

c. La valeur efficace du courant de court-circuit maximal : Elle détermine :

- Le pouvoir de coupure des disjoncteurs et fusibles.
- La contrainte thermique que doivent supporter les matériels.

d. La valeur crête du courant de court-circuit maximal

Elle détermine :

- Le pouvoir de fermeture des disjoncteurs et des interrupteurs.
- La tenue électrodynamique des canalisations et de l'appareillage.

Chapitre I: Etat de l'art du défaut dans les réseaux aériens

e. Le courant de court-circuit minimal

Il est indispensable au choix de la courbe de déclenchement des disjoncteurs et des fusibles ou au réglage des seuils des protections à maximum de courant, en particulier quand : -la longueur des câbles est importante ou lorsque la source à une impédance interne relativement élevée.

-la protection des personnes repose sur le fonctionnement des dispositifs de protection à maximum de courant de phase, c'est essentiellement le cas en basse tension pour les schémas de liaison à la terre du neutre TN ou TT

f. Etablissement des courants de court-circuit

Un réseau simplifié se réduit à une source de tension alternative constante, un interrupteur et une impédance Z_{cc} représentant toutes les impédances situées en amont de l'interrupteur.

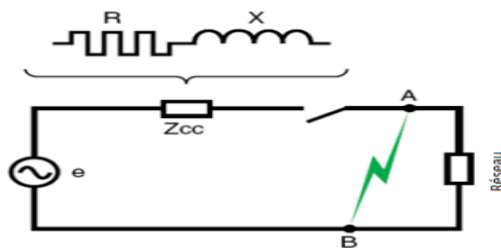


Figure I-5 : schéma équivalent du réseau amont au court-circuit

g. Cause du court-circuit : [7]

- La dégradation des isolants due à : o une dégradation de la qualité de surface (pollution).
- Une température excessive.
- Une décharge partielle dans les vacuoles (micro poches) à l'intérieur des isolants.
- La diminution accidentelle des distances d'isolement (présence d'animaux, branches d'arbre).
- La destruction pour cause extérieure.
- Les surtensions entraînant le claquage de l'isolation des matériels (surtension de manœuvre ou coup de foudre)

h. Conséquences du court-circuit :

- ✓ Détérioration des isolants.
- ✓ Fusion des conducteurs.
- ✓ Incendie et danger pour les personnes.
- ✓ Les efforts électrodynamiques, avec : déformation des jeux de barres.
- ✓ Arrachement des câbles.
- ✓ Sur-échauffement par augmentation des pertes joules.
- ✓ Les creux de tension pendant la durée d'élimination du défaut, de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes.
- ✓ La mise hors service d'une plus ou moins grande partie du réseau.

6. Les surintensités :

Les surcharges sur une ligne ou un équipement apparaissent lorsqu'ils sont traversés par un courant supérieur au courant pour lequel ils sont conçus. Leurs origines sont les surcharges et les court-circuit. On a deux types de surcharges :

- 6.1. **Surcharges normales** : Elles se produisent lors de la mise sous tension des moteurs, des transformateurs et des appareils électriques divers.
- 6.2. **Surcharges anormales** : Les appareils de grande puissance causent des échauffements lents mais nuisibles aux installations.

7. Surcharge : [7]

Surcharge : Lorsque la demande électrique dépasse la capacité nominale du réseau, entraînant une surchauffe des conducteurs et des équipements.

La surcharge d'un appareil est caractérisée par un courant supérieur au courant admissible,

7.1. Qu'est-ce qui provoque une surcharge électrique ?

Une surcharge électrique se produit lorsqu'une quantité trop importante de courant passe dans des fils électriques. Ces derniers s'échauffent et peuvent fondre, au risque de provoquer un incendie.

7.2. La solution :

Eviter de brancher plusieurs appareils gourmands en électricité sur la même ligne.

7.3. Cause des surcharges : [7]

- ✓ Court-circuit résistants.
- ✓ Couplage difficiles, démarrage de moteur.
- ✓ Report de charge sur une ligne ou une machine, lors de la coupure de la parallèle.

7.4. Les conséquences des surcharges : [7]

- ✓ Effets calorifiques.
- ✓ Effets déjà exposés pour les surintensités dues aux court-circuit.

8. Défauts d'isolement

Lorsqu'il y a une défaillance de l'isolation entre les conducteurs ou entre les conducteurs et la terre, ce qui peut entraîner des fuites de courant et des risques de chocs électriques.

9. Défauts d'arc électrique

Décharge électrique entre les conducteurs ou entre un conducteur et un objet à proximité, souvent causée par des conditions météorologiques comme la foudre ou des défauts d'isolement.

10. Coupure de ligne :

Lorsqu'un conducteur est cassé, endommagé ou coupé en raison de conditions météorologiques extrêmes, d'activités humaines ou de défauts matériels.

Surcharge : Lorsque la demande électrique dépasse la capacité nominale du réseau, entraînant une surchauffe des conducteurs et des équipements.

Ces défauts peuvent être détectés et corrigés grâce à des dispositifs de protection tels que les disjoncteurs, les fusibles, les relais de protection et les systèmes de surveillance du réseau.

11. Déséquilibres :[7]

Il y a déséquilibre sur un réseau triphasé lorsque les valeurs de la tension ou du courant sur les trois phases sont différentes.

11.1. Les causes des déséquilibres : [7]

- ✓ Coupure d'une bretelle sans mis à la terre.
- ✓ Pôles de sectionneurs ou de disjoncteurs laissés ouverts

11.2. Les conséquences des déséquilibres :[7]

- ✓ Dans les réseaux HT ne comportant que 3 fils, la somme des courants n'est plus nulle.
- ✓ Un courant de retour passe dans le sol par le neutre des transformateurs et induit des tensions dangereuses dans les câbles de télécommunication voisins.
- ✓ En outre ce courant de retour produit dans l'appareillage, des courants de circulation engendrant des échauffements anormaux.

12. Prévention et gestion du défaut :

- Maintenance préventive
- Sauvegarde technologique Avancée E (commutation, protection contre les relais)
- Gestion de crise stratégique

Conclusion

En résumé, l'état de l'art de la détection des défauts dans les réseaux électriques aériens dépend de la taille du réseau et des avancées technologiques disponibles, avec une tendance vers l'utilisation de systèmes de surveillance intelligents et de technologies de communication avancées pour une détection rapide et une gestion efficace des incidents.

Chapitre a présenté les types des défauts et chacun défauts son origines et son nature et leur causes et conséquences

Chapitre II :

Les méthodes de détection des défauts dans les réseaux électriques

1. INTRODUCTION :

Une ligne de transport aérien d'électricité joue un rôle crucial en reliant les centrales aux différents postes. Les lignes de transmission sont spécialement conçues pour transmettre l'énergie électrique de différentes centrales de production au réseau, puis du réseau à différentes sous-stations, et d'une sous-station à une autre sous-station afin de répondre aux nombreuses demandes de charge. Les lignes d'électricité aériennes présentent donc souvent des défauts, car elles transportent de l'énergie sur de longues distances dans des conditions environnementales extrêmement difficiles.[8]

En fonction de la durée, on peut distinguer les défauts en tant que permanents et temporaires/transitoires. Même si la ligne réenclenchée automatiquement élimine automatiquement un défaut transitoire après quelques cycles, il est essentiel de déterminer l'état du défaut et son emplacement dans la ligne de transmission. Si un défaut permanent persiste même après deux ou trois réenclenchements automatiques, les ingénieurs de contrôle sont entraînés pour localiser le défaut, ce qui permet à l'équipe de maintenance de prendre les mesures nécessaires de manière efficace et rapide. Donc, afin d'optimiser l'utilisation de l'énergie électrique produite et de garantir la fiabilité de l'énergie électrique fournie, il est très important et bénéfique de repérer, classer, localiser et éliminer ces défauts à la plus grande vitesse.

Dans cette partie, nous allons détailler les méthodes de détection des défauts dans la ligne de transmission en expliquant chacune de ces techniques individuellement., il sera procédé à la détection des défauts dans la ligne et à leur classement en utilisant des "réseaux de neurones artificiels".

2. La détection des défauts :

La détection des défauts est une question qui occupe les ingénieurs depuis la création de la technologie des systèmes électriques. Non seulement elle joue un rôle important dans l'exploitation et le contrôle des réseaux électriques, mais une détection précise des défauts améliore les performances opérationnelles et protège contre des éventualités indésirables. La précision et la vitesse de détection sont des mesures de l'efficacité du mécanisme de détection; plus ce mécanisme est rapide, plus il est possible de protéger l'équipement et éviter des dépenses énormes, en général, la détection des défauts est effectuée avant la classification et la localisation des défauts.

Les détecteurs contrôlent en permanence l'état électrique du réseau en surveillant un certain nombre des grandeurs électriques caractéristiques (courant, tension, fréquence) ou des combinaisons de ces grandeurs (puissance, etc.). Ces grandeurs électriques sont fluctuantes du fait notamment des variations de la charge ou de topologie des réseaux, néanmoins elles évoluent dans un domaine normalement fixé par les règles générales d'exploitation des réseaux. Par exemple les tensions peuvent varier dans un domaine exceptionnel (0.7 à 1.1 Un) et les courants ne dépassent jamais 1.1 à 1.3In selon les installations. Le fait que les grandeurs sortent brusquement de ces domaines est caractéristique de la présence d'une anomalie et utilisé comme critère de détection et ceci s'accompli par l'accueil d'information par les transformateurs de mesures (transformateur de tension « TT » et de courant « TC ») qui traduisant la variation des grandeurs principales du réseau. On retiendra ici qu'en régime de fonctionnement normal les réseaux triphasés sont sensiblement équilibrés. Les courants et les tensions ne comportent que des composantes directes. L'apparition de composante inverse est caractéristique d'un fonctionnement déséquilibré du soit à un court-circuit dissymétrique, soit au raccordement d'une charge déséquilibrée. De plus l'apparition de composante homopolaire est caractéristique de présence d'un déséquilibre avec écoulement de courant à la terre via les points neutres du réseau.

Un certain nombre d'approches de la détection des défauts sont proposées dans la littérature. Les conditions anormales (pas nécessairement des défauts) sont détectées en surveillant les impédances de phase et/ou les amplitudes de courant de phase et/ou les amplitudes de tension de phase et/ou l'amplitude de courant homopolaire. En fonction d'une application particulière, différents critères d'activation sont combinés de manière différente. La mise en œuvre d'un détecteur de défauts n'est pas une procédure difficile, car les microprocesseurs électroniques à grande vitesse, les techniques avancées de traitement.

3. Classification des défauts :

Les défauts des lignes de transmission peuvent être classifiés en différents types de défauts en fonction de leur caractéristique. Les tensions et les courants transitoires présentent un comportement différent, ce qui permet aux méthodes de classification des défauts de pouvoir les identifier et les classer avec précision. La classification des types de défauts joue un rôle important dans les relais de protection des lignes de transmission et des systèmes de distribution d'énergie. C'est pourquoi les chercheurs s'intéressent depuis des décennies à la mise au point de nouveaux algorithmes et modèles de classification des défauts, robustes et précis. La majorité des méthodes de classification adoptent des modèles de classification basés sur la théorie de l'apprentissage statistique, tandis que d'autres travaux utilisent des méthodes intelligentes basées sur l'expérience et l'exploitation des données collectées. Il est à noter l'évolution des études dans ce domaine particulier a été très pertinent pour le développement de la reconnaissance des formes et de l'apprentissage des machines (Machine Learning), (plus précisément, les algorithmes d'apprentissage supervisé pour la classification).

4. Les différentes méthodes de détection des défauts :

La détection des défauts dans les réseaux électriques est basée sur le dépassement d'un seuil préétabli des tensions électriques. Le courant, la tension, les dérivées de ces grandeurs, les composants harmoniques, etc. peuvent être concernés par ce seuil.

4.1. Courant de phase :

Quand le défaut se produit, le courant de phase augmente très vite et il devient très élevé. On utilise ces caractéristiques pour détecter le défaut (méthode ampéremétrique). Si le seuil de courant est franchi ou si l'augmentation du courant durant une durée spécifique dépasse une valeur prévue, le défaut est déterminé. Cette méthode est utilisée pour détecter le défaut triphasé, biphasé ou monophasé (pour le réseau du neutre impédant ou mis directement à la terre) car le courant de défaut est élevé.

4.2. Tension neutre terre :

Lorsqu'un défaut monophasé survient, la tension neutre terre, qui est relativement faible en service normal, augmente immédiatement. Si un défaut est franc, elle peut même atteindre la tension nominale simple du réseau. On peut utiliser ce phénomène pour repérer des défauts en fixant des valeurs limites pour la tension neutre-terre ou pour sa fluctuation. Plus la résistance du défaut augmente, plus cette méthode est vulnérable aux autres éléments qui peuvent influencer la tension neutre-terre (c'est-à-dire l'asymétrie du réseau).

4.3. Tension résiduelle et courant résiduel :

Les sommes vectorielles des tensions simples et des courants de phases des trois phases sont appelées tension résiduelle et courant résiduel. Si la terre ne présente aucun défaut, leurs valeurs sont nulles. Lorsque le défaut survient, elles sont non nulles. Cette particularité permet de repérer le défaut en comparant la tension résiduelle (et le courant résiduel) à un seuil prévu.

4.4. La méthode wattmétrique traditionnelle :

Elle utilise la faible partie active du courant homopolaire à 50Hz (qui représente un tiers du courant résiduel) afin de mesurer la puissance. Le défaut est détecté en fonction de la phase du courant homopolaire par rapport à la phase de la tension du déplacement du neutre (détection directionnelle). Le réseau à neutre compensé dont la composante active n'est pas compensée par la bobine Petersen peut bénéficier de cette méthode.

4.5. Exploitation des harmoniques :

L'exploitation des harmoniques est une autre variante pour la détection et la sélection du départ en défaut. Notamment l'harmonique 5, due aux non linéarités des transformateurs, est présente dans le courant homopolaire du réseau. Il faut noter que dans le réseau accordé, le courant de défaut est uniquement compensé pour la fréquence fondamentale, les composantes à fréquences plus élevées ne

sont pas concernées. En comparant les courants résiduels des départs, le départ en défaut peut être déterminé, puisque les harmoniques dans les trois phases s'annulent pour les départs sains. Comme pour la méthode wattmétrique, des détecteurs de défaut peuvent être installés à plusieurs endroits du réseau pour localiser le tronçon du réseau en défaut. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle est tributaire d'un taux d'harmoniques constant et assez élevé, ce qui n'est pas toujours le cas dans la pratique. Réseau de distribution, les harmoniques représentent un effet parasite que l'on essaie de supprimer dans les réseaux électriques.

Une autre méthode, appelée

4.6. Relais pour les défauts transitoires exploite les premières oscillations transitoires du courant homopolaire et de la tension du déplacement du neutre. L'orientation de ces premières demi-ondes (opposée ou dans le même sens) détermine également la direction du défaut par rapport à l'endroit du relais. L'objectif de cette méthode est de détecter non seulement les défauts permanents mais aussi les défauts transitoires générés par la foudre, des branches d'un arbre, des isolateurs en mauvais état, etc. Au niveau du poste source, les deux méthodes ci-dessus peuvent être utilisées pour la détection de défauts et la sélection du départ en défaut. En plus, si plusieurs détecteurs de défaut, utilisant cette méthode, sont installés au long des lignes du réseau, la vue d'ensemble de leurs décisions peut être utilisée pour une localisation plus précise du tronçon du réseau en défaut.

Une méthode, développée par EDF, DESIR (Détection Sélective par des Intensités Résiduelles) exploite les courants résiduels de chaque départ. L'objectif de cet algorithme est la détermination du départ en défaut.

4.7. La détection de défaut à l'aide de réseau de neurones artificiels :

Le réseau de neurones artificiels présente des perspectives prometteuses tant en ligne qu'en dehors de celle-ci afin de détecter, classer et localiser rapidement les défauts dans les lignes de transmission aériennes. L'objectif de cet article est de créer un algorithme d'analyse des défauts qui utilise un réseau de neurones artificiels (ANN) afin de repérer, classer et localiser un défaut au fur et à mesure de sa survenue.

Dans ce chapitre, il sera procédé à la détection des défauts dans la ligne de transmission et à leur classement en utilisant des "réseaux de neurones artificiels". En premier lieu, on a développé le système de transmission (Source d'approvisionnement, bus et lignes de transmission) en utilisant MATLAB Simulink. Par la suite, ajustez les paramètres et effectuez une simulation du défaut en utilisant des données réelles. Par la suite, il est nécessaire de créer un réseau de neurones utilisant un algorithme de rétro-propagation avec plusieurs entrées, ainsi que des couches cachées avec deux fonctions d'activation (Tan sigmoïde dans la couche cachée et Linéaire dans la couche de sortie) en utilisant la boîte de outils du réseau de neurones dans MATLAB.

On considérera comme l'entrée du réseau neuronal la sortie du réseau qui représente les tensions de phase et les courants de phase. Les neurones seront constitués à partir de 70 % des données utilisées et seront testés avec 30 % des données restantes afin d'obtenir la sortie désirée (le défaut et le type de défaut).[9].

Enfin, il a été effectué le calcul de l'erreur et de la précision du réseau de neurones dans la détection et la classification des défauts. La précision vise principalement à atteindre au moins 90 % ou plus pour les deux réseaux de neurones.

a. Historique

- En 1943, W. McCulloch et W. Pitt ont proposé un modèle simple des neurones biologiques dans le domaine des réseaux de neurones.
- En 1949, D. Hebb publie son ouvrage sur les règles de l'apprentissage.
- Le modèle du perceptron a été élaboré par F. Rosenblatt en 1958 et son théorème de convergence a été démontré.
- Dans les années 1960, B. Widrow et Hoff ont présenté le modèle Adaline (élément adaptatif linéaire).
- La nature du Perceptron a été commentée par M. Minsky et S. Papert en 1969.

Chapitre II:

- T. Kohonen a développé sa mémoire associative automatique en 1972.
- En 1982, J. Hopfield (J. Hopfield) a avancé ses recherches sur le réseau en anneau complet, selon le calcul du niveau d'énergie, il peut garantir la convergence vers un état stable.[10]

b. Réseaux de neurones artificiels :

Un réseau de neurones artificiels[11] [12]est un modèle de calcul d'inspiration biologique qui se compose de centaines d'unités uniques, appelées neurones artificiels, qui sont reliées par des coefficients (poids) qui forment la structure fonctionnelle des neurones. Lorsqu'ils traitent les informations, ils sont également appelés éléments de traitement (PE). Les entrées pondérées, la fonction de transmission et la sortie sont présentes dans chaque PE. PE consiste principalement

à équilibrer les entrées et les sorties. Les ANN peuvent aussi être désignés comme des modèles connexionnistes, car la connexion des poids représente la mémoire du système. Même si un neurone unique peut accomplir certaines des fonctions simples de traitement de l'information, la force des calculs neuronaux réside dans la connexion des neurones dans un réseau. Il s'agit d'un argument sur l'intelligence supposée des réseaux de neurones artificiels. Le nombre d'EP dans les réseaux de neurones artificiels est rarement supérieur à quelques centaines ou quelques milliers,

Tandis que le cerveau humain en compte 100 milliards. Il existe donc des réseaux artificiels qui sont comparables à un cerveau humain en termes de complexité, bien au-delà de la capacité de création du cerveau humain. Le cerveau humain présente une complexité considérable et, malheureusement, de nombreuses fonctions intellectuelles sont encore mal connues. Cependant, les ANN ont la capacité de traiter de grandes quantités de données et de faire des prédictions qui peuvent parfois être surprenamment exactes. Cela ne les rend pas intelligents, comme c'est souvent le sens « humain » du mot, donc l'utilisation du terme "ordinateur" pour décrire ces systèmes peut être une meilleure option.

Actuellement, il y a de multiples types de réseaux de neurones développés et de nouveaux sont créés chaque semaine. Cependant, tout peut être expliqué par le transfert de fonctions de leurs neurones, par la règle d'apprentissage et par la formule de connexion.

c. Neurones :

L'ANN est composée d'un neurone artificiel qui a pour objectif de reproduire la fonction du neurone biologique. Les entrées, qui sont les signaux d'arrivée, sont multipliées par les poids de connexion (ajustés) et sont ensuite additionnées (combinées) avant d'être passées par une fonction de transfert pour générer la sortie pour ce neurone. La fonction d'activation correspond à la somme pondérée des entrées du neurone, tandis que la fonction de transfert que l'on utilise le plus fréquemment est la fonction sigmoïde, en figure 1.

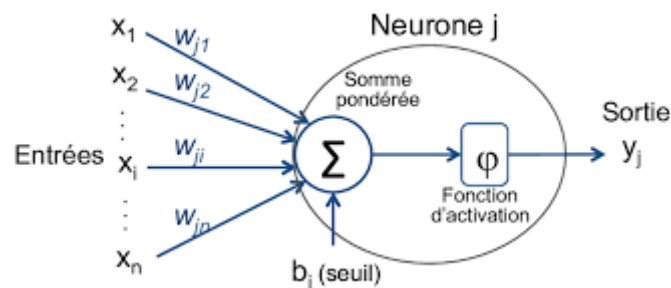


Figure II-1: Modèle d'un neurone artificiel

d. Les neurones biologiques :

Un neurone est une cellule qui peut transmettre des informations à d'autres neurones grâce à ses différentes connexions (synapses). Le cerveau humain est le meilleur modèle d'une machine multifonctionnelle extrêmement rapide. [10]

e. Caractéristiques :

Dans leur organisation générale et leur système biochimique, les neurones présentent de nombreuses similitudes avec les autres cellules. Voici les caractéristiques des neurones biologiques :

- Des signaux en provenance de neurones voisins.
- Recevoir Intègre ces signaux.

Chapitre II:

- Engendrer un influx nerveux (message nerveux)
- Le conduire
- Le transmettre à un autre neurone capable de le recevoir. [13]

f. Modélisation d'un RNA :

La modélisation implique de regrouper les informations que l'on possède sur le comportement dynamique du processus en effectuant une analyse physique des phénomènes impliqués, ainsi qu'une analyse des données expérimentales. Ces analyses permettent de déterminer les variables caractérisant le processus, telles que ses entrées, ses variables d'état et ses sorties. La modélisation implique de mettre en place un système de RN de manière non biologique. Chaque élément composant le neurone biologique sera correspondant, ce qui nécessitera une modélisation pour chacun d'entre eux. [14]

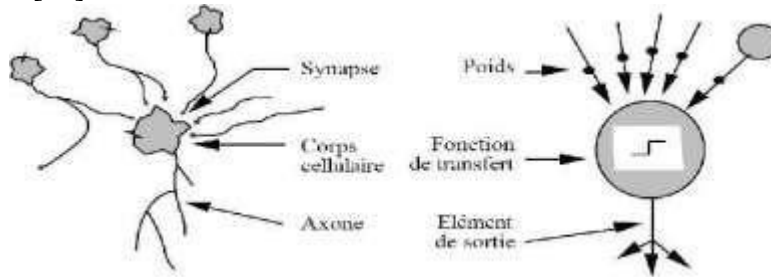


Figure II-2: Correspondance neurone biologique/neurone artificiel

On pourra résumer cette modélisation par (tableau II.1), qui montre la transmission entre le neurone biologique et le neurone artificiel.

Tableau II-1 : Analogie entre le neurone biologique et le neurone artificiel.

| Neurone biologique | Neurone artificiel |
|--------------------|-----------------------|
| Dendrite | Signal d'entrée |
| Synapses | Poids de connexions |
| Corps cellulaire | fonction d'activation |
| Axones | Signal de sortie |

g. Architecture du réseau de neurone :

L'architecture d'un réseau de neurones est fonction du nombre de couches de ce dernier et surtout de la structure des connexions entre neurones. [15] Il existe plusieurs types D'architectures, on peut citer:

- Réseaux monocouches,
- Réseaux multicouches,
- Réseaux à connexions locales,
- Réseaux à connexions complètes.

Chapitre II:

h. Réseau de neurones monocouches Perceptron :

Un réseau de neurones monocouche, également connu sous le nom de perceptron, se présente de la façon suivante :

- Il reçoit n données en entrée.
- Il est constitué de p neurones, généralement alignés verticalement. En théorie, chaque individu peut posséder une fonction d'activation distincte. Dans la réalité, ce n'est pas souvent le cas.
- Tous les p neurones sont reliés aux n informations d'origine. Le réseau monocouche est illustré dans la figure 3.

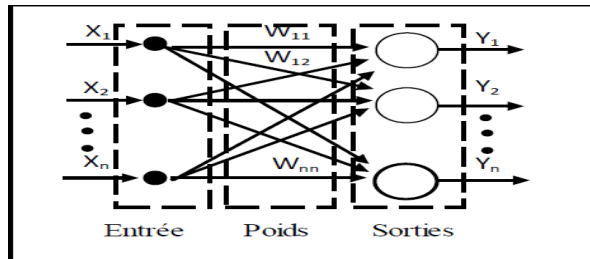


Figure II-3: Le réseau monocouche.

i. Réseaux de neurones multicouches :

Un réseau multicouche est un assemblage de couches les unes aux autres, de gauche à droite, en prenant les sorties d'une couche et en les injectant comme les entrées de la couche suivante. Selon la figure 4, ce genre de réseau est structuré en différentes couches de neurones.

En règle générale, les neurones d'une même couche ne sont pas connectés et les connexions ne se font qu'avec ceux des couches en aval [16].

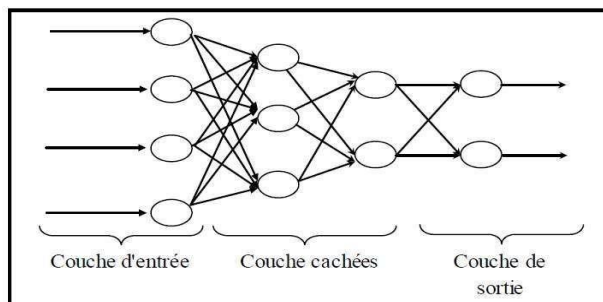


Figure II-4 : Le réseau multicouche

j. Apprentissage des réseaux de neurones :

Le développement des réseaux neuronaux implique l'apprentissage des réseaux neuronaux. À cette étape, le réseau va évoluer jusqu'à atteindre le comportement désiré. La proposition consiste à ajuster le poids du RN afin de diminuer les échantillons d'apprentissage incorrects.

k. Le type d'apprentissage des réseaux de neurones :

✓ Apprentissage supervisé

En adaptant les coefficients synaptiques du réseau, l'apprentissage supervisé permet d'obtenir la sortie souhaitée dans chaque situation. Le type d'apprentissage le plus répandu est l'apprentissage supervisé.

- Chaque fois que vous souhaitez modifier votre poids, chaque fois que vous essayez, l'erreur est déterminée.

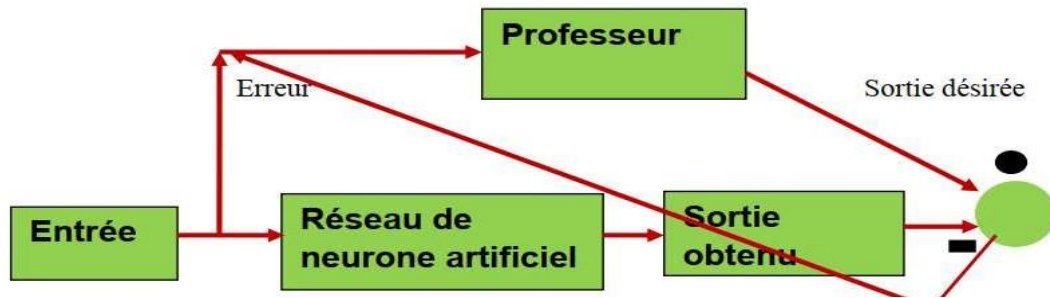


Figure II- 4 : Schéma bloc de l'apprentissage supervisé d'un réseau de neurone

La plus petite erreur est remplacée par le poids, à condition qu'il y en ait une.

✓ **Apprentissage non supervisé**

Le réseau détecte des caractéristiques communes parmi les nombreuses entrées. Il tente ainsi d'établir une "classe" indépendante. Il apprend à donner des réponses en classe. L'apprentissage est difficile. Il n'y a aucun signal d'erreur. [17]



Figure II-5 : Schéma bloc de l'apprentissage non supervisé d'un réseau de neurone.

✓ **Apprentissage semi supervisé**

Dans ce contexte d'apprentissage, le réseau neuronal n'a pas développé un certain comportement fondamental. Le réseau peut déterminer des indicateurs qualitatifs (vrai/faux) pour les performances du réseau. [17]

I. Règle d'apprentissage :

Le but de l'apprentissage est de modifier le poids des connexions entre les neurones. [17]
Il existe plusieurs règles de modification :

✓ **Règle de Hebb**

Selon les résultats d'expériences neurobiologiques d'observation : Les neurones se sont déclenchés ensemble, se sont enchevêtrés.

Les neurones synchronisés présentent des coefficients synaptiques plus élevés. Quand deux unités connectées fonctionnent simultanément, la puissance de la connexion augmente. On peut utiliser les équations suivantes pour représenter la loi de Hebb : [18]



La loi de Hebb peut être modélisée par les équations suivantes :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij} \quad (\text{II-1})$$

$$\Delta w_{ij} = \epsilon \cdot x_i \cdot x_j \quad (\text{II-2})$$

x_j : Valeur de la sortie du neurone j

x_i : Valeur de la sortie du neurone i

ϵ : Est une constante positive qui représente la force d'apprentissage (epsilon) ou diminuée.

Chapitre II:

✓ Loi Widrow-Hoff d'adaline (Loi Delta)

Cette loi constitue aussi une modification de la loi de Hebb. Mise en œuvre du concept de Certaines règles d'apprentissage de l'ARN sont basées sur la correction des erreurs.

$$E = di - xi \quad (\text{II-3})$$

Cette loi représente également une modification de la loi précédente. Mise en place du principe de La correction des erreurs est l'une des règles d'apprentissage de l'ARN.

Cette règle peut s'exprimer de la façon suivante :

$$\Delta w_{ij} = \varepsilon (di - xi) xj \quad (\text{II-4})$$

Avec :

Sortie xi et entrée xj

di : Réponse désirée par l'expert humain [18]

m. Algorithme d'apprentissage :

- 1- Initialisation des poids et du S-score à l'aide de valeurs aléatoires (petites).
- 2- Démonstration d'une entrée $E1 = (e1.....en)$ du socle d'apprentissage.
- 3- Pour cette entrée, calculer la séquence x de la sortie :

$$a = \sum (w_i . e_i) - s \quad (\text{II-5})$$

$$(a) : \text{signe}(a) : \begin{cases} sia > 0 \text{ alors } x = +1 \\ sia \leq 0 \text{ alors } w = -1 \end{cases} \quad (\text{II-6})$$

- 4- Si la sortie x est différente de la sortie désirée dl pour cet exemple d'entrée El alors modification des poids :

$$w_{ij}(t+1) = \Delta w_{ij}(t) + u.(x_i . x_j) \quad (\text{II.7})$$

- 5- Tant que tous les exemples de la base d'apprentissage (c'est-à-dire la modification du poids) ne sont pas traités correctement, veuillez revenir à l'étape 2. [13]

n. Perceptron

C'est le premier ARN fonctionnel. Il s'agit d'un réseau totalement connecté à deux couches (entrée et sortie). Celle-ci est constituée de neurones de seuil. Veuillez à superviser le processus d'apprentissage et à augmenter graduellement son importance. [10]

i. Perceptron a une seule couche

Le premier des trois réseaux (figure II.7) est le perceptron monocouche, qui peut être employé avec une entrée binaire ou continue. Il existe plusieurs méthodes pour étendre les poids et les seuils de connexion dans un perceptron monocouche. [10]

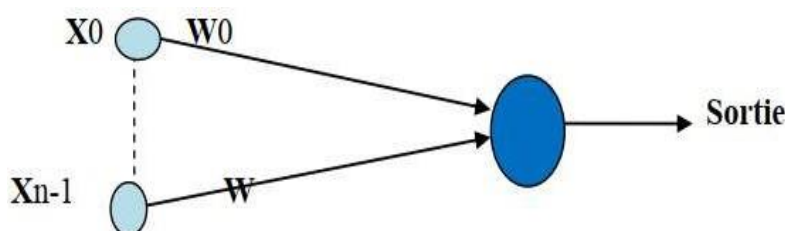


Figure II-6 : Perceptron à une seule

Chapitre II:

ii. Perceptron multicouches (MLP)

Le perceptron multicouche est un réseau ponctuel avec une ou plusieurs couches de neurones entre les couches d'entrée et de sortie (figure II.8). [10]

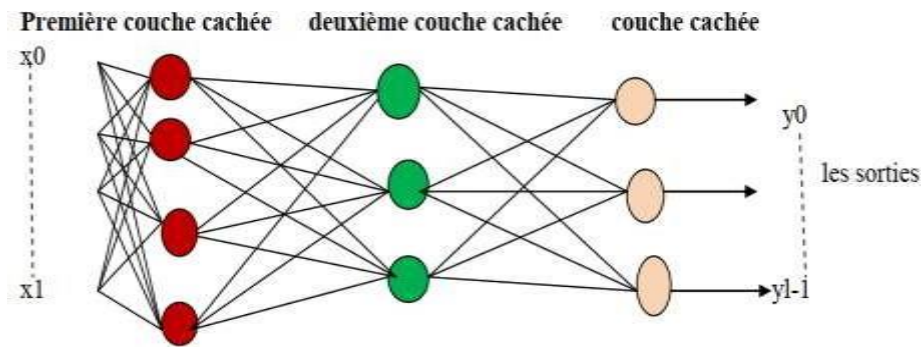


Figure II-7 : Perceptron Multicouche

o. Fonction de base radiale (RBF)

Le modèle de connectivité du réseau à fonction de base radiale (RBF) est simple à mettre en place et à appréhender. En général, le réseau RBF est constitué de trois couches : La fonction linéaire de la couche d'entrée consiste à introduire le signal d'entrée dans la couche cachée. La couche dissimulée est un dispositif de traitement qui réalise des fonctions radiales essentielles. La couche neuronale de sortie de la fonction d'activation linéaire est le neurone. Ce genre de réseau est fréquemment employé afin de classer et de représenter des fonctions. [9]

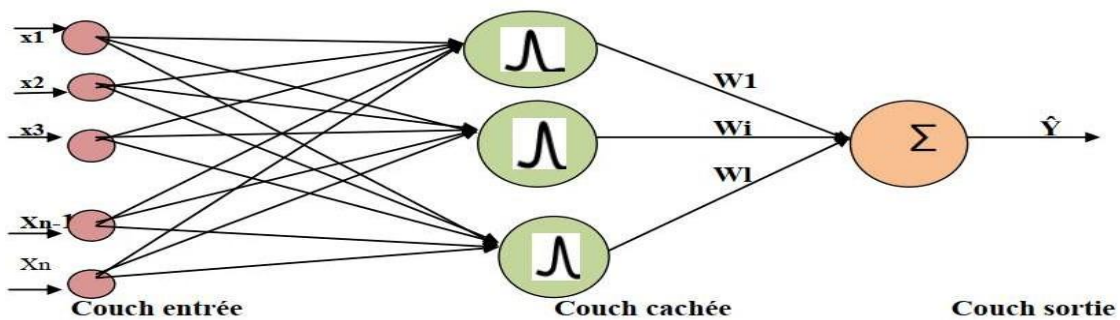


Figure II-8 : Réseaux de neurones à base radiale (RBF)

$$\hat{y} = \sum_i^I = 1w_i e^{(-v^2/\delta^2)} \tag{II.8}$$

$$v_j(x) = \|c_j - x\| = \sqrt{\sum_i^n -1(x_i - c_{ji})^2} \tag{II.9}$$

$v(x)$ est la distance entre les centres des neurones et les vecteurs d'entrées de ces derniers

$$\delta = \frac{v}{\sqrt{25}} \tag{II.10}$$

δ : L'écart type

1. Apprentissage des réseaux RBF

- □ Calculer le centre c_j en utilisant l'algorithme de classification
- □ Calculer le coefficient de dispersion en utilisant la méthode de la moyenne des distances.
- □ Calculez $w.i.j$ en utilisant la méthode des moindres carrés.

p. Les avantages et les inconvénients de réseaux de neurone :

i. Avantage des réseaux de neurones :

- Solidité grâce à des informations bruyantes.
- Offre la possibilité de simuler une grande diversité de comportements.
- Acceptation des pannes (élimination des neurones...).
- Algorithme de calcul des poids.
- Généralisation. [10]

ii. Inconvénients

- Contrairement à la méthode de l'arbre de décision, le résultat est extrêmement opaque.
- Le temps nécessaire à la mise en place d'un programme de formation peut être assez long
- Représentation complexe.
- La période d'étude peut être longue.
- Existe un minimum local pour la fonction de coût.
- Difficile d'expliquer les résultats quand on n'a pas de connaissances préalables.[10]

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre le principe des réseaux de neurones artificiels (RNA). Dans un premier temps, nous avons expliqué le principe de fonctionnement d'un neurone formel, qui est l'entité de base qui compose un réseau de neurones, et d'un réseau de neurone multi couches ou MLP. Ensuite, nous avons présenté les principaux techniques d'apprentissage d'un RNA

Chapitre III : étude et la conception du système de détection

I. Introduction :

Ce chapitre consiste et l'étude et la conception du système de détection des défauts électriques est d'une importance capitale pour tout projet industriel ou commercial impliquant la manipulation de l'électricité. En effet, ce système permet d'identifier rapidement les situations dangereuses et de prendre les mesures nécessaires pour garantir la sécurité des personnes et des équipements.

Notre travail consiste à étudier les trois parties :

Dans le premier chapitre nous ferons la mesure des courants et des tensions (ESP32 et les capteurs des tensions et courants).

Le deuxième chapitre traite l'étude de la communication : Le protocole LoRa et l'IoT, enregistrement de données ESP 32 dans Google sheets et le calcul des valeurs RMS)

Le troisième chapitre est consacré de la simulation du système.

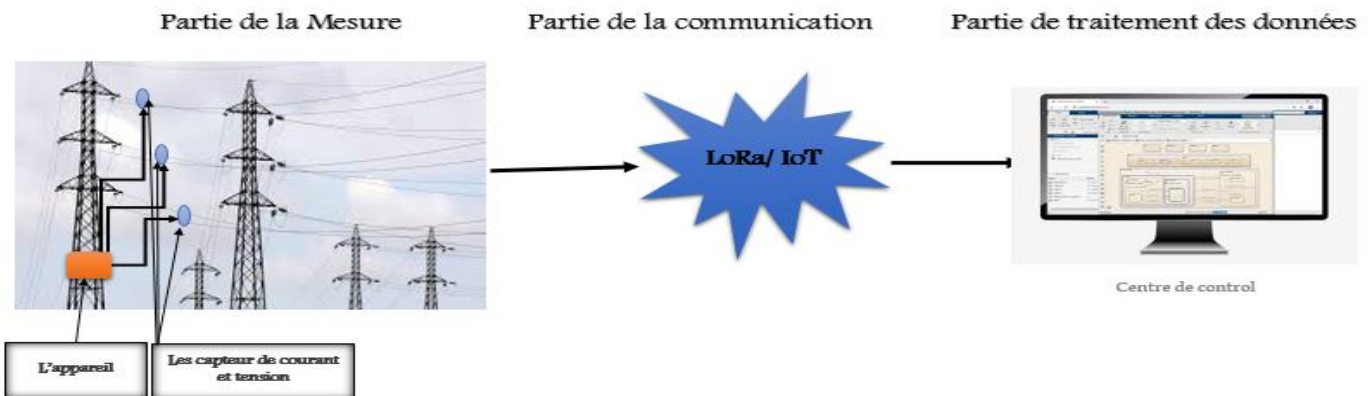


Figure III-1: Schéma globale du système de la conception

Dans une étape préliminaire, nous mesurerons la tension et le courant dans les câbles situés dans le réseau électrique aérien à basse tension, en utilisant respectivement des capteurs de tension et de courant, où un capteur de tension et un capteur de courant sont placés dans chaque phase, connectés à un dispositif qui est l'incarnation de la détection de défauts placé dans sur le poteau électrique. Ces capteurs nous donnent l'image des valeurs de tension et de courant vers la carte ESP32 connectée à la carte ESP Lora1, et sont utilisés ici comme émetteur de données (RMS) pour l'ESP Lora 2, qui reçoit les données(RMS) (ou via IOT), donc les résultats sont envoyés directement sur Google Sheets, d'où cette étape est appelée « Data logging ». Ensuite on introduit les données depuis Google sheet vers le logiciel matlab pour le traitement des données à partir duquel nous pouvons déterminer s'il y a un défaut ou non et identifié quel type de défaut il s'agit.

II. Partie de la Mesure :

1. Expressif et l'ESP32 [19]

Le "board" ESP32 est une plateforme de développement de microcontrôleurs open-source qui utilise le microcontrôleur Wireless ESP32 d'Expressif Systèmes. Cela signifie que c'est une carte de développement qui contient un microcontrôleur programmable, souvent utilisée pour le prototypage rapide de projets électroniques. Le microcontrôleur ESP32 dispose de fonctions Wi-Fi et Bluetooth intégrées, ce qui permet d'utiliser la carte pour des projets IoT (Internet of Things) et LORA. La carte Arduino ESP32 est compatible avec le logiciel Arduino, ce qui facilite la programmation en C/C++. Intégrant la gestion du Wi-Fi et du Bluetooth.L'ESP32 est un microcontrôleur à faible coût et à faible consommation d'énergie.



Figure III-2 : La carte ESP32



Figure III-3 : Logo d'Expressif

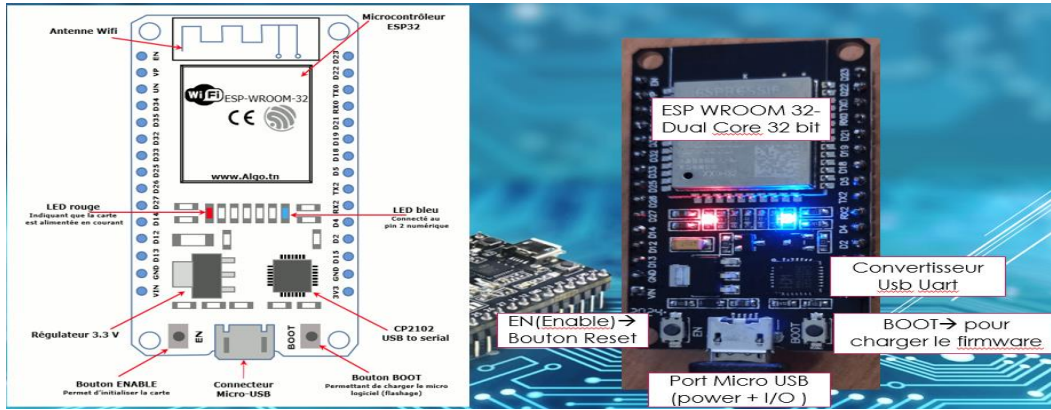


Figure III-4 : L'ESP32

1.1. Brochage de l'ESP32 :[20]

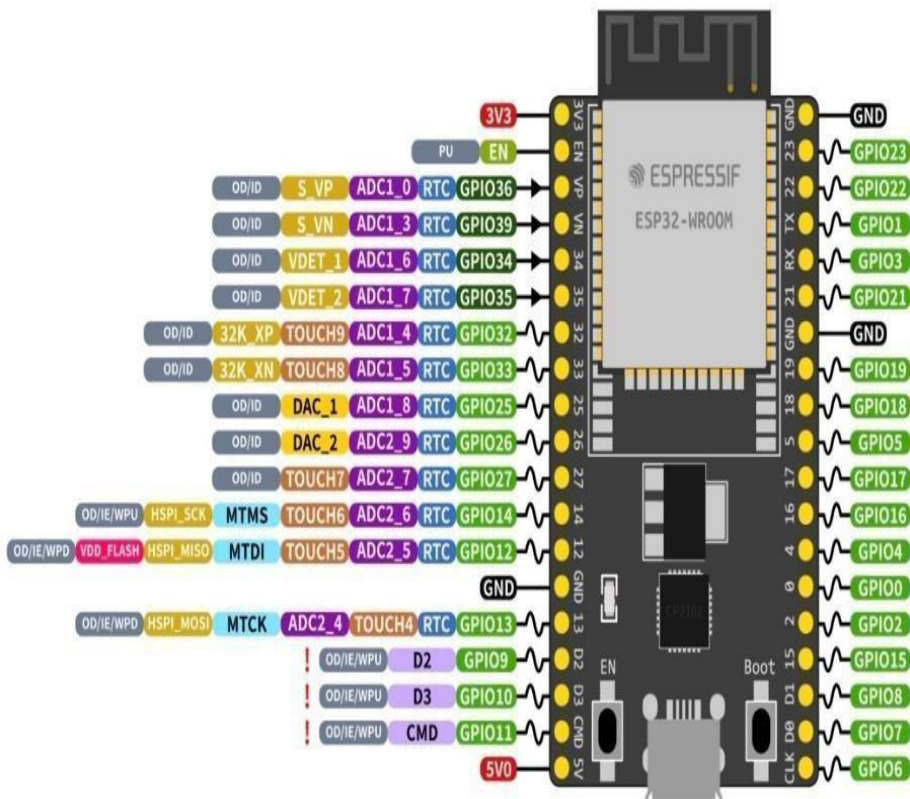


Figure III-5: brochage de l'ESP32

EN : est souvent utilisée pour activer ou désactiver le microcontrôleur.

BOOT : peut être utilisée pour sélectionner le mode de démarrage

- **P** : power supply ; **I** : input ; **O** : output.
- **Pins GPIO6 à GPIO11** ont connectés au SPI flash intégrés au module et ne sont pas éteints.

Dans les variantes de module qui intègrent QSPI PSRAM, c'est-à-dire qui intègrent ESP3, IO16 est connecté à la PSRAM intégrée et ne peut pas être utilisé pour d'autres fonctions.

1.2. ESP32 WROOM32 PIN [20]

Description de la PIN

Tableau II-2 : Description de la PIN

| Nom | No. | Type1 | Fonction |
|-----------|-----|-------|---|
| GND | 1 | P | Ground |
| 3V3 | 2 | P | Power supply 3.3V |
| EN | 3 | I | High : On ; enables the chip Low: Off; the chip shuts down Note: Do not leave the pin floating. |
| SENSOR_VP | 4 | I | GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0 |
| SENSOR_VN | 5 | I | GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3 |
| IO34 | 6 | I | GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4 |
| IO35 | 7 | I | GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5 |
| IO32 | 8 | I/O | GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz Crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9 |
| IO33 | 9 | I/O | GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8 |
| IO25 | 10 | I/O | GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0 |
| IO26 | 11 | I/O | GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1 |
| IO27 | 12 | I/O | GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV |
| IO14 | 13 | I/O | GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2 |
| IO12 | 14 | I/O | GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3 |
| GND | 15 | P | Ground |
| IO13 | 16 | I/O | GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER |
| X | 17 | - | Voir note 2 |
| X | 18 | - | Voir note 2 |
| X | 19 | - | Voir note 2 |
| X | 20 | - | Voir note 2 |
| X | 21 | - | Voir note 2 |
| X | 22 | - | Voir note 2 |
| IO15 | 23 | I/O | GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3 |
| IO2 | 24 | I/O | GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPWP, HS2_DATA0, SD_DATA0 |
| IO0 | 25 | I/O | GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK |
| IO4 | 26 | I/O | GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER |
| IO163 | 27 | I/O | GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT |
| IO17 | 28 | I/O | GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180 |
| IO5 | 29 | I/O | GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK |
| IO18 | 30 | I/O | GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7 |

1.3. Les entrées et les sorties de la carte ESP32 WROOM32 :

- **GPIO (General Purpose Input/Output) :** L'ESP32 WROOM-32 dispose de nombreuses broches GPIO qui peuvent être utilisées comme entrées ou sorties pour la communication avec d'autres dispositifs et la gestion des signaux numériques.
- **UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) :** L'ESP32 WROOM-32 possède plusieurs interfaces UART qui permettent la communication série asynchrone avec d'autres périphériques.
- **I2C (Inter-Integrated Circuit) :** Il dispose de broches pour la communication I2C, ce qui permet de connecter des capteurs, des afficheurs, et d'autres périphériques utilisant ce protocole de communication.
- **SPI (Serial Peripheral Interface) :** L'ESP32 WROOM-32 prend en charge l'interface SPI, permettant la communication série synchrone avec des dispositifs tels que des écrans TFT, des capteurs de température, des mémoires, etc.
- **ADC (Analog-to-Digital Converter) :** Il possède des broches ADC qui permet de convertir des signaux analogiques en valeurs numériques, ce qui permet la lecture de capteurs analogiques tels que des capteurs de température, de lumière, etc.
- **DAC (Digital-to-Analog Converter) :** L'ESP32 WROOM-32 dispose également de broches DAC pour générer des signaux analogiques de sortie.
- **PWM (Pulse Width Modulation) :** Il prend en charge la génération de signaux PWM pour.

1.4. Caractéristiques de l'ESP32 :[21]

Les principales caractéristiques de l'ESP32 incluent :

- **Processeur Dual- Core :** L'ESP32 est équipé de deux cœurs de traitement, ce qui permet d'exécuter des tâches en parallèle et d'améliorer les performances globales du système.
- **Wi-Fi et Bluetooth intégrés :** Il prend en charge les normes Wi-Fi 802.11 b/g/n et Bluetooth 4.2, ce qui permet aux dispositifs basés sur l'ESP32 de se connecter à Internet et d'interagir avec d'autres appareils compatibles Bluetooth.
- **Interfaces diverses :** L'ESP32 dispose de nombreux GPIO (General Purpose Input/ Output) qui permettent de connecter une grande variété de capteurs, d'actionneurs et de modules d'extension.
- **Environnement de développement :** Vous pouvez programmer l'ESP32 en utilisant le langage C++ avec l'environnement de développement intégré (IDE) Arduino, le langage Micro Python, ou en utilisant l'outil de développement expressif IDF (IOT Développement Framework).
- **Capteur tactile capacitif :** L'ESP32 WROOM-32 intègre des broches spéciales pour la détection tactile capacitive, permettant la mise en œuvre de boutons tactiles ou de commandes sensibles au toucher.

1.5. La liste des composants de la carte ESP32 : [20]

Tableau II-3: La liste des composants de la carte ESP32

| Composant | Description |
|--|---|
| Microcontrôleur ESP32 | Le cœur de la carte, responsable du traitement des instructions et de la gestion des périphériques. |
| Mémoire Flash | Utilisée pour le stockage du programme, peut être intégrée directement sur la carte. |
| Mémoire RAM | Pour le stockage temporaire des données pendant l'exécution du programme. |
| Module WiFi et Bluetooth | Assure la connectivité sans fil, incluant le WiFi et le Bluetooth. |
| Convertisseurs analogique-numérique (CAN) | Permet la lecture de signaux analogiques si nécessaire pour l'application. |
| Interfaces de communication (UART, I2C, SPI) | Utilisées pour la communication avec d'autres composants. |
| Ports GPIO | Ports d'entrée/sortie généralistes pour connecter des capteurs, actionneurs, etc. |
| Alimentation | Circuit d'alimentation fournissant la tension nécessaire à la carte. |
| Connecteur USB | Utilisé pour la programmation et la communication série avec un ordinateur |
| Connecteurs d'antenne | Permettent la transmission et la réception des signaux WiFi et Bluetooth. |
| Composants discrets | Résistances, condensateurs, inductances, etc., nécessaires pour le bon fonctionnement. |
| Circuits de régulation de tension | Maintiennent une tension stable pour le microcontrôleur et les autres composants. |
| Horloge | Oscillateur ou cristal fournissant une référence de temps stable. |

2. Le capteur de courant SCT-013 :

Le SCT-013 est un capteur de courant alternatif à pince à noyau divisé non invasif qui peut être utilisé pour mesurer un courant alternatif jusqu'à 100 ampères. Un transformateur de courant (TC) est un capteur permettant de mesurer le courant alternatif. Il est particulièrement adapté à la mesure de la consommation électrique d'un bâtiment entier. Le capteur de courant SCT-013 peut être fixé directement sur des fils sous tension ou neutres sans nécessiter de travaux électriques à haute tension.



Figure III-6 : Capteur de courant SCT-013

2.1. Les caractéristiques du capteur de courant sct-013 :

Peuvent varier légèrement en fonction du modèle spécifique que vous utilisez, mais voici généralement ce que vous pouvez attendre:

- Type de courant : alternatif (AC)
- Rapport de transformation
- Plage de courant : la plage de mesure dépend du modèle du capteur. Par exemple, le sct-013-000 peut mesurer jusqu'à 100A, tandis que le sct-013-030 est conçu pour des courants jusqu'à 30A.
- Signal de sortie : cc0-1
- Non-linéarité : 2-3%
- Résistance d'échantillonnage intégrée (RL) : 62Ω
- Rapport de rotation : 1800 :1
- Catégorie de résistance : Catégorie B
- Température de fonctionnement : -25°C ~ +70°C
- Rigidité diélectrique (entre coque et sortie) : 1000V AC / 1min 5Ma

3. Le capteur de tension ZMPT101B :

ZMPT101B est un module capteur de tension spécialement conçu pour mesurer la tension alternative (AC) dans les circuits électroniques. Largement utilisé dans des applications telles que la surveillance de l'énergie, la gestion de l'énergie et les systèmes de contrôle industriel.

Ce module comprend un transformateur ZMPT101B qui convertit la tension alternative en tension continue proportionnelle(DC), permettant des mesures sur un microcontrôleur ou un autre appareil numérique.



Figure III-7: Capteur de tension ZMPT101B

2.1.Caractéristiques :

- Dimensions : 51 x 21 x 21 mm
- Peut mesurer des tensions jusqu'à 250 volts.
- Léger grâce au convertisseur de tension ultra-précis intégré.
- Circuit amplificateur opérationnel intégré de haute précision.
- Température de fonctionnement : 40°C à + 70°C.
- Tension d'alimentation 5 volts à 30 volts.

III. Partie de la communication :[22]

1. Qu'est-ce que l'IoT ?

L'internet des objets (IoT) est un réseau d'objets et de terminaux connectés équipés de capteurs (et d'autres technologies) leur permettent de transmettre et de recevoir des données entre eux et avec d'autres systèmes. Aujourd'hui, l'IOT est utilisé de manière intensive dans l'industrie (IoT).

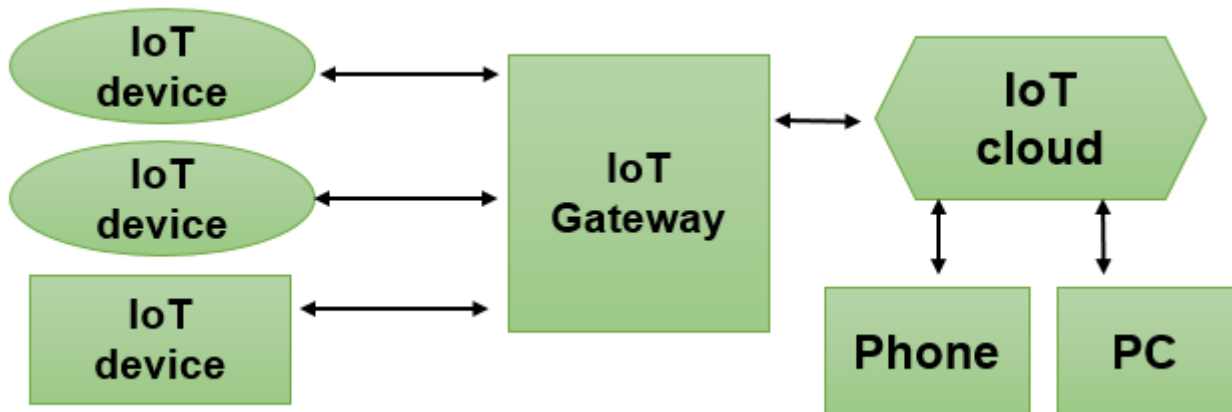


Figure III-8 :Le Protocol IoT

2. Protocole de la communication LoRa :[22, 23]

Le réseau LoRa ou "Long Range", se définit comme un ensemble interconnecté de dispositifs qui permet le transfert d'informations via une technologie de communication sans fil. Ce réseau se destine à la transmission longue portée. Il se distingue également par de faibles consommations énergétiques. LoRaWAN est un protocole de communication radio qui définit comment des équipements terminaux communiquent sans fil au travers de passerelles, constituant ainsi un réseau étendu à basse consommation (LPWAN).



Figure III-9: Module de LoRa

Il est basé sur la technologie de modulation propriétaire LoRa, créée en 2009 par la start-up grenobloise Cycléo, et rachetée par l'entreprise américaine Semtech en 2012.

LoRaWAN est l'acronyme de long-range wide-area network (« réseau étendu à longue portée »)

<https://fr.m.wikipedia.org/wiki/LoRaWAN>

2.1. Réseau Lora : de quoi parle-t-on ?

LoRa est une expression diminutive pour “Low Range”. Le réseau LoRa désigne en effet une technologie de communication sans fil qui consomme peu d'énergie. Ce réseau se destine en outre aux transmissions à longue portée.

2.2. Caractéristiques :

Le LoRa se distingue d'autres technologies de communications longues distances par 4 caractéristiques :

- **Faible consommation d'énergie** : les dispositifs qui supportent le réseau LoRa consomment peu. Ce réseau répond donc aux besoins des applications et dispositifs pour lesquels l'utilisateur veut s'épargner de fréquentes recharges ou remplacements de batteries.
- **Longue portée** : le réseau Low Range permet des communications sur de longues distances. Cela le différencie de nombreuses autres technologies de communication sans fil. Ce réseau fonctionne en extérieur comme en intérieur. Il performe aussi bien sur terrain vide qu'en milieu urbain. Il traverse en outre les obstacles physiques, comme les murs, sans difficulté.
- **Connectivité** : Ce réseau peut se connecter à de nombreux dispositifs en même temps. Il s'agit là d'un réel atout pour les projets de déploiement à grande échelle.
- **Bidirectionnel** : le réseau de communication LoRa prend en charge la réception de messages, ainsi que la transmission des données. Dans le cadre de l'IoT, cette bidirectionnalité est très recherchée.

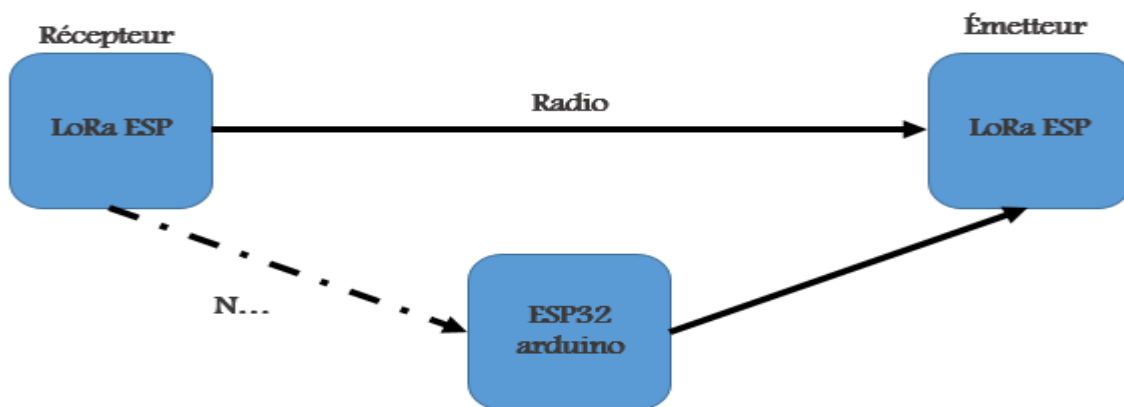


Figure III-10 : Système de communication entre les différents capteurs

3. Enregistrement de données ESP32 dans Google Sheets (à l'aide d'un compte de service Google) :[24]

Dans cette partie nous allons enregistrer des données dans Google Sheets avec l'ESP32 de manière sûre et fiable à l'aide d'un compte de service Google et de l'API Google Sheets. Nous utiliserons la bibliothèque cliente Arduino Google Sheets. Après avoir expliqué les concepts de base les plus importants, nous construirons un enregistreur de données qui enregistre les tensions et courants RMS mesurés et l'horodatage correspondant sur Google spreadsheet.



Figure III-11 : Google sheets

3.1. Prérequis

Avant de passer à l'étape programmation de l'ESP32 on doit vérifier les prérequis suivants :

3.2. Compte Google

Nous avons besoin d'un compte Google

3.3. Compte de service Google

Pour enregistrer des données en toute sécurité dans Google Sheets, nous utiliserons un compte de service Google. Un compte de service, identifié par son adresse e-mail unique, est un type de compte spécial. Il est généralement utilisé par une application ou une charge de travail de calcul, comme une instance Compute Engine, plutôt que d'être associé à une personne. Vous pouvez en savoir plus sur un compte de service.

3.4. Créer un projet Google

Vous devez créer un projet Google et associer un compte de service Google à ce projet spécifique. Vous pouvez le faire sur votre compte Google principal ou sur un autre compte secondaire. Comme toujours, nous vous recommandons d'utiliser un autre compte uniquement pour vos projets IoT et ESP32, et non votre compte principal.

3.5. Créer un compte de service

- Accédez à Google Cloud Console.
- Créez un nouveau projet ou choisissez un projet existant

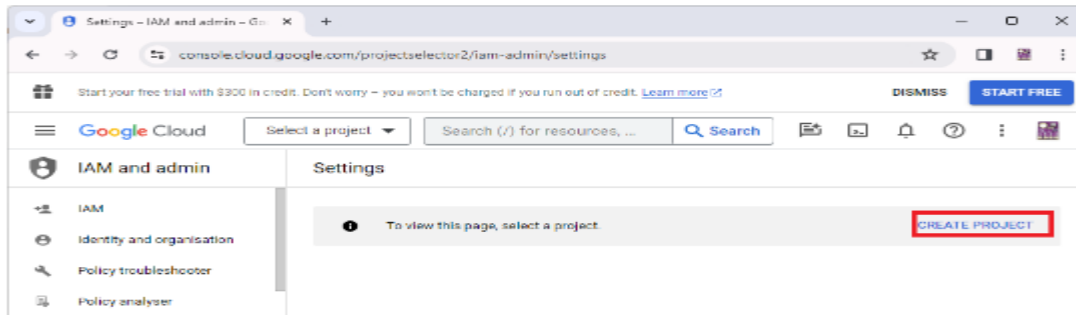


Figure III-12 : Créer un compte de service

- Donnez un nom à votre projet. Cliquez ensuite sur Create.

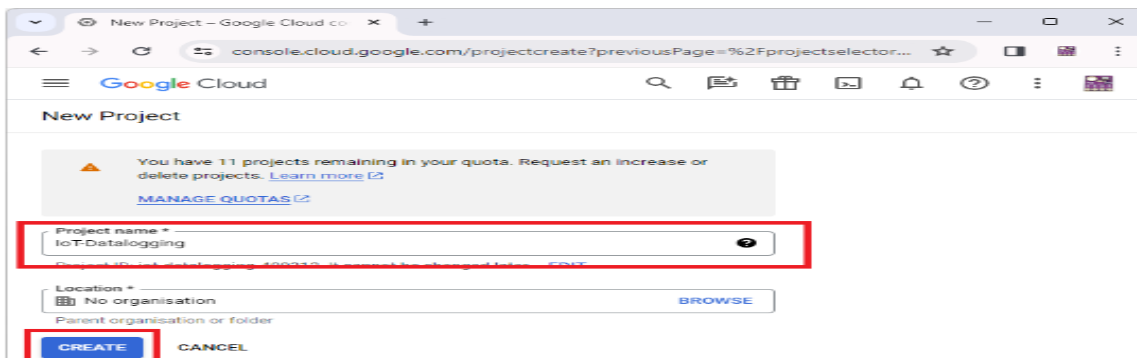


Figure III-13: Créer un compte de service

Votre projet sera créé avec succès.

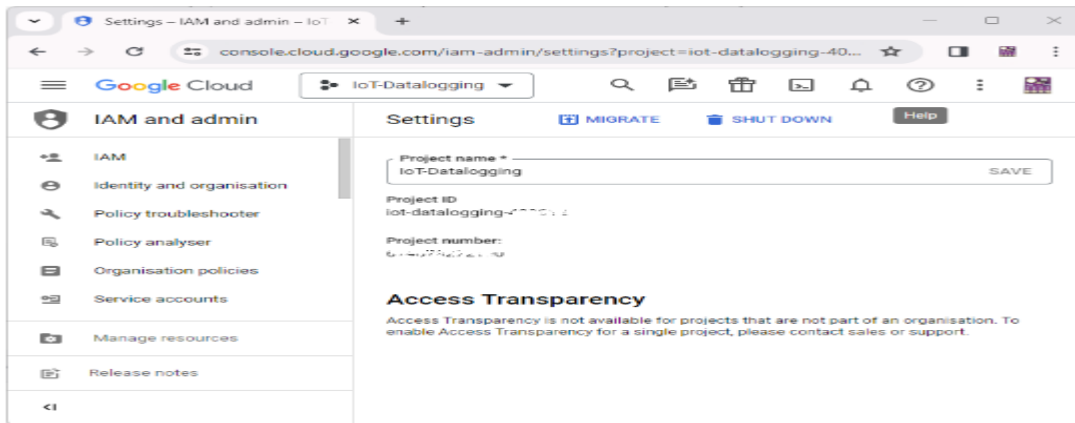


Figure III-14:Créer un compte de service

Vous devez maintenant créer un compte de service pour ce projet. Dans la barre latérale gauche, cliquez sur Comptes de service, puis sur + + **Create Service Account**.

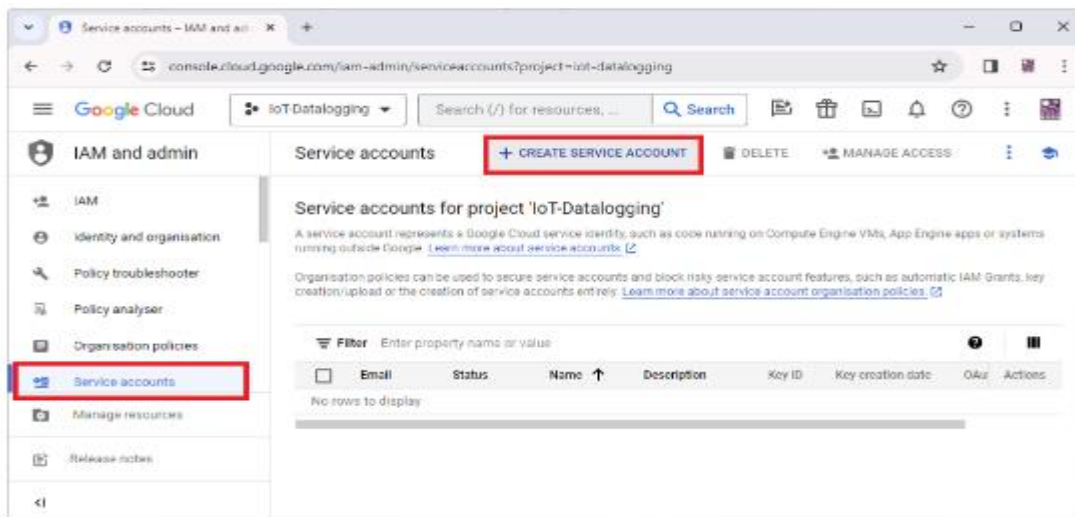
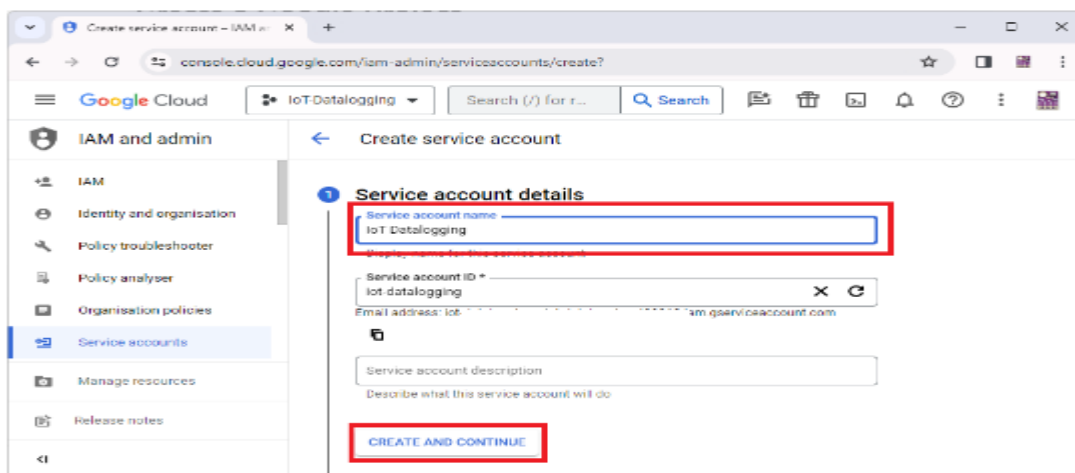


Figure III-15:Créer un compte de service

Insérez un nom pour votre compte de service, puis cliquez sur **Create and Continue**.



ixFigure III-16:Créer un compte de service

Sélectionnez le rôle du compte de service. Sélectionnez **Owner**. Cliquez ensuite sur **Continue**.

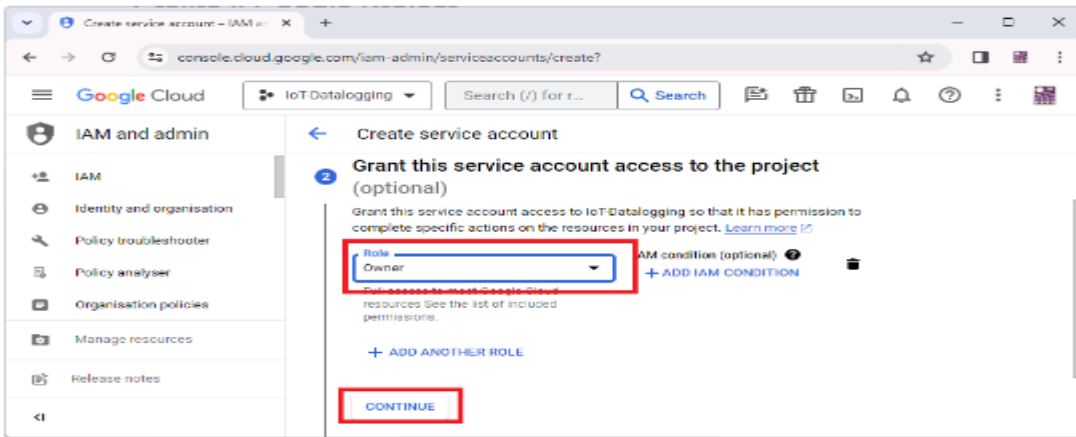


Figure III-17 : Créer un compte de service

Enfin, cliquez sur Done.

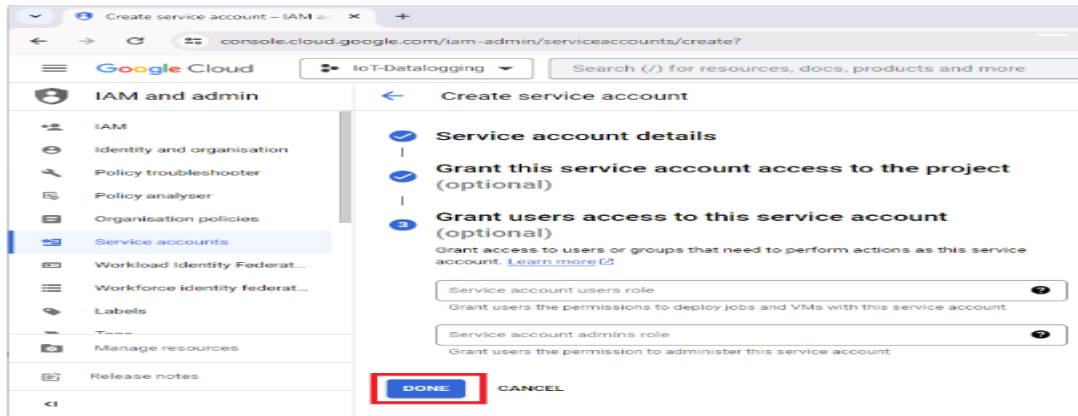


Figure III-18:Créer un compte de service

Vous avez réussi à créer un compte de service. Vous devez maintenant créer une clé.

Création d'une nouvelle clé

Sélectionnez le projet, cliquez sur l'icône à trois points, puis sur **Manage Keys**.

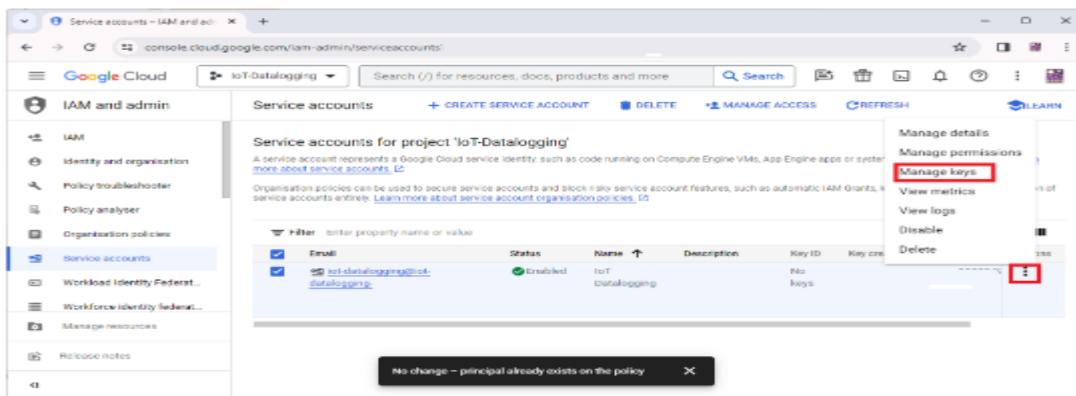


Figure III-19 : Créer un compte de service

Ensuite, créez une nouvelle clé.

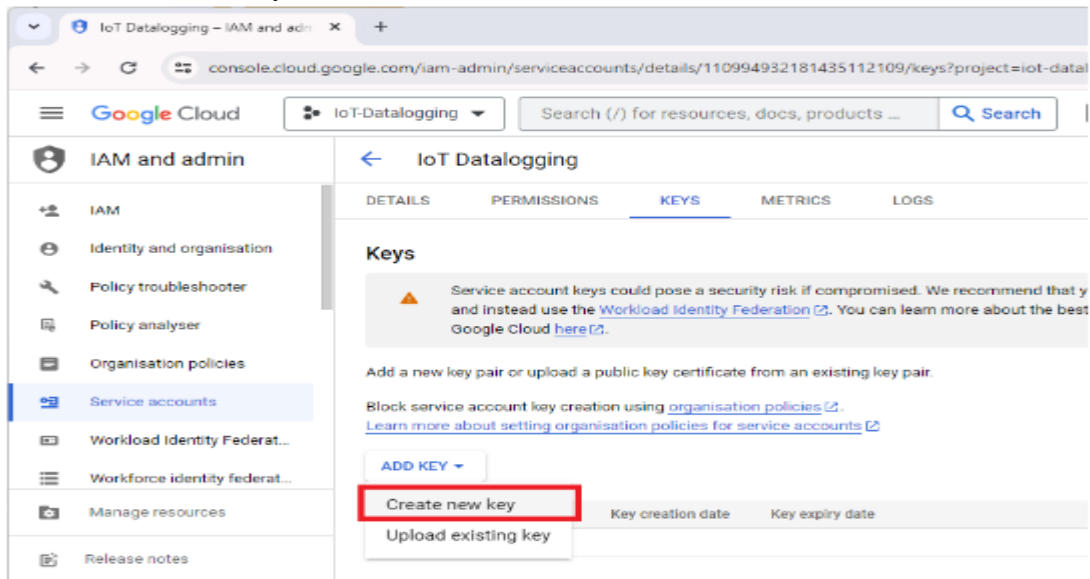


Figure III-20 : Créer un compte de service

Ensuite, sélectionnez JSON et cliquez sur Create.
Create private key for 'IoT Datalogging'

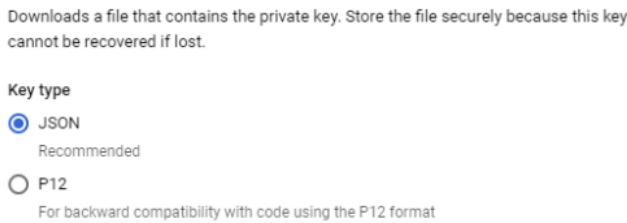


Figure III-20 : Créer un compte de service

Cela téléchargera un fichier **JSON** sur votre ordinateur avec la clé.

Ouvrez le fichier et vous obtiendrez quelque chose de similaire, mais avec vos propres informations :

```
{
  "type": "service_account",
  "project_id": "...",
  "private_key_id": "...",
  "private_key": "-----BEGIN PRIVATE KEY-----
  .....\n-----END PRIVATE KEY-----\n",
  "client_email": ".....",
  "client_id": ".....",
  "auth_uri": "https://accounts.google.com/o/oauth2/auth",
  "token_uri": "https://oauth2.googleapis.com/token",
  "auth_provider_x509_cert_url":
  "https://www.googleapis.com/oauth2/v1/certs",
  "client_x509_cert_url": "https://www.googleapis.com/...",
  "universe_domain": "googleapis.com"
}
```

Copiez le project_id, le client_email, le private_key_id et private_key du fichier .json car vous en aurez besoin plus tard.

Activer l'API Google Sheet

Maintenant que vous avez un projet, vous devez activer l'API Google Sheet pour ce projet. Cliquez sur le lien suivant : <https://console.cloud.google.com/apis/library/sheets.googleapis.com>

Et activez l'API Google Sheets (vous devez être sur le même compte que celui sur lequel vous avez créé le projet).

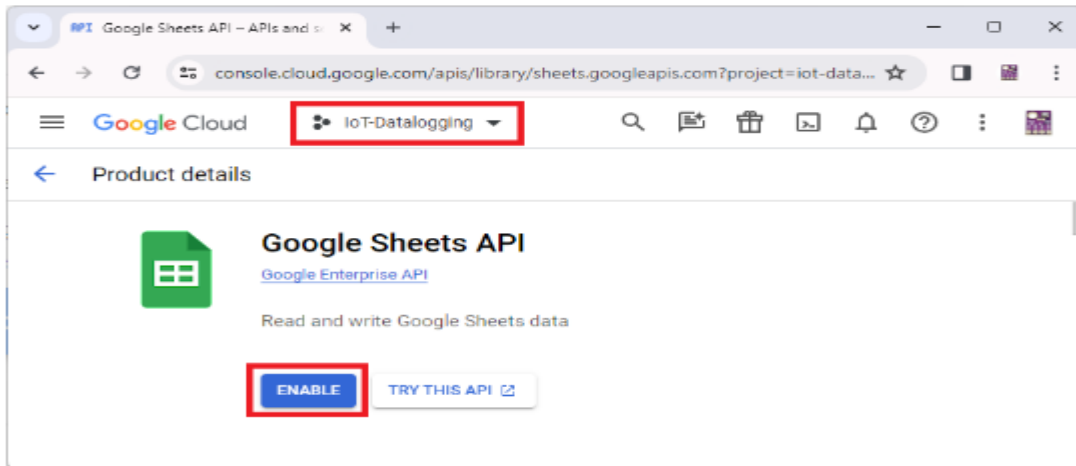


Figure III-21 : Créer un compte de service

Activer l'API Google Drive

Vous devez également activer l'API Google Drive pour votre projet.

Ouvrez le lien suivant <https://console.cloud.google.com/apis/library/drive.googleapis.com>

Et activez l'API Google Drive.

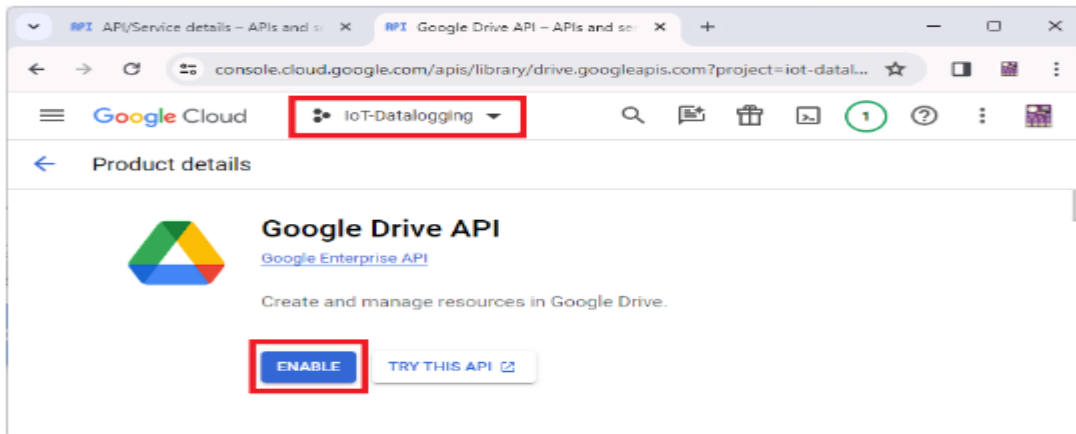


Figure III-22 : Créer un compte de service

3.6. Installation de la bibliothèque cliente Arduino Google Sheet pour les appareils Arduino :

Pour publier des relevés sur Google Sheets à l'aide du compte de service Google, nous utiliserons la bibliothèque **the ESP-Google-Sheet-Client de Mobitz**. Cette bibliothèque est fournie avec des méthodes pour créer, lire et supprimer des feuilles de calcul et écrire, mettre à jour et ajouter des données au fichier de feuille de calcul. Vous pouvez trouver tous Library exemples.

Dans l'IDE Arduino, accédez à **Sketch > Library > Manage Libraires**. Recherchez **ESP-Google-Sheet-Client** et cliquez sur **Install**.

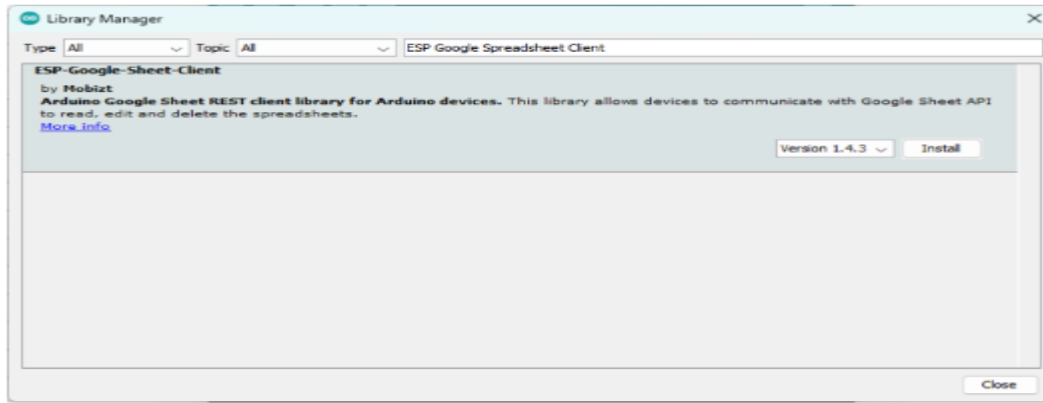


Figure III-23 : Créer un compte de service

3.7. Créer create a google spreadsheet.

Go to Google Sheets and create a new spreadsheet. Give a title to your spreadsheet. For example ESP32 Data logging.

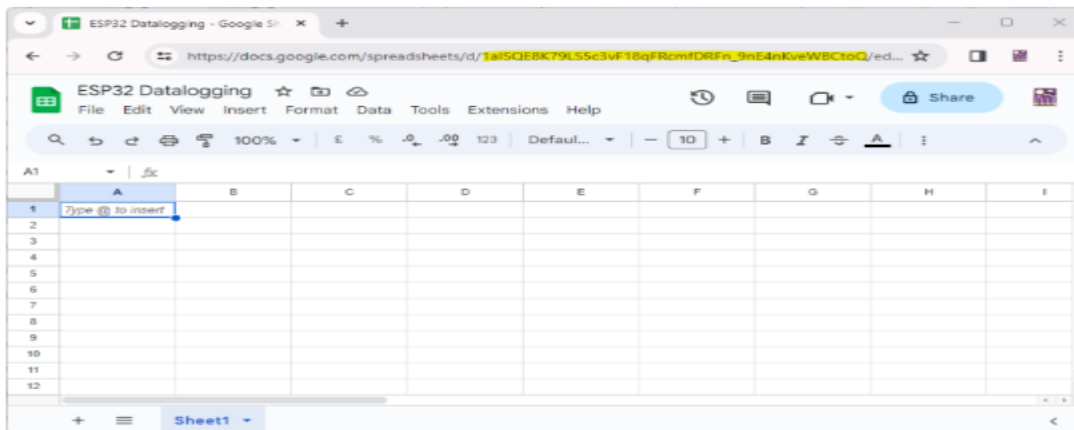


Figure III-24 : Créer un compte de service

Créer une feuille de calcul spreadsheet ID. Il est mis en évidence dans l'image ci-dessus. spreadsheet ID est la dernière chaîne de caractères de l'URL de votre feuille de calcul. Par exemple, dans l'URL https://docs.google.com/spreadsheets/d/1aISQE8K79LS5c3vF18qFRcmfDRFn_9nE4nKveWBCtoQ/edit#gid=0, spreadsheet ID est 1aISQE8K79LS5c3vF18qFRcmfDRFn_9nE4nKveWBCtoQ.

3.8. Partagez spreadsheet avec le compte de service

Pour pouvoir enregistrer des données dans cette feuille de calcul à l'aide du compte de service Google, comme nous le ferons dans ce tutoriel, vous devez partager la feuille de calcul avec l'e-mail du compte de service. Vous devriez obtenir l'e-mail du compte de service dans le fichier the JSON file you downloaded previously enregistré dans `client_email` variable.

Dans le coin supérieur droit, cliquez sur **Share**. Collez l'e-mail du compte de service et cliquez sur **send**.

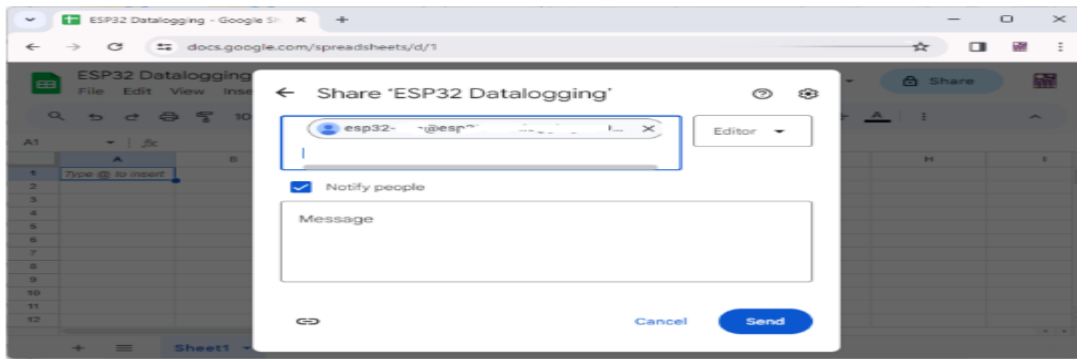


Figure III-25 : Créer un compte de service

3.9. Enregistrement des données ESP32 dans Google Sheets – Arduino Sketch

```
#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include "time.h"
#include <ESP_Google_Sheet_Client.h>

// For SD/SD_MMC mounting helper
#include <GS_SDHelper.h>

#define WIFI_SSID "REPLACE_WITH_YOUR_SSID"
#define WIFI_PASSWORD "REPLACE_WITH_YOUR_PASSWORD"

// Google Project ID
#define PROJECT_ID "REPLACE_WITH_YOUR_PROJECT_ID"

// Service Account's client email
#define CLIENT_EMAIL "REPLACE_WITH_YOUR_CLIENT_EMAIL"

// Service Account's private key
const char PRIVATE_KEY[] PROGMEM = "-----BEGIN PRIVATE KEY-----\
REPLACE_WITH_YOUR_PRIVATE_KEY\n-----END PRIVATE KEY-----\n";
// The ID of the spreadsheet where you'll publish the data
const char spreadsheetId[] = "YOUR_SPREADSHEET_ID";
// Timer variables
unsigned long lastTime = 0;
unsigned long timerDelay = 30000;
```



```

void Googlesheet_datatolog(){
// Call ready() repeatedly in loop for authentication checking and processing
bool ready = GSheet.ready();
if (ready && millis() - lastTime > timerDelay){
    lastTime = millis();
    FirebaseJson response;
    Serial.println("\nAppend spreadsheet values...");
    Serial.println("-----");
    FirebaseJson valueRange;
    // Get timestamp
    epochTime = getTime();
    valueRange.add("majorDimension", "COLUMNS");
    valueRange.set("values/[0]/[0]", epochTime);
    valueRange.set("values/[1]/[0]", V1);
    valueRange.set("values/[2]/[0]", V2);
    valueRange.set("values/[3]/[0]", V3);
    valueRange.set("values/[4]/[0]", I1);
    valueRange.set("values/[5]/[0]", I2);
    valueRange.set("values/[6]/[0]", I3);
    // For Google Sheet API ref doc, go to
    https://developers.google.com/sheets/api/reference/rest/v4/spreadsheets.values/append
    // Append values to the spreadsheet
    bool success = GSheet.values.append(&response /* returned response */,
spreadsheetId /* spreadsheet Id to append */, "Feuille1!A1" /* range to append */,
&valueRange /* data range to append */);
    if (success){
        response.toString(Serial, true);
        valueRange.clear();
    }
    else{
        Serial.println(GSheet.errorReason());
    }
    Serial.println();
    Serial.println(ESP.getFreeHeap());
}
}

void tokenStatusCallback(TokenInfo info){
    if (info.status == token status error){
        GSheet.printf("Token info: type = %s, status = %s\n",
GSheet.getTokenType(info).c_str(), GSheet.getTokenStatus(info).c_str());
        GSheet.printf("Token error: %s\n", GSheet.getTokenError(info).c_str());
    }
    else{
        GSheet.printf("Token info: type = %s, status = %s\n",
GSheet.getTokenType(info).c_str(), GSheet.getTokenStatus(info).c_str());
    }
}
}

```

Enfin, insérez l'ID de la feuille de calcul dans laquelle vous souhaitez publier vos données.

Remarque : si votre Google sheet n'est pas en anglais, vous devrez peut-être remplacer **Sheet1** par celui correspondant dans votre langue sur la ligne suivante.

```
bool success = GSheet.values.append(&response /* returned
response */, spreadsheetId /* spreadsheet Id to append */,
"Sheet1!A1" /* range to append */, &valueRange /* data range
to append */);
```

Vous pouvez maintenant télécharger le code sur votre carte ESP32.

Fonctionnement du code

Continuez à lire pour savoir comment fonctionne le code ou passez à the Démonstration section.

Inclure les bibliothèques

Tout d'abord, incluez les bibliothèques requises. Nous avons besoin de la bibliothèque Wi-Fi pour connecter notre carte à Internet, de l'Adafruit_sensor et de l'Adafruit_BME280 pour s'interfacer avec le BME280, de la bibliothèque **time.h** pour obtenir l'horodatage et enfin, d'ESP_Google_Sheet_Client pour interfacer l'ESP32 avec Google Sheets.

Insérez vos informations d'identification réseau sur les variables suivantes.

```
#define WIFI_SSID "REPLACE_WITH_YOUR_SSID"
#define WIFI_PASSWORD "REPLACE_WITH_YOUR_PASSWORD"
```

3.10. Détails du projet

Insérez l'ID de votre projet, l'e-mail de votre compte de service et la clé privée de votre compte. Tous ces détails se trouvent dans le fichier JSON que vous avez téléchargé précédemment.

```
//Google Project ID
#define PROJECT_ID "REPLACE_WITH_YOUR_PROJECT_ID"

// Service Account's client email
#define CLIENT_EMAIL "REPLACE_WITH_YOUR_CLIENT_EMAIL"

// Service Account's private key
const char PRIVATE_KEY[] PROGMEM = "-----BEGIN PRIVAT
```

Insérez l'ID de la feuille de calcul Google dans la variable suivante.

```
const char spreadsheetId[] = "YOUR_SPREADSHEET_ID";
```

BME280 Variables

Créez une instance pour le BME280 appelée **bme** et créez des variables pour enregistrer la température, l'humidité et la pression.

```
// BME280 I2C
Adafruit_BME280 bme;
// Variables to hold sensor readings
float temp;
float hum;
float pres;
```

Variabes d'horodatage

Nous créons une variable avec le serveur `ntp` auprès duquel nous allons demander l'heure et une variable pour enregistrer l'heure actuelle.

```
// NTP server to request epoch time
const char* ntpServer = "pool.ntp.org";

// Variable to save current epoch time
unsigned long epochTime;
```

Nous créons également une fonction pour renvoyer l'heure actuelle appelée `getTime()`.

```
// Function that gets current epoch time
unsigned long getTime() {
    time_t now;
    struct tm timeinfo;
    if (!getLocalTime(&timeinfo)) {
        //Serial.println("Failed to obtain time");
        return(0);
    }
    time(&now);
    return now;
}
```

setup()

In the `setup()`, initialize the Serial Monitor for debugging purposes

```
Serial.begin(115200);
Serial.println();
Serial.println();
```

Configurer l'heure.

```
//Configure time
configTime(0, 0, ntpServer);
```

Initialiser le capteur BME280

```
// Initialize BME280 sensor
if (!bme.begin(0x76)) {
    Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor, check wiring!");
    while (1);
}
```

Connect the ESP32 to your local network

```
// Connect to Wi-Fi
WiFi.setAutoReconnect(true);
WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);

Serial.print("Connecting to Wi-Fi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  Serial.print(".");
  delay(1000);
}
Serial.println();
Serial.print("Connected with IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
Serial.println();

// Initialize BME280 sensor
if (!bme.begin(0x76)) {
  Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor");
  while (1);
}
```

Connectez l'ESP32 à votre réseau local.

Ensuite, les lignes suivantes configurent et initient le processus d'authentification pour accéder aux API Google, y compris la configuration d'un rappel pour l'état de génération de jeton, la spécification d'un intervalle d'actualisation du jeton et le démarrage de la génération d'un jeton d'accès avec les informations d'identification d'authentification pertinentes (CLIENT_EMAIL, PROJECT_ID et PRIVATE_KEY que vous avez définies précédemment).

```
// Set the callback for Google API access token generation status (for debug only)
GSheet.setTokenCallback(tokenStatusCallback);

// Set the seconds to refresh the auth token before expire (60 to 3540, default is 300 seconds)
GSheet.setPrerefreshSeconds(10 * 60);

// Begin the access token generation for Google API authentication
GSheet.begin(CLIENT_EMAIL, PROJECT_ID, PRIVATE_KEY);
```

Loop ()

Dans la boucle(), vous devez appeler la ligne suivante pour qu'elle vérifie constamment l'authentification.

```
bool ready = GSheet.ready();
```

Ensuite, nous publierons périodiquement les relevés des capteurs sur Google Sheets. Vous pouvez ajuster l'intervalle sur la variable `timerDelay` définie au début du code.

```
if (ready && millis() - lastTime > timerDelay){
```

Nous créons un objet JSON appelé `valueRange` dans lequel nous ajouterons nos données. La bibliothèque cliente Google Sheets que nous utilisons avec ESP32 utilise la bibliothèque `FirestoreJson` pour gérer les objets JSON. Pour conserver la compatibilité avec d'autres exemples de la bibliothèque, nous utilisons également cette bibliothèque.

4. Mesure de la tension et du courant RMS à l'aide de l'ESP32

ESP32 ne supporte pas les opérations en virgule flottante dans une routine de service d'interruption (ISR), donc tous les calculs dans une ISR doivent être effectués en arithmétique à virgule fixe.

Les opérations arithmétiques à virgule fixe de base sont faciles à implémenter en langage C, mais vous n'avez pas encore besoin de calculer la racine carrée. Jusqu'au moment où cette page a été écrite, aucune bibliothèque ESP32 à virgule fixe n'a été trouvée pour faire cela.

Considérant le filtre à moyenne mobile avec fréquence d'échantillonnage synchronisée par une interruption de temporisation dans les calculs RMS, afin de garder les calculs en flottant sur ESP32, une certaine stratégie est nécessaire.

Dans ce contexte, ce projet présente une proposition de calcul de valeurs RMS dans ESP32.

4.6. Capteurs de tension/courant et conditionnement du signal :

Afin d'obtenir les résultats expérimentaux, dans cette proposition, les capteurs de tension et de courant LV20-P et LA55-P ont été utilisés respectivement.

L'utilisation de capteurs à effet Hall est recommandés car ils fournissent l'isolation galvanique et présentent généralement une réponse à bande passante élevée.

Le capteur de tension LV 20-P est en fait un capteur à effet Hall pour un faible niveau de courant. De ce fait, il est coûteux. Découvrez un moyen d'avoir un capteur de tension moins cher dans Capteur de tension différentielle.

4.7. Schéma de moyenne mobile pour les calculs RMS prenant en compte les sommations précédentes d'échantillons numériques : [25]

Dans la présente proposition, les sommations pour les calculs de moyenne seront effectuées par un ISR en utilisant l'arithmétique des nombres entiers.

Les calculs ultérieurs pour obtenir les valeurs RMS seront effectués en arithmétique à virgule flottante dans le cadre d'une tâche spécifique.

Pour cette raison, l'équation conventionnelle pour calculer les valeurs RMS sera remplacée par celle illustrée à la Figure.

Cela implique que deux tampons circulaires sont nécessaires, l'un pour stocker les échantillons et l'autre pour les échantillons carrés, comme nous pouvons le voir à la Figure.

La même stratégie peut être utilisée pour les mesures de courant.

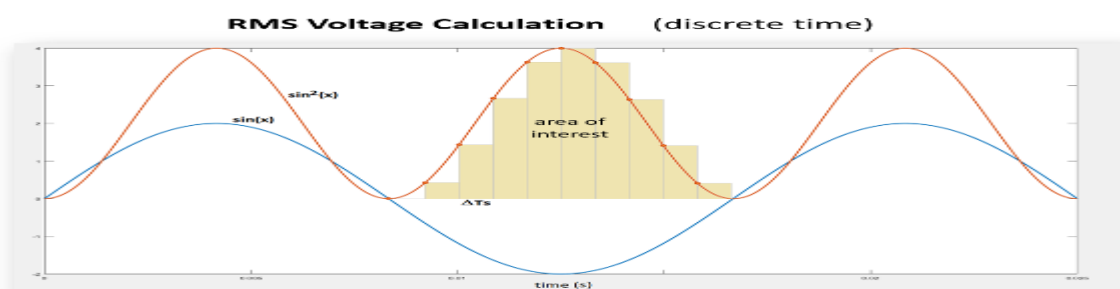


Figure III-26 : RMS Voltage Calculation

$$\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v_a \text{sen}^2(wt) = \lim_{dT_s \rightarrow 0} \frac{1}{T} \sum_{k=0}^n v_a^2(t + kdT_s) dT_s$$

$$T = n dT_s \rightarrow V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n v_a^2(k)} \quad \text{(III-1)}$$

RMS voltage : $V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (v_a^2(k))}$ (III-2) Pour convertir l'échantillon numérique en Volt :

$$v_a = \text{gain} v_d + \text{offset}, v_d = \text{digitalsample} \quad \text{(III-3)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\text{gain} v_d(k) + \text{offset})^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\text{gain}^2 v_d^2(k) + 2 \text{gain} v_d(k) \text{offset} + \text{offset}^2)} \quad \text{(III-4)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\text{gain}^2}{n} \sum_{k=1}^n v_d^2(k) + \frac{2 \text{gain} \text{offset}}{n} \sum_{k=1}^n v_d(k) + \text{offset}^2} \quad \text{(III-5)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\text{gain}^2}{n} \sum_{k=1}^n v_d^2(k) + \frac{2 \text{gain} \text{offset}}{n} \sum_{k=1}^n v_d(k) + \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \text{offset}^2} \quad \text{(III-6)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{B_2 \sum_{k=1}^n v_a^2(k) + B_1 \sum_{k=1}^n v_d(k) + B_0}$$

$$B_2 = \frac{\text{gain}^2}{n}$$

$$B_1 = \frac{2 \text{gain} \text{offset}}{n}$$

$$B_0 = \text{offset}^2$$

(III-7)

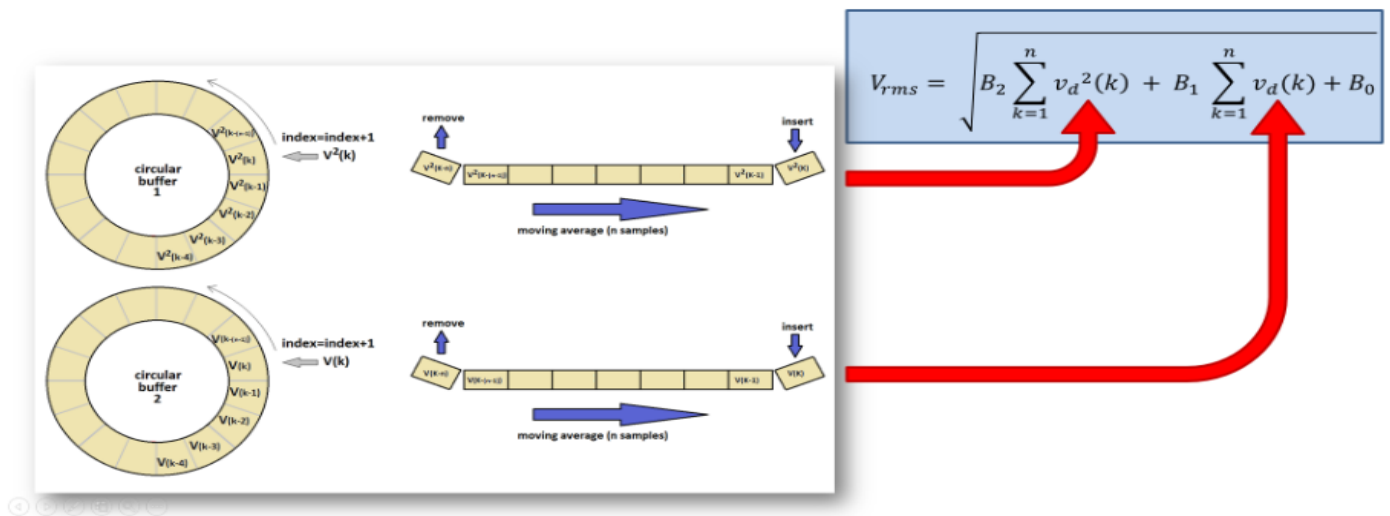


Figure III-27 : Proposed RMS Calculation

4.8. Schéma de moyenne mobile pour le calcul RMS

Il est important de souligner que cette stratégie de calcul ne sert qu'à contourner l'impossibilité de calculer en virgule flottante dans un ISR présenté par ESP32.

Bien sûr, nous avons d'autres stratégies pour la synchronisation d'échantillonnage, comme l'utilisation de `millis()` ou `esp_timer_get_time()`, qui utilisent l'équation simple vue dans la Figure , mais avec une interruption de minuterie, nous avons une fréquence d'échantillonnage plus précise.

Si vous voulez un voltmètre plus professionnel, il est recommandé de changer le microcontrôleur pour un autre avec une courbe de conversion ADC plus linéaire, avec un ADC déclenché par une minuterie et une interruption demandée par l'événement de fin de conversion, en plus de la résolution souhaitée et de la capacité d'opérations flottantes dans l'ISR.

En considérant un voltmètre à faible coût, sur lequel vous pouvez obtenir les valeurs RMS à l'aide d'un simple écran LCD ou d'un navigateur Web sur ordinateur ou téléphone portable, l'ESP32 présente un rapport coût-bénéfice intéressant.

4.9. Convertisseur analogique-numérique (ADC) ESP32

L'ESP32 possède deux convertisseurs analogique-numérique : ADC1 et ADC2. Il n'est pas possible d'utiliser ADC2 et Wifi ou Bluetooth simultanément.

GPIO0 (ADC2_1), GPIO2 (ADC2_2), GPIO12 (ADC2_5) et GPIO15 (ADC2_3) sont utilisés comme broches de strapping pour configurer le boot. Afin d'utiliser ces canaux ADC, un schéma matériel externe est nécessaire pour conserver la configuration de boot (multiplexeur externe).

Malheureusement, selon la documentation Espressif, il semble que les ADC ESP32 ne supportent pas le déclenchement matériel (timers), ni l'interruption matérielle pour l'événement de fin de conversion. Afin de voir en quoi ces ressources sont intéressantes, consultez la page Mesure de tension RMS avec Arduino UNO où un exemple pour l'Atmega328P est présenté.

Par conséquent, vous devez utiliser une fonction avec un démarrage de conversion logiciel et un handshaking logiciel pour obtenir l'échantillon lorsqu'il est prêt.

En considérant la configuration par défaut de l'adc, la fonction `analog Read()` prend environ 52 microsecondes pour renvoyer l'échantillon tandis que la fonction `adc1_get_raw(channel)` prend environ 36 microsecondes. Comme vous pouvez utiliser les fonctions ESP-IDF dans un programme Arduino, la deuxième option est recommandée, mais n'oubliez pas d'inclure la bibliothèque correspondante.

Pour un système électrique à 60 Hz, 100 échantillons par période dans les calculs RMS impliquent un taux d'échantillonnage de 6 kHz. En considérant l'acquisition de deux canaux et l'obtention d'échantillons avec `adc1_get_raw(channel)`, seules les acquisitions d'échantillons prennent 72 microsecondes, ce qui représente presque la moitié de la période d'échantillonnage (166,67 μ s). Tenez compte de cette limitation lors du choix du taux d'échantillonnage et du nombre de canaux à acquérir, afin de permettre l'exécution en temps réel du code. Gardez à l'esprit qu'il existe plusieurs tâches simultanées.

IV. Partie de traitement de données

I. Modélisation du système de lignes de transport proposé

Le modèle de réseau électrique triphasé considéré est simulé sous l'environnement MATLAB/Simulink. Il s'agit d'un système électrique de 11 kV, 60 HZ, Puissance charge 10e3, résistance 0.38 Ω , inductance 4.12e-3H, capacitive 7.751e-9 F, ligne de 100 km

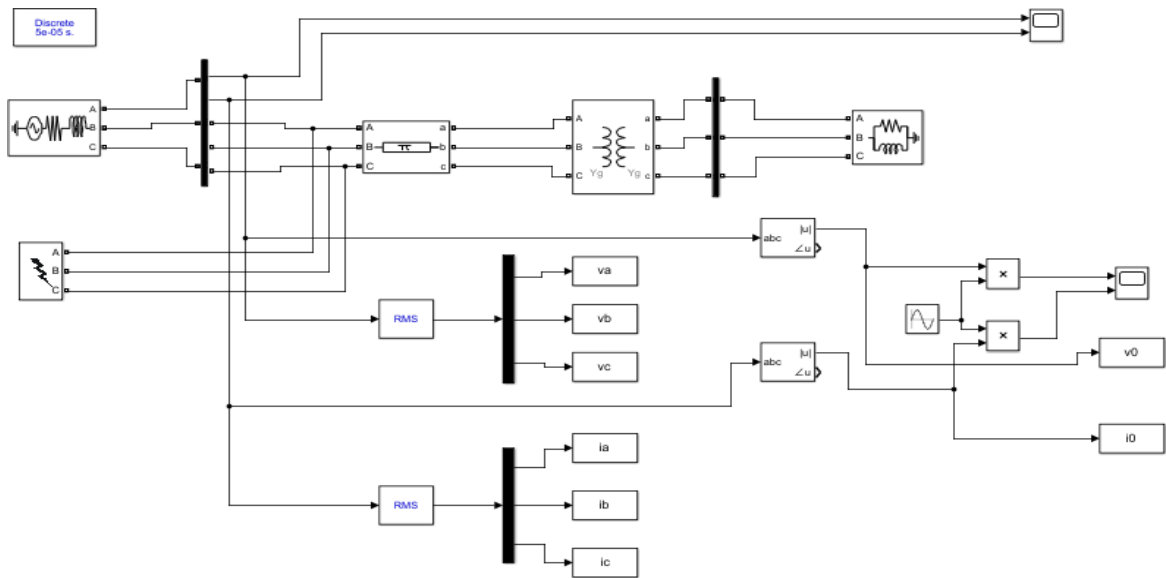


Figure III.28 Modèle des réseaux électriques avec jeux de barres

On a produit et échantillonné des formes d'onde de tension et de courant triphasées. Petite taille du réseau de neurones dans son ensemble L'amélioration des performances de l'ARN synthétique peut être obtenue en optimisant la fonction d'extraction. En agissant de cette manière, toutes les informations essentielles et pertinentes sont stockées dans les signaux de tension et de tension. On peut utiliser le courant de manière efficace. Les données des ondes de tension et de courant obtenues sans condition de défaut sont présentées dans la figure III.2.

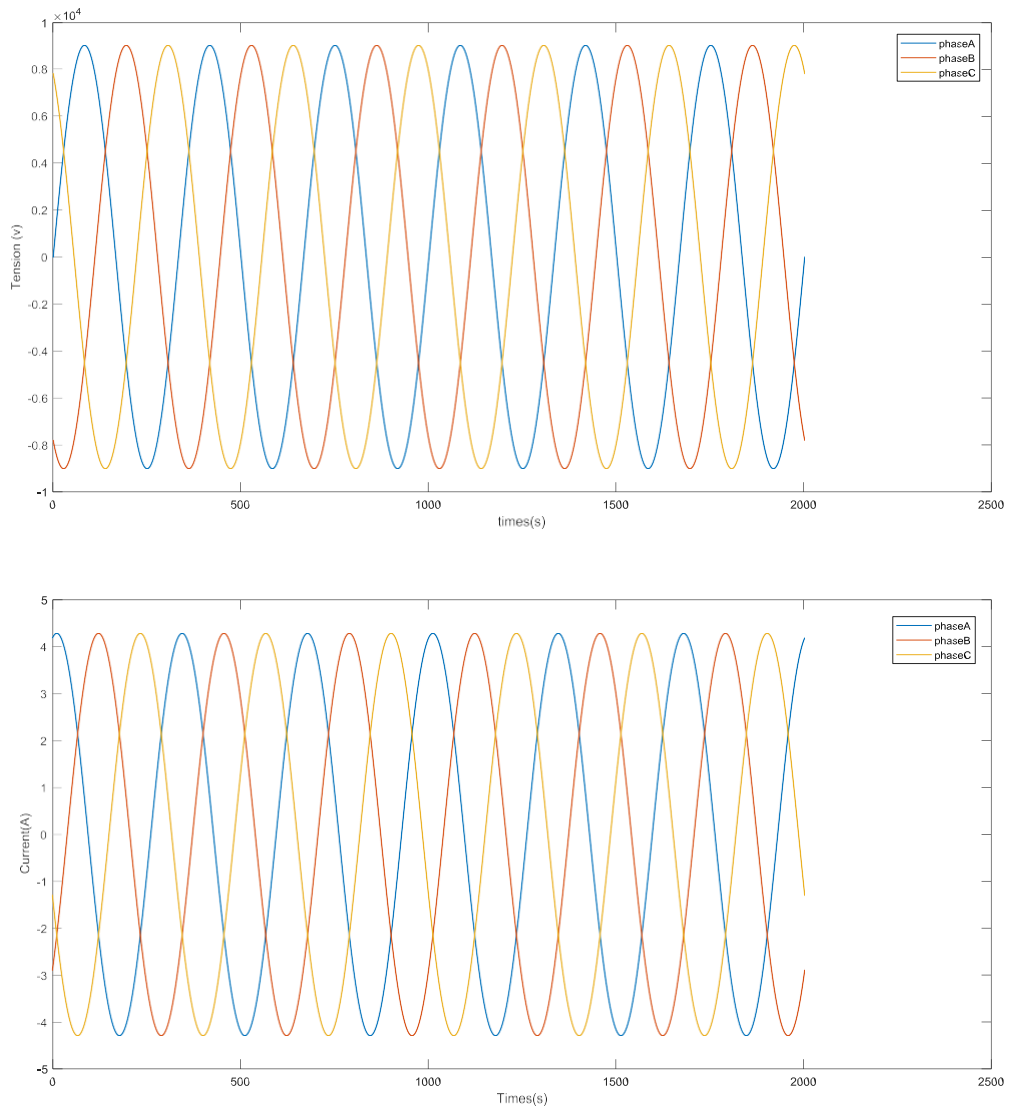


Figure III.29 : Formes d'onde de tension et de courant du système étudié, sans défaut.

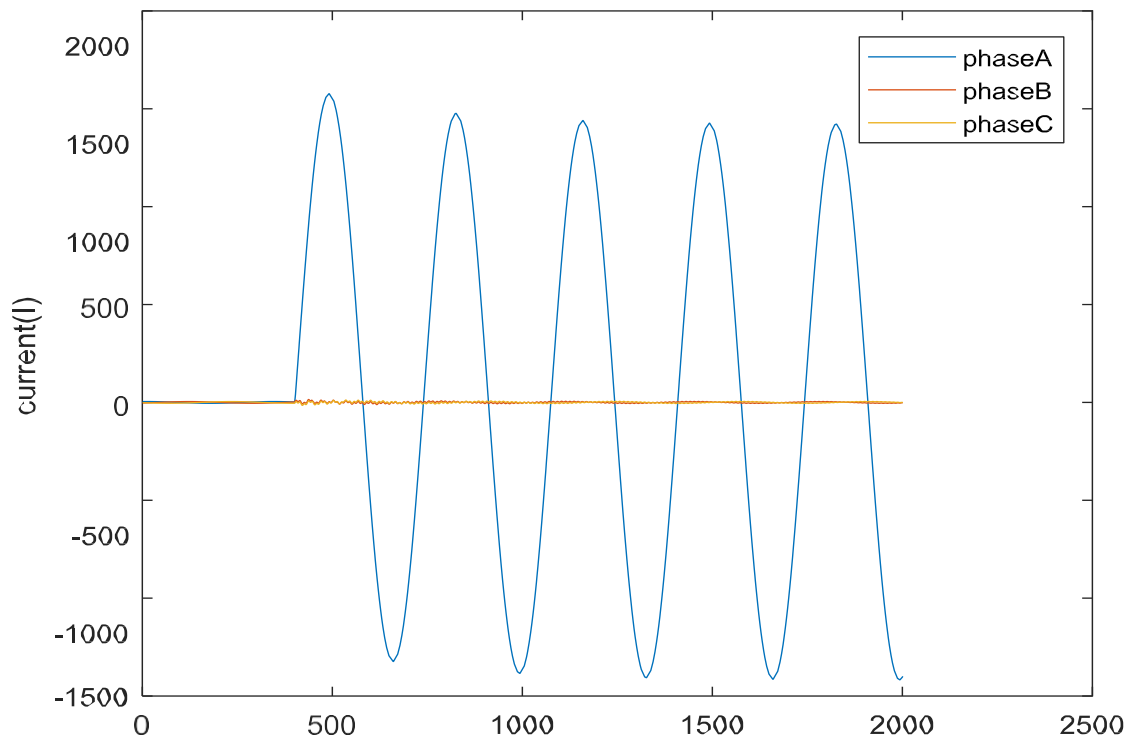
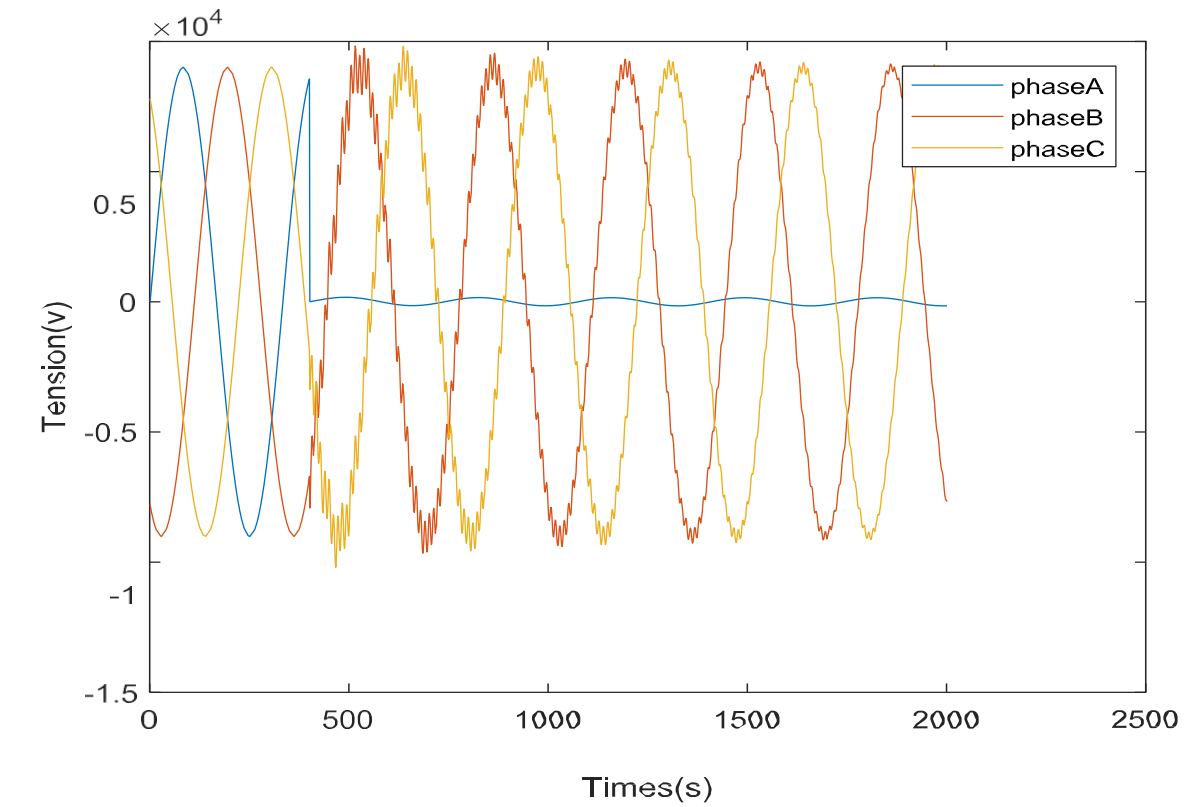


Figure III.30 : Formes d'onde de tension et de courant pour un défaut entre la phase A et terre.

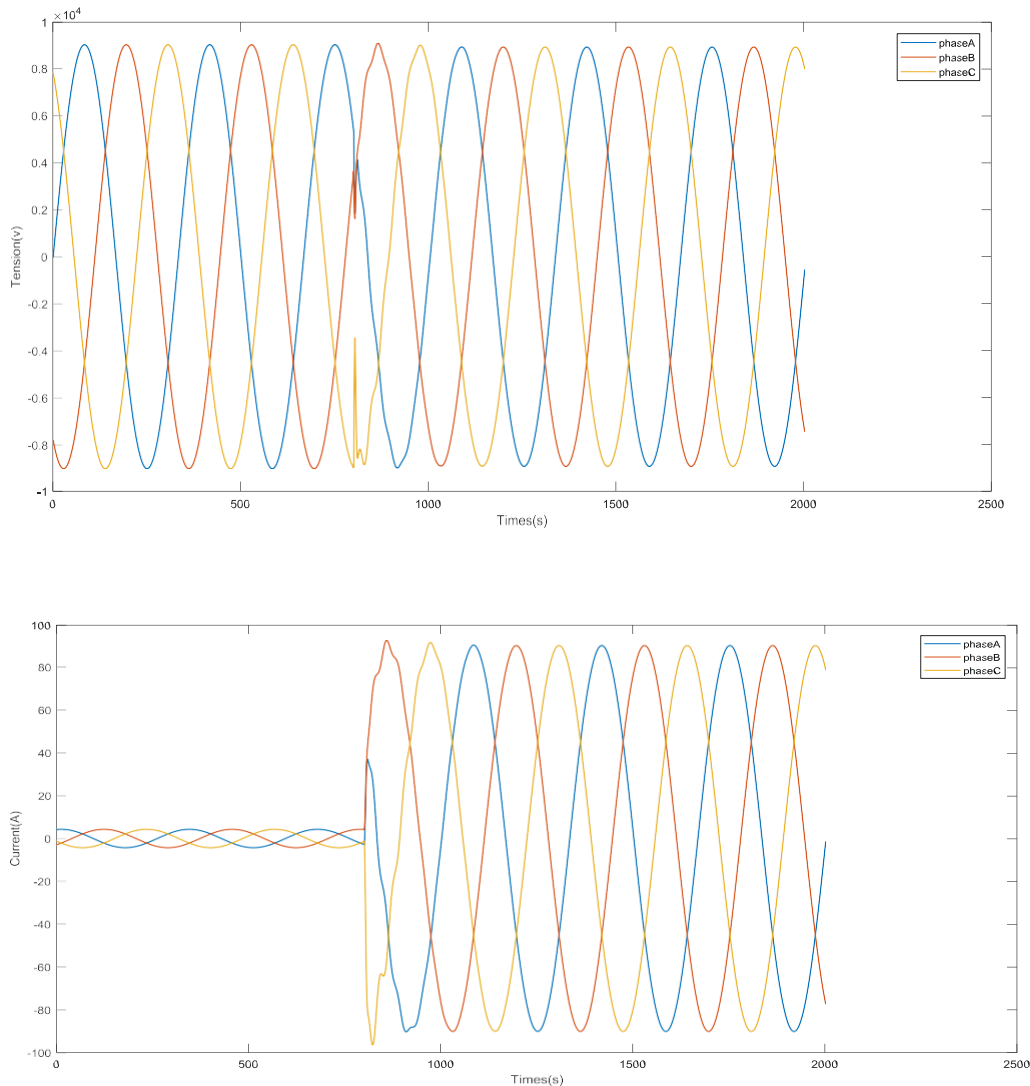


Figure III.31 : Formes d’onde de tension et de courant pour un défaut entre la phase A et B, C

II. RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

2.1. RESEAUX DE NEURONES ET COUCHES DE RESEAUX DE NEURONES

Le réseau de neurones regroupe les algorithmes les plus efficaces qui ont été correctement utilisés dans un apprentissage automatique au cours de la dernière décennie pour différentes applications pratiques (reconnaissance manuscrite, reconnaissance vocale, etc.). On peut le définir comme un modèle informatique imitant le processus biologique des systèmes nerveux permettant d'apprendre de l'ensemble de données pour obtenir les sorties souhaitées. Le principal avantage de l'algorithme de réseau de neurones est qu'il peut résoudre des problèmes non linéaires et découvrir les résultats par une relation très complexe entre les entrées et les sorties.[26]

Chaque réseau de neurones est constitué de trois niveaux symbolisés par des connexions. En général, ces nœuds sont reliés en fonction des systèmes. Les réseaux de neurones sont constitués de trois niveaux principaux : l'entrée, la couche cachée et la sortie .[27]

La première couche du réseau de neurones, composée de plusieurs nœuds, reçoit l'ensemble des données et des informations spécifiques en fonction des formes d'entrée. On peut représenter le calque caché en utilisant des calques cachés ou en utilisant un seul calque. Les données provenant de la couche d'entrée sont recueillies par ces couches, qui mettent en place une formulation mathématique dont les résultats sont transmis à la couche de sortie sous forme de modèle.

Les nœuds de la couche de sortie recevront le résultat correspondant à la sortie désirée afin de vérifier les performances.

Le programmeur procédera à ces étapes et les répétera jusqu'à ce que les résultats étroitement désirés soient obtenus.

2.2. ORGANISATION DU RESEAU DE NEURONES :

Le réseau de neurones est composé de neurones présents dans les couches d'entrée, de la première fonction d'activation dans la couche d'entrée, de poids et de biais, de neurones dissimulés dans la couche dissimulée, de la deuxième fonction d'activation dans la couche de sortie et de la sortie désirée. La structure générale d'un réseau de neurones est illustrée dans la figure. [26]

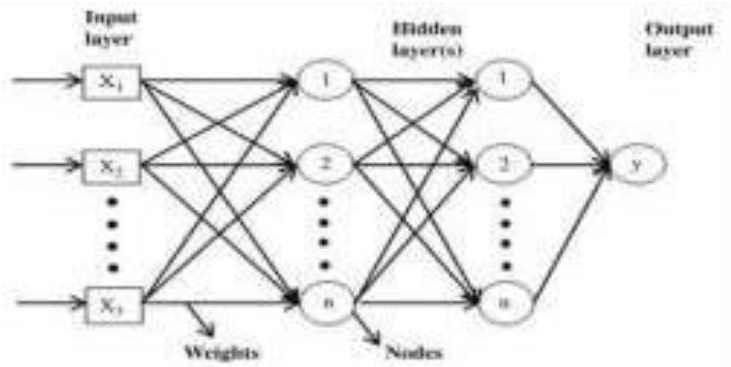


Figure III.32 : Structure NN

III. DETECTION ET CLASSIFICATION DES DEFAUTS ELECTRIQUES A L'AIDE DE RESEAUX DE NEURONES

3.1. RESEAU NEURONAL DE DETECTION DE PANNE

Le réseau neuronal était initialement conçu pour utiliser les tensions de phase et les courants de phase comme entrées. Le réseau de neurones présente la structure suivante :La couche d'entrée comprend 8 entrées, une fonction d'activation Tan-sigmoïde dans la couche d'entrée, une couche cachée avec un nombre variable de neurones cachés, une fonction d'activation linéaire dans la couche de sortie, une couche de sortie avec une sortie, un algorithme de rétro propagation, une formation avec l'algorithme de Levens berg-Marquardt pour 70% des données, une validation pour 15% des données et un test pour 15% des données restantes. La structure du réseau de neurones développé est illustrée dans la figure III.6 ci-dessous. [28]

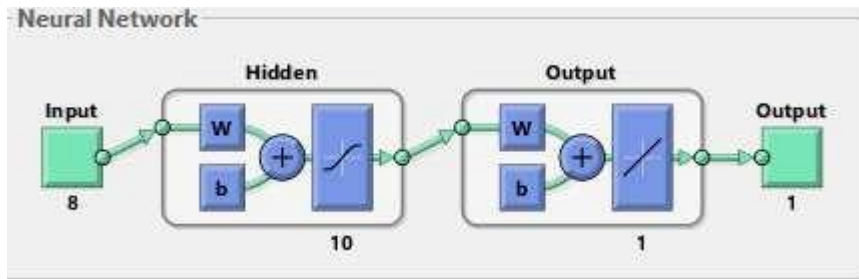


Figure III.33 : Réseau neuronal de détection de défaut

3.2. SYSTEME DE DETECTION DE DEFAUT UTILISANT ARTIFICIEL RESEAU NEURONAL

Pour commencer à créer le réseau de neurones souhaité, la première consiste à identifier les entrées pour le réseau de neurones et la cible sorties selon le tableau (1) ci-dessous :

Tableau III.1 Entrées et sorties de détection de défaut

| Entrées (type de défaut) | Sortie réseau |
|---------------------------------|----------------------|
| A-G | 1 |
| B-G | 1 |
| C-G | 1 |
| ABG | 1 |
| ACG | 1 |
| BCG | 1 |
| ABCG | 1 |
| ABC | 1 |
| AB | 1 |
| AC | 1 |
| BC | 1 |
| Sans defaults | 0 |

Après avoir identifié toutes les entrées et sorties nécessaires, le réseau de neurones a été formé à l'aide de l'outil MATLAB pour le réseau de neurones (**nftool**). Considérant 70 % des données pour la formation, les 30 % restants ont été divisés en 15 % de validation et 15 % de test. Le processus de formation est illustré à la figure III.7 ci-dessous.

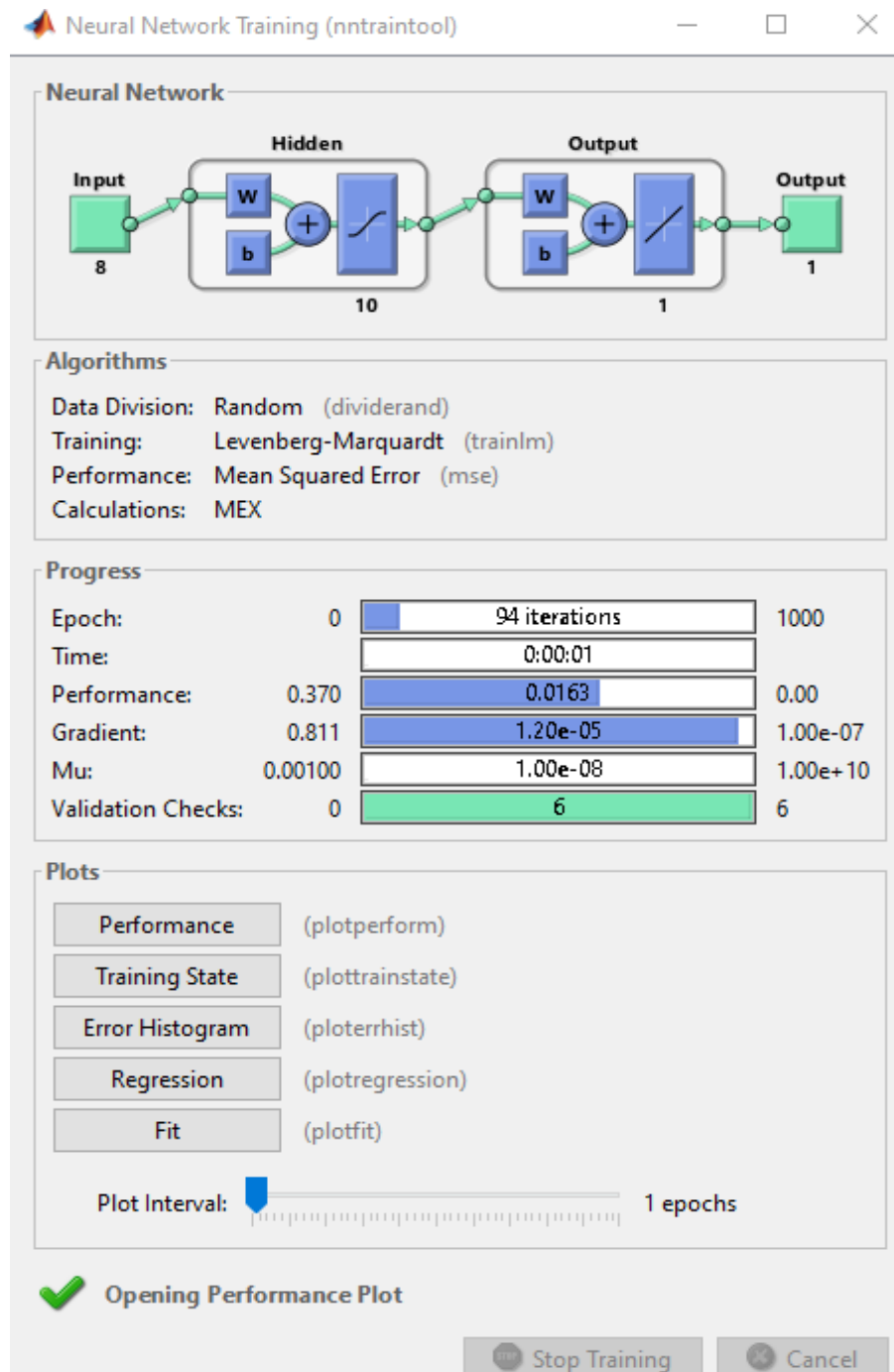


Figure III.34 : formation à la détection des pannes

Après la formation, les graphiques des performances du réseau de neurones et le modèle de régression afin de voir le comportement du réseau conçu. La figure III.8 ci-dessous montre les performances du réseau de neurones. [28].

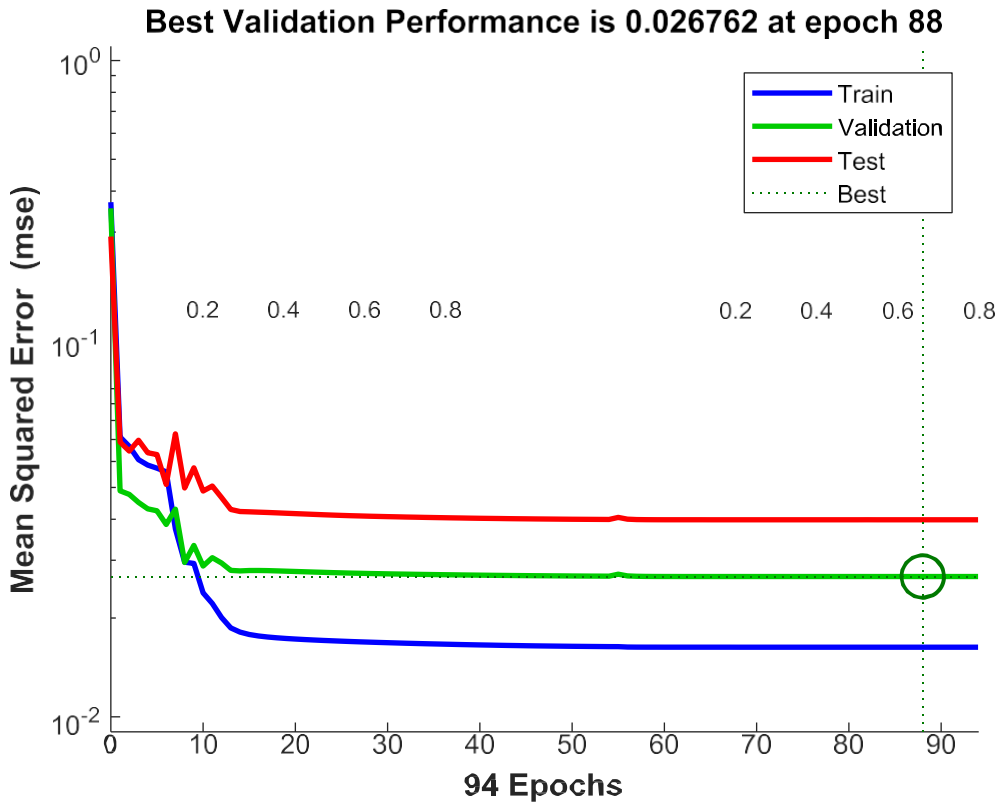
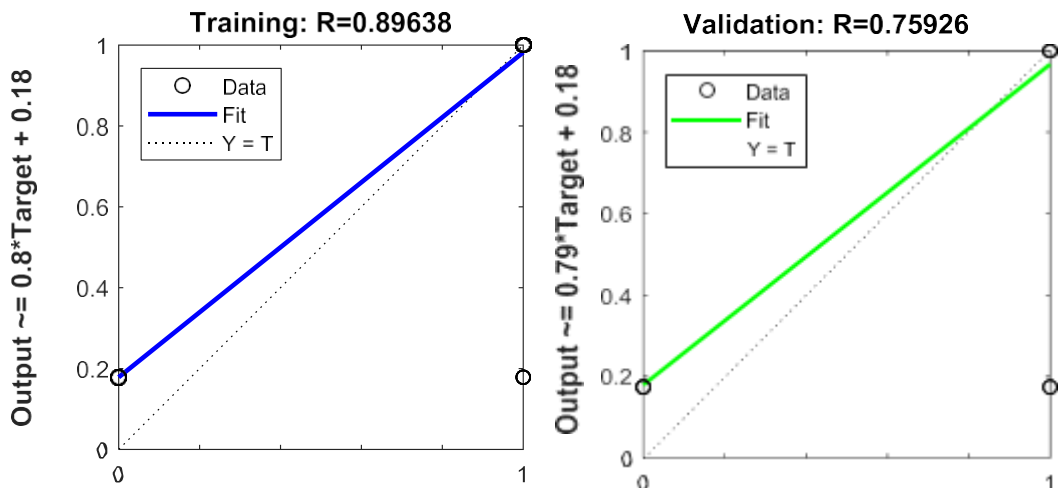


Figure III.35 : performances du réseau de détection

Le graphique de régression pour le réseau neuronal développé pour la détection des défauts est illustré ci-dessous figure III.9



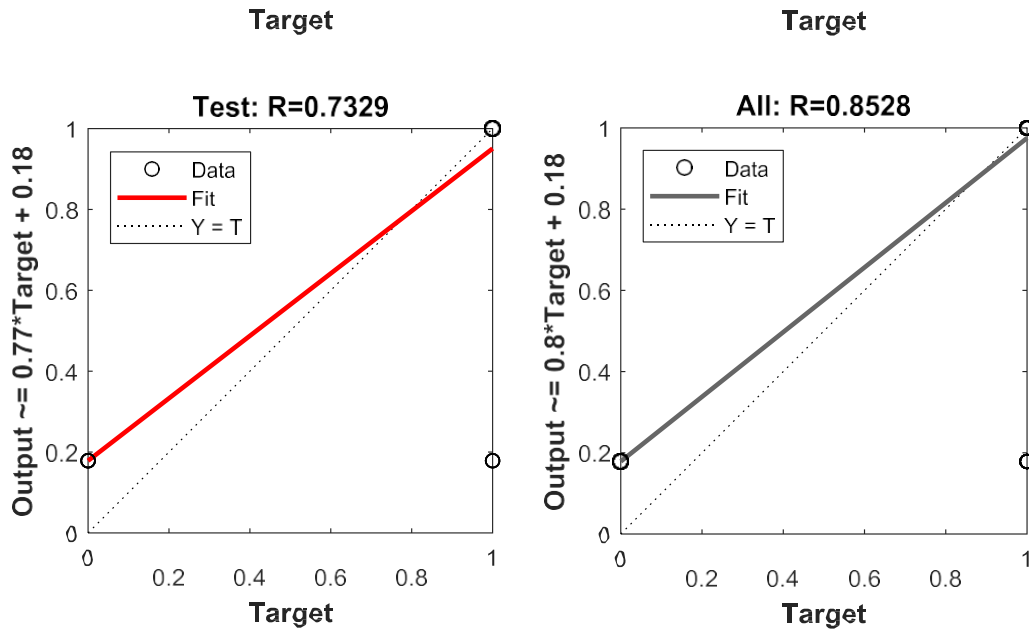


Figure III.36 : Ajustement de la régression pour la détection ANN

Selon les graphiques de performance et de régression, on constate que le réseau de neurones développé est en bonne santé. L'objectif était d'optimiser les performances du réseau de neurones en ajustant le nombre de neurones dissimulés dans la couche cachée. Il est observé que lorsque le nombre de neurones dissimulés dans la couche cachée est de 10, les performances du réseau de neurones sont améliorées avec une erreur quadratique moyenne de $1.20e-05$ en 94 itérations, avec une performance de 90 %. Quand les données du tableau III.1 sont transmises au réseau, la sortie est reçue à 90 %.

3.3. SYSTEME DE CLASSIFICATION DES DEFAUTS UTILISANT UN RESEAU NEURONAL ARTIFICIEL

Pour commencer à créer le réseau neuronal souhaité, les entrées qui sont représentées par les tensions de phase (Va, Vb ,Vc & V0) et les courants de phase (Ia, Ib ,Ic & I0) comme indiqué dans le tableau III.2 ci-dessous : [29]

Tableau III.2 : Valeurs d'entrée du réseau neuronal pour différents cas de défaut

| | Va | Vb | Vc | Ia | Ib | Ic | V0 | I0 | Défaut |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| 1 | 6.299 | 6.368 | 6.369 | 63.67 | 3.009 | 3.052 | 187.7 | 29.74 | A-G |
| 2 | 6.369 | 6.299 | 6.368 | 3.052 | 63.67 | 3.008 | 187.7 | 29.74 | B-G |
| 3 | 6.368 | 6.368 | 6.299 | 3.008 | 3.052 | 63.67 | 187.7 | 29.74 | C-G |
| 4 | 6.299 | 6.299 | 6.368 | 63.69 | 63.68 | 3.031 | 187.7 | 29.74 | ABG |
| 5 | 6.299 | 6.368 | 6.299 | 63.68 | 3.031 | 63.69 | 187.7 | 29.73 | ACG |
| 6 | 6.368 | 6.299 | 6.229 | 3.031 | 63.69 | 63.68 | 187.7 | 29.73 | BCG |
| 7 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 4.258 | 1.210 | ABCG |
| 8 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 4.108 | 2.733 | ABC |
| 9 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 1.139 | 0.009 | 0.001 | AB |
| 10 | 6.144 | 6.368 | 6.485 | 53.68 | 3.031 | 56.65 | 0.009 | 0.001 | AC |
| 11 | 6.368 | 6.485 | 6.144 | 3.031 | 56.65 | 53.68 | 0.009 | 0.001 | BC |
| 12 | 6.368 | 6.383 | 6.368 | 3.030 | 3.030 | 3.030 | 8.833 | 6.161 | Sans défaut |

Ensuite, l'entrée du réseau neuronal est définie comme type de défaut sous forme codée (4 bits) comme indiqué dans le tableau III.3 ci-dessous :

Tableau III.3 Entrée et sortie cible pour le réseau de neurones de classification

| Type de défaut | Sortie cable réseau | | | |
|---------------------|---------------------|---|---|---|
| | A | B | C | G |
| A-G | 1 | 0 | 0 | 1 |
| B-G | 0 | 1 | 0 | 1 |
| C-G | 0 | 0 | 1 | 1 |
| ABG | 1 | 1 | 0 | 1 |
| ACG | 1 | 0 | 1 | 1 |
| BCG | 0 | 1 | 1 | 1 |
| ABCG | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ABC | 1 | 1 | 1 | 0 |
| AB | 1 | 1 | 0 | 0 |
| AC | 1 | 0 | 1 | 0 |
| BC | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Sans deflate | 0 | 0 | 0 | 0 |

Les sorties ont été triées en fonction du type de défaut, chaque type de défaut étant représenté par 4 bits, ce qui facilite la mémorisation du réseau neuronal. Après avoir identifié les entrées et les sorties cibles, la prochaine étape consiste à établir le réseau de neurones et à évaluer les performances, l'erreur quadratique moyenne correspondante, ainsi que la précision du réseau. Dans la figure III.10, on peut observer la démarche de création du réseau. La formation représente 70% des données, la validation 15% et les tests 15%. [30]

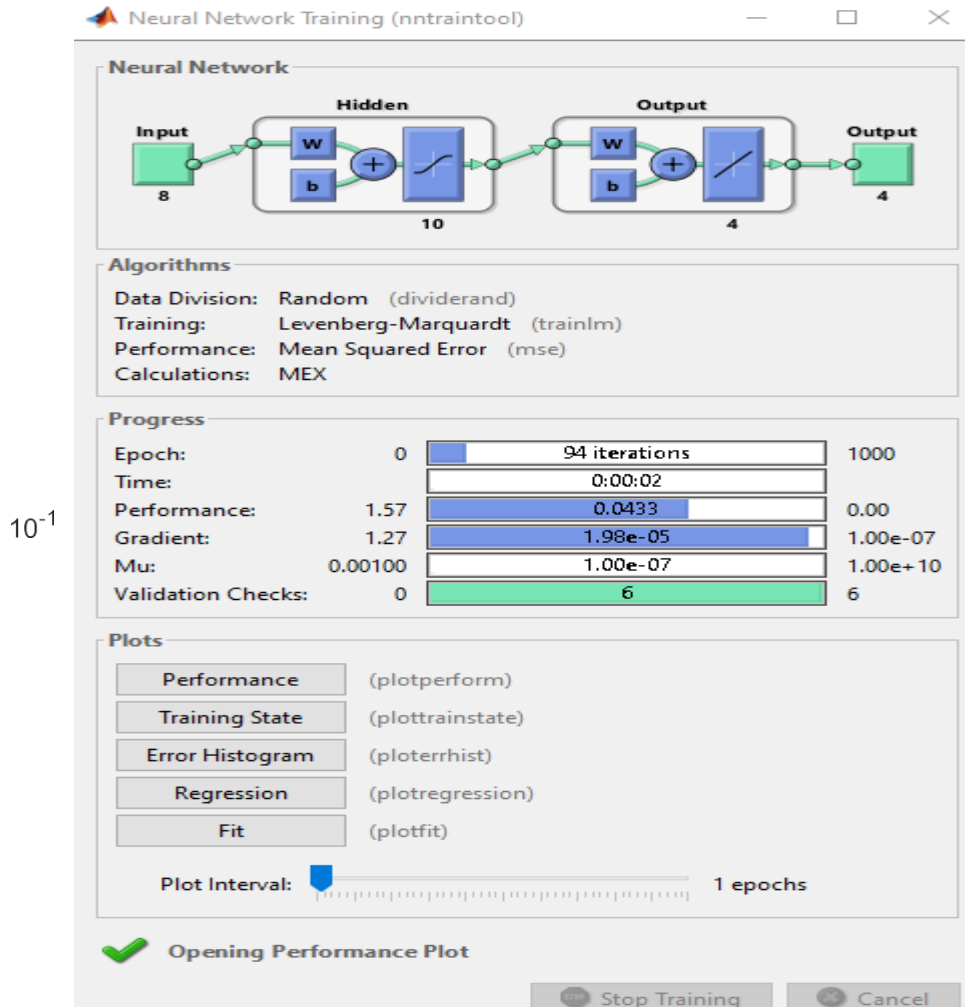


Figure III.37 : Processus de formation pour la classification ANN

Après la formation, les graphiques ont été obtenus pour le réseau de neurones montrant les performances et le modèle de régression pour voir le comportement du réseau conçu. La figure III.11 ci-dessous montre les performances du réseau de neurones. [31]

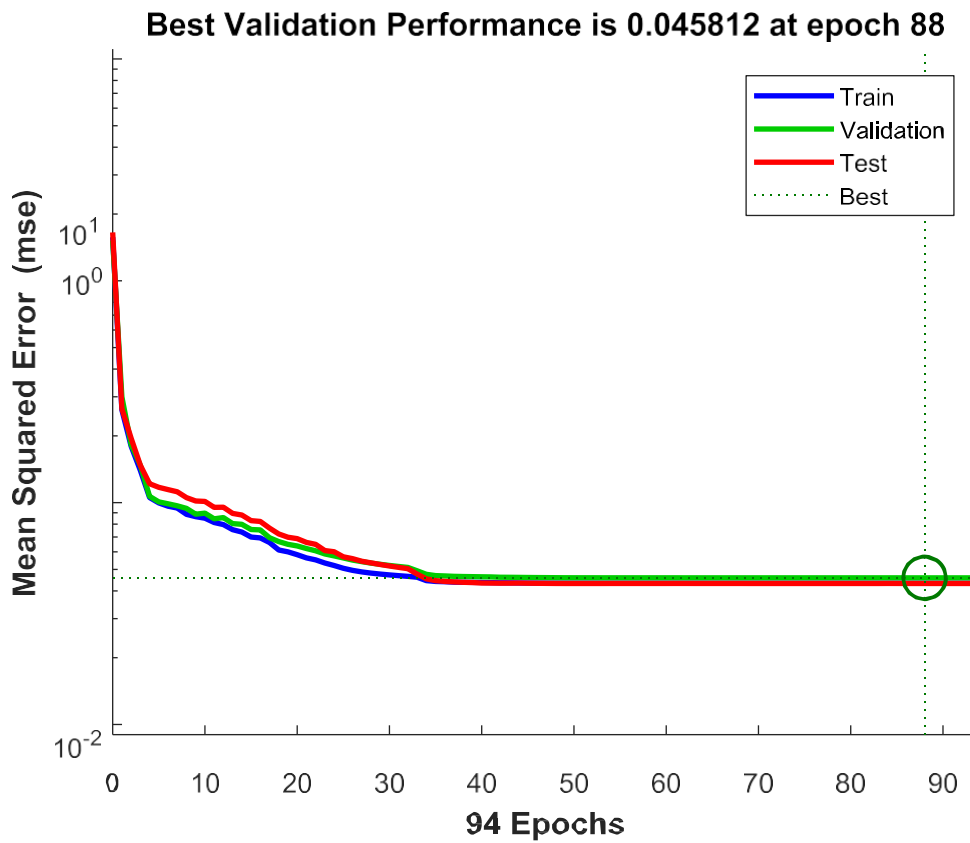


Figure III.38 : Performances du réseau de classification

Le graphique de régression pour le réseau neuronal développé pour la classification des défauts est présenté dans la figure ci-dessous III.12

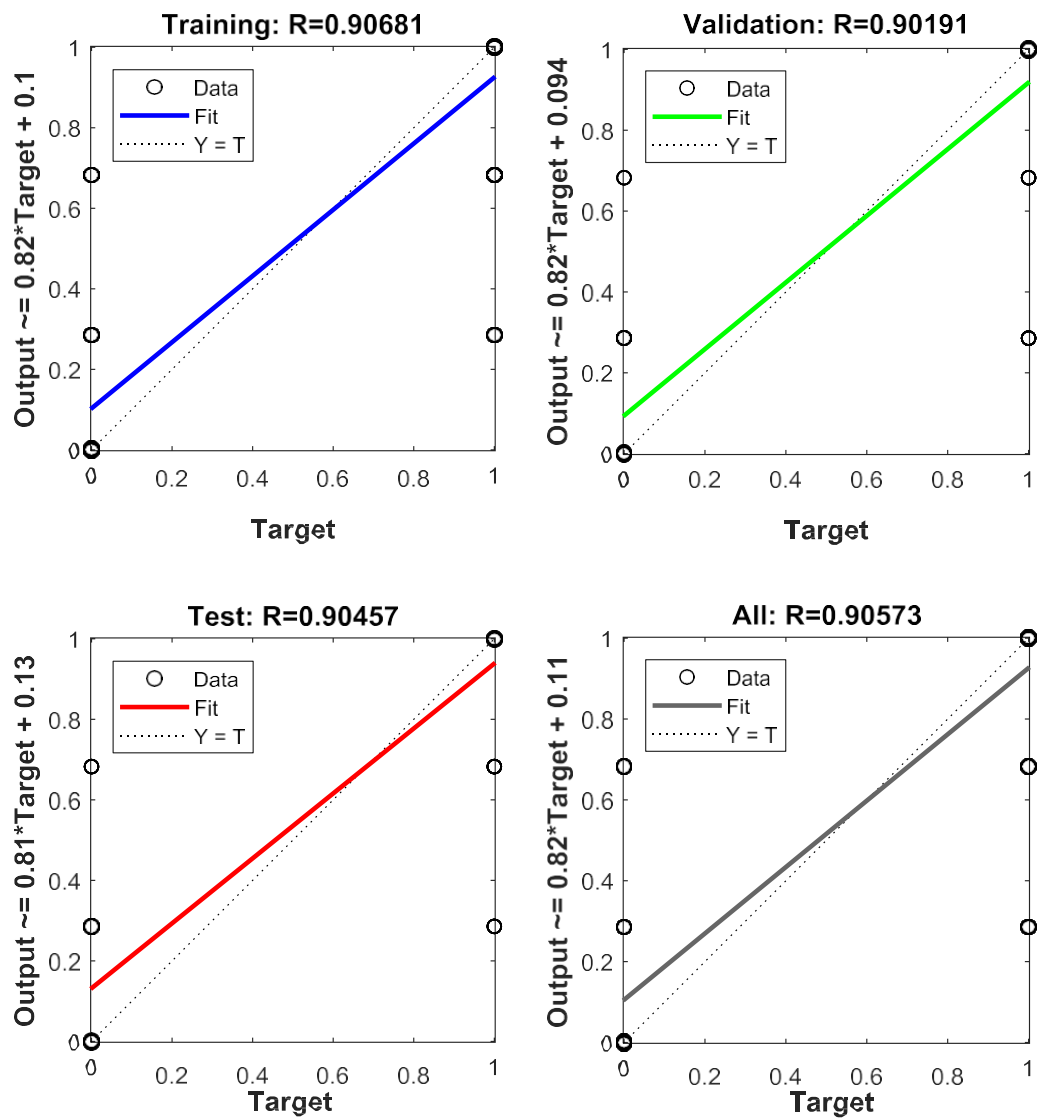
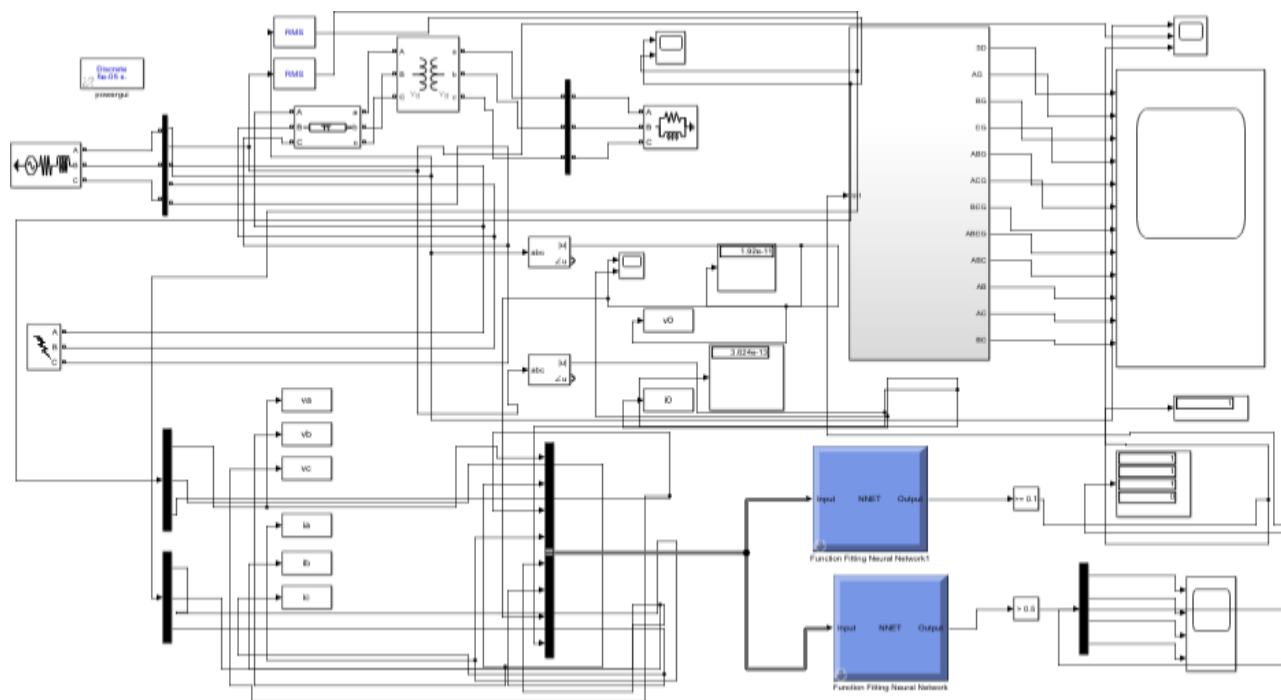


Figure III.39 : Ajustement de la régression pour la classification ANN

3.4. SCHEMA GLOBAL DE RESEAUX NOUREEN



III.40 : Schéma global de réseaux Noureen

On a effectué des tests sur le réseau neuronal afin d'assurer l'obtention de la sortie cible. On a obtenu les graphiques de certains défauts afin de garantir les performances du réseau de neurones développé. En utilisant un réseau de neurones artificiels, les graphiques de certains défauts détectés sont présentés dans les figures III. (14, 15,16 et 17).[32]

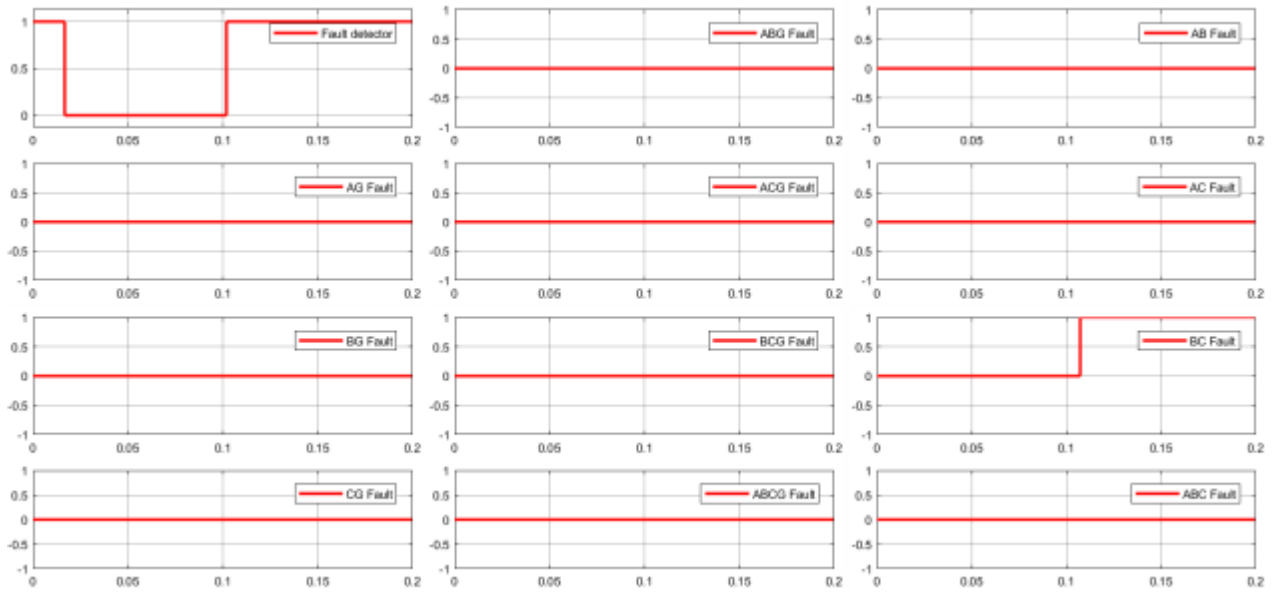


figure III.41 :B-C défaut

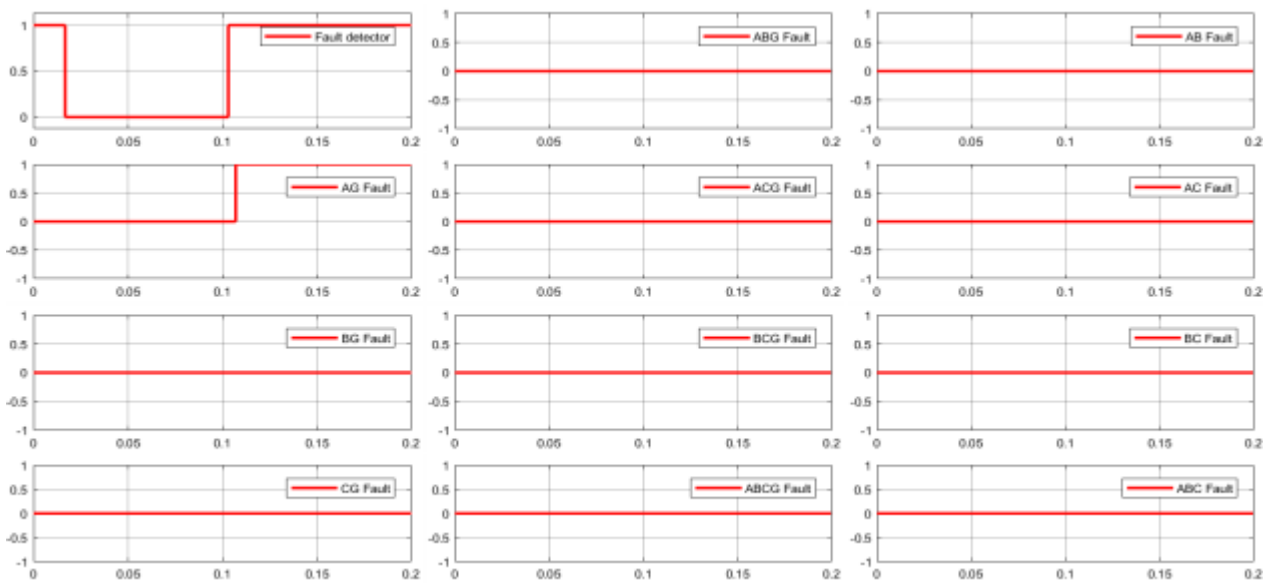


figure III.42 : A-G défaut

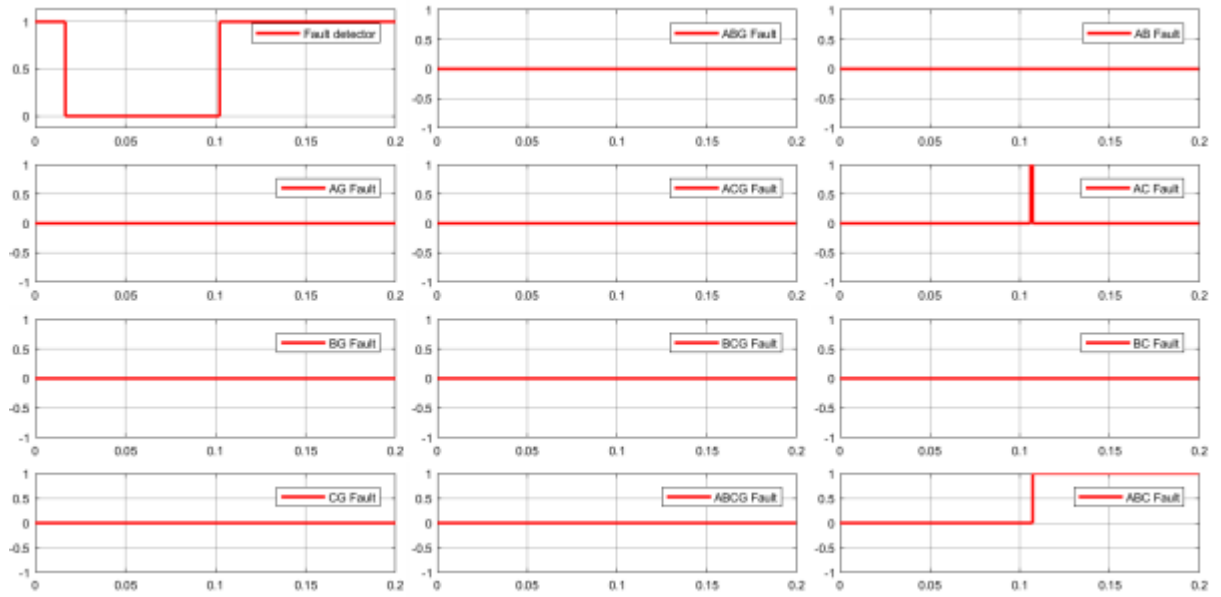


figure III.43 : A-B-C défaut

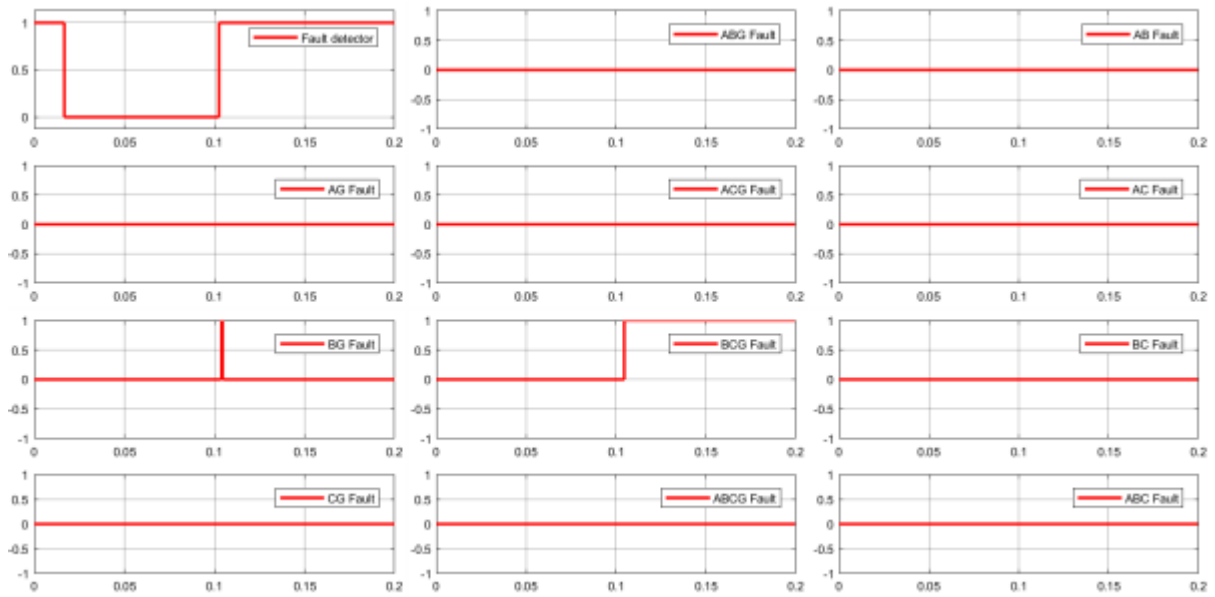


figure III.44 B-C-G défaut

Conclusion

Ce chapitre a présenté notre installation expérimentale, composée de divers composants tels que l'ESP32, le capteur de tension ZMPT101B, et de courant SCT-013 et les protocoles de communication LoRa et L'LoT.

Nous avons expliqué en détail la configuration de l'ESP32 et comment le connecter à un ordinateur pour le programmer à l'aide de l'IDE Arduino. Cette approche nous permet de bénéficier d'une interface et d'un langage familiers, facilitant ainsi l'utilisation de l'ESP32. De plus, nous avons utilisé la plateforme Google sheet pour surveiller et contrôler à distance plusieurs paramètres RMS (les valeurs efficaces).

Nous avons pu collecter, stocker et analyser les données provenant des capteurs. Nous avons fait Modélisation du système de lignes de transport proposé (la simulation) pour visualiser les mesures en temps réel et créer des graphiques, afin de conduire le défaut qu'il existe. En somme, ce projet nous a fourni une vision globale de l'installation expérimentale et des outils que nous utiliserons tout au long de notre projet final. Ces informations préliminaires sont essentielles pour comprendre le contexte et les objectifs de notre étude, ainsi que pour nous familiariser avec les étapes techniques nécessaires à sa réalisation.

L'objectif principal de ce chapitre est d'utiliser l'intelligence artificielle dans la détection et la classification des défauts électriques dans les réseaux électriques. Les deux réseaux développés devaient remplir les fonctions requises. Le premier réseau était destiné à la détection des défauts en organisant les types de défauts passe en "0" et "1". Le deuxième réseau de neurones est pour la classification des défauts en utilisant les tensions de phase et les courants de phase comme entrée avec une sortie cible de 4 chiffres classant le type de défaut. La performance globale des deux réseaux artificiels de neurones était excellente avec une précision de près de 90 % pour le réseau neuronal de détection de défaut et 95 % pour le réseau neuronal de classification. En tant que travail futur, un troisième réseau neuronal peut être développé pour être utilisé pour déterminer le défaut et son emplacement survenu. En développant le troisième réseau de neurones, un système complet à utiliser pour détecter, localiser et classer les défauts électriques dans tout réseau électrique sera créé. Tous les travaux ont été effectués à l'aide du logiciel MATLAB avec l'outil intégré de réseau neuronal (**nftool**)

Chapitre IV :

Test et résultat

I. Introduction :

Dans ce chapitre en va tester notre system de détection et classification

De défaut à travers de faire des défauts dans notre phase et mettre en œuvre notre système pour voir les résultats obtenus .

1. Signal triphasé :

Dans cette partie en va réaliser une génératrice basse fréquence triphasé de type analogique, doté de trois sorties distinctes délivrant des signaux périodiques sinusoïdaux d'amplitude de 10V et une fréquence de 50HZ déphasés l'un par rapport à l'autre de 120 degrés.

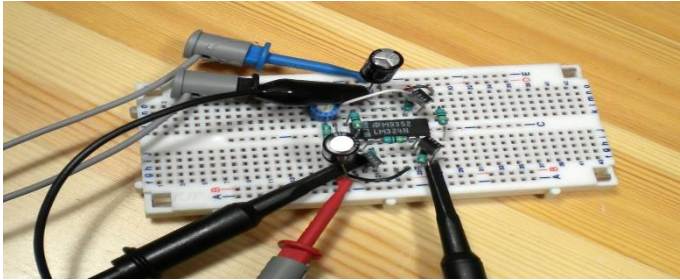


Figure IV-1 : Signal triphasé

Ce circuit fonctionne à une fréquence fixe qui peut tenir dans le spectre des signaux audio.

Schéma :

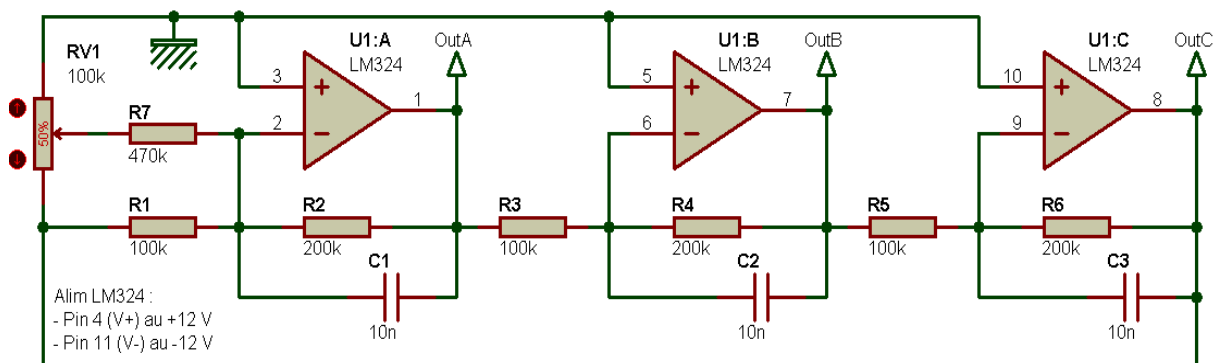


Figure IV-2 : circuit fonctionne à une fréquence fixe

2. Fonctionnement général :

Le principe de fonctionnement est simple, il consiste à reboucler la sortie d'un amplificateur sur son entrée, en passant au travers d'un réseau déphaseur. C'est le principe de base de tout oscillateur. Selon la valeur des composants du réseau déphaseur, le retard que prend le signal de sortie pour revenir à l'entrée est plus ou moins important, et la fréquence d'oscillation est plus ou moins élevée. Au lieu d'utiliser un seul amplificateur et un seul réseau déphaseur, on utilise ici trois amplificateurs montés en série, avec le troisième qui revient sur le premier : c'est le serpent qui se mord la queue. Une contrainte existe pour que le système accepte d'entrer en oscillation et le reste. C'est que l'amplification totale (celle apportée par les trois amplificateurs) soit suffisante pour compenser la perte de niveau apportée par le réseau déphaseur. Dans le cas présent, chaque amplificateur apporte un gain de 2 (soit +6 dB) au minimum, ce gain dépend en fait de la fréquence du signal injecté à l'entrée du premier ampli. Comme on a affaire à des amplis qui se rebouclent, et comme on veut que les trois signaux travaillent à des niveaux

identiques, le gain de chaque ampli s'établi en fait à 1, sinon il y aurait atténuation ou amplification excessive du signal sur chacune des sorties. Avec une amplification globale insuffisante, le montage entre en oscillation au moment où on le met sous tension, puis le signal disparaît petit à petit des sorties. On a affaire à des signaux sinusoïdaux amortis, que l'on pourrait fort bien utiliser pour générer des sons percussifs. Avec une amplification globale trop grande, l'amplitude des signaux de sortie grimpe progressivement jusqu'à atteindre l'écrêtage. Dans ce mode de fonctionnement, la stabilité est vraiment très bonne mais on ne dispose évidemment plus de sinusoïdes pures et la distorsion générée peut devenir gênante. Tout ceci explique la présence du potentiomètre RV1, qui permet de doser le taux de réinjection du signal de sortie vers l'entrée. Ce potentiomètre doit être ajusté de telle sorte que l'amplitude des signaux de sortie soient en-dessous du seuil d'écrêtage, tout en conservant leur amplitude (qu'ils ne chutent pas progressivement).

3. Prototype :

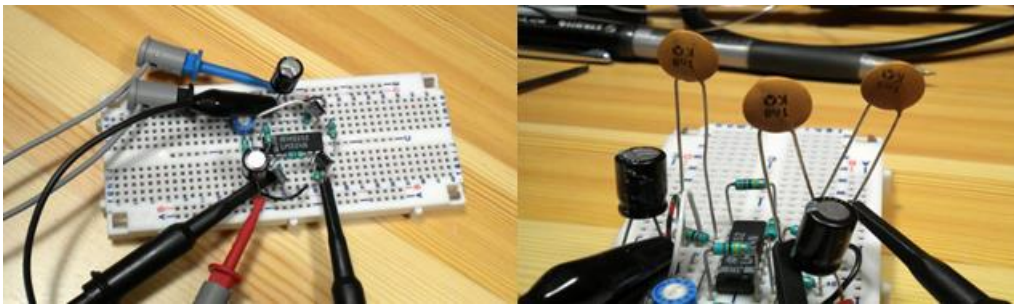


Figure IV-3 : montage pour un circuit déphaseur

Réalisé sur une plaque d'expérimentation sans soudure.

Les deux photos qui précèdent montrent le même montage, une fois avec des condensateurs (C1 à C3) de 10 nF, et une autre fois avec des condensateurs de 1,8 nF. Pour que les photos de l'écran d'oscilloscope rendent quelque chose, j'ai en effet du diminuer la valeur des condensateurs du réseau déphaseur pour augmenter la fréquence d'oscillation. Sans cela, il était impossible de voir en même temps les deux courbes sur la photo, à cause de l'incompatibilité entre vitesse de balayage de l'oscilloscope et "temps d'ouverture" de mon APN (la première photo ci-après montre le problème, les deux suivantes sont correctes)

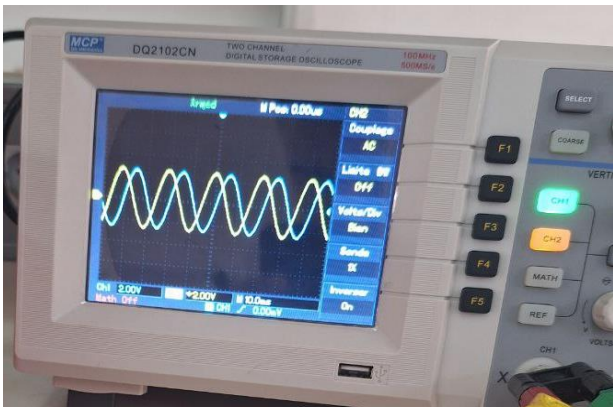


Figure IV-4. 1: signal des deux phases A,B

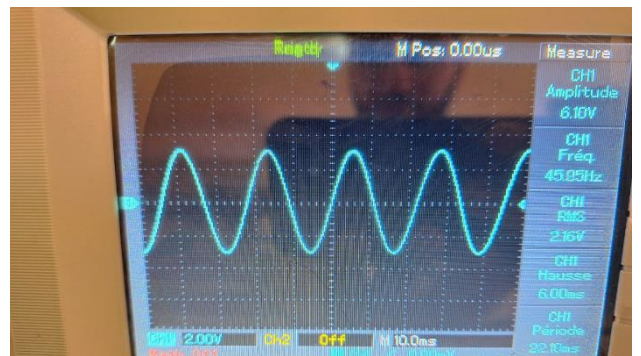


Figure IV-5: signal de phase C

4. Mesure des tension et courants des phases :

Notre senseur de courant fonctionne dans un environnement alternatif.

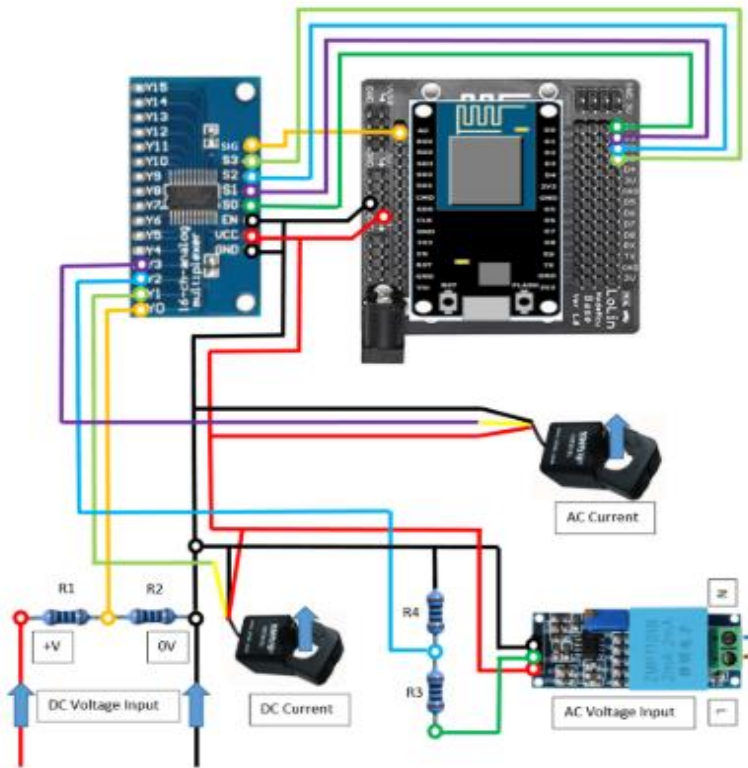


Figure IV-6 : schéma de câblage pour mesurer les courants et les tension RMS



Figure IV-7 : capteur de courant brancher avec une phase

La sortie du senseur est une tension alternative et le maximum de cette tension doit rester sous les 5 volts critiques (au-dessus de cette Tension, le convertisseur analogique/digital rendra l'âme).

Les caractéristiques mentionnent l'information suivante:

Courant d'entrée: entre 0 et 30A AC (dans la boucle de mesure à clips)

Les **30 Ampères** mentionnés ne portant pas la mention pointe ou peak, il s'agit donc d'une **valeur efficace!**

Cette valeur est certes usuelle par rapport à vos autres appareils électriques. Par contre, c'est le courant de pointe qui va générer la tension de pointe sur la résistance de charge (Burden) du senseur.

Et cette tension de pointe qui doit absolument rester dans l'éventail des tensions admissibles par le convertisseur analogique/digital de notre ESP32 (entre 0 et 5 volts).

Ce courant de **30 Ampères** représente donc un courant de pointe de:

$$I_{\text{primaire_pointe}} = 30 \times \sqrt{2} = 30 \times 1.4142 = 42.42 \text{ Ampères}$$

Notre senseur étant un transformateur au rapport 1800:1 (Turn Ratio, le rapport de transformation) produira un courant de pointe dans le circuit secondaire égale à:

$I_{\text{secondaire_pointe}} = I_{\text{primaire_pointe}} / \text{rapport} = I_{\text{primaire_pointe}} / (1800/1) = I_{\text{primaire_pointe}} / 1800$

$I_{\text{secondaire_pointe}} = 42.42 / 1800 = 0.0235 \text{ Ampère (soit } 23.5 \text{ mA)}$

Ce courant secondaire de pointe de 23.5mA va traverser la résistance de charge (Burden de 62 Ohms) et produira une tension secondaire de pointe de:

$U_{\text{secondaire_pointe}} = R_{\text{burden}} \times I_{\text{secondaire_pointe}} = 62 * 0.0235 = 1.457 \text{ Volts}$

La tension secondaire de pointe des 1.457 Volts.

La tension alternative en sortie du senseur évolue donc entre les maximums de -1.457 Volts à +1.457 volts.

L'amplitude totale du signal en sortie (soit 2.914 Volts) reste donc inférieure au maximum de 5 volts de notre convertisseur analogique/digital.

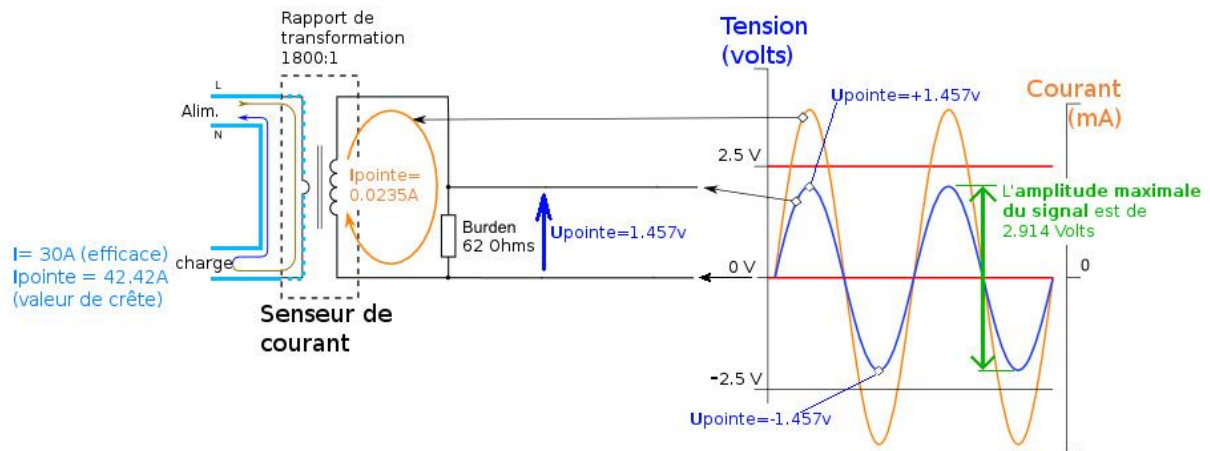


Figure IV-8: mesure de courant alternatif

Nous allons également pouvoir placer notre pont diviseur de tension pour déporter le signal autour de 2.5 volts. En effet:

$2.5 \text{ Volts} + 1.457 \text{ Volts (la tension de pointe maximale)} = 3.957 \text{ Volts}$. Cela reste en dessous des 5 volts.

$2.5 \text{ volts} - 1.457 \text{ Volts (la tension de pointe minimale)} = 1.043 \text{ Volts}$. Cela reste au-dessus de 0 volts.

La lecture des courants et tensions RMS depuis Google sheet :

Après de mesurer l'esp 32 envoie les données vers un cloud (Google sheet) en va faire des déferent court-circuit entre les phases et prendre les mesures donner dans le cloud et mettre les dans le (work space) de MATLAB chaque 30second (comme des entré).

| 1 | va | vb | vc | ia | ib | ic | v0 | i0 | date et heure |
|---|----------|----------|----------|--------|----------|--------|-----------|-----------|---------------------|
| 2 | 4120.366 | 4120.303 | 4120.413 | 5.564 | 5.564 | 5.564 | 6.568e-09 | 3.819e-11 | 12/06/2024 13:48:56 |
| 3 | 4.0448 | 4424.026 | 4522.336 | 15.742 | 5.332 | 4.620 | 2542.797 | 6.304 | 12/06/2024 13:49:26 |
| 4 | 4510.658 | 1.448 | 4420.605 | 4.645 | 15.742 | 5.323 | 2530.960 | 6.274 | 12/06/2024 13:49:56 |
| 5 | 4420.565 | 4510.552 | 1.520 | 5.322 | 4.644 | 15.742 | 2531.043 | 6.275 | 12/06/2024 13:50:26 |
| 6 | 1.547 | 1.522 | 4663.360 | 15.742 | 15.74190 | 4.256 | 2197.700 | 5.448 | 12/06/2024 13:50:56 |
| 7 | 1.513 | 4663.280 | 1.638 | 15.742 | 4.255 | 15.742 | 2197.608 | 5.448 | 12/06/2024 13:51:26 |
| 8 | 4663.362 | 1.556 | 1.504 | 4.255 | 15.741 | 15.742 | 2197.676 | 5.448 | 12/06/2024 13:51:56 |

Figure IV-9 :les valeurs efficace des courants et tensions enregistrer dans le cloud

3 II. Tester le system de détection et classification :

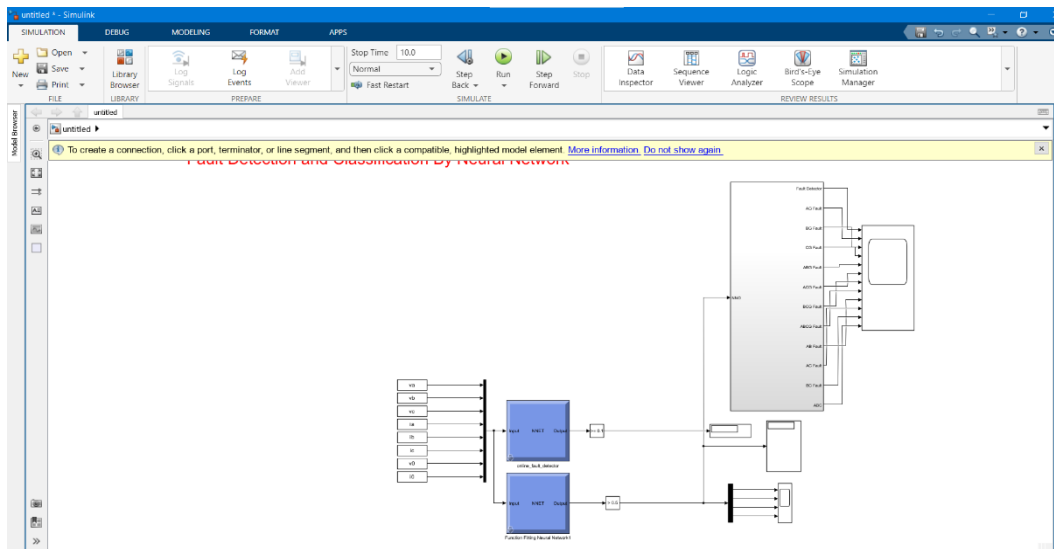


Figure IV-10 : les valeurs mesurer des 3 phases dans le Matlab Simulink

Défauts monophasé à la terre :

En va faire un court-circuit entre la phase A et la terre et prendre les mesures des tension et courant (RMS). La tension et le courant homopolaire.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|------------|------------|---------|--------|--------|------------|--------|---|
| 1.0093e+03 | 4.3353e+03 | 4.4151e+03 | 13.2440 | 5.3571 | 4.8268 | 1.9125e+03 | 4.7415 | |

Figure IV-11 : les mesures obtient de la court-circuit phaseA terre

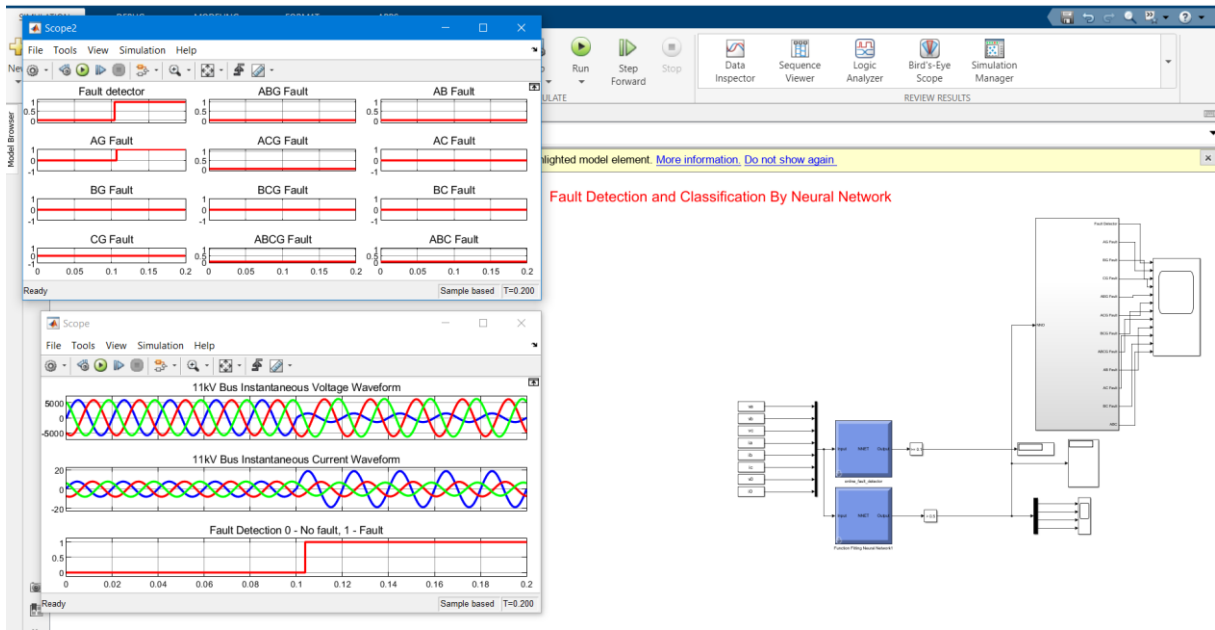


Figure IV-12 :la détection et la classification de défaut phase A-terre

Le système et bien fonctionner il détecte et classifie le défaut

Défaut double phase :

En va créer un défaut entre les deux phases (A-B)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|------------|------------|------------|---------|---------|--------|--------|------------|
| 1 | 2.2589e+03 | 2.3083e+03 | 4.1200e+03 | 11.7573 | 11.3016 | 5.5659 | 0.3904 | 9.6786e-04 |

Figure IV-13 :les mesures obtient de la court-circuit phase A phase B

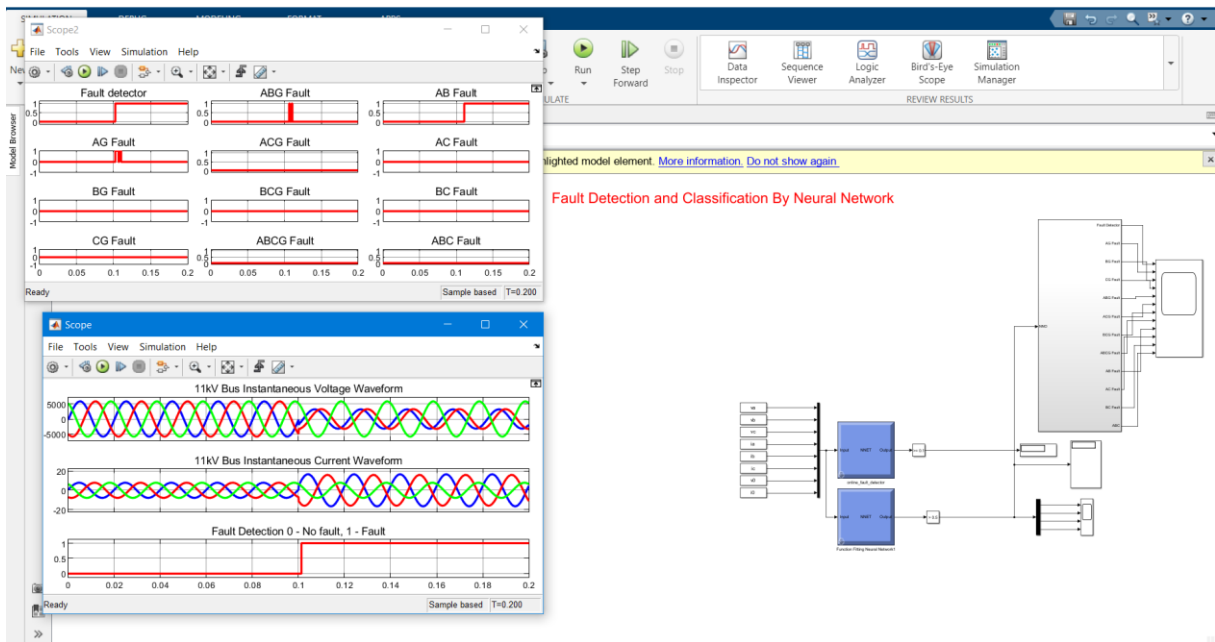


Figure IV-14 :la détection et la classification de défaut phase A- phase B

Défaut double phase à la terre :

En va créer un défaut entre les deux phases (A-B) et la terre

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|------------|------------|------------|---------|---------|--------|------------|--------|
| 1 | 1.0956e+03 | 1.0758e+03 | 4.5438e+03 | 13.0395 | 13.0981 | 4.5449 | 1.7160e+03 | 4.2544 |

Figure IV-2 : les mesures obtient de la court-circuit des deux phases (A-B) et la terre

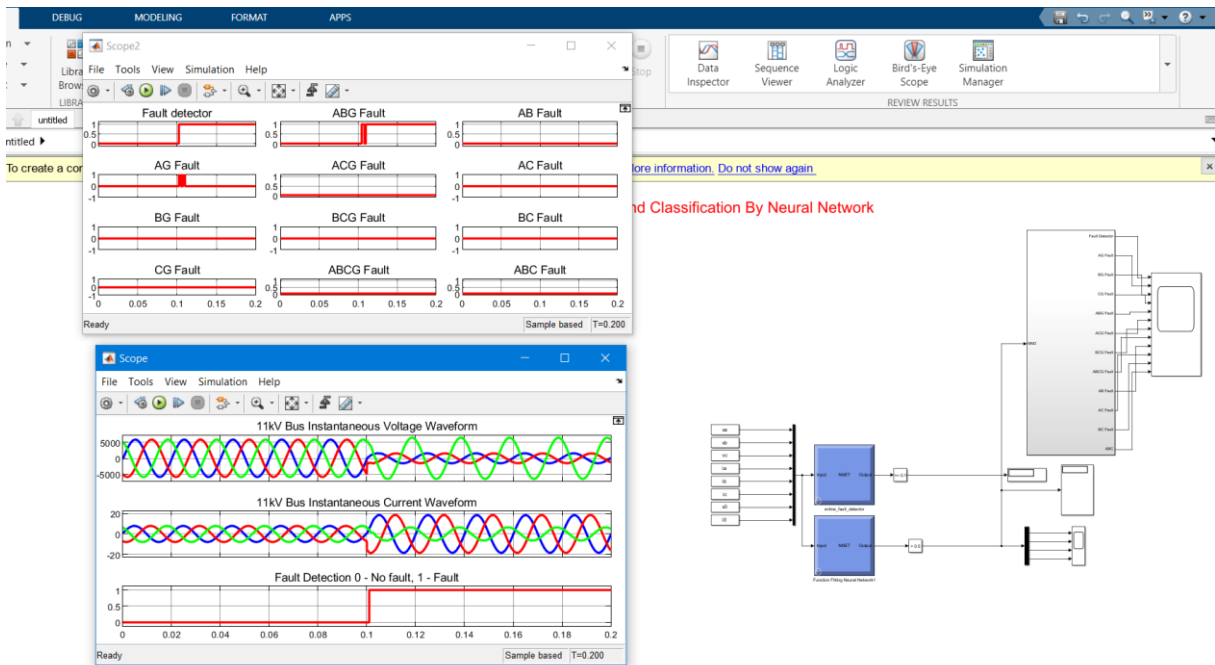


Figure IV-16 :la détection et la classification de défaut phases(A-B) et la terre

Défaut triphasé :

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|------------|------------|------------|---------|---------|---------|------------|------------|
| 1 | 1.1394e+03 | 1.1394e+03 | 1.1394e+03 | 12.9217 | 12.9216 | 12.9219 | 4.7532e-09 | 7.8274e-12 |

Figure IV-17 :les mesures obtient de la court-circuit des trois phases (A-B-C)

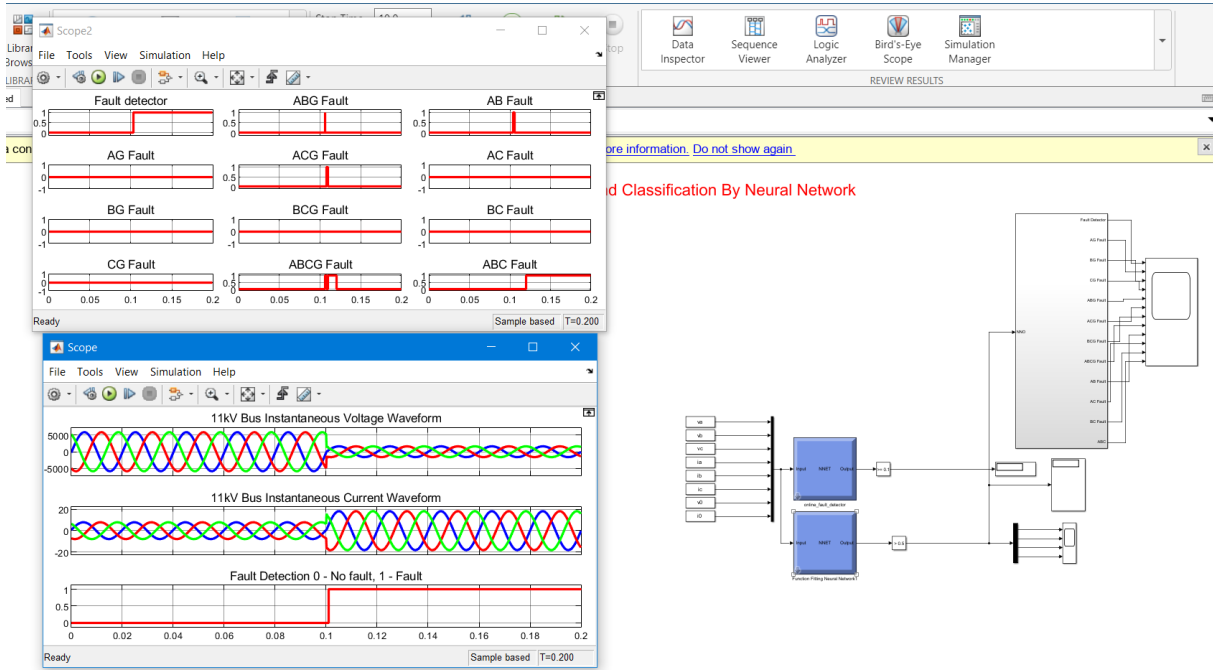


Figure IV-18 : La détection et la classification de défaut triphasé (A-B-C)

Conclusion

Le but principal de ce chapitre est d'utiliser l'intelligence artificielle pour détecter et classer les défauts électriques dans les réseaux électriques. Deux réseaux de neurones ont été développés pour remplir ces fonctions. Le premier réseau était chargé de détecter les défauts en les classant en "0" et "1". Le deuxième réseau était utilisé pour classer les défauts en se basant sur les tensions de phase et les courants de phase en entrée, avec une sortie de 4 chiffres indiquant le type de défaut. Les performances globales des deux réseaux de neurones artificiels étaient excellentes, avec une précision d'environ 90% pour le réseau de détection de défauts et de 95% pour le réseau de classification des défauts. Dans le cadre des travaux futurs, un troisième réseau de neurones pourrait être développé pour localiser l'emplacement des défauts. En développant ce troisième réseau de neurones, un système complet permettant de détecter, localiser et classer les défauts électriques dans n'importe quel réseau électrique pourrait être créé. Toutes ces tâches ont été réalisées en utilisant le logiciel MATLAB avec l'outil intégré de réseau neuronal (nftool).

Conclusion général

Les lignes de transport électrique représentent un élément nécessaire et indisponible dans le réseau électrique, permettant d'acheminer l'énergie électrique aux clients. En plus, leurs câbles ne sont pas isolés et sont directement exposés à des conditions atmosphériques sévères, ce qui font d'eux plus susceptibles d'être sujettes à l'apparition de défauts, ces derniers peuvent causer des dommages catastrophiques s'ils ne sont pas éliminés rapidement. Ce travail a étudié la possibilité de concevoir un système de protection intelligent des lignes de transmission basé sur les réseaux de neurones artificiels. L'outil utilisé à cette fin est Matlab/Simulink, les bibliothèques « Sim Power Systems »

Dans l'ensemble, l'utilisation de réseaux de neurones pour la détection et la classification des défauts du système électrique a le potentiel d'améliorer considérablement la fiabilité et la sécurité des systèmes électriques. Avec la disponibilité croissante des données sur les systèmes énergétiques et les progrès des techniques d'apprentissage automatique, nous nous attendons à ce que cette approche devienne encore plus importante à l'avenir.

Références

- [1] R. A. Anis, "Contribution d'un FACTS à la stabilisation d'une station de transfert d'énergie," UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN TIARET FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES, TIARET.
- [2] M. S. H. M. A. S. Baizi, "étude des courants de courts circuits et leur conséquences dans les réseaux électrique," master, Université Mouloud MAMMERI, Tizi-Ouzou, Tizi-Ouzou.
- [3] K. A. M. Imad, "Les dfauts dans les cbles lectriques," master, 2018/2019.
- [4] S. K.-O. Tayeb, "LOCALISATION DES DÉFAUTS DANS LES RÉSEAUX D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE A BASE DE RELAIS DE DISTANCE," MASTER.
- [5] 1.1. Généralité sur les défauts dans les lignes de transport d'énergie électrique, . Available: https://elearning.univ-usto.dz/pluginfile.php/62228/mod_resource/content/1/Cours_Chap1.pdf
- [6] Localisation de défauts dans les réseaux HTA en présence de génération d'énergie dispersée. Available: <https://theses.hal.science/tel-00681246>
- [7] "les defauts dans les reseaux electriques."
- [8] T. Dhadbanjan, U. J. Shenoy, and H. Ashageetha, Neural Network Approach for Fault Location in Unbalanced Distribution Networks with Limited Measurements. 2006, p. 8 pp.
- [9] A. H. A. Abbas, and H. M. D. Habbi, "Fault Detection and Diagnosis Based on Artificial Neural Network," 2016.
- [10] Réseaux de neurones 2001.
- [11] L. Douali, A. Schmitzer, D. Villemin, A. Jarid, and D. Cherqaoui, "Neural networks and their applications in chemistry and biology," Physical and Chemical News, vol. 34, pp. 131-144, 01/01 2007.
- [12] R.-M. Ion, D. Munteanu, and G.-C. Cocina, Concept of artificial neural network (ANN) and its application in cerebral aneurism with multi walls carbon nanotubes (MWCNT). 2009, pp. 104-107.
- [13] K. Djamila, "Utilisation des réseaux de neurones comme outil du datamining : Génération de modèle comportemental d'un processus physique à partir de données," 2012.
- [14] N. ketfi and T. Bouktir, "Contribution à la gestion des réseaux de distribution en présence de génération d'énergie dispersée," 2014.
- [15] L. Tawfiq, Y. H. Hu, and J.-N. Hwang, Handbook of Neural Network Signal Processing. 2002.
- [16] C. A. e. e. S.Barkat, "Implémentation de méthode d'intelligence artificielle pour la prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension artificiellement polluée sous MTLAB/Simulink," Mémoire master en génie électrique 2018.
- [17] T. Fatiha, "mémoire magister rayonnement estimation par reseau de neurone."
- [18] S. F. e. B. Abderrahmane, "Reconnaissance des chiffres manuscrits par les SVM," Université Ahmed Draïa D'Adrar, 2015.
- [19] B.-R. Abir, "Conception d'un système de gestion d'une cité intelligente," UBM Annaba, Annaba2020/2021.
- [20] scribd. la carte esp32. Available: <https://fr.scribd.com/document/710072025/document-sur-la-carte-esp32>
- [21] K. M. F. F. Mohamed, "Conception d'un système de Gestion intelligente(IoT) de confort thermique des bâtiments," Université SAAD DAHLAB de BLIDA, BLIDA, 2022-2023.
- [22] internet-of-things-what-is-iot. Available: <https://www.oracle.com/fr/internet-of-things/what-is-iot/>

Références

- [23] defi-gouvernance-donnees. Available: <https://www.requea.com/defi-gouvernance-donnees.html>
- [24] esp32-datalogging-google-sheets. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-datalogging-google-sheets/>
- [25] RMS-Voltage-and-Current-Measurements-Using-ESP32. Available: <https://ernane-aac.github.io/RMS-Voltage-and-Current-Measurements-Using-ESP32/>
- [26] M. T. H. M. H. Beale, and H. B. Demuth, "Neural Network Toolbox TM 7 User's Guide."
- [27] C. H. K. Chen, and J. He, "Fault detection, classification and location for transmission lines and distribution systems: a review on the methods," 25-33,2016.
- [28] S. K. S. M. Jamil, and R. Singh, pringerplus, Accessed on: 2015
- [29] M. S. S. K. Kumar, and V. Venkatesh, "Artificial Neural Network Based Method for Location and Classification of Faults on a Transmission Lines," 2014.
- [30] A. Y. a. Y. Dash, "An Overview of Transmission Line Protection by Artificial Neural Network: Fault Detection, Fault Classification, Fault Location, and Fault Direction Discrimination," vol. vol. 2014, 2014.
- [31] M. K. R. S. Singh, and T. S, "Intelligent Fault Identification System for Transmission Lines Using Artificial Neural Network," Comput. Eng, vol. vol. 16, no. I, pp. 23-31, 2014.
- [32] a. E. S. J. Simeon, "Analysis of power system under fault conditions," U. Centroamericana.
- [33] DAHADJ Yassine- NOUARI Radhwane, Optimisation des Réseaux de Distribution Basse tension, TIMIMOUNE). 2017/2018. Université Ahmed Draïa Adrar
- [34] <https://images.app.goo.gl/TUtnTaeaLt6P53Ja8>
- [35] <https://images.app.goo.gl/PpFDiv2TcngiX9zu9>