

**UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES  
GRANDS LACS**  
DOMAINE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
FILIERE DE SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE



BP.368 GOMA

[www.ulpgl.net](http://www.ulpgl.net)

---

**PROPOSITION D'UN SYSTEME D'ACQUISITION  
DES PARAMETRES ELECTRIQUES DE  
FONCTIONNEMENT D'UNE CABINE MT/BT  
AFIN D'AMELIORER LA MAINTENANCE**

---

Par : **KUJIRAKWINJA MALEKERA Elvis**

Travail présenté en vue de l'obtention du Diplôme  
de Bachelor en Sciences de L'ingénieur

**Option : Génie électrique**

**Directeur : CT.Ir. Dieudonné MUSONGYA**

**Encadreur : Msc Bertille MUSHAGASHA**

**ANNEE ACADEMIQUE 2022-2023**

## Epigraphe

« J'ai vu autre chose sous le soleil : Les hommes rapides ne gagnent pas toujours la course, ni les hommes forts la bataille, les sages n'ont pas toujours à manger, les intelligents ne sont pas toujours riches, ceux qui ont la connaissance ne réussissent pas toujours, parce que temps difficiles et évènements imprévus les surprennent tous. »

**Ecclésiaste 9 :11**

# Dédicaces

À mes très chers parents DEO MALEKERA et JACKELINE BAGANDA

**Kujirakwinja Malekera Elvis**

## Remerciements

Nous remercions en premier notre bon Dieu Jéhovah pour la guidance qu'il ne cesse de nous accorder. En second lieu, nos remerciements s'adressent à notre université, ULPGL au sien duquel nous avons été bien encadré pendant toutes nos années d'exploration des connaissances.

Nos remerciements les plus sincères alors à notre Directeur CT.Ir. Dieudonné MUSONGYA BISIMWA et notre Encadreur le Msc.ir. Bertille MUSHAGASHA, pour le suivi, la patience qu'ils nous ont accordé durant ce travail.

Nos remerciements très reconnaissants à nos parents biologiques, papa DEO MALEKERA, maman JACKELINE BAGANDA, ma tante Odette MALEKERA et son mari LWABAGUMA, pour le soutien tant moral, matériel que spirituel qu'ils ne cessent de nous accorder.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à nos sœurs, Nelly MALEKERA, Sarah MALEKERA, Rebecca MALEKERA, Aline LWABA, à nos tantes Miriam BAGANDA, Mapendo MALEKERA, à mon oncle Bahati BAGANDA, à nos frères Aganze MALEKERA, Gentil MALEKERA, Darius, Dieume LWABA.

Nous remercions enfin nos amis et camarades, dont en particulier Omar EBUELA et tous les gens bienveillants que nous n'avons pas pu citer.

**Kujirakwinja Malekera Elvis**

## Résumé

La proposition d'un système d'acquisition des paramètres électriques pour améliorer la maintenance dans les postes des cabines MT/BT trouve sa motivation dans le fait que les postes des cabines MT/BT de la SNEL, dans notre pays la RDC en général et à Goma en particulier ; ne sont pas équipées de dispositifs de mesure appropriés pour surveiller les paramètres de fonctionnement des transformateurs. Elles n'ont pas par exemple des appareils de mesure permettant de mesurer certains paramètres, pas de suivi de la charge sur le fonctionnement de la cabine, ni des appareils de mesure appropriés pour leurs départs BT. Cet état des choses entraîne un risque accru des pannes et défaillances. Il est donc raisonnable d'identifier les paramètres à surveiller à distance à temps réel pour assurer le bon fonctionnement d'une cabine. Dans ce travail, nous avons utilisé l'environnement logiciel PROTEUS pour implémenter notre système, ces bibliothèques de capteurs, microcontrôleurs et modules de communication, ainsi que le langage de programmation Arduino pour la programmation et le contrôle, nous ont permis de proposer un système de monitoring à distance pour l'acquisition des paramètres électriques et la détection des pannes de fonctionnement d'une cabine MT/BT. Par exemple lorsque la température du transformateur atteint  $75^{\circ}\text{C}$ , un message d'avertissement doit être envoyé indiquant que la température est déjà élevée et anormale. Lorsque la température atteint  $80^{\circ}\text{C}$ , une coupure générale du courant dans les lignes est déclenchée, accompagnée d'un message. Les relais doivent être positionnés en conséquence « OFF » et Lorsqu'il y a une surcharge (un courant supérieur ou égal à 23A) sur l'une des trois lignes, le relais de la phase concerne doit directement être à position « OFF », le relais doit automatiquement vérifier s'il y a pas une surcharge dans la ligne pour remettre le relais en position « ON ».

**Mots clés : Cabine MT/BT, Maintenance et Surveillance**

## Abstract

The proposal of an electrical parameter acquisition system to improve maintenance in MV/LV cabin substations is motivated by the fact that the substations of the SNEL in our country, the DRC in general and in Goma in particular, are not equipped with appropriate measuring devices to monitor the operating parameters of transformers. For example, they lack measuring devices to measure certain parameters, do not monitor the load on the operation of the cabin, and do not have appropriate measuring devices for their LV feeders. This situation leads to an increased risk of breakdowns and failures. It is therefore reasonable to identify parameters to be monitored remotely in real-time to ensure the proper functioning of a substation. In this work, we used the PROTEUS software environment to implement our system; these sensor libraries, microcontrollers, communication modules, and the Arduino programming language for programming and control allowed us to propose a remote monitoring system for the acquisition of electrical parameters and the detection of faults in the operation of an MV/LV substation. For example, when the transformer temperature reaches 75°C, a warning message should be sent indicating that the temperature is already high and abnormal. When the temperature reaches 80°C, a general current cut-off in the lines is triggered, accompanied by a message. The relays should be positioned accordingly to « OFF ». When there is an overload (a current greater than or equal to 23A) on one of the three lines, the relay for the concerned phase should directly be set to « OFF », and the relay should automatically check for any overload in the line before resetting the relay to « ON »

## Sigles et abréviations

AC : Courant alternatif

BT : Base tension

CM : Comptage et Mesure

DP : Poste de distribution publique

DC : Courant continu

GND : Masse

KV : Kilovolt

MT : Moyenne tension

m : Rapport de transformation

n : Nombre des spires

$I_1$  : Courant au primaire

$I_{10}$  : Courant primaire à vide ou (Courant de magnétisant)

$I_2$  : Courant au secondaire

$P_{fer}$  : Les pertes fer

$P_j$  : Les pertes joule

$\phi$  : Flux magnétique

$\varphi$  : déphasage

$P_V$  : Puissance active à vide

$P_{cc}$  : Puissance active pour l'essais à court-circuit

R : La résistance

SNEL : Société Nationale d'Electricité

S : puissance apparente

TP : Transformateur de tension

$V_1$  : Tension au primaire

$V_2$  : Tension au secondaire

X : Réactance

Z : Impédance

# Table des matières

Épigraphe . . . . .	i
Dédicaces . . . . .	ii
Remerciement . . . . .	iii
Résumé . . . . .	iv
Abstract . . . . .	v
Sigles et abréviations . . . . .	vi
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
0.1 Contexte . . . . .	1
0.2 Problématique . . . . .	1
0.3 Questions de recherche . . . . .	2
0.4 Formulation des hypothèses . . . . .	2
0.5 Justification du choix du sujet . . . . .	2
0.6 Objectifs de la recherche . . . . .	3
0.6.1 Objectifs de la recherche . . . . .	3
0.6.2 Objectifs de la spécifique . . . . .	3
0.7 Méthodologie et Délimitation du travail . . . . .	3
0.8 Subdivision du travail . . . . .	4
<b>I Généralités sur les transformateurs triphasés et les postes clients MT/BT</b>	<b>5</b>
I.1 Introduction partielle . . . . .	5
I.2 Les transformateurs triphasés utilisés dans les postes MT/BT . . . . .	5
I.2.1 Présentation et définition . . . . .	5
I.2.2 Constitution . . . . .	5
I.2.3 Principe de fonctionnement . . . . .	8
I.2.4 Influence des pertes fer . . . . .	9
I.3 Généralité sur les postes des cabines MT/BT . . . . .	10
I.3.1 Les différents types de postes de livraison (MT/BT) . . . . .	10
I.3.2 Structure d'un poste MT/BT . . . . .	13
I.4 Localisation des défauts dans un transformateur MT/BT . . . . .	18

I.4.1	Les défauts électriques . . . . .	18
I.4.2	les défauts mécaniques . . . . .	19
I.4.3	Les défauts thermiques . . . . .	19
I.5	Système de monitoring des postes MT/BT (d'acquisition des données et d'avertissement des défauts du transfo à distance) . . . . .	20
I.6	Conclusion partielle . . . . .	21
<b>II</b>	<b>Conception du système de monitoring et composants utilisé</b>	<b>22</b>
II.1	Introduction partielle . . . . .	22
II.2	Schéma synoptique d'un système de monitoring . . . . .	22
II.2.1	Transformateur de tension ou TP . . . . .	23
II.2.2	Relais . . . . .	24
II.2.3	Le capteur de courant ACS712 . . . . .	25
II.2.4	Capteur de tension ZMPT101B . . . . .	27
II.2.5	Le capteur de température LM35 . . . . .	28
II.2.6	Carte Arduino ATmega2560 . . . . .	28
II.2.7	Présentation du Logiciel Arduino IDE . . . . .	32
II.2.8	Le Détecteur de Distance (Le capteur d'ultrason HC-SR04) . . . . .	34
II.2.9	Module Afficheur LCD 4x20 . . . . .	37
II.2.10	Module SIM800L . . . . .	38
II.3	Conclusion partielle . . . . .	39
<b>III</b>	<b>Implémentation et simulation</b>	<b>40</b>
III.1	Introduction . . . . .	40
III.2	Présentation du Logiciel Proteus . . . . .	40
III.2.1	Interface de logiciel ISIS . . . . .	40
III.2.2	Les outils de logiciels . . . . .	41
III.3	Schémas fonctionnel de notre système monitoring . . . . .	42
III.3.1	Présentation d'une ligne d'un transformateur . . . . .	43
III.3.2	Surveillance des paramètres affichés sur l'écran . . . . .	44
III.3.3	Envoi des messages . . . . .	47
III.3.4	Estimation du coût du système . . . . .	50
III.3.5	Conclusion partielle . . . . .	50
	<b>Conclusion générale</b>	<b>51</b>
	<b>Annexes</b>	<b>54</b>
	Librairies . . . . .	54
	Mesures . . . . .	54

Affichage . . . . .	60
Conditions . . . . .	70
Avoi des messages . . . . .	76

# Liste des tableaux

I.1	Différentes épaisseurs du circuit magnétique par rapport à la puissance . . .	7
II.1	Différentes broches entrées/sorties numériques [16] . . . . .	31
II.2	<i>Définition des broches d'interfacage et connexion avec le I2C PCF8574</i> [12]	37
III.1	Estimation du prix des matériels à utilisés . . . . .	50

# Table des figures

I.1	<i>Transformateur triphasé à colonnes</i> . . . . .	6
I.2	<i>Représentation de la partie constructive</i> [4] . . . . .	8
I.3	<i>Principe de fonctionnement d'un transformateur</i> [5] . . . . .	8
I.4	<i>Décomposition du courant <math>I_{1V}</math> à vide en courant dû aux pertes fer <math>I_{1F}</math> et le courant dû à la création du flux <math>I_{10}</math></i> [5] . . . . .	10
I.5	<i>Poste MT/BT sur poteau</i> [7] . . . . .	11
I.6	<i>Poste préfabriqué métallique MT/BT</i> [9] . . . . .	12
I.7	<i>Schéma unifilaire d'un poste de distribution publique</i> [10] . . . . .	12
I.8	<i>Schéma unifilaire d'un poste de livraison MT</i> [10] . . . . .	13
I.9	<i>Structure générale d'un poste MT/BT</i> . . . . .	14
I.10	<i>Schéma unifilaire du poste HT/MT de la SNEL GOMA (Source : SNEL DNK)</i> . . . . .	16
I.11	<i>Réseau de distribution MT de la ville de Goma (Source : SNEL DNK)</i> . . . . .	17
II.1	<i>Schéma synoptique d'un système monitoring</i> . . . . .	23
II.2	<i>Transformateur de tension</i> . . . . .	23
II.3	<i>Schéma fonctionnel d'un relais</i> [12] . . . . .	24
II.4	<i>Module de relais à quatre canaux</i> [12] . . . . .	25
II.5	<i>L'effet Hall</i> [13] . . . . .	26
II.6	<i>Capteur de courant ACS712</i> [14] . . . . .	26
II.7	<i>Capteur de tension ZMPT101B</i> [15] . . . . .	27
II.8	<i>Capteur de température LM35</i> [12] . . . . .	28
II.9	<i>Description de la carte Arduino ATmega 2560</i> [16] . . . . .	29
II.10	<i>Vue d'ensemble du logiciel Arduino</i> . . . . .	33
II.11	<i>Interface du logiciel Arduino</i> . . . . .	33
II.12	<i>Vue d'ensemble de l'espace de travail du logiciel Arduino</i> . . . . .	34
II.13	<i>Réflexion sur l'obstacle</i> . . . . .	35
II.14	<i>Représentation graphique de la séquence de fonctionnement</i> [18] . . . . .	36
II.15	<i>Capteur ultrason HCSR04</i> [18] . . . . .	37
II.16	<i>Écran LCD 4*20 avec différentes broches</i> . . . . .	38

II.17	<i>Module SIM800L [12]</i>	38
II.18	<i>Module SIM800 avec présentation de différentes broches [12]</i>	39
III.1	<i>L'interface de logiciel ISIS.</i>	41
III.2	<i>Les outils de logiciel ISIS</i>	42
III.3	<i>Schéma fonctionnel d'un système de monitoring</i>	43
III.4	<i>Ligne d'un transformateur</i>	44
III.5	<i>Mesure du courant, de tension, puissance et l'énergie</i>	45
III.6	<i>Mesure de température</i>	45
III.7	<i>Mesure de niveau d'huile</i>	46
III.8	<i>L'état de la ligne en cas d'une surtension</i>	46
III.9	<i>L'état de la ligne en cas d'une surintensité</i>	47
III.10	<i>Mesure de la tension totale, le courant total, la puissance totale, l'énergie</i>	47
III.11	<i>Message généré en cas de surintensité dans la ligne</i>	48
III.12	<i>Message généré en cas de surtension dans une ligne</i>	48
III.13	<i>Message généré en cas de overheat</i>	49
III.14	<i>Message généré en cas d'une baisse de niveau d'huile</i>	49

# Introduction générale

## 0.1 Contexte

Dans le monde où nous vivons aujourd'hui, la consommation de l'énergie électrique intéresse tout le monde du plus petit au plus grand consommateur d'énergie électrique. L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus largement répandue car elle est facilement transportable à un rendement élevé et un coût raisonnable, ce qui permet le transport et la distribution de l'énergie électrique aux infrastructures. Dans les réseaux électriques, les transformateurs sont des équipements statiques qui jouent un rôle dans important transport et la distribution de l'énergie électrique aux consommateurs [1].

Pour garantir le bon fonctionnement des transformateurs et éviter les pannes imprévues, il est essentiel de surveiller régulièrement les paramètres de fonctionnement tels que la tension, la puissance fournie, le courant, le niveau d'huile, la température et d'autres paramètres. Ces paramètres que l'on mesure régulièrement par les appareils appropriés nous permettent d'avoir un réseau équilibré et ne pas avoir des perturbations dans une ligne électrique BT. Ainsi nous protégerons les équipements installés dans une cabine MT/BT et les appareils des abonnés.

## 0.2 Problématique

L'énergie électrique est un facteur essentiel dans le développement et l'évolution des sociétés humaines que ce soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie ou celui du développement des activités industrielles. Du fait que cette énergie soit utilisée, elle doit être transportée et distribuée.

En RDC Dans la ville de GOMA, la Société Nationale d'Électricité (SNEL) est l'une des sociétés qui s'occupent de la distribution de l'énergie. Pendant notre descente sur terrain nous avons constaté que les postes des cabines électriques de la société SNEL ne sont pas équipées de dispositifs de mesure appropriés pour surveiller les paramètres de fonctionnement des transformateurs. Ce qui entraîne un risque accru des pannes et défaillances. Les cabines MT/BT de la société SNEL n'ont pourtant pas des appareils

de mesure permettant d'évaluer certains paramètres, pas de suivi de la charge sur le fonctionnement de la cabine, ni des appareils de mesure appropriés pour leurs départs BT.

La non détermination de ces paramètres peut entraîner un déséquilibre dans une ligne BT, provoquer plusieurs pannes, défaillances voire une surcharge dans une cabine MT/BT. Le prolongement de cette dernière peut mener au grillage des enroulements d'un transformateur ; un problème que les ingénieurs cherchent toujours d'éviter car les transformateurs sont des équipements qui coûtent très cher. C'est pourquoi il est nécessaire de surveiller son fonctionnement en temps réel. C'est pour cela que dans ce travail, nous nous focalisons sur le transformateur triphasés MT/BT.

### **0.3 Questions de recherche**

Étant donnés les problèmes que présentent la société SNEL, voici les questions qui vont guider notre recherche :

1. Comment améliorer la maintenance et le contrôle des cabines MT/BT de la SNEL ?
2. Quelle technologie est la mieux adaptée pour une acquisition des paramètres de fonctionnement des cabines MT/BT ?

### **0.4 Formulation des hypothèses**

Pour résoudre les problèmes énumérés ci-haut, nous estimons utiliser :

1. Le système monitoring à distance du transformateur MT/BT permettrait d'améliorer la maintenance et de contrôler les cabines par les techniciens de la SNEL.
2. Le microcontrôleur Serait un atout essentiel pour proposer un système d'acquisition des données.

### **0.5 Justification du choix du sujet**

La plupart des cabines de la SNEL n'ont pas certains appareils de mesure pour leurs départs BT dans la distribution de l'énergie électrique MT/BT vers les bâtiments et les infrastructures. De ce fait, elles sont soumises à des contraintes importantes. Elles doivent pourtant fonctionner de manière fiable pour garantir la continuité de la fourniture d'électricité. Atteindre notre objectif permettra de prévenir les pannes et améliorer la maintenance préventive, détecter rapidement les problèmes et prendre des dispositions pour les résoudre.

Cela permettra d'améliorer la sécurité des installations électriques, réduire le temps d'arrêt et prolonger la durée de vie de la cabine tout en fournissant des données pour l'analyse et l'optimisation de la performance de celle-ci.

En plus il se situe à l'intersection de plusieurs domaines de recherche tels que l'ingénierie électrique et électronique. Ces domaines de recherche nous permettent de mieux comprendre les comportements des éléments électriques et électroniques pour le fonctionnement de certains paramètres dans une cabine.

Socialement la mise sur point de ce système sera d'une très grande importance, car il n'y aura pas des perturbations dues à l'électricité dans les activités industrielles et commerciales. Cela permettra également d'avoir une distribution de l'énergie plus fiable et plus efficace, ce qui est bénéfique pour l'environnement et pour les consommateurs de l'énergie électrique et d'avoir une économie durable.

## **0.6 Objectifs de la recherche**

### **0.6.1 Objectif général**

Cette recherche a comme objectif général de proposer un système d'acquisitions des paramètres électriques qui permet d'améliorer la maintenance de fonctionnement d'une cabine MT/BT.

### **0.6.2 Objectif spécifique**

Pour arriver au bout de notre sujet nous comptons :

- Identifier l'équipement électrique à surveiller
- Choisir les capteurs et le microcontrôleur les plus performants et plus compatibles à utiliser
- Proposer des améliorations possibles pour le système d'acquisition

## **0.7 Méthodologie et délimitation du travail**

Pour la mise au point de système, nous comptons :

- Comprendre le principe de fonctionnement de base d'un microcontrôleur et des composants utilisés nous aidera à comprendre certaines réactions de notre système.
- Le logiciel Proteus, avec ces bibliothèques des capteurs et des modules de communication, ainsi que le langage de programmation Arduino nous aideront à implémenter notre système.

- L'identification des paramètres à surveiller nous permettra de protéger notre transfo contre certains défauts.

Ce travail se focalisait sur la surveillance des paramètres électriques pour améliorer la maintenance, on va surveiller le transformateur MT/BT et les paramètres qu'on était obligé de surveiller, c'était le courant, la tension, sa température et le niveau d'huile du transformateur, ce qui nous permettrait de savoir la puissance consommée par chaque feeder de la cabine. On se limitait juste à une simulation du système

## 0.8 Subdivision du travail

Excepté l'introduction et la conclusion générale, ce travail est ainsi constitué :

- Au premier chapitre, **Généralités sur les transformateurs triphasé et les postes clients MT/BT**, nous passons en revue toute la théorie nécessaire à la compréhension du fonctionnement d'un transformateur triphasé.
- Au deuxième chapitre, **Conception du système de monitoring et composants utilisés**, nous expliquerons le schéma fonctionnel qui est constituée par plusieurs composants
- Au troisième chapitre, **Implémentation et simulation**, nous y finalisons la conception et expliquons les points importants de l'implémentation en nous basant sur la conception faite.

# Chapitre I

## Généralités sur les transformateurs triphasés et les postes clients MT/BT

### I.1 Introduction partielle

Dans ce chapitre, nous allons présenter brièvement le transformateur triphasé utilisé dans une cabine MT/BT, les postes clients MT/BT, ainsi que le principe de fonctionnement d'un transformateur. Nous aborderons également quelques défauts et l'importance d'un système de monitoring.

### I.2 Les transformateurs triphasés utilisés dans les postes MT/BT

#### I.2.1 Présentation et définition

Un transformateur un appareil statique qui y'a pour rôle de transiter une énergie électrique d'un réseau à un autre en modifiant ses caractéristiques : intensité et tension.

Les transformateurs permettent d'élever la tension à la sortie des centrales électriques pour le transport sur de longues distances afin de diminuer les pertes en ligne et de l'abaisser à l'arrivée pour l'adapter aux besoins des consommateurs.

#### I.2.2 Constitution

Le transformateur de l'énergie électrique est constitué principalement de deux grandes parties essentielles :

- La partie active
- La partie constructive

### A. Partie active

Les composants actifs d'un transformateur sont les enroulements et le circuit magnétique représentés sur la Figure I.1

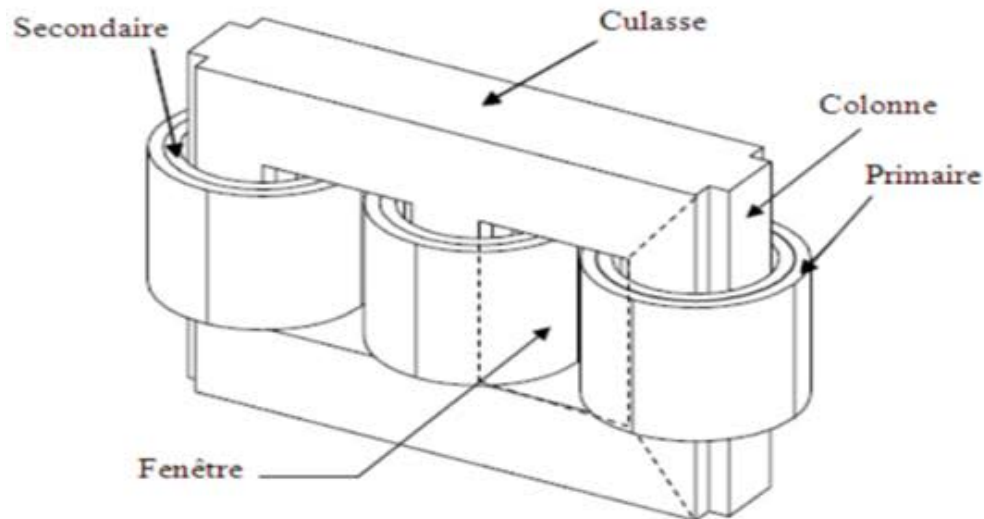


FIGURE I.1 – *Transformateur triphasé à colonnes*

### Enroulements

Le transformateur comporte deux enroulements (primaire et secondaire), ils sont isolés généralement entre eux du papier imprégné dans d'huile. L'enroulement primaire est destiné à la création d'un champ magnétique alternatif sinusoïdal et l'enroulement secondaire à la création d'un courant induit par variation du flux généré par le champ alternatif.

Le primaire se comporte comme un récepteur, par contre le secondaire comme un générateur, il diffère du primaire par le nombre de spires et par la section du fil [2].

### Circuit magnétique

Le circuit magnétique est généralement constitué par les tôles magnétiques de fer laminé, permettant un passage optimum du flux magnétique dans leur sens.

La fonction principale du circuit magnétique est de canaliser le flux magnétique, mais elle sert aussi comme support aux enroulements. Ce circuit magnétique comporte trois colonnes réunies par deux culasses [3].

Pour une meilleure efficacité, la tôle du circuit magnétique doit :

- Être fabriquée en matériau à très haute perméabilité magnétique et être soumise à une induction proche de l'induction à saturation pour avoir une grande valeur du flux ;

- Avoir une épaisseur faible (le tableau I.1 présente les différentes épaisseurs du circuit magnétique selon leurs puissance en KVA) ; pour diminuer les pertes par courants de Foucault ;

TABLE I.1 – Différentes épaisseurs du circuit magnétique par rapport à la puissance

Puissance (KVA)	Épaisseur du circuit magnétique (mm)
100	3.2
125	3.5
160	3.8
200	4.0
250	4.2
500	5.0
800	5.5
1000	5.8

- Etre en grains orientés et laminées à froid avec un ajout de silicium pour réduire les pertes par hystérésis

## B. Partie constructive

Elle est constituée des éléments suivants :

### La cuve

La cuve est un réservoir à huile pour les transformateurs émergés. Elle est généralement en tôle pliée pour former des ondulations qui favorisent l'échange thermique avec l'extérieur. La cuve joue un rôle d'isolation et de protection mécanique à la partie active, elle permet également l'évacuation de la chaleur.

### Le couvercle

Le couvercle est un élément important de la cuve, il présente la partie supérieure du transformateur. Sa fonction principale est d'assurer la fermeture de la cuve, par ailleurs il sert de support aux accessoires suivants, les isolateurs, conservateur d'huile, relais Buchholz , etc...

### Le conservateur d'huile

Il permet le remplissage de la cuve et réduire la surface de l'huile en contact avec l'air extérieur humide. Il sert aussi comme dispositif de contrôle le niveau d'huile suite à la dilatation.

### Les traversées

Les traversées ont pour rôle d'assurer à travers le couvercle la liaison électrique entre les extrémités des enroulements d'une part, et les lignes d'arrivée et de départ d'autre part.

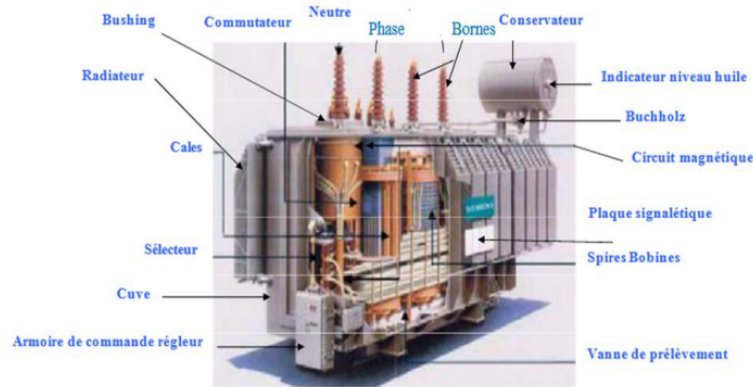


FIGURE I.2 – Représentation de la partie constructive [4]

### I.2.3 Principe de fonctionnement

L'enroulement primaire qui comporte  $n_1$  spires est alors alimenté par une tension variable  $V_1$  est traversé par le courant  $I_1$  ce qui fait naître un flux magnétique variable  $\phi$  dans le circuit magnétique. Le circuit magnétique conduit avec le moins de réluctance possible les lignes de champ magnétique créée par l'enroulement primaire, dans les spires de l'enroulement secondaire. D'après la loi de Faraday, ce flux magnétique variable induit une force électromotrice induite dans le deuxième bobinage du transformateur (l'enroulement secondaire) de  $n_2$  spires aux bornes duquel apparaît une tension  $V_2$ . Le transformateur ne peut pas fonctionner s'il est alimenté par une tension continue car le courant continu n'est pas variable, le flux doit être variable pour induire une f.é.m. au secondaire, il faut donc que la tension primaire soit variable. Le transformateur est réversible, chaque bobinage peut jouer le rôle de primaire ou de secondaire. Le transformateur peut être abaisseur ou élévateur.

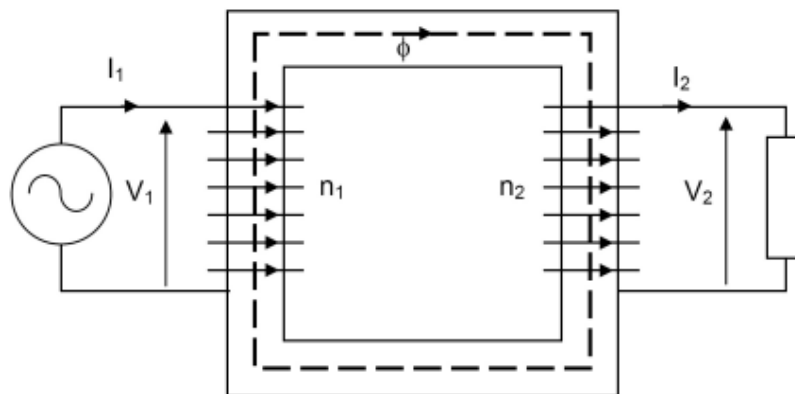


FIGURE I.3 – Principe de fonctionnement d'un transformateur [5]

D'après la loi de Faraday la variation du champ magnétique induit une force électromotrice d'auto induction  $e$  dont l'expression est donnée par la loi de Lenz.

$$e = -\frac{d\varphi(t)}{dt} \quad (I.1)$$

La force électromotrice d'auto induction dans l'enroulement primaire et secondaire est donnée par la formule suivante :

$$e_1 = -n_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad (I.2) \quad e_2 = -n_2 \frac{d\varphi}{dt} \quad (I.2)$$

A partir de l'expression (I.2) et (I.3) on peut déterminer le rapport de transformation donné par :

$$m = \frac{n_2}{n_1}$$

Pour un transformateur idéal la tension primaire  $V_1 \simeq e_1$  (avec  $e_1$  la force électromotrice) ce qui nous permet d'établir la relation suivante :

$$V_1 = e_1 = -n_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad (I.4) \quad \text{et} \quad V_2 = e_2 = -n_2 \frac{d\varphi}{dt} \quad (I.5)$$

L'expression (I.4) et (I.5) nous permet d'écrire que

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} = m$$

Si le dipôle alimenté par le transformateur absorbe une puissance

$$P_2 = V_2 * I_2 * \cos \varphi_2 \quad (I.6) \quad (\varphi_2 \text{ étant le déphasage dû au dipôle})$$

Le primaire qui se comporte comme un récepteur vis à vis du réseau absorbe une puissance

$$P_1 = V_1 * I_1 * \cos \varphi_1 \quad (1.7) \quad (\varphi_1 \text{ étant le déphasage entre } V_1 \text{ et } I_1)$$

La conservation de la puissance permet d'écrire que  $P_1 = P_2$

## I.2.4 Influence des pertes fer

Lorsqu'un transformateur fonctionne en plein régime il y a aussi les pertes qui apparaissent, la plupart des pertes dans un transformateur proviennent du circuit magnétique et des enroulements.

Le flux alternatif engendre l'hystérésis et courant de Foucault, créés un échauffement du circuit magnétique : les « pertes fer ». Cela correspond à une absorption de la puissance active, les pertes fer sont proportionnelles au carré de la tension. Elles interviendront dans le rendement mais seront particulièrement mises en évidence lors du fonctionnement à vide d'un transformateur. Un transformateur sans pertes fer n'absorberait, à vide, aucune puissance active (l'inductance  $L_1$  n'absorbe que de la puissance réactive) ; le transformateur réel à vide absorbe en fait une puissance correspondant à ces pertes fer [5].

Cela signifie qu'à vide, le transformateur réel absorbe un courant  $I_{1V}$  qui comporte,

outre le courant magnétisant  $I_{10}$ , un courant  $I_{1F}$ , en phase avec la tension, correspond aux pertes fer.

$$P_V = P_{fer} = V_1 * I_{1F} = V_1 * I_1 * \cos \varphi_1 \quad (I.8)$$

$\varphi_1$  étant la déphasage entre  $V_1$  et  $I_v$

La relation (I.8) se traduit par le diagramme de Fresnel disponible sur la figure I.4

$$I_{1V} = I_{10} + I_{1F} \quad (I.8)$$

Les pertes fer par une résistante fictive  $R_F$ , absorbant sous la tension  $V_1$  le courant  $I_{1F}$ ;  $R_F$  est telle que :

$$P_{fer} = V_1 * I_{1F} = \frac{V_1^2}{R_F} \quad (I.10)$$

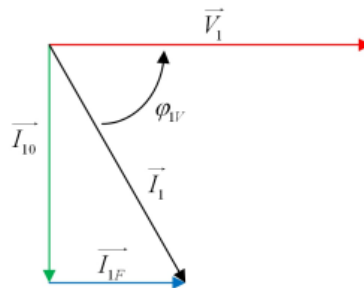


FIGURE I.4 – Décomposition du courant  $I_{1V}$  à vide en courant dû aux pertes fer  $I_{1F}$  et le courant dû à la création du flux  $I_{10}$ [5]

## I.3 Généralité sur les postes des cabines MT/BT

Dès que la puissance demandée atteint 50KVA, les entreprises industrielles, les villes sont alimentées en moyenne tension, la moyenne tension en RDC varie entre 1KV à 36KV (MT). L'étendue de leur site fait qu'elles sont généralement amenées à réaliser un réseau moyenne tension (MT). L'alimentation d'une installation électrique est effectuée avec un poste de transformateur MT/BT qui est disposé au plus près des éléments consommateurs d'énergie. Le poste de transformateur MT/BT s'appelle aussi poste de livraison.

### I.3.1 Les différents types de postes de livraison (MT/BT)

On peut classer les postes MT/BT en trois catégories [6]

- **Poste sur poteau** : puissances 25 – 50 – 100 KVA
- **Postes préfabriqués** : puissances de 100 à 250 KVA
- **Poste en maçonnerie** : puissance de 160 à 1 250 KVA

## A. Poste sur poteau

Le poste sur poteau est le poste de plus simple, il est utilisé dans le cas où la puissance du transformateur est inférieure ou égale à 160KVA. Le poste sur poteau permet une alimentation économique de la clientèle, en multipliant les point d'injection (poste de faible puissance). Le poste comporte, un transformateur raccorde directement, ou avec fusibles. Le transformateur est protégé contre les surintensités par un disjoncteur à basse tension et contre la surtension par un éclateur à cornes et avec des parafoudres [7]. Le transformateur alimente le réseau BT par l'intermédiaire d'un disjoncteur BT, qui assure l'isolement et la protection de ce réseau.

Le transformateur est accroche en haut d'un poteau principal. Le disjoncteur BT est enfermé dans coffret étanche, lui-même accroche sur le poteau, et en plus de son fonctionnement automatique sur défauts basse tension, il peut être manœuvre manuellement au moyen d'un commande ramenée en bas du poteau par un tringleriez. Des câbles isolés assurent la liaison entre le transformateur et le coffret basse tension d'une part, et entre le coffret et la ligne basse tension alimentant le réseau de distribution, d'autre part.



FIGURE I.5 – *Poste MT/BT sur poteau* [7]

## B. Postes préfabriqués

Les postes MT/BT préfabriqués sont réalisés en utilisant des : des tableaux MT, tableaux BT, transformateur, etc, regroupés dans une enveloppe ayant pour rôle la protection des équipements internes contre les influence externes et d'assure un degré de protection vis à vis du plus.

Ces postes sont fabriqués, câblés et testés chez le constructeur, regroupant le transformateur, les appareils BT et MT, les connexions et les équipements auxiliaires limitent les temps d'étude et de réalisation. Le transformateur et l'appareillage sont rassemblés dans une enveloppe métallique, le départ s'effectue en arienne ou souterrain, ces postes sont très compacts et leur mise en place est très rapide [8].

## C. Poste en maçonnerie



FIGURE I.6 – Poste préfabriqué métallique MT/BT [9]

On distingue trois types essentiels des postes en maçonneries :

- Postes de distribution publique (DP).
- Postes livraison à comptage BT ( $S \leq 630\text{KVA}$ ).
- Postes livraison à comptage MT (poste spécifique) ( $S > 630\text{ KVA}$ ).

### Postes de distribution publique (DP)

Ces postes désignés à l'usage public (clients domestiques, bâtiments, lotissements...), assurent le passage de la moyenne tension (10,30 kV) à la basse tension (380,220 V) d'une manière permanente.

Ces postes sont constitués de trois parties :

- L'équipement MT pour le raccordement au réseau amont.
- Le transformateur de distribution MT/BT
- Le tableau des départs BT (tableau de distribution publique TDP) comme points de raccordement du réseau aval de distribution en basse tension

Le schéma unifilaire de ce type des postes est donné par la figure I.7

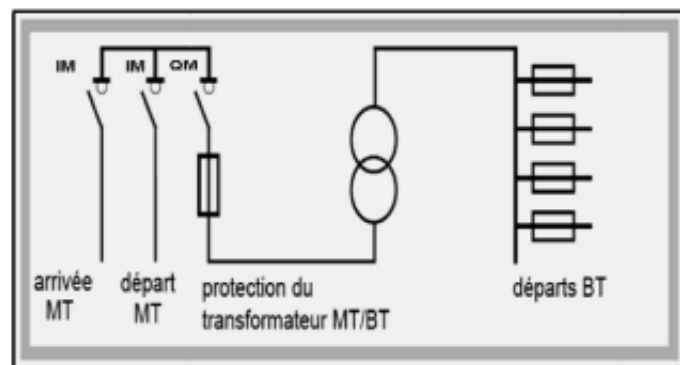


FIGURE I.7 – Schéma unifilaire d'un poste de distribution publique [10]

### Postes livraison à comptage BT ( $S \leq 630\text{KVA}$ )

Ces postes possèdent les mêmes caractéristiques que le poste de distribution publique la seule différence c'est que dans le poste de livraison à comptage BT on trouve deux accès et un panneau de comptage, par contre le poste DP contient un seul accès et un tableau de distribution publique BT.

### Postes livraison à comptage MT ( $S > 630\text{ KVA}$ )

Ces postes est destiné aux clients d'une large d'énergie électrique ( $S > 630\text{KVA}$ ) ou pour une poste de plusieurs transformateurs, dans ce cas le comptage se fera grâce à une cellule de comptage MT, il existe deux types des postes à comptage MT (par QM ou par DM1) :

1. Postes livraison à protection par cellule disjoncteur DM1 ( $I > 45\text{A}$ ).
2. Postes livraison à protection par cellule interrupteur fusible combiné QM ( $I < 45\text{A}$ )

La protection par disjoncteur est obligatoire lorsque le courant côté MT est supérieur à 45A (norme CEI60265) [10].

Le schéma unifilaire des postes livraison MT est donné par la Figure I.8

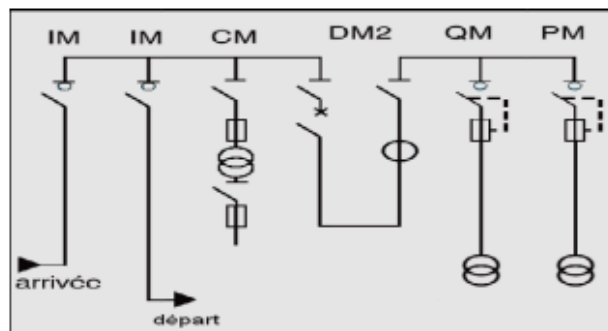


FIGURE I.8 – Schéma unifilaire d'un poste de livraison MT [10]

Ce type de poste comprend :

- Une cellule arrivée (réseau) IM.
- Une cellule départ (réseau) IM.
- Une cellule Comptage et mesure CM.
- Une cellule de protection générale par disjoncteur double sectionnement DM2.
- Une ou plusieurs cellules de protection individuelles par des QM ou DM1

### I.3.2 Structure d'un poste MT/BT

Le poste de livraison comporte essentiellement de l'appareillage et un ou plusieurs transformateurs afin d'assurer les fonctions suivantes (illustrées en détaillés sur la figure I.9) :

- Dérivation du courant sur le réseau
- Protection du transformateur côté MT
- Transformation MT/BT
- Protection du transformateur côté BT
- Comptage d'énergie électrique

Toutes les masses métalliques du poste sont reliées à la terre. Pour l'intervention dans le poste, les arrivées doivent être sectionnées et les câbles reliés entre eux mis à la terre.

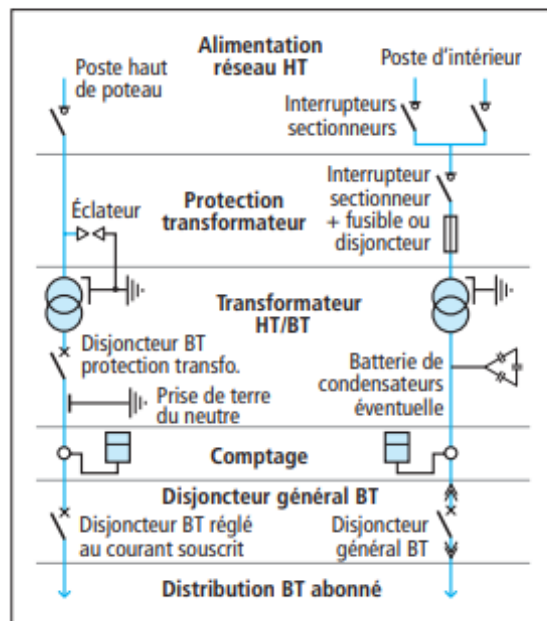


FIGURE I.9 – Structure générale d'un poste MT/BT

La présentation des réseaux de distribution de la société SNEL/Goma exploite deux types de réseaux de distribution présenté à la figure I.10 et à la figure I.11 :

- Réseau moyenne tension (MT) : 15KV
- Réseau basse tension (BT) : 220V et 380V entre les deux phases

### A. Réseau moyenne tension

Le réseau de moyenne tension MT alimente les grandes installations industrielles, les administrations publiques et les quartiers résidentiels d'envergure. Il est constitué :

- Lignes aériennes : fils électriques supportés par des pylônes.
- Transformateurs MT/BT : abaissent la tension de 15KV à 220V pour l'usage domestique.
- Sectionneurs : Pour isolent les lignes.

## **B. Réseau basse tension**

Le réseau basse tension BT dessert les habitations individuelles, les petits commerces et les services publics. Il est composé de :

- Câbles électriques de basse tension : Distribuent l'électricité aux clients finaux.
- Compteurs électriques : Mesurent la consommation de chaque client
- Disjoncteur : Protègent les installations électriques en cas de surcharge ou court-circuit.

L'absence de système de monitoring à distance dans les différentes multitudes postes des cabines MT/BT de la société SNEL/Goma présente plusieurs défis majeurs pour la SNEL :

1. **Détection tardive des pannes** : Les pannes ne sont détectées qu'après coup, ce qui peut entraîner des coupures d'électricité longue et intempestives. La localisation des pannes est souvent difficile et prend du temps, ce qui retarde les interventions de maintenance.
2. **Réduction de la durée de vie des équipements** : Les pannes non détectées à temps peuvent endommager gravement les équipements et réduire leur durée de vie. La manque de données sur l'état des équipements ne permet pas de planifier la maintenance préventive de manière efficace.
3. **Risques pour la sécurité** : Le manque de système de monitoring peut empêcher la SNEL de prendre les mesures nécessaires pour prévenir les accidents.

Notons qu'il est important de souligner que l'absence de système de monitoring à distance peut également entraîner une baisse de la satisfaction des clients.

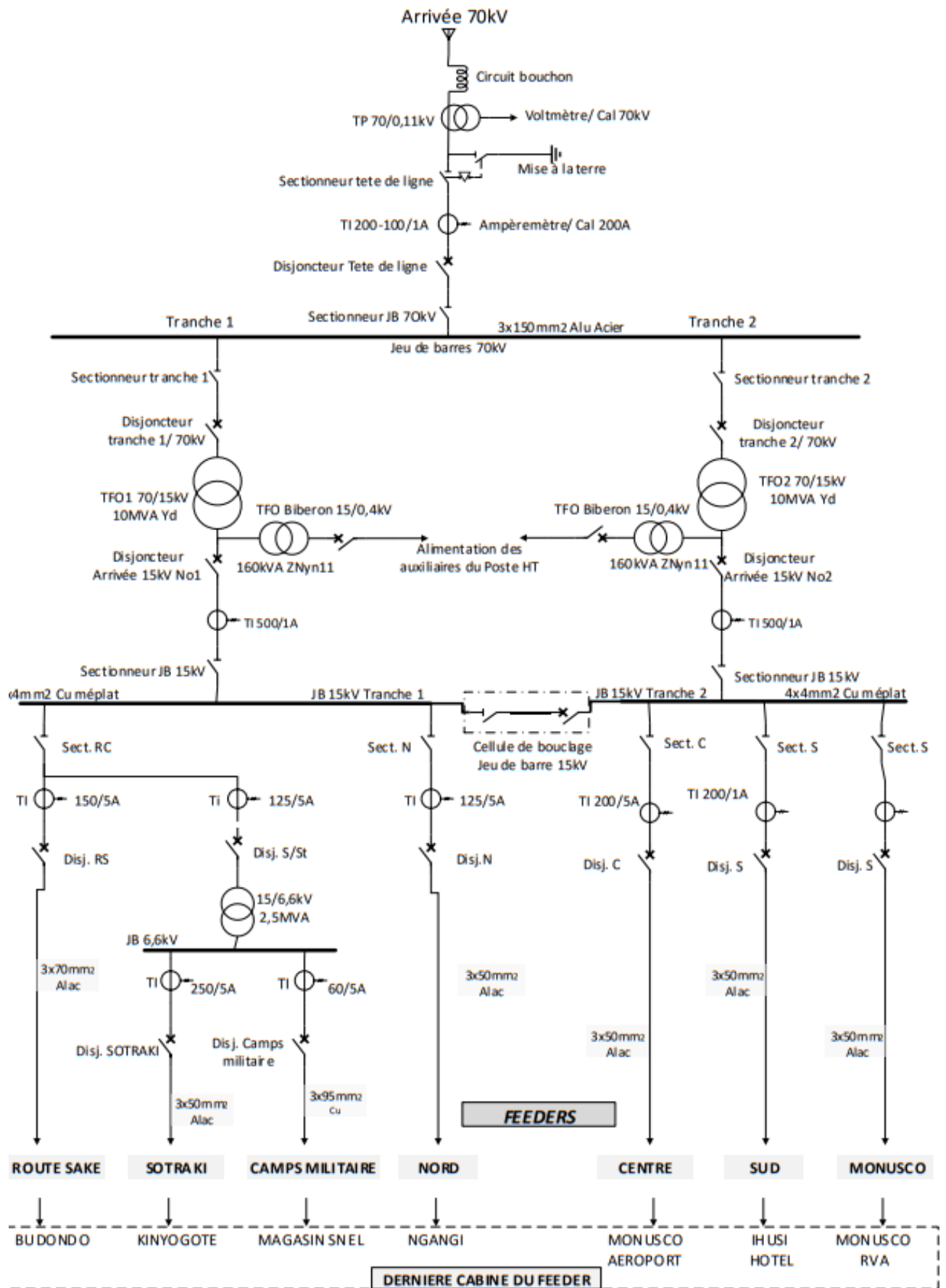


FIGURE I.10 – Schéma unifilaire du poste HT/MT de la Snel Goma (Source : Snel DNK)



## I.4 Localisation des défauts dans un transformateur MT/BT

Le transformateur de puissance sont généralement très fiables, avec une espérance de vie entre 20 et 35 ans. Dans la pratique, elle peut s'étaler jusqu'à 60 ans en utilisant une maintenance et une exploitation convenables. Cependant, toute défaillance d'un transformateur est potentiellement coûteuse en réparation ou en remplacement par un autre [11]. Son exploitation continue ou exceptionnelle dans le régime de surcharge pour alimenter une large population peut entraîner son vieillissement prématuré et raccourcir d'une façon constante sa vie, ce qui accroît considérablement le risque de défaillance.

Les pannes sont généralement initiées par des conditions sévères, comme la foudre, les manœuvres sur un réseau, court-circuit.

### I.4.1 Les défauts électriques

Une augmentation ou une diminution anormale des grandeurs nominale dans un circuit électrique constitue un défaut ou une perturbation. Ce sont le plus souvent les variations anormales de la tension, de l'intensité de courant et la fréquence qui sont à l'origine de ces perturbations.

#### Types de défaut électrique

##### 1. Surcharge

Lorsqu'il y a une surcharge, cette provoque une élévation de l'intensité du courant de 1 à 10 fois le courant nominal. Par conséquence il ya un échauffement lent et progressif des parties actives du transformateur, des masses métalliques, des enroulements, des isolent. Moyens de protection : Relais thermique et le disjoncteur.

##### 2. Court-circuit

le court-circuit fait une élévation brutale courant de 10 à 100 fois le courant nominal dans un circuit due à une liaison accidentelle de deux points de potentiel différents (Phase et Neutre). Par conséquence un arc électrique, échauffement important pouvant entraîner la fusion de la partie active du transformateur.

##### 3. Surtension

Lorsqu'une surtension, il y a augmentation soudaine et importante de la tension due

par exemple à un coup de foudre, à un contact entre MT et BT. Par conséquence claquage des isolants avec pour conséquence des court-circuit éventuels.

Pour protéger un transformateur contre une surtension on utilise un Limiteur de surtension, un Relais de surtension, un Parafoudre.

#### 4. La baisse ou la manque de tension

La chute de tension, trop importante dans un réseau, déséquilibre un réseau triphasé de distribution. Par conséquence mauvais fonctionnement des récepteurs, moyen de protection Relais à minimum de tension.

### I.4.2 les défauts mécaniques

Les défauts mécaniques les plus courant d'un transformateur triphasé sont les suivants :

#### 1. Court-circuit interne

Le court-circuit interne se produit lorsque deux ou plusieurs enroulements du transformateur entrent en contact les uns avec les autres, créant un court-circuit. Cela peut entraîner une surchauffe, des pertes d'énergie et éventuellement une défaillance complète du transformateur.

#### 2. Défaut d'isolation

Si l'isolation entre les enroulements du transformateur se détériore, cela peut entraîner des courts-circuits et des arcs électriques, ce qui peut endommager le transformateur et entraîner des pannes.

#### 3. Défaut de refroidissement

Si le système de refroidissement du transformateur ne fonctionne pas correctement, il peut y avoir une accumulation excessive de chaleur à l'intérieur du transformateur, ce qui peut entraîner des dommages aux composants internes et une défaillance du transformateur.

#### 4. Défaut de connexion

Si les connexions électriques entre les enroulements du transformateur sont mal faites ou se desserrent, cela peut entraîner une surchauffe.

### I.4.3 Les défauts thermiques

Voici quelques mesures spécifiques qui peuvent être prises pour prévenir les défauts thermiques d'un transformateur

- Utiliser un système de refroidissement approprié : Les transformateurs triphasés sont généralement refroidis par huile ou par air. Il est important d'utiliser un système de

refroidissement approprié pour le type de transformateur et les conditions d'utilisation.

- Surveiller la température des enroulements : La température des enroulements d'un transformateur doit être surveillée régulièrement. Si la température des enroulements est trop élevée, il faut prendre des mesures pour réduire la charge ou améliorer le système de refroidissement.
- Utiliser des matériaux de qualité : Les transformateurs triphasés sont fabriqués à partir de matériaux qui doivent être capables de résister à des températures élevées. Il est important d'utiliser des matériaux de qualité pour la construction d'un transformateur.

## **I.5 Système de monitoring des postes MT/BT (d'acquisition des données et d'avertissement des défauts du transfo à distance)**

Un système de monitoring à distance est un outil technologique qui permet de surveiller en temps réel les paramètres clés des cabines MT/BT. Ce système d'appui est implémenté dans les cabines électriques pour collecter des données telles que :

- La tension
- Le courant
- La température du transformateur
- L'état des disjoncteurs ou des relais

Les données collectées sont ensuite transmises à un serveur centralisé via un réseau de communication, le personnel du poste peut ensuite accéder à ces données à distance pour :

- Surveiller l'état des cabines en temps réel.
- Détecter les anomalies et les pannes avant qu'elles ne provoquent des coupures d'électricité.
- Planifier la maintenance préventive de la cabine.
- Analyser le fonctionnement du réseau électrique.

Un système de monitoring à distance présente de nombreux avantages pour une poste MT/BT , notamment en terme de :

- Amélioration de la surveillance du réseau électrique.

- Détection précoce des pannes.
- Réduction des coûts d'exploitation.
- Amélioration de la maintenance.
- Amélioration de la satisfaction des clients

Un système de monitoring à distance pour les cabines MT/BT de la SNEL/Goma permettra une meilleure surveillance du réseau électrique et du transformateur, une détection précoce des pannes, une amélioration de la sécurité et de la satisfaction des clients, et une meilleure performance du réseau électrique.

## I.6 Conclusion partielle

Nous venons de réaliser une vue d'ensemble sur le transformateur triphasé utilisé dans un poste MT/BT, ainsi pour cela, nous avons tout d'abord expliqué les principes de base de fonctionnement d'un transformateur. Ensuite, nous avons évoqué en détail des défauts qui peuvent intervenir lors de son fonctionnement, lorsque le transformateur n'est pas protégé contre certains défauts, cela peut engendrer plusieurs perturbations et diminuer son espérance de vie.

Généralement dans la ville de GOMA, les postes des cabines MT/BT de la société SNEL n'ont pas des protections appropriées contre certains des défauts électriques et thermiques. Certains paramètres ne sont pas mesurés dans leurs départs BT. Tout cela crée des perturbations et des défaillances dans une poste, même plusieurs risques de grille les roulements du transformateur.

Dans l'optique de vouloir apporter une solution à ce problème que possède les postes des cabines MT/BT de la société SNEL nous envisageons utiliser un système de Monitoring, que nous présenterons dans le chapitre suivant.

# Chapitre II

## Conception du système de monitoring et composants utilisé

### II.1 Introduction partielle

La conception et le fonctionnement du système de monitoring, nécessitent d'effectuées les différentes analyses des comportements de certains composants qui constitues notre système de monitoring, l'objectif étant d'assure un haut niveau de sécurité d'un transformateur triphasé MT/BT. Pour cela, une simulation du fonctionnement du système monitoring est réalisée, la modélisation de chacun de ses composants sera mise en œuvre de méthode d'analyse. Parmi ces analyses nous citerons :

- Identifier les paramètres à surveiller
- Les performances des composants à utilisé
- Comprendre le principe de fonctionnement des composants à utilisé

Dans ce chapitre nous aborderons ces trois points. Nous présentons aussi le schéma synoptique qui sera expliquer en détail.

### II.2 Schéma synoptique d'un système de monitoring

La figure [II.1](#) présente le schéma synoptique de notre système de surveillance, avec les différents composants qui seront expliqués dans la suite de ce chapitre.

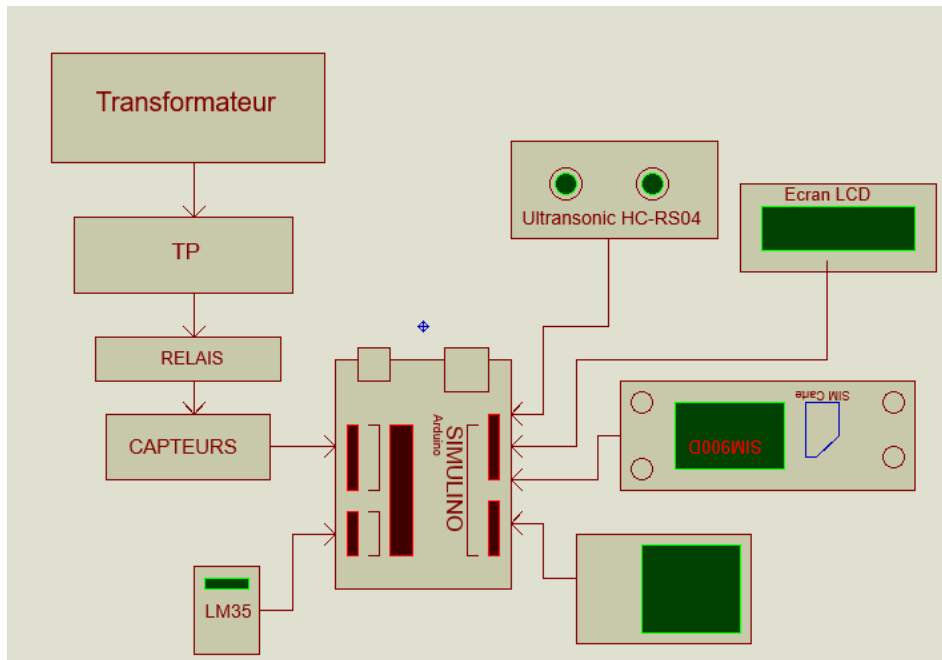


FIGURE II.1 – Schéma synoptique d'un système monitoring

### II.2.1 Transformateur de tension ou TP

La tension secondaire générée par votre transformateur est trop élevée pour alimenter certains composants comme une carte Arduino, les relais et les capteurs, qui fonctionnent généralement sous une tension réduite de 5V. Un transformateur de tension ou un transformateur de potentiel est un instrument utilisé pour faire baisser la tension ou de convertir la tension d'entrée en une tension de sortie faible qui sera ensuite utilisée pour faire fonctionner nos composants qui supportent une tension réduite de 5V.

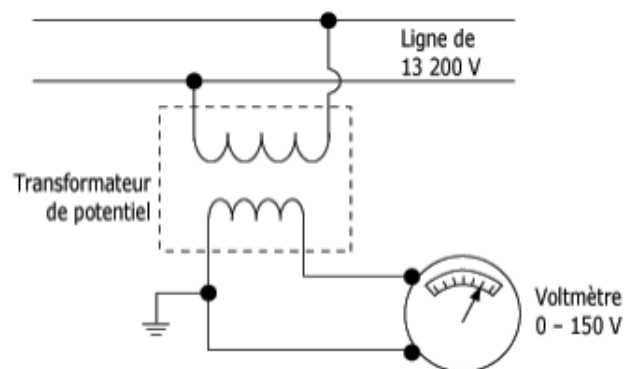


FIGURE II.2 – Transformateur de tension

## II.2.2 Relais

### Définition

Un relais c'est un interrupteur contrôlé électriquement, dont l'excitation d'une bobine engendre un champ électromagnétique qui actionne un certain mécanisme pour l'ouverture et la fermeture d'un contact comme le montre la figure II.3

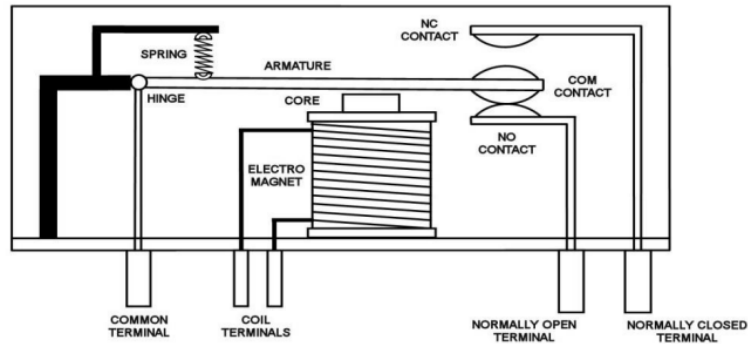


FIGURE II.3 – Schéma fonctionnel d'un relais [12]

Lorsque on a besoin de commander ou de contrôler le fonctionnement d'un appareil sous une tension de 5V, la solution c'est l'utilisation des relais de 5V. Il permet d'effectuer une isolation électrique entre deux circuits qui peuvent avoir deux niveaux de tension différents.

Permet de contrôler des équipements :

- Qui absorbent un large courant que Arduino ne peut fournir
- Qui nécessitent un niveau de tension ne pouvant être fourni par Arduino (càd tension différente de 5V)

Il sera utilisé dans notre système pour protéger le transformateur contre la surcharge, l'échauffement et contre la baisse de niveau d'huile dans la cuve du transformateur.

**Exemple du module à 1 canal [12] :**

- Vcc ou + connectée à 5V de Arduino
- GND ou – connectée à GND de Arduino
- S : pour recevoir le signal de contrôle de Arduino
- Consomme 15-20mA sous 5V
- A gauche ou NO : contact normalement ouvert
- Au milieu ou COM : borne commune
- A droite ou NC : contact normalement fermé

Les broches énumérées ci-haut sont représenté sur la figure II.4 (lirez les indications sur le module)

Peut être utilisé :

- Avec 250VAC→10A
- Avec 125VAC→10A
- Avec 30VDC→10A
- Avec 28VDC→10A

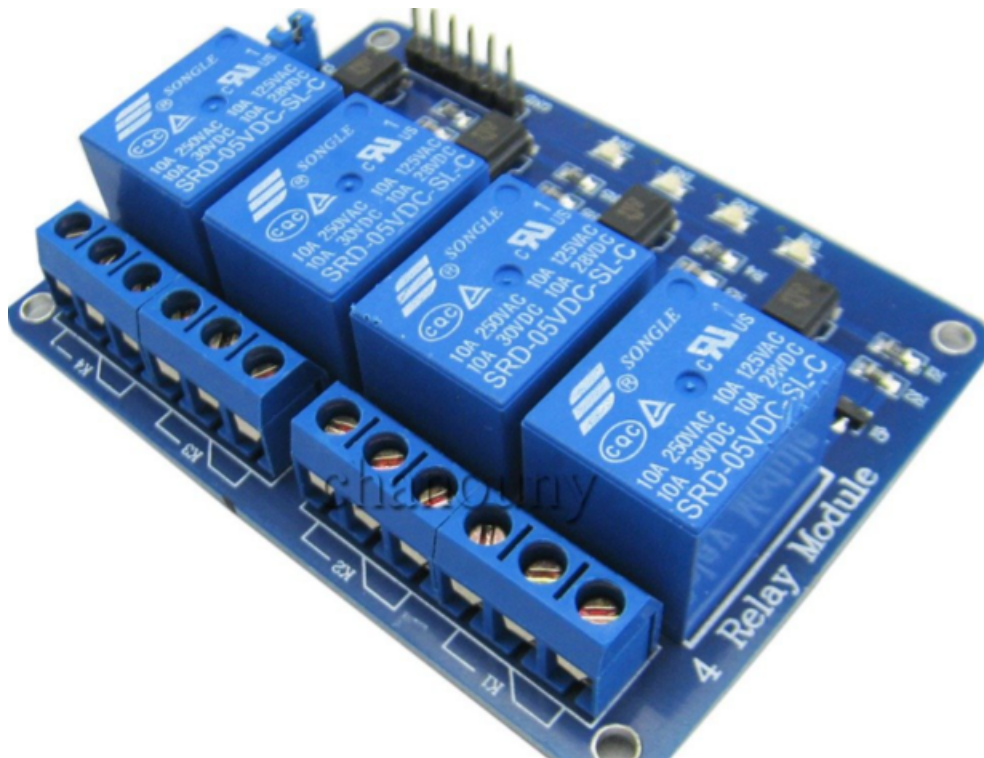


FIGURE II.4 – Module de relais à quatre canaux [12]

### II.2.3 Le capteur de courant ACS712

Le capteur de courant ACS712 est un dispositif utilisé pour mesurer le courant électrique dans un circuit. Il est souvent utilisé dans des projets électroniques et des applications où la surveillance du courant est nécessaire. Ce capteur se branche en série avec la charge sur un circuit alternative (AC) ou continu (DC) et permet de mesurer le courant qui travers le capteur.

Le module ACS712 fonctionne grâce à l'effet Hall. Une cellule de Hall, plaquette semi-conductrice d'une épaisseur  $d$ , est transverse longitudinalement par un courant de commande  $I_C$  (figure II.5). En présence d'une induction magnétique  $B$ , les porteurs de charge de ce courant subissent une force le Lorentz  $F_L$  perpendiculaire à leur mouvement et

ou champ B. Ceci entraîne une variation de leur nombre sur les côtés de la cellule se manifestant par une différence de potentiel que l'on appelle tension de Hall  $V_H$  [13].

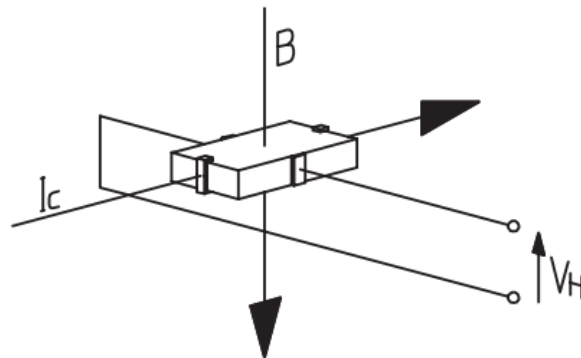


FIGURE II.5 – L'effet Hall [13]

Le capteur produit une tension analogique proportionnelle au courant mesuré. Cette tension peut être lue à l'aide d'un microcontrôleur ou d'un autre dispositif d'acquisition de données.

### Caractéristiques

- Tension d'entrée : DC 5V
- Sortie : analogique
- Version : 30 ampères (A)
- Sensibilités : 66mV/A
- Plage de courant de mesure jusqu'à  $\pm 30A$

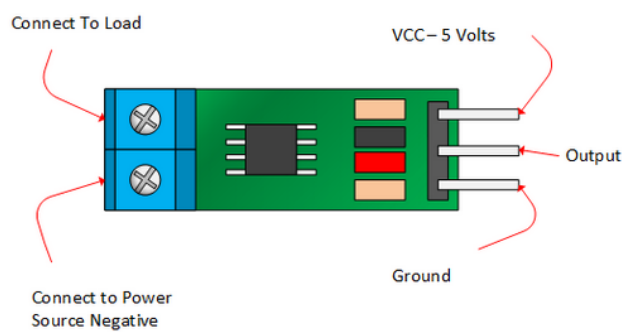


FIGURE II.6 – Capteur de courant ACS712 [14]

### La Définition des Pins

Broche	Description	Fonction
VCC	+5V	Connecter à +5V
OUT	Sortie analogique	Connectez-vous à la broche du microcontrôleur
GND	La terre	Connecter à la terre
Les 2 pins connecteurs	Broche d'interface	Connectez en série à la charge

## II.2.4 Capteur de tension ZMPT101B

Le capteur de tension ZMPT101B est un module basé sur un transformateur abaisseur de tension qui nous permet de mesurer des tensions alternatives jusqu'à 250V. Pour rendre le module lisible, il utilise un amplificateur opérationnel monté sur le module. Pour faire fonctionner, connectez l'alimentation de 5V au module, appliquez la tension alternative au transformateur et connectez la sortie analogique à n'importe quelle broche analogique du microcontrôleur.

Le module ZMPT101B peut être utilisé pour mesurer la tension du secteur et transmettre la lecture à l'entrée du microcontrôleur. Un potentiomètre est monté sur le module ZMPT101B pour la calibration des lectures.

### Caractéristiques [15]

- Poids : 20g
- Dimensions : 51\*21\*21 mm
- Modèle de transformateur : ZMPT101B
- Tension d'alimentation : 5V
- Courant nominal : 2mA
- Température de fonctionnement :  $-40^{\circ}C$  à  $70^{\circ}C$
- Plage de tension de mesure : 0-250V

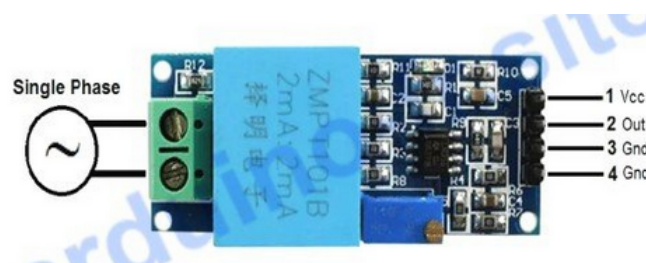


FIGURE II.7 – Capteur de tension ZMPT101B [15]

Le capteur de tension AC ZMPT101B est connecté à l'Arduino, la sortie analogique **OUT** du capteur est connectée à la broche analogique de l'Arduino, puis les broches d'alimentation sont connectées à la broche d'alimentation de l'Arduino.



plupart des boucliers conçus pour les cartes Uno et les anciennes cartes Arduino Diecimil ou Duemilanove.

La carte Méga 2560 dispose de 54 broches d'entrée/sortie (dont 15 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), un oscillateur cristal à 16 MHz, une connexion USB, une prise de courant, une embase ICSP et un bouton de réinitialisation. Représente sur la figure II.9

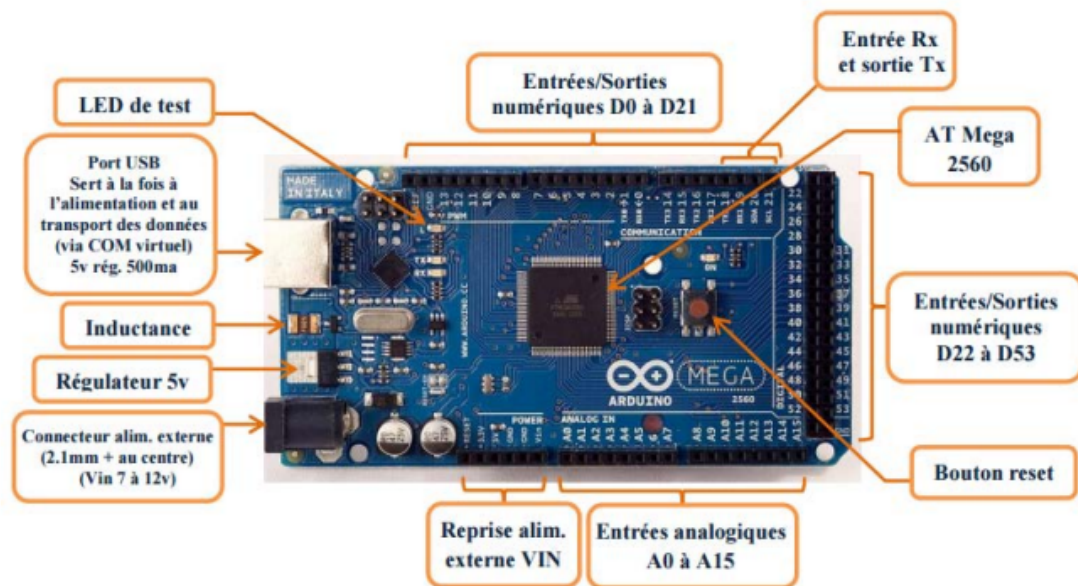


FIGURE II.9 – Description de la carte Arduino ATmega 2560 [16]

La carte Méga 2560 est idéale pour les applications exigeant des caractéristiques plus complètes que la Uno. Elle est souvent utilisée pour créer des robots, des drones, des imprimantes 3D et d'autres projets électroniques complexes.

### Caractéristiques de l'Arduino Méga

Cette carte dispose :

- Microcontrôleur ATmega2560 cadencé à 16 MHz
- 54 broches d'entrée/sortie (dont 15 peuvent être utilisées comme sorties PWM)
- 16 entrées analogiques
- Connexion USB
- 4 UART (ports série matériels)
- Oscillateur cristal à 16 MHz
- D'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit")
- D'un bouton de réinitialisation

## a. Alimentation

La carte Arduino Méga 2560 peut être alimentée soit par la connexion USB (qui fournit une tension de 5V) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte. L'alimentation externe peut être soit un adaptateur secteur, ou des piles (pouvant fournir typiquement une tension de 5V à 12V).

Lorsque la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte.

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- VIN ; la tension d'entrée positif lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée). On peut alimenter la carte à l'aide de cette broche et cette broche peut être utilisée pour alimenter des périphériques externes, tels que des LED, des moteurs ou des capteurs., si l'alimentation est fournie le jack d'alimentation, accéder à la tension d'alimentation sur cette broche.
- 5V ; est la tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte (les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable, obtenue à l'aide d'un régulateur de tension qui est intégré à la carte Arduino). Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation **VIN**, ou bien de la connexion **USB**, qui fournit du 5V régulé.
- 3.3V ; une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré **FTDI** (circuit intégré faisant d'adaptation du signal entre le port USB de de l'ordinateur et le port série de ATmega). Ceci intéressant pour certains circuits et composants externes nécessitent la tension au lieu du 5V. L'intensité maximale disponible sur cette broche étant de 50mA.
- GND ; broche connectée à la masse (0V).

## b. Mémoire

La carte Arduino Méga 2560 à 256 Ko de mémoire **FLASH** pour stocker le programme (dont 8Ko). Elle a également 8Ko de mémoire **SRAM** (volatile) et 4Ko **d'EEPROM** (Mémoire non volatile) [16]

## c. Entrées et sorties numériques

Chacun des 54 broches numériques de la carte Méga peut être utilisée soit comme entrée numériques, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instruction pin Mode

(`digitalWrite()`), `digitalWrite()` et `digitalRead()` du langage Arduino. Ces broches fonctionnent en 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de rappel au plus (`pull-up`) (déconnectée par défaut) de 20-50 K. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction `digitalWrite(broche, HIGH)`.

De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées

TABLE II.1 – Différentes broches entrées/sorties numériques [16]

Communication Série	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Port Série Serial 0</b> : 0 (RX) and 1 (TX) ;</li> <li>✓ <b>Port Série Serial 1</b>: 19 (RX) and 18 (TX) ;</li> <li>✓ <b>Port Série Serial 2</b>: 17 (RX) and 16 (TX) ;</li> <li>✓ <b>Port Série Serial 3</b>: 15 (RX) and 14 (TX).</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisées pour recevoir (RX) et transmettre (TX) les données sériées de niveau TTL.</li> <li>• Les broches 0 (RX) and 1 (TX) sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur.</li> </ul>
Interruptions Externes	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Broche 2</b> (interruption 0),</li> <li>✓ <b>Broche 3</b> (interruption 1),</li> <li>✓ <b>Broche 18</b> (interruption 5),</li> <li>✓ <b>Broche 19</b> (interruption 4),</li> <li>✓ <b>Broche 20</b> (interruption 3),</li> <li>✓ <b>Broche 21</b> (interruption 2).</li> </ul> <p>Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur. (Voir l'instruction <code>attachInterrupt()</code>).</p>
Impulsion PWM (Largeur d'impulsion modulée)	<b>Broches 0 à 13</b> fournissent une impulsion <b>PWM 8-bits</b> à l'aide de l'instruction <code>analogWrite()</code> .
SPI (Interface Série Périphérique)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Broche 50 (MISO)</b>,</li> <li>✓ <b>Broche 51 (MOSI)</b>,</li> <li>✓ <b>Broche 52 (SCK)</b>,</li> <li>✓ <b>Broche 53 (SS)</b>.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la librairie pour communication SPI.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes <i>Uno</i>, <i>Duemilanove</i> et <i>Diecimila</i>.</li> </ul>
I2C	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Broche 20 (SDA),</b></li> <li>✓ <b>Broche 21 (SCL).</b></li> <li>•Supportent les communications de protocole I2C (ou interface TWI (Two Wire Interface - Interface "2 fils"), disponible en utilisant la librairie Wire/I2C (ou TWI-Two-Wire interface "2 fils").</li> <li>•Noter que ces broches n'ont pas le même emplacement que sur les cartes Uno, Duemilanove ou Diecimila.</li> </ul>
LED	<p><b>Broche 13.</b> Il y a une <b>LED</b> incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte.</p>

#### d. Broches analogiques

La carte Arduino Méga 2560 dispose de 16 entrées analogiques, chacune pouvant fournir une mesure d'une solution de 10 bits (c-à-d sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023) à l'aide de la très utile fonction `analogRead ()` du langage Arduino. Les entrées d'Arduino est prévue pour recevoir et conditionner des signaux pouvant prendre une infinité de valeurs 0V et 5V, on peut y connecter tout éléments fournissant une tension continue variant entre 0V et 5V.

## II.2.7 Présentation du Logiciel Arduino IDE

L'environnement de développement Arduino IDE est l'outil utilisé pour écrire des codes avec le langage Arduino C, il est ensuite converti en une forme exécutive qui peut être placée sur le microcontrôleur. Cet environnement de développement est simple et facile à manipuler, et il est presque sans complication dans l'aspect général, il contient seulement ce que le programmeur a besoin pour commencer à développer et en même temps pour charger le code directement au microcontrôleur.

### Le langage de programmation

Le langage de programmation utilise est C++, compile avec `avr-g++`, et lie à la bibliothèque de développement Arduino, permettent l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisée le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, toute personne maîtrisant le C et C++.

Pour commander une carte Arduino sur PC, on installe le logiciel du même nom Arduino IDE (version 1.8.19) qui est une application Java et qui a l'interface montré dans

la figure II.10

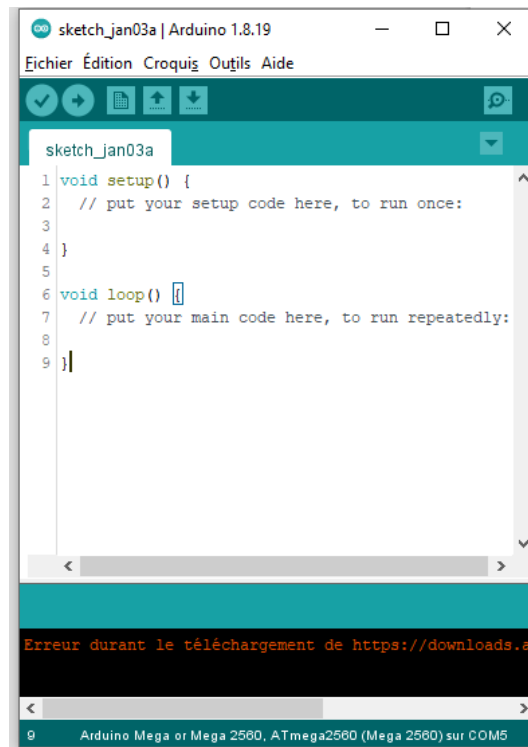


FIGURE II.10 – Vue d'ensemble du logiciel Arduino

Le logiciel Arduino a pour fonction principales [17] :

- De pouvoir écrire les codes et compiler des programmations pour la carte Arduino ;
- De se connecte avec la carte Arduino pour y transférer les programmes ;
- De communique avec la carte Arduino.

L'interface du logiciel contient aussi une barre d'outils, une barre des boutons pour vérifier, compiler et téléverser les programmes. Comme présenter sur la figure II.11

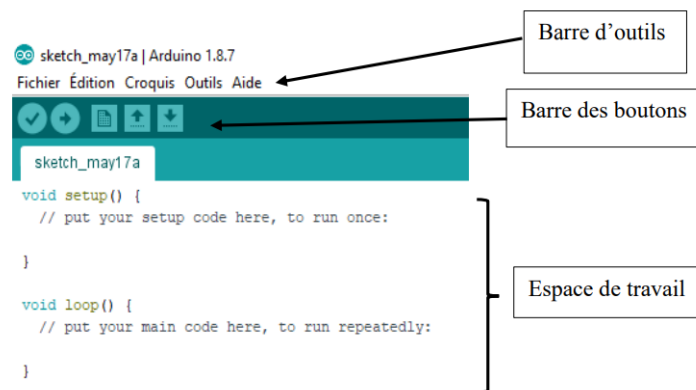


FIGURE II.11 – Interface du logiciel Arduino

L'espace de développement dédié au langage et à la programmation de carte Arduino comporte :

- Une **barre de menus** comme pour tout logiciel une interface graphique ;
- Une **barre de boutons** qui donne un accès direct aux fonction essentielles du logiciel (compiler, téléverse, enregistre) ;
- Un **monitor série** qui affiche sur l'ordinateur l'état des variables, des résultats de calculs ou de conversion analogique-numérique ;
- Un **éditeur (édition des programmes)** pour écrire le code de programme, avec onglets de navigation ;
- Une **zone de messages** qui affiche l'état des actions en cours ;
- Une *console texte* qui affiche les messages concernant le résultat de la compilation du programme.

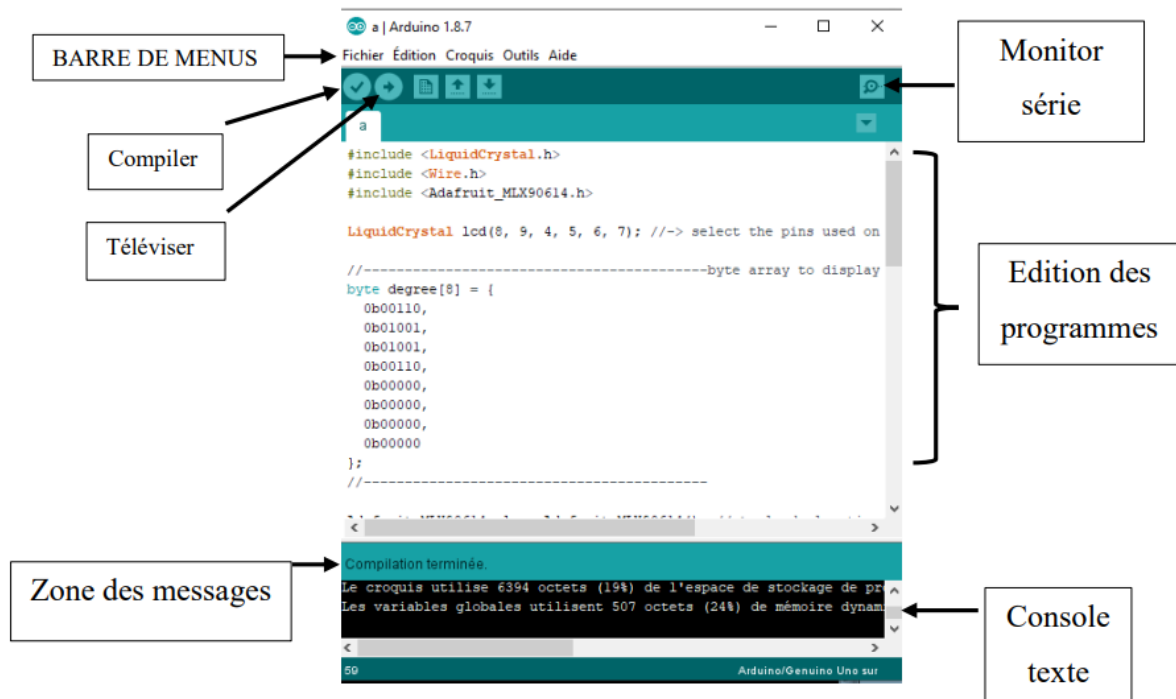


FIGURE II.12 – Vue d'ensemble de l'espace de travail du logiciel Arduino

## II.2.8 Le Détecteur de Distance (Le capteur d'ultrason HC-SR04)

### Définition d'un capteur

Un capteur est un dispositif qui permet de transformer une grandeur physique (telle que la température, la pression, la lumière, etc.) en grandeur électrique.

## Capteurs ultrasonores

Les capteurs ultrasonores utilisent des vibrations sonores dont les fréquences ne sont pas perceptibles par l'oreille humaine. Les fréquences couramment utilisées dans ce type de technologie vont de 20 KHz à 200 KHz. Les ultrasons émis se propagent dans l'air et sont réfléchis partiellement lorsqu'ils heurtent un corps solide, en fonction de son impédance acoustique.

Le capteur ultrasonore HC-SR04 est un module ultrason permettant l'évaluation d'une distance de 2cm à 400cm. La mesure est réalisée sans contact et dispose d'une précision de 3mm dans les conditions optimales. Ce module comporte un **émetteur** et un **récepteur** d'onde.

On utilise ce capteur pour localiser quelque chose par rapport à des obstacles statique ou dynamique, ce capteur repose sur l'indice de calculer le temps de vol d'un signal ultrasonique depuis son point départ. Alors si la distance entre le transducteur et l'obstacle est « d » donc la distance parcourue par l'onde ultrasonique est « 2d »

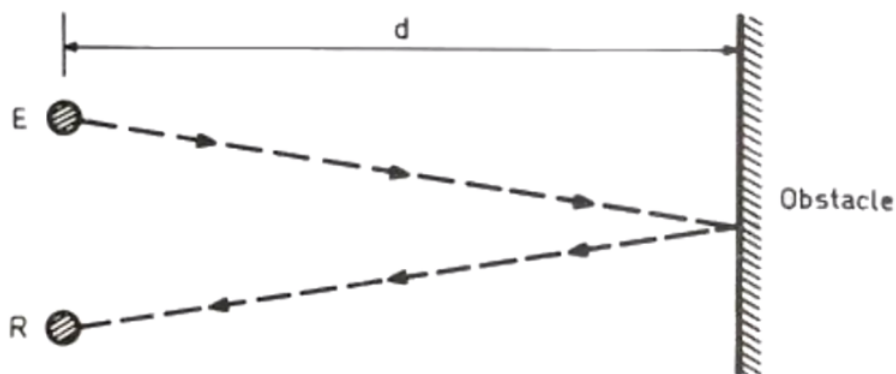


FIGURE II.13 – Réflexion sur l'obstacle

$$t = \frac{2d}{V}, \quad d = \frac{V \cdot t}{2}$$

t : le temps entre l'émission et la réception

d : distance entre le transducteur et l'obstacle

V : la vitesse de déplacement des ultrasons dans l'air (le son se déplace à 340m/s = 34000 cm/s )

Le capteur se contrôle au moyen de deux broches : une broche « TRIGGER » et une broche « ECHO ». Une mesure de distance est démarrée en envoyant une impulsion de niveau « 1 » (à +5V) pendant 10µs sur la broche « TRIGGER » (pour activer le déclenchement de l'impulsion sonar), voir la figure II.14. A la suite de ces 10µs le capteur envoie une onde sonar composée d'une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40KHz (inaudible pour l'oreille capable de percevoir des sons entre 16Hz et 16KHz) et attend de recevoir un écho. Durant toute la durée de la l'attente de l'écho, la broche « ECHO » reste à « 1 ».

On pourra ainsi déterminer plus tard la distance en fonction de la durée du temps haut sur la broche « ECHO » et de la vitesse du son [18].

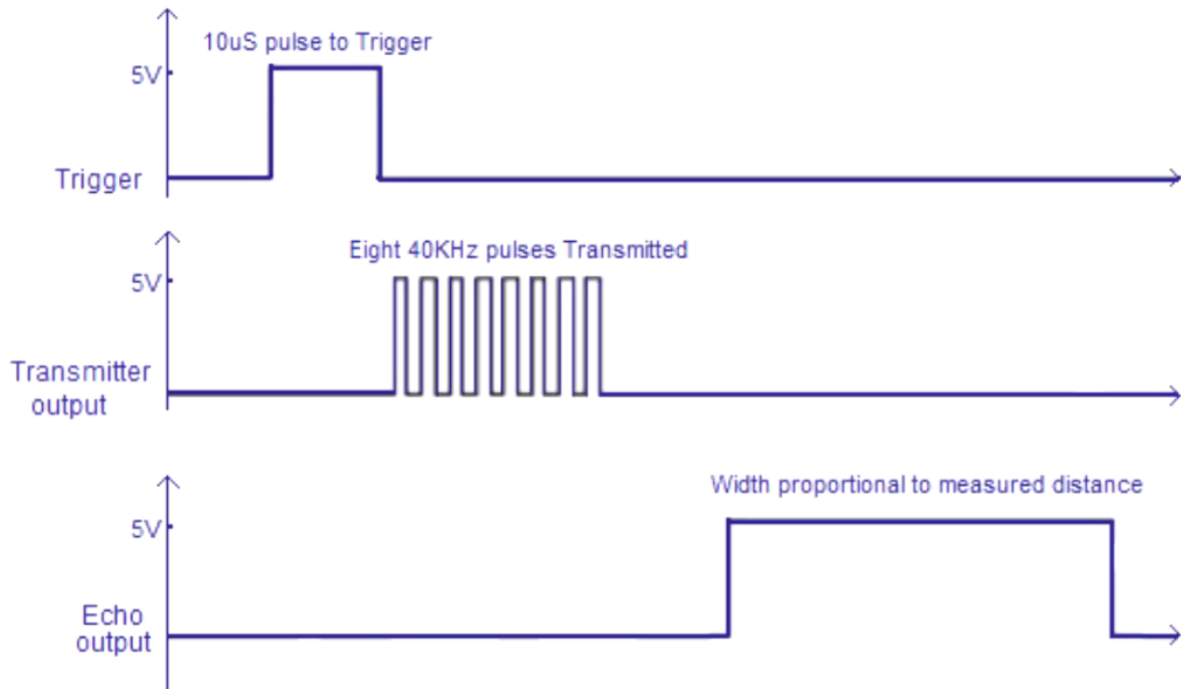


FIGURE II.14 – Représentation graphique de la séquence de fonctionnement [18]

### Caractéristiques

- Tension de fonctionnement : +5 continu (DC)
- Consommation (en fonctionnement) : 15mA
- Fréquence de fonctionnement : 40HZ
- Distance Max : 400cm (40m)
- Distance Minimale : 2cm
- Angle de mesure : <15 degrés
- Signal d'entrée- trig : déclenchement de la mesure : impulsion 10us TTL
- Signal de sortie- écho : impulsion lorsque l'écho est reçu : signal TTL (dépend de la distance mesurée)

### Branchement

- Broche 5V de l'Arduino vers VCC
- Broche GND de l'Arduino vers GND.
- Broche 4 de l'Arduino vers Trig
- Broche 2 de l'Arduino vers Echo.

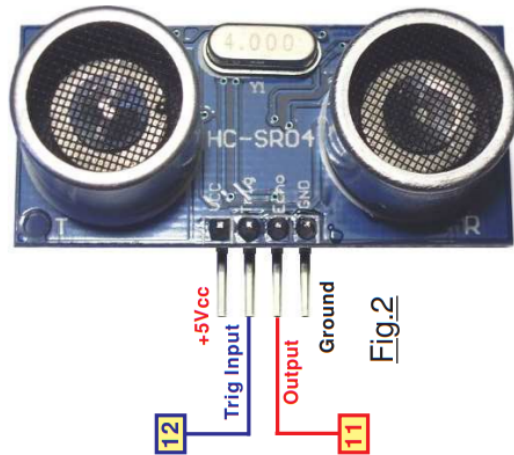


FIGURE II.15 – Capteur ultrason HCSR04 [18]

## II.2.9 Module Afficheur LCD 4x20

L'afficheur LCD conviendra pour notre projet pour afficher les paramètres de fonctionnement. Grâce à la commande par le microcontrôleur, les écrans LCD permettent une visualisation aisée des messages.

L'afficheur LCD dispose 4x20 caractères avec 20 colonnes et 4 lignes.

### Caractéristique

- Tension d'alimentation : 5V
- Consommation en courant : 2mA (5V)

TABLE II.2 – Définition des broches d'interfacage et connexion avec le I2C PCF8574 [12]

number	symbol	states	number	symbol
1	VSS	GND	9	D2
2	VDD	VCC	10	D3
3	VL	VO	11	D4
4	RS	(V/L)	12	D5
5	R/W	Read/write(H/L)	13	D6
6	E	enable	14	D7
7	DO	Date 1/O	15	BLA
8	D1	Date 1/O	16	BLK



FIGURE II.16 – Écran LCD 4\*20 avec différentes broches

## II.2.10 Module SIM800L

Le module SIM800L est un module GSM/GPRS de communication cellulaire compact qui permet aux dispositifs électriques de se connecter aux réseaux de téléphonie mobile, il est principalement utilisé pour l'envoi et la réception de messages SMS, la transmissions de données via GPRS (General packet Radio Service). Il est conçu pour fonctionner avec des cartes SIM de réseaux mobiles, il prend en charge plusieurs bandes de fréquence pour la connectivité GSM .

Il vous permettra d'échanger des SMS, de passer des appels mais aussi, et c'est nouveau, de récupérer de la data en GPRS 2G+. Ainsi vous pourrez faire transiter des données sur une très longue distance.

### Caractéristiques

- Tension de fonctionnement : 3.7V - 4.2V (pic courant 2A)
- Taille du module : 2.2 cm \* 1.8 cm
- TTL port série peut être utilisé avec un lien direct vers le microcontrôleur
- Module puissant, démarre automatiquement, recherche automatiquement le réseau
- Il possède une antenne externe devant être soudée.
- Peut recevoir une Micro SIM



FIGURE II.17 – Module SIM800L [12]

## Brochage

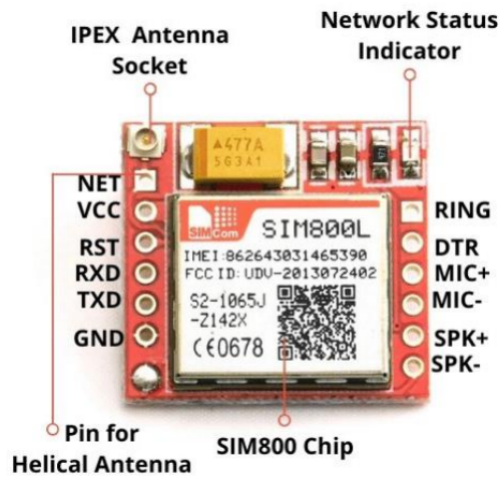


FIGURE II.18 – *Module SIM800 avec présentation de différentes broches* [12]

## II.3 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous venons de présenter les différents éléments qui constitueront notre système de surveillance, comprenant les divers capteurs, les équipements électroniques, les caractéristiques spécifiques de chaque élément, ainsi que le mode d'utilisation de chaque module.

La compréhension du fonctionnement de chaque module nous permettra de connaître le rôle joué par chacun d'eux dans notre travail.

# Chapitre III

## Implémentation et simulation

### III.1 Introduction

Après avoir compris le fonctionnement des différents modules présenté dans le chapitre précédent. Pour résoudre les problèmes que la société SNEL présentent. L'objet principal de ce chapitre sera d'implémenter et faire une simulation d'un système capable de palier aux problèmes énumérés dans le chapitre II

### III.2 Présentation du Logiciel Proteus

Proteus est un outil logiciel de simulation et de conception développé par Labcenter Electronics pour la conception de circuits électriques et électroniques. Il possède également une fonction de dessin 2D COA. Il possède deux logiciels principaux : ISIR et ARES.

- ISIR est le logiciel utilise pour dessiner des schémas et simuler les circuits en temps réel. Ce le logiciel qui sera utilisé pour simuler notre système.
- ARES est un logiciel utilisé pour la conception de circuit imprimés. Il a la fonction de visualiser la sortie en vue 3D du circuit imprimé conçu avec les composants

#### III.2.1 Interface de logiciel ISIS

ISIS a une large gamme de composants dans sa bibliothèque. Il dispose de sources, de générateurs, d'outils de mesure et d'analyse tels que l'oscilloscope, le voltmètre, ampèremètre, transformateurs, circuits intégrés numériques et analogiques, commutateurs semi-conducteur, relais, microcontrôleurs, processeurs capteurs etc.

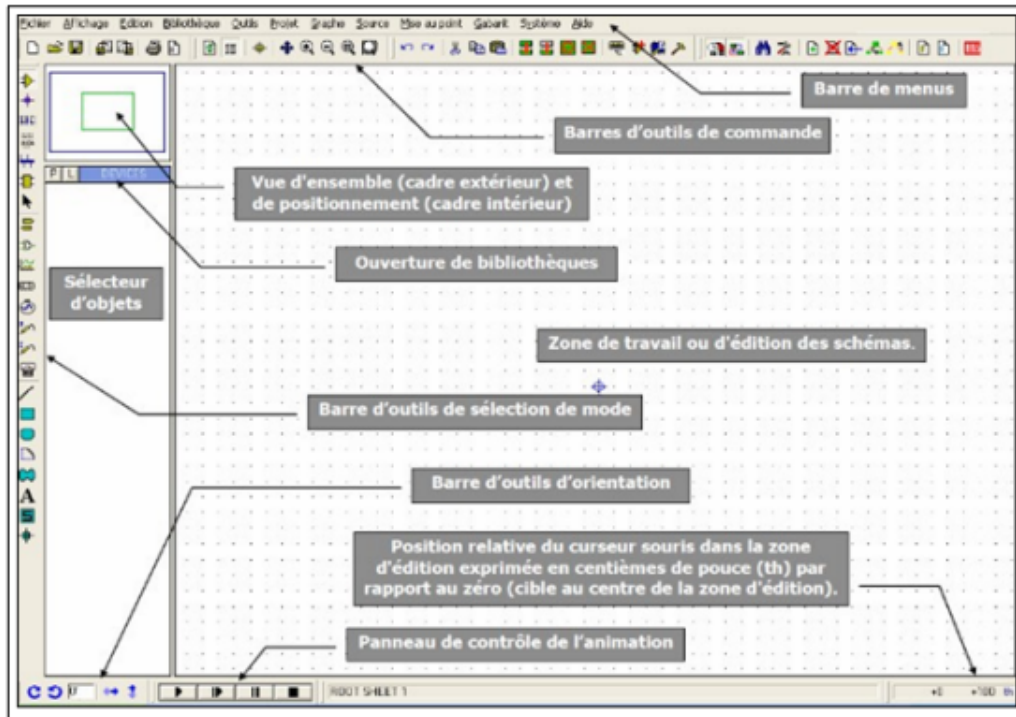


FIGURE III.1 – L'interface de logiciel ISIS.

### III.2.2 Les outils de logiciels

La figure III.2 ci-dessous présente les outils de logiciel et on va savoir les descriptions des principaux outils.

- **Outil de sélection** : Cet outil sert à sélectionner un ensemble ou un objet du circuit. Suite à cette sélection, l'objet peut ensuite être déplacé, pivoté voir même supprimer.
- **Outil de composition** : Le but de cet outil est de sélectionner un dans la bibliothèque, et en suite déplacer à un endroit voulu.
- **Label** : L'outil Label sert à nommer les fils reliant les composants
- **Script de texte** : On utilise cet outil pour écrire du texte sur n'importe quel endroit de la feuille.
- **Bus** : Le mode bus sert à connecter plusieurs composant sur d'autre à l'aide d'un seul fil. Cet outil et surtout pour les microcontrôleurs.
- **Terminal** : L'outil terminal sert à remplacer les fils. Les broches devant être connectées doivent avoir exactement le même nom l'une que l'autre.
- **Roches de composant** : L'outil broche de composant sert à crée des composants qui n'existent pas. Et également de les relies entre eux.

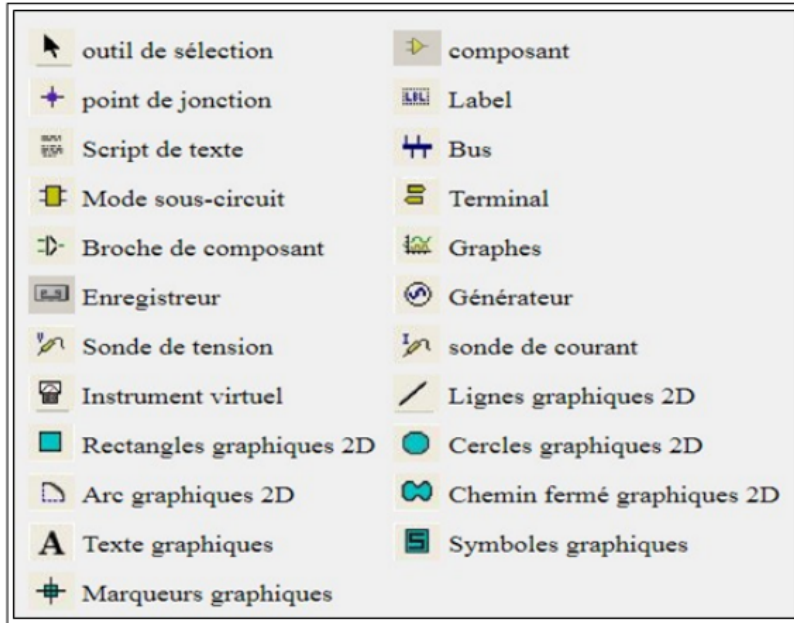


FIGURE III.2 – *Les outils de logiciel ISIS*

### III.3 Schémas fonctionnel de notre système monitoring

La figure III.3 présente les composants nécessaires qui constituent notre système de monitoring.

La figure III.3, partie **A**, présente les trois lignes du transformateur qui constituent la partie acquisition de données de notre système. Chaque ligne est composée des éléments suivants :

- Un capteur de tension pour mesurer la tension de la ligne.
- Un capteur de courant pour mesurer le courant de la ligne.
- Un relais pour couper et rétablir le courant dans le courant en cas d'anomalies.

La figure III.3, partie **B**, présenté la partie de contrôlé de notre système de monitoring avec :

- Le microcontrôleur Arduino méga2560 pour lire les données de capteur de courant, de tension et de la température du transformateur et contrôle notre système en générale.
- Le module SIM900 pour envoyer des messages à l'opérateur en cas des anomalies.
- Le capteur ultrason pour mesurer le niveau d'huile dans la cuve du transformateur.
- L'écran LCD affiche les informations sur l'état du système et les mesures des capteurs.

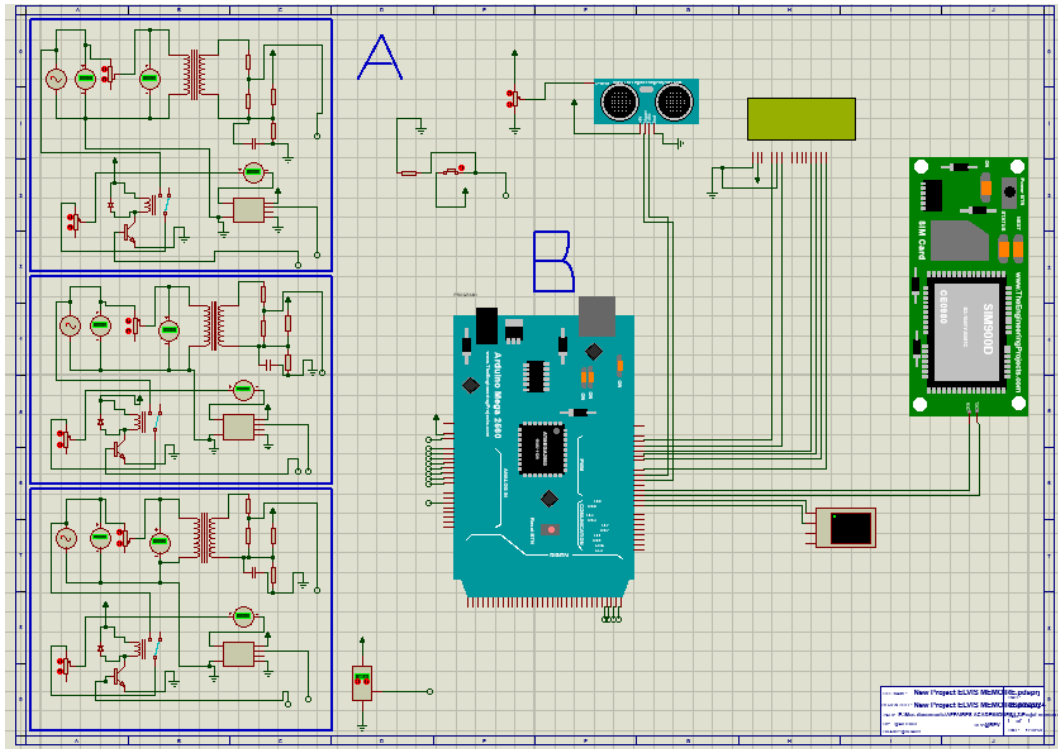


FIGURE III.3 – Schéma fonctionnel d'un système de monitoring

### III.3.1 Présentation d'une ligne d'un transformateur

Chaque ligne de notre transformateur est équipée d'un capteur de courant, d'un capteur de tension et d'un relais ; elle est identique pour les deux autres lignes, comme indiqué dans la figure III.4

#### A. Capteur de tension

Étant donné qu'il n'y a pas de capteur de tension disponible sous Proteus, nous avons tenté de créer un capteur de tension en utilisant des résistances pour former un pont diviseur de tension. La principale fonction de ce capteur de tension est de mesurer la tension en temps réel à l'aide du microcontrôleur.

#### B. Capteur de courant

Pour connaître le courant consommé dans chaque ligne, le capteur de courant nous permet de déterminer l'état de charge de chaque ligne. Ce capteur de courant est commandé par un relais afin de couper le courant dans une ligne en cas de surcharge (surintensité).

#### C. Relais :

Pour commander et contrôler notre transformateur contre les effets pouvant entraîner des anomalies dans le transformateur et sur la ligne, nous utilisons un relais dans chaque ligne. Le rôle de ce relais est le suivant :

- Couper directement le courant dans une ligne lorsque la tension mesurée est supérieure ou égale à la tension nominale, afin de protéger le transformateur et les alimentations connectées à la ligne contre la surtension. Lorsqu'une surtension est détectée, l'état du relais de la ligne concernée doit être positionné sur « OFF »
- Effectuer une coupure lorsque l'intensité mesurée dans une ligne dépasse la valeur du courant nominal. Après un certain temps prédéterminé, le relais doit automatiquement vérifier s'il y a pas une surintensité dans la ligne pour remettre le relais en position « ON »
- Procéder à une coupure générale dans les trois lignes lorsque la température mesurée dans le transformateur dépasse 80°C. Dans ce cas, tous les relais des lignes doivent être positionnés sur « OFF »

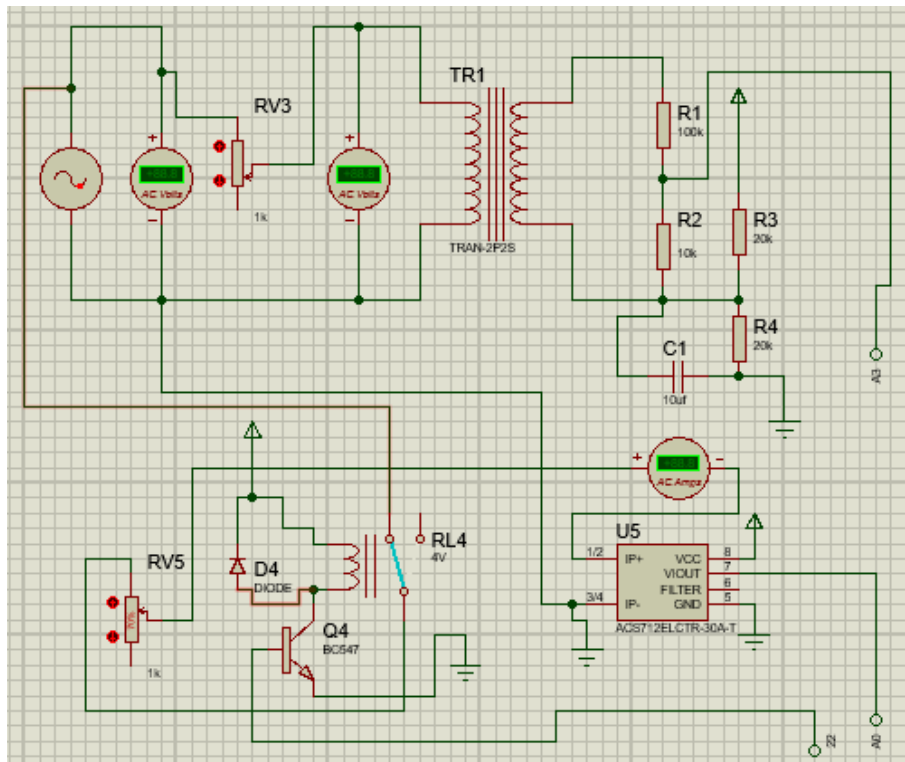


FIGURE III.4 – Ligne d'un transformateur

### III.3.2 Surveillance des paramètres affichés sur l'écran

Certains paramètres seront affichés à l'écran pour surveiller le fonctionnement du transformateur en temps réel. La figure III.5 présente certains paramètres qui doivent être surveillés, tels que :

- La tension dans chaque ligne
- Le courant dans chaque ligne

- La puissance dans une ligne
- L'énergie consommée dans une ligne

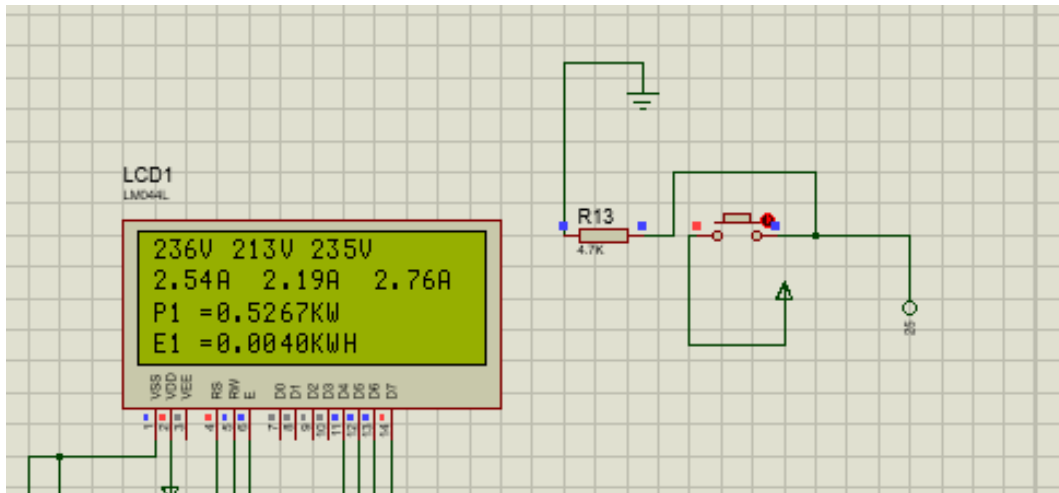


FIGURE III.5 – *Mesure du courant, de tension, puissance et l'énergie*

La surveillance de la température d'un transformateur est d'une importance capitale pour prolonger sa durée de vie, comme le présente la figure III.6, qu'il convient de comparer en permanence à un seuil de surchauffe pour déterminer si la température du transformateur est normale ou anormale.

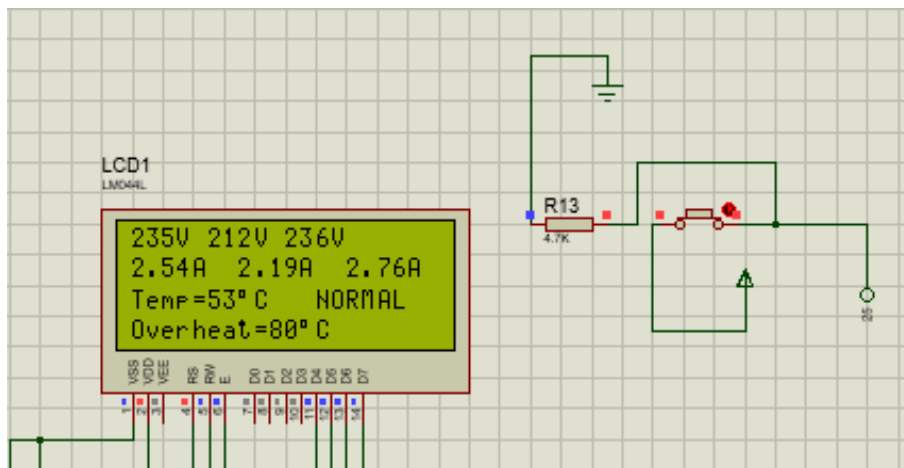


FIGURE III.6 – *Mesure de température*

Le bouton poussoir situé à côté de l'écran, tel que présenté dans la figure III.5 et la figure III.6, permet d'initialiser l'écran pour afficher d'autres paramètres lors d'une deuxième consultation.

Il est très important de contrôler régulièrement le niveau d'huile dans le transformateur, car cette huile assure l'isolation et le refroidissement du transformateur. Les résultats présentés sur la figure III.7 nous permettent de connaître l'état du niveau d'huile, s'il est bas ou élevé.

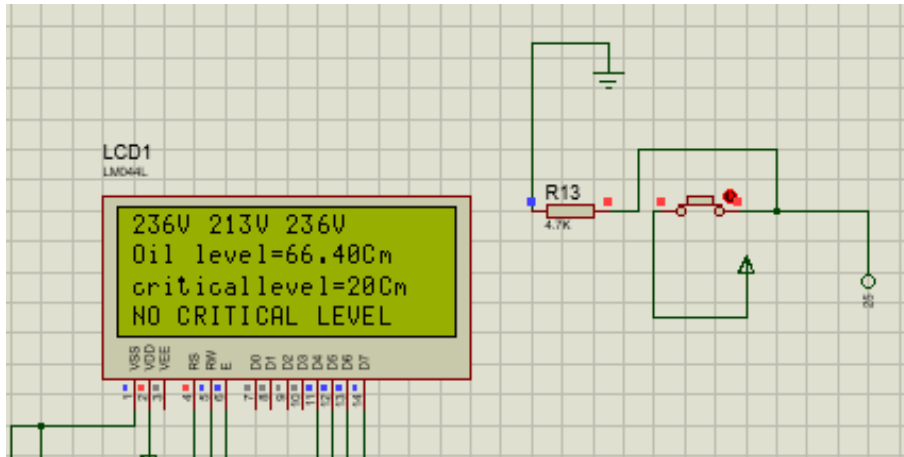


FIGURE III.7 – *Mesure de niveau d'huile*

Lorsqu'il y a une surtension, il est crucial de savoir dans quelle ligne elle se situe pour détecter efficacement la panne. La figure III.8 présente les différentes tensions de chaque ligne, permettant de les comparer à la tension maximale de 250V afin de déterminer l'état de chaque ligne.

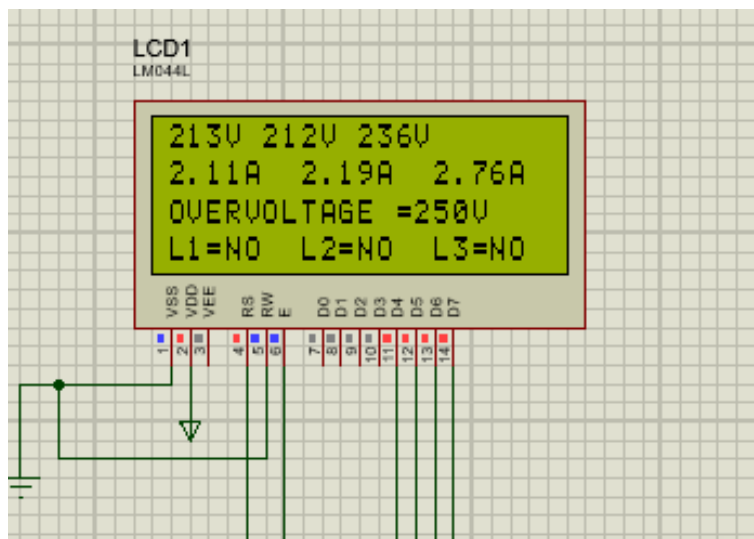


FIGURE III.8 – *L'état de la ligne en cas d'une surtension*

En cas de surintensité, il est crucial de localiser la ligne affectée pour une détection précise de la panne. La figure III.9 expose les diverses intensités de chaque ligne, facilitant la comparaison avec l'intensité maximale de 23A pour évaluer l'état individuel de chaque ligne.

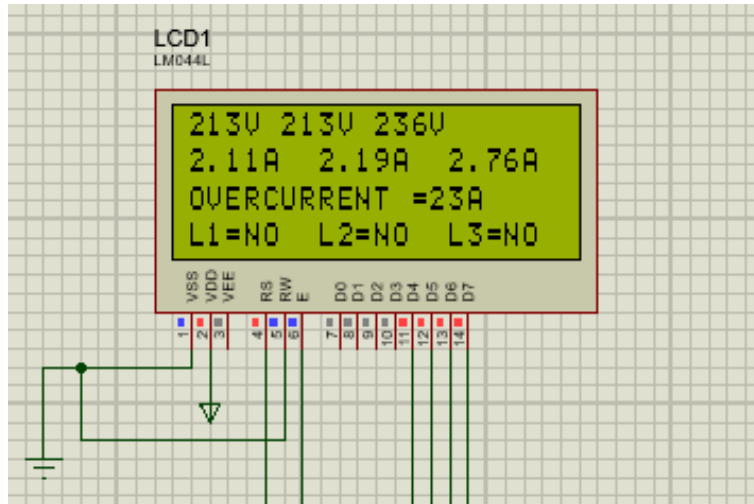


FIGURE III.9 – L'état de la ligne en cas d'une surintensité

La figure III.10 présente la tension totale, le courant total, la puissance totale, l'énergie totale consommée après chaque seconde, ainsi que l'énergie totale consommée durant le fonctionnement du transformateur.

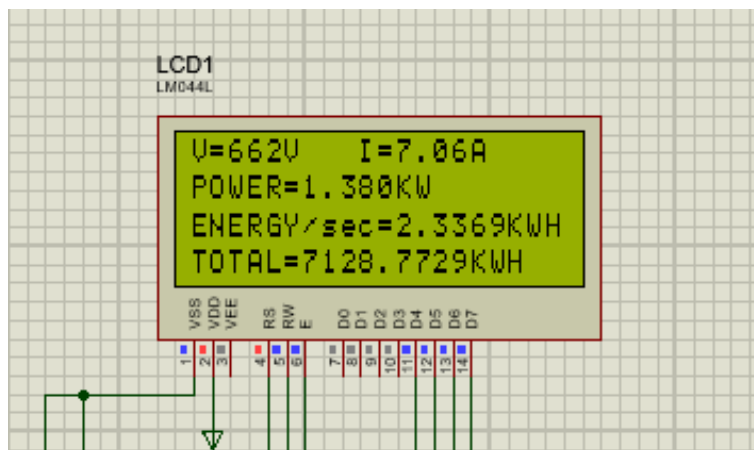


FIGURE III.10 – Mesure de la tension totale, le courant total, la puissance totale, l'énergie

### III.3.3 Envoi des messages

L'envoi des messages permet de contrôler l'état de fonctionnement du transformateur à distance. Grâce au module SIM800, nous pouvons envoyer tous les paramètres du transformateur par SMS à un téléphone mobile.

#### A. Cas de surintensité

Lorsqu'il y a une surintensité (un courant supérieur ou égal à 23A) sur l'une des trois lignes, le message généré doit contenir les informations suivantes (voir la figure III.11) :

- Le courant dans cette ligne

- S'il y a une surintensité dans la ligne
- L'état de relais de cette ligne

```

Virtual Terminal
INITIALISING OF REMOTE MONITORING ENERGY METER THREE PHASES
DATA TO BE SEND TO PHONE OR DATA BASE VIA SIM800L
CASE ON L1 V1= 236V I1 =0.00A P1 =0.00KH E1 =0.00194KWH
CASE ON L2 V2= 213V I2 =2.19A P2 =0.41KH E2 =0.00080KWH
CASE ON L3 V3= 236V I3 =2.76A P3 =0.57KH E3 =0.00111KWH
TOTAL VOLTAGES V= 685V I =4.95A P =0.984KH ENERGY/Sec =0.0038507KWH TOTAL =0.013969KWH
CRITICAL VALUES Overvoltage=250V Undervoltage =200V Overcurrent =23A TIME =5pulsations Acceptable level of oil =30Cn Critical o
OVER VOLTAGES IN LINES L1=NO L2 =NO L3 :NO
UNDER VOLTAGES IN LINES L1=NO L2 =NO L3 :NO
OVER CURRENTS IN LINES L1=YES L2 =NO L3 :NO
TEMPERATURE STATUS IN TRANSFORMER Temperature measure =53 C Over heat normal =NO Over heat middle =YES Overheatanormal :NO
OIL LEVEL STATUS IN TRANSFORMER Oil level in tank of transformer=66.39 Cn Oil level Normal =NO Oil level Better =YES Critical o
RELAYS STATES IN LINES L1=ON or OFF L2 =ON L3 :ON
SOLUTIONS OF PROBLEMS DETECTED =NO PROBLEMS OF OIL BECAUSE ENOUGH OIL IN THANK OF TRANSFORMER
Sending Data...
Data Sent.

```

FIGURE III.11 – Message généré en cas de surintensité dans la ligne

## B. Cas de surtension

En cas de surtension (une tension supérieure ou égale à 250V) ou de sous-tension sur l'une des lignes, l'opérateur doit recevoir les informations de la cabine via un SMS sur son mobile, tel que décrit dans le message de la figure III.12.

Le message généré contient les informations suivantes :

- La tension de la ligne
- Savoir s'il y a une surtension ou une faible tension dans la ligne.
- L'état de relais dans cette ligne

```

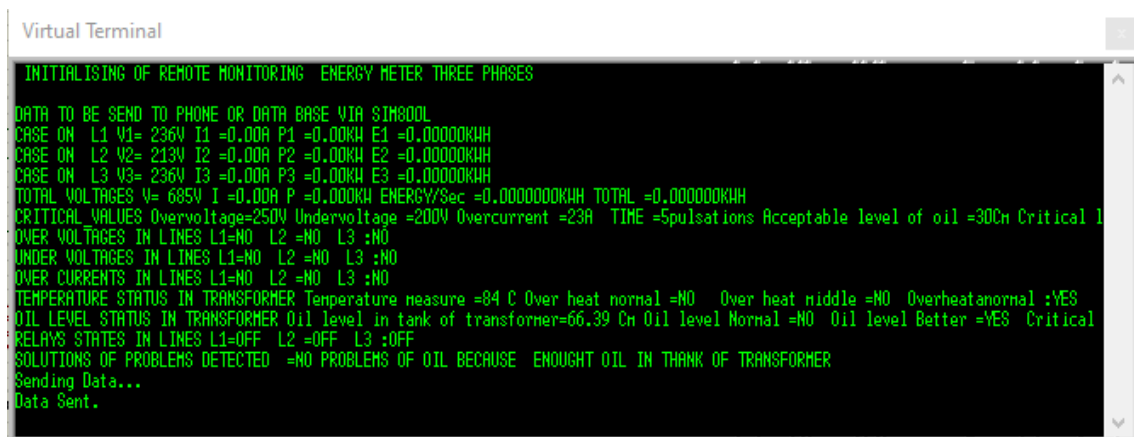
Virtual Terminal
INITIALISING OF REMOTE MONITORING ENERGY METER THREE PHASES
DATA TO BE SEND TO PHONE OR DATA BASE VIA SIM800L
CASE ON L1 V1= 466V I1 =3.97A P1 =1.63KH E1 =0.00182KWH
CASE ON L2 V2= 213V I2 =2.19A P2 =0.41KH E2 =0.00080KWH
CASE ON L3 V3= 236V I3 =2.76A P3 =0.57KH E3 =0.00111KWH
TOTAL VOLTAGES V= 915V I =8.92A P =2.612KH ENERGY/Sec =0.0037329KWH TOTAL =0.010527KWH
CRITICAL VALUES Overvoltage=250V Undervoltage =200V Overcurrent =23A TIME =5pulsations Acceptable level of oil =30Cn
OVER VOLTAGES IN LINES L1=YES L2 =NO L3 :NO
UNDER VOLTAGES IN LINES L1=NO L2 =NO L3 :NO
OVER CURRENTS IN LINES L1=NO L2 =NO L3 :NO
TEMPERATURE STATUS IN TRANSFORMER Temperature measure =53 C Over heat normal =NO Over heat middle =YES Overheatanormal :NO
OIL LEVEL STATUS IN TRANSFORMER Oil level in tank of transformer=66.40 Cn Oil level Normal =NO Oil level Better =YES Critical o
RELAYS STATES IN LINES L1=OFF L2 =ON L3 :ON
SOLUTIONS OF PROBLEMS DETECTED =NO PROBLEMS OF OIL BECAUSE ENOUGH OIL IN THANK OF TRANSFORMER
Sending Data...
Data Sent.

```

FIGURE III.12 – Message généré en cas de surtension dans une ligne

### C. Cas d'une température élevée

Une température élevée dans une cabine peut être causée par une baisse de niveau d'huile ou une surintensité dans les différentes lignes. C'est pourquoi il est nécessaire de connaître en temps réel le niveau de température du transformateur. Pour notre système, lorsque la température du transformateur atteint 75°C, un message d'avertissement doit être envoyé indiquant que la température est déjà élevée et anormale. Lorsque la température atteint 80°C, une coupure générale du courant dans les lignes est déclenchée, accompagnée d'un message. Les relais doivent être positionnés en conséquence « OFF »

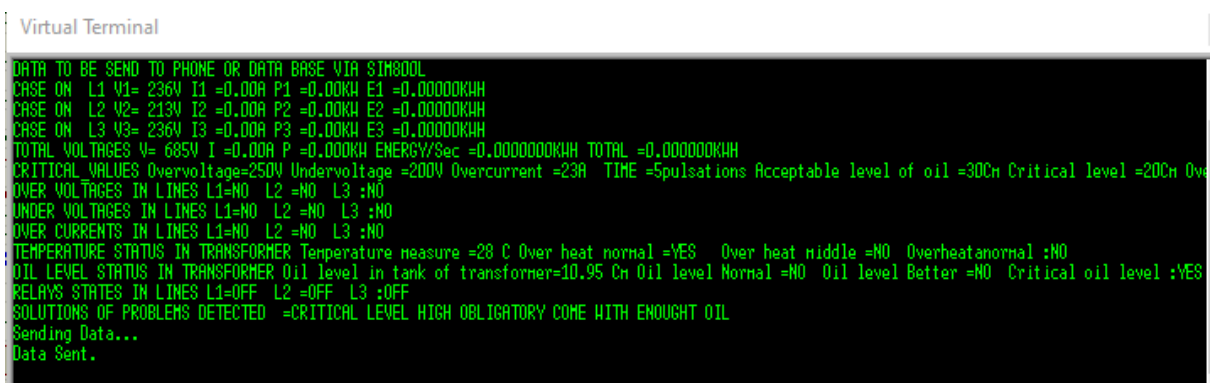


```
Virtual Terminal
INITIALISING OF REMOTE MONITORING ENERGY METER THREE PHASES
DATA TO BE SEND TO PHONE OR DATA BASE VIA SIM800L
CASE ON L1 V1= 236V I1 =0.00A P1 =0.00KW E1 =0.000000KWH
CASE ON L2 V2= 213V I2 =0.00A P2 =0.00KW E2 =0.000000KWH
CASE ON L3 V3= 236V I3 =0.00A P3 =0.00KW E3 =0.000000KWH
TOTAL VOLTAGES V= 685V I =0.00A P =0.000KW ENERGY/Sec =0.00000000KWH TOTAL =0.000000KWH
CRITICAL VALUES Overvoltage=250V Undervoltage =200V Overcurrent =23A TIME =5pulsations Acceptable level of oil =30Cm Critical l
OVER VOLTAGES IN LINES L1=NO L2 =NO L3 :NO
UNDER VOLTAGES IN LINES L1=NO L2 =NO L3 :NO
OVER CURRENTS IN LINES L1=NO L2 =NO L3 :NO
TEMPERATURE STATUS IN TRANSFORMER Temperature measure =84 C Over heat normal =NO Over heat middle =NO Overheatanormal :YES
OIL LEVEL STATUS IN TRANSFORMER Oil level in tank of transformer=66.39 Cm Oil level Normal =NO Oil level Better =YES Critical
RELAYS STATES IN LINES L1=OFF L2 =OFF L3 :OFF
SOLUTIONS OF PROBLEMS DETECTED =NO PROBLEMS OF OIL BECAUSE ENOUGH OIL IN TANK OF TRANSFORMER
Sending Data...
Data Sent.
```

FIGURE III.13 – Message généré en cas de *overheat*

### D. Cas d'une baisse d'huile

Pour le cas du niveau d'huile, un message sera envoyé pour indiquer si le niveau d'huile dans le transformateur est bas ou élevé. Un niveau d'huile très bas peut provoquer un échauffement, ce qui nécessitera que les relais coupent en raison d'une température élevée et lorsque le niveau est très bas, un message doit être envoyé pour indiquer qu'il faut augmenter l'huile dans la cuve du transformateur. Veuillez consulter le message de la figure III.14 pour plus de détails.



```
Virtual Terminal
DATA TO BE SEND TO PHONE OR DATA BASE VIA SIM800L
CASE ON L1 V1= 236V I1 =0.00A P1 =0.00KW E1 =0.000000KWH
CASE ON L2 V2= 213V I2 =0.00A P2 =0.00KW E2 =0.000000KWH
CASE ON L3 V3= 236V I3 =0.00A P3 =0.00KW E3 =0.000000KWH
TOTAL VOLTAGES V= 685V I =0.00A P =0.000KW ENERGY/Sec =0.00000000KWH TOTAL =0.000000KWH
CRITICAL VALUES Overvoltage=250V Undervoltage =200V Overcurrent =23A TIME =5pulsations Acceptable level of oil =30Cm Critical level =20Cm Ove
OVER VOLTAGES IN LINES L1=NO L2 =NO L3 :NO
UNDER VOLTAGES IN LINES L1=NO L2 =NO L3 :NO
OVER CURRENTS IN LINES L1=NO L2 =NO L3 :NO
TEMPERATURE STATUS IN TRANSFORMER Temperature measure =28 C Over heat normal =YES Over heat middle =NO Overheatanormal :NO
OIL LEVEL STATUS IN TRANSFORMER Oil level in tank of transformer=10.95 Cm Oil level Normal =NO Oil level Better =NO Critical oil level :YES
RELAYS STATES IN LINES L1=OFF L2 =OFF L3 :OFF
SOLUTIONS OF PROBLEMS DETECTED =CRITICAL LEVEL HIGH OBLIGATORY COME WITH ENOUGH OIL
Sending Data...
Data Sent.
```

FIGURE III.14 – Message généré en cas d'une baisse de niveau d'huile

### III.3.4 Estimation du coût du système

Le tableau III.1 présente les matériels utilisés ainsi que leur prix Goma, pour la réalisation d'un système de monitoring à distance d'un cabine MT/BT.

TABLE III.1 – Estimation du prix des matériels à utilisés

N°	Nom du matériel	Prix unitaire [\$]	Quantité	Prix total [\$]
1	Afficheur LCD	6	1	6
2	Capteur ultrason	5	1	5
3	Relais	5	3	15
4	Capteur de courant	4	3	12
5	Capteur de tension	4	3	12
6	Arduino Mega 2560	34	1	34
7	Bouton pousoire	0.5	1	0.5
8	Capteur de température	6	1	6
9	Module SIM800L	10	1	10
10	Résistance	0.5	3	1.5
11	Transfo de 160VA	170	1	170
12	Total			270
13	Main d'œuvre			81
14	<b>TOTAL GENERAL</b>			351

### III.3.5 Conclusion partielle

La réalisation et la mise en marche de ce système seront le moyen le mieux adapté pour améliorer la maintenance, surveiller les paramètres de fonctionnement des cabines à distance et résoudre les problèmes présentés par les cabines MT/BT du SNEL/Goma.

# Conclusion générale

Dans notre travail portant sur la proposition d'un système d'acquisition des paramètres électriques de fonctionnement d'une cabine MT/BT afin d'améliorer la maintenance, cas d'une cabine MT/BT de la SNEL ; ne sont pas équipées de dispositifs de mesure appropriés pour surveiller les paramètres de fonctionnement des transformateurs. Elles n'ont pas par exemple des appareils de mesure permettant d'évaluer certains paramètres, pas de suivi de la charge sur le fonctionnement de la cabine, ni des appareils de mesure appropriés pour leurs départs BT. Nous nous sommes fixés comme objectif de proposer un système d'acquisition des paramètres électriques de fonctionnement d'une cabine MT/BT (cas des cabines la Sociétés Nationale d'électricité SNEL/Goma) pour d'améliorer la maintenance et de résoudre les problèmes que présente les cabines de la société SNEL/Goma.

Pour arriver à cette fin, nous sommes passé par une phase de l'implémentation et la simulation en fixant les modules des fonctionnalités que devrait nécessairement implémente notre système. Nous sommes ensuite passés par un choix des technologies à utiliser. Notre attention s'est tournée vers la plateforme Open Source Arduino comme socle matériel de notre système avec sa gamme bien fournie en capteurs et en modules de communication. Nous avons fait en suite l'implémentation de notre système et nous avons fait que notre système soit surveillé à distance grâce au module de communication SIM800L.

Ceci nous a permis de confirmer nos hypothèses. La réalisation physique de ce système de monitoring à distance sera un moyen le plus simple pour assurer la maintenance des cabines MT/BT de la société SNEL dans la ville de Goma.

Notons aussi que la simulation fonctionnelle, pour des besoins de test et de démonstration a été montrée dans Proteus.

N'ayant aucunement la prétention d'avoir couvert tous les champs relatifs à ce sujet. Nous proposons aussi aux futurs chercheurs, qui auront à cœur de continuer sur notre lancée de prendre en compte l'optimisation et la réalisation d'un système efficace, d'assurer la surveillance à distance par une application mobile, d'utiliser des capteurs plus performants et un automate programmable pour contrôler le système.

# Bibliographie

- [1] JUNG, Pierre *Évolution et prévision de la consommation d'énergie électrique en France*. journal de la société Française de statistique, 1956 vol.97, p. 88-115.
- [2] ZIANI, S.A, MEZIOUD, H ET GASMI, A. *Optimisation des paramètres dans les enroulements d'un transformateur triphasé en régime BF* Application d'PSO Basée sur l'analyse de l'impédance. 2021
- [3] KAHLDI, M et BOUAICHOUI, I. *Modélisation et analyse fréquentielle dans les enroulement d'un transformateur triphasé*. 2012
- [4] DALIA, Muhamed Said CHOGRAME, Abde El Kamel. *Réalisation d'un appareil DE surveillance à distance d'un transformateur électrique*). 2021
- [5] Claude CHEVASSU *Machines électriques : cours et problèmes*. 20 juillet 2012
- [6] SADOUNI, R. *La sécurité dans les postes de distribution MT/BT*.
- [7] Christian Gazzola Ferraz, Bernard Vuillet Ferraz, *Protection avale et coupure pour les postes MT/BT sur poteau* Systèmes d'énergie électrique. Guide de référence, Les poste MT/BT. Edition 1998.
- [8] Poste préfabriqué MT/BT d'extérieur à votre service, *Notice d'utilisation* LR 71-A1.LR 71-B1, Schneider Electric. Edition 2000.
- [9] NOVA-M *Poste de transformation métallique préfabriqué MT/BT*
- [10] Schneider Electric, *Guide de la distribution moyenne tension* 2002
- [11] KHALDI, Merwane, BOUAICHAOUI, Ibrahim, et al *Modélisation et analyse fréquentielle dans les enroulements d'un transformateur triphasé* en ré. 2021
- [12] Olivier Baraka Mushage *Initiation à la Programmation des Systèmes Embarqués* 2023
- [13] Groupe LEM *troisième édition* 2020
- [14] ACS712 Datasheet. *Allegro MicroSystems, LLC, Copyright 2006-2013*. Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
- [15] ZMPT101B Volts Sensors *Datasheet, National Semi-conductrice*, 2000

- [16] MOHAMMDI.K Mémoire sur *la conception et réalisation d'un bras manipulateur commandé par l'Arduino Méga 2560* ; 2016
- [17] A. Azzouz et A. M. Khiter, "*Étude et réalisation d'une maquette didactique pour analyse vibratoire des machines tournantes en mesure spectrale* Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Algérie, 2020.
- [18] Mahmoud MOUBADIR *un capteur de distance a ultrasons avec écrans LCD a base Arduino UNO 2016*

# ANNEXES

## Librairies

```
2 #include <LiquidCrystal.h> //librairie pour l'ecran lcd
3 LiquidCrystal lcd(12,11,10,9,8,7); // bronches de connexion de l'ecran lcd sur l'arduino
4 #include <SoftwareSerial.h> //Librairie recommandee pour la communication serie,
5 SoftwareSerial sim8001(3,2); // librairie pour la communication avec le module SIM800L
6 #include <ZMPT101B.h> //librairie pour traite les mesures of ZMPTB voltage sensor
7 #define SENSITIVITY 500.0f // calibration of voltaige sensor measurement
8 ZMPT101B voltageSensor1(A3, 50.0); // pin where the OUT pin from AC voltage sensor is connected on
9 ZMPT101B voltageSensor2(A4, 50.0); // pin where the OUT pin from AC voltage sensor is connected on
10 ZMPT101B voltageSensor3(A5, 50.0); // pin where the OUT pin from AC voltage sensor is connected on
11 #include "ACS712.h"
12 ACS712 currentsensor1(ACS712_30A, A0);
13 ACS712 currentsensor2(ACS712_30A, A1);
14 ACS712 currentsensor3(ACS712_30A, A2);
15 #include <Wire.h>
16 int a=0;
17 String Data_SMSL1; // variable pour les donnees de la ligne 1
18 String Data_SMSL2;
19 String Data_SMSL3;
20 String Data_SMSTOTAL; // variable pour
21 String Data_SMSCRITICAL_VALUES; // variable pour les valeurs de reference
22 String Data_SMSOVERVOLTAGES; // variables la verification de surtension dans les differentes lignes
23 String Data_SMSUNDERVOLTAGES; // variables pour la verification de la faible tension dans les differentes lignes
24 String Data_SMSOVERCURRENTS; // variable pour la verification de surintensite dans les differentes lignes
25 String Data_SMSOVERHEAT; // message pouvant etre envoye pour les variables pour verifier l'etat de temperature
26 String Data_SMSOILLEVEL;
27 String Data_SMSRELAYSTATES;
28 String Data_SMSOLUTIONS;
```

## Variable pour la transmission de données

```

29 String SOLUTION; // variable pour la solution en cas de probleme
30 String overvoltageL1; // variable pour detecte la surtension dans la lignel
31 String undervoltageL1; // variable pour detecte la faible dans la lignel
32 String overvoltageL2; // variable pour detecte la surtension dans la ligne2
33 String undervoltageL2; // variable pour detecte la faible tension dan la ligne2
34 String overvoltageL3; // variable pour detecte la surtension dans la ligne3
35 String undervoltageL3; // variable pour detetcte la faible tension dans ligne3
36 String overcurrentL1 = "NO"; //variable pour detecte le surintensite dans la lignel
37 String overcurrentL2 = "NO"; // variable pour detecte le surintensite dans la ligne2
38 String overcurrentL3 = "NO"; // variable pour detecte le surintensite dan la ligne3
39 String relaystateL1 = "OFF"; // variable pour detecte l'etat de relais dans la lignel
40 String relaystateL2 = "OFF"; // variable pour detecte l'etat de relais dans la ligne2
41 String relaystateL3 = "OFF"; // variable pour detecte l'etat de realis dans la ligne3
42 String overheatnormal; // variable pour detecte la temperature normale elevee
43 String overheatmiddle; // variable pour detecte la temperature moyenne elevee
44 String overheatanormal; // variable pour detecte la temperature anormale elevee
45 String oillevelnormal; // variable pour detecte le niveau d'huile normale
46 String oillevelbetter; //variable pour detecte le niveau d'huile s'il est plein
47 String oillevelcritical; // variable pour detecte le niveau d'huile s'il est tres bas

48 int Voltage; // tensin mes
49 int Voltagee; //tension mesure dans la ligne2
50 int Voltageee; // tension mesure dans la ligne3
51 float Energy =0; // energie mesure dans la lignel
52 float Energyy =0; // energie mesure dans la ligne2
53 float Energyyy =0; // energie mesure dans la ligne3
54 double CURRENT=0; // courant total mesure
55 int VOLTAGE=0; // tension totale mesure
56 double POWER=0; // puissance totale mesure
57 float ENERGY=0; // energie totale mesure duran 2 seconde
58 float TOTALENERGY=0; // energie totale mesure durant le fonctionnement du transformateur dans la lignel
59 //variable pour initialisation de l'ecran lcd pour afficher un autre message
60 int GOGOO;
61 int j=0;
62 int jj=0;
63 int TIMEE;
64 int TIMEEE;
65 // valeur de reference
66 int overvoltage=250;
67 int undervoltage=200;
68 int overcurrent=23;
69 int overheat=80;
70 int acceptablelevel=30;
71 int criticallevel=20;
72 // variable pour analyser s'il ya surintensite ou pas dans les differentes les lignes
73 int TIME=5;
74 int TIM;
75 int TIMEE;

```

```

75 int TIMM;
76 int TIMMM;
77 int tim;
78 int timm;
79 int timmm;
80 const int trigPin = 5; // Trigger Pin of Ultrasonic Sensor
81 const int echoPin = 6; // Echo Pin of Ultrasonic Sensor
82 long duration;
83 float OilLevel;
84 float TempSensorPin = A6;
85 int temp;// temperature mesuree par le capteur
86 int relay=22;
87 int relayy=23;
88 int relayyy=24;
89 int buttonstate=0; // etat du bouton poussoir pour afficher d'autres informations sur l'ecran lcd
90 int buttonn=25;
91 //differentes variables pour faciliter l' envoyer d'un seul message au cas du baisse d'huile dans le transformateur
92 int GOG;
93 int reee=0;
94 //differentes variables pour faciliter l' envoyer d'un seul message au cas ou il surtension ou faible tension dans la ligne 1
95 int L1;
96 int l1;
97 //differentes variables pour faciliter l' envoyer d'un seul message au cas ou il surtension ou faible tension dans la ligne 2
98 int L2;
99 int l2;
100 //differentes variables pour faciliter l' envoyer d'un seul message au cas ou il surtension ou faible tension dans la ligne 3
101 int L3;

102 int l3;
103 //differentes variables pour faciliter l' envoyer d'un seul message au cas ou la Temperature est comprise entre overheat-5 et overheat
104 int T1;
105 int t1;
106 // differentes variables pour faciliter l' envoyer d'un seul message au cas ou la temperature mesure est superieure ou egal a overheat
107 int T2;
108 int t2;
109 // differentes variables pour faciliter l' envoyer d'un seul message en cas de surintensite dana la ligne1
110 int i1;
111 int I1;
112 int y;
113 int yy;
114 int yyy;
115 // differentes variables pour faciliter l' envoyer d'un seul message en cas de surintensite dans la ligne2
116 int i2;
117 int I2;
118 int y2;
119 int yy2;
120 int yyy2;
121 // differentes variables pour faciliter l' envoyer d'un seul message en cas de surintensite dans la ligne3
122 int i3;
123 int I3;
124 int y3;
125 int yy3;
126 int yyy3;
127 float facteur_de_puissance=0.88;
128 void setup()

```

# Mesures

```
129 {
130   voltageSensor1.setSensitivity(SENSITIVITY);
131   voltageSensor2.setSensitivity(SENSITIVITY);
132   voltageSensor3.setSensitivity(SENSITIVITY);
133   currentSensor1.calibrate();
134   currentSensor2.calibrate();
135   currentSensor3.calibrate();
136   pinMode(25, INPUT);
137   pinMode(TempSensorPin, INPUT);
138   pinMode(22, OUTPUT);
139   pinMode(23, OUTPUT);
140   pinMode(24, OUTPUT);
141   digitalWrite(22, LOW);
142   digitalWrite(23, LOW);
143   digitalWrite(24, LOW);
144   pinMode(trigPin, OUTPUT);
145   pinMode(echoPin, INPUT);
146   lcd.begin(20,4);
147   lcd.print("PROJECT WORK");
148   lcd.setCursor(0,1);
149   lcd.print("REMOTE MONITORING");
150   lcd.setCursor(0,2);
151   lcd.print("OF ENERGY METER FOR");
152   sim8001.begin(9600); //Begin all the communications needed Arduino with PC serial and Arduino
153   Serial.begin(9600);
154   Serial.println(" INITIALISING OF REMOTE MONITORING ENERGY METER THREE PHASES");
155   delay(10); //Delay to let the module connect to network, can be removed // delay(1000);
156   lcd.clear();
```

```
157 }
158 void loop()
159 {
160   if(a<TIME){
161     a=a+1;
162   }
163   else{
164     a=a;
165   }
166   if (sim8001.available() > 0)
167   {
168     String gsm_read= Serial.readString();
169   }
170   if (Serial.available()) {
171     String sms = Serial.readString();
172     // Vérifie si le SMS commence par une partie alphabétique
173     if (isAlpha(sms.charAt(0))) {
174       int startIndex = 0;
175       while (startIndex < sms.length() && isAlpha(sms.charAt(startIndex))) {
176         startIndex++;
177       }
178       // Vérifie s'il y a un nombre après la partie alphabétique
179       if (startIndex < sms.length() && isDigit(sms.charAt(startIndex))) {
180         String alphaPart = sms.substring(0, startIndex);
181         String numPart = "";
182         // Construit la partie numérique du SMS
183         while (startIndex < sms.length() && isDigit(sms.charAt(startIndex))) {
184           numPart = numPart + sms.charAt(startIndex);
185         }
186       }
187     }
188   }
```

```

184         numPart += sms.charAt(startIndex);
185         startIndex++;
186     }
187     if (alphaPart.equals("OVERV") && undervoltage < overvoltage && numPart.toInt() > 0) {
188         overvoltage = numPart.toInt();
189         sms = "0";
190     }
191     else {
192         overvoltage = overvoltage;
193     }
194     if (alphaPart.equals("UNDERV") && numPart.toInt() < overvoltage && numPart.toInt() > 0) {
195         undervoltage = numPart.toInt();
196         sms = "0";
197     }
198     else {
199         undervoltage = undervoltage;
200     }
201     if (alphaPart.equals("OVERC") && numPart.toInt() > 0) {
202         overcurrent = numPart.toInt();
203         sms = "0";
204     }
205     else {
206         overcurrent = overcurrent;
207     }
208     if (alphaPart.equals("TIME") && numPart.toInt() > 0) {
209         TIME = numPart.toInt();
210         sms = "0";
211     }
212     else {
213         TIME = TIME;
214     }
215     if (alphaPart.equals("OVERHEAT") && numPart.toInt() > 0) {
216         overheat = numPart.toInt();
217         sms = "0";
218     }
219     else {
220         overheat = overheat;
221     }
222     if (alphaPart.equals("ACCEPTABLEL") && numPart.toInt() > criticallevel && numPart.toInt() > 0) {
223         acceptablelevel = numPart.toInt();
224         sms = "0";
225     }
226     else {
227         acceptablelevel = acceptablelevel;
228     }
229     if (alphaPart.equals("CRITICALL") && numPart.toInt() < acceptablelevel && numPart.toInt() > 0) {
230         criticallevel = numPart.toInt();
231         sms = "0";
232     }
233     else {
234         criticallevel = criticallevel;

```

```

259 float AC_Current = currentsensor1.getCurrentAC();
260 float AC_Currentt = currentsensor2.getCurrentAC();
261 float AC_Currenttt = currentsensor3.getCurrentAC();
262 /*** Measure Power ***/
263 double Power = (Voltage * AC_Current*facteur_de_puissance)/1000;
264 double Powerr = (Voltage * AC_Currentt*facteur_de_puissance)/1000;
265 double Powerrr = (Voltage * AC_Currenttt*facteur_de_puissance)/1000;
266 /*** Measure Energy ***/
267 long milisec = millis(); // calculate time in milliseconds
268 unsigned long printPeriodd = 1000; // in milliseconds Track time in milliseconds since last reading
269 unsigned long previousMilliss = 0; // in milliseconds Track time in milliseconds since last reading
270 if((unsigned long)(millis() - previousMilliss) >= printPeriodd) { // if((unsigned long)(millis() -
271     previousMilliss = millis(); // update time
272     Energy +=(Power)/3600); //kWatt-sec is again convert to kWatt-Hr by dividing lhr(3600sec)
273     Energyy +=(Powerr)/3600); //kWatt-sec is again convert to kWatt-Hr by dividing lhr(3600sec)
274     Energyyy += ((Powerrr)/3600); //kWatt-sec is again convert to kWatt-Hr by dividing lhr(3600sec)
275     TOTALENERGY +=ENERGY;
276 }
277 ENERGY =Energy+Energyy+Energyyy;
278 CURRENT= AC_Current+ AC_Currentt+ AC_Currenttt;
279 VOLTAGE=Voltage+Voltage+Voltage;
280 POWER= Power+ Powerr+ Powerrr;
281 if((j%2)!=0&&TIMEEE!=TIMEE){
282 TIMEEE =TIMEEE+1;
283 }
284 else {
285 TIMEEE=0;
286 }

```

```

287 if ((j%2) !=0&&TIMEEE!=TIMEE) {
288 jj=0;
289 }
290 if ((j%2)==0 || TIMEEE==TIMEE) {
291 jj= 1;
292 }
293 if (jj==1&&j<=20) {
294 j=j+1;
295 }
296 if (j>7&&GOGOO==0) {
297 j=0;
298 }
299 if (j>13&&GOGOO==1) {
300 j=0;
301 }
302 if (TIME!=TIMEE) {
303 TIMEE=TIME;
304 }
305 if (j==0) {
306 lcd.setCursor(0,0);
307 lcd.print(" ");

```

## Affichage

```
307     lcd.print ("                ");
308     lcd.setCursor(0,1);
309     lcd.print ("                ");
310     lcd.setCursor(0,2);
311     lcd.print ("                ");
312     lcd.setCursor(0,3);
313     lcd.print ("                ");
314 }
315 if(GOGOO==0) {
316 if(j==1) {
317     lcd.setCursor(0,0);
318     lcd.print(Voltage);
319     lcd.print("V ");
320     lcd.print(Voltagee);
321     lcd.print("V ");
322     lcd.print(Voltageee);
323     lcd.print("V ");
324     lcd.setCursor(0,1);
325     lcd.print(AC_Current,2);
326     lcd.print("A "); //unit for the current to be measured
327     lcd.setCursor(7,1);
328     lcd.print(AC_Currentt,2);
329     lcd.print("A "); //unit for the current to be measured
330     lcd.setCursor(14,1);
331     lcd.print(AC_Currenttt,2);
332     lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
333 }
```

```

333 }
334 if ((j%2)==0) {
335     lcd.setCursor(0, 2);
336     lcd.print("                ");
337     lcd.setCursor(0, 3);
338     lcd.print("                ");
339 }

```

```

340 if(j==3) {
341     lcd.setCursor(0, 2);
342     lcd.print("P1 =");
343     lcd.print(Power, 4);
344     lcd.print("KW");
345     lcd.setCursor(0, 3);
346     lcd.print("E1 =");
347     lcd.print(Energy, 4);
348     lcd.print("KWH");
349 }
350 if(j==5) {
351     lcd.setCursor(0, 2);
352     lcd.print("P2 =");
353     lcd.print(Powerr, 4);
354     lcd.print("KW");
355     lcd.setCursor(0, 3);
356     lcd.print("E2 =");
357     lcd.print(Energyy, 4);
358     lcd.print("KWH");
359 }
360 if(j==7) {
361     lcd.setCursor(0, 2);

```

```

362 lcd.print("P3 =");
363   lcd.print(Powerrr, 4);
364   lcd.print("KW");
365   lcd.setCursor(0, 3);
366 lcd.print("E3 =");
367   lcd.print(Energyyy, 4);
368   lcd.print("KWH");
369   }
370 }
371 else {
372 if((j%2)==0) {
373   lcd.setCursor(0, 2);
374   lcd.print("                ");
375   lcd.setCursor(0, 3);
376   lcd.print("                ");
377   1

378 if(j==1) {
379   lcd.setCursor(0, 0);
380   lcd.print(Voltage);
381   lcd.print("V ");
382   lcd.print(Voltagee);
383   lcd.print("V ");
384   lcd.print(Voltageee);
385   lcd.print("V ");
386   lcd.setCursor(0, 1);
387   lcd.print(AC_Current, 2);
388   lcd.print("A "); //unit for the current to be measured
389   lcd.setCursor(7, 1);
390   lcd.print(AC_Currentt, 2);
391   lcd.print("A "); //unit for the current to be measured
392   lcd.setCursor(14, 1);
393   lcd.print(AC_Currenttt, 2);
394   lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
395   lcd.setCursor(0, 2);
396   lcd.print("UNDERVOLTAGE =");
397   lcd.print(undervoltage);
398   lcd.print("V ");
399 if(Voltage<=undervoltage) {
400   lcd.setCursor(0, 3);
401   lcd.print("L1=");
402   lcd.print("YES");
403 }

```

```

404 else{
405     lcd.setCursor(0,3);
406     lcd.print("L1=");
407     lcd.print("NO");
408 }
409 if(Voltagee<=undervoltage){
410     lcd.setCursor(6,3);
411     lcd.print(" L2=");
412     lcd.print("YES");
413 }
414 else{
415     lcd.setCursor(6,3);
416     lcd.print(" L2=");
417     lcd.print("NO");
...
}
409 if(Voltagee<=undervoltage){
410     lcd.setCursor(6,3);
411     lcd.print(" L2=");
412     lcd.print("YES");
413 }
414 else{
415     lcd.setCursor(6,3);
416     lcd.print(" L2=");
417     lcd.print("NO");
418 }
419 if(Voltageeee<=undervoltage){
420     lcd.setCursor(13,3);
421     lcd.print(" L3=");
422     lcd.print("YES");
423 }
424 else{
425     lcd.setCursor(13,3);
426     lcd.print(" L3=");
427     lcd.print("NO");
428 }
429 }
430 if(j==3){
431     lcd.setCursor(0,0);
432     lcd.print(Voltage);
433     lcd.print("V ");

```

```

435     lcd.print("V ");
436     lcd.print(Voltageeee);
437     lcd.print("V ");
438     lcd.setCursor(0,1);
439     lcd.print(AC_Current,2);
440     lcd.print("A "); //unit for the current to be measured
441     lcd.setCursor(7,1);
442     lcd.print(AC_Currenttt,2);
443     lcd.print("A "); //unit for the current to be measured
444     lcd.setCursor(14,1);
445     lcd.print(AC_Currentttt,2);
446     lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
447     lcd.setCursor(0,2);
448     lcd.print("OVERVOLTAGE =");
449     lcd.print(overvoltage);
450     lcd.print("V ");

450     lcd.print("V ");
451     if(Voltage>=overvoltage){
452         lcd.setCursor(0,3);
453         lcd.print("L1=");
454         lcd.print("YES");
455     }
456     else{
457         lcd.setCursor(0,3);
458         lcd.print("L1=");
459         lcd.print("NO");
460     }
461     if(Voltageee>=overvoltage){
462         lcd.setCursor(6,3);
463         lcd.print(" L2=");
464         lcd.print("YES");
465     }
466     else{
467         lcd.setCursor(6,3);
468         lcd.print(" L2=");
469         lcd.print("NO");
470     }
471     if(Voltageeee>=overvoltage){
472         lcd.setCursor(13,3);
473         lcd.print(" L3=");
474         lcd.print("YES");
475     }

```

```

476 else{
477     lcd.setCursor(13,3);
478     lcd.print(" L3=");
479     lcd.print("NO");
480 }
481 }
482 if(j==5){
483     lcd.setCursor(0,0);
484     lcd.print(Voltage);
485     lcd.print("V ");
486     lcd.print(Voltagee);
487     lcd.print("V ");
488     lcd.print(Voltageee);
489     lcd.print("V ");

490     lcd.setCursor(0,1);
491     lcd.print(AC_Current,2);
492     lcd.print("A "); //unit for the current to be measured
493     lcd.setCursor(7,1);
494     lcd.print(AC_Currentt,2);
495     lcd.print("A "); //unit for the current to be measured
496     lcd.setCursor(14,1);
497     lcd.print(AC_Currenttt,2);
498     lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
499     lcd.setCursor(0,2);
500     lcd.print("OVERCURRENT =");
501     lcd.print(overcurrent);
502     lcd.print("A ");
503 if(AC_Current>=overcurrent){
504     lcd.setCursor(0,3);
505     lcd.print("L1=");
506     lcd.print("YES");
507 }
508 else{
509     lcd.setCursor(0,3);
510     lcd.print("L1=");
511     lcd.print("NO");
512 }
513 if(AC_Currentt>=overcurrent){
514     lcd.setCursor(6,3);
515     lcd.print(" L2=");

```

```

516     lcd.print("YES");
517 }
518 else{
519     lcd.setCursor(6,3);
520     lcd.print(" L2=");
521     lcd.print("NO");
522 }
523 if(AC_Currentttt>=overcurrent){
524     lcd.setCursor(13,3);
525     lcd.print(" L3=");
526     lcd.print("YES");
527 }
528 else{
529     lcd.setCursor(13,3);
530     lcd.print(" L3=");
531     lcd.print("NO");
532 }
533 }

```

```

534 if(j==6){
535     lcd.setCursor(0,1);
536     lcd.print("                ");
537     lcd.setCursor(0,0);
538     lcd.print("                ");
539     lcd.setCursor(0,2);
540     lcd.print("                ");
541     lcd.setCursor(0,3);
542     lcd.print("                ");
543 }
544 if(j==7){
545     lcd.setCursor(0,0);
546     lcd.print("V=");
547     lcd.print(VOLTAGE);
548     lcd.print("V  ");
549     lcd.print("I=");
550     lcd.print(CURRENT,2);
551     lcd.print("A  ");
552     lcd.setCursor(0,1);
553     lcd.print("POWER=");
554     lcd.print(POWER,3);
555     lcd.print("KW");
556     lcd.setCursor(0,2);
557     lcd.print("ENERGY/sec=");
558     lcd.print(ENERGY,4);
559     lcd.print("KWH");
560     lcd.setCursor(0,3);

```

```

560     lcd.setCursor(0,3);
561     lcd.print("TOTAL=");
562     lcd.print(TOTALENERGY,4);
563     lcd.print("KWH ");
564 }
565 if(j==9){
566     lcd.setCursor(0,0);
567     lcd.print(Voltage);
568     lcd.print("V ");
569     lcd.print(Voltagee);
570     lcd.print("V ");
571     lcd.print(Voltageeee);
572     lcd.print("V ");
573     lcd.setCursor(0,1);
574     lcd.print(AC_Current,2);
575     lcd.print("A "); //unit for the current to be measured
576     lcd.setCursor(7,1);
577     lcd.print(AC_Currentt,2);
578     lcd.print("A "); //unit for the current to be measured

```

```

579     lcd.setCursor(14,1);
580     lcd.print(AC_Currentttt,2);
581     lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
582     lcd.setCursor(0,2);
583     lcd.print("Temp=");
584     lcd.print(temp); //lcd. print(223) or lcd. print(0xDF) lcd.print("°C");
585     lcd.print((char)223);
586     lcd.print("C ");
587     if(temp<=overheat){
588         lcd.setCursor(12,2);
589         lcd.print("NORMAL ");
590     }
591     else {
592         lcd.setCursor(12,2);
593         lcd.print("ANORMAL");
594     }
595     lcd.setCursor(0,3);
596     lcd.print("Overheat=");
597     lcd.print(overheat);
598     lcd.print((char)223);
599     lcd.print("C ");
600 }
601 if(j==10){
602     lcd.setCursor(0,1);
603     lcd.print(" ");

```

```

603     lcd.print("                ");
604     lcd.setCursor(0,2);
605     lcd.print("                ");
606     lcd.setCursor(0,3);
607     lcd.print("                ");
608 }
609 if(j==11){
610     lcd.setCursor(0,0);
611     lcd.print(Voltage);
612     lcd.print("V ");
613     lcd.print(Voltagee);
614     lcd.print("V ");
615     lcd.print(Voltageeee);
616     lcd.print("V ");
617     lcd.setCursor(0,2);
618     lcd.print("acceptablelevel=");

```

```

619     lcd.print(acceptablelevel);
620     lcd.print("Cm ");
621     lcd.setCursor(0,1);
622     lcd.print("Oil level=");
623     lcd.print(OilLevel,2);
624     lcd.print("Cm ");
625     if(criticallevel<OilLevel){
626         if(OilLevel>=acceptablelevel){
627             lcd.setCursor(0,3);
628             lcd.print("BETTER LEVEL    ");
629         }
630         if((OilLevel<acceptablelevel)&&(criticallevel<OilLevel)){
631             lcd.setCursor(0,3);
632             lcd.print("NORMAL LEVEL    ");
633         }
634     }
635     else {
636         lcd.setCursor(0,3);
637         lcd.print("ADD OIL IN THANK    ");
638     }
639 }
640 if(j==12){
641     lcd.setCursor(0,1);
642     lcd.print("                ");
643     lcd.setCursor(0,2);
644     lcd.print("                ");

```

```

645     lcd.setCursor(0,3);
646     lcd.print("                ");
647 }
648 if(j==13){
649     lcd.setCursor(0,0);
650     lcd.print(Voltage);
651     lcd.print("V ");
652     lcd.print(Voltagee);
653     lcd.print("V ");
654     lcd.print(Voltageeee);
655     lcd.print("V ");
656     lcd.setCursor(0,1);
657     lcd.print("Oil level=");
658     lcd.print(OilLevel,2);
659     lcd.print("Cm ");
660     lcd.setCursor(0,2);
661     lcd.print("criticallevel=");
662     lcd.print(criticallevel);
663     lcd.print("Cm");
664     if((OilLevel<criticallevel)&&(criticallevel<acceptablelevel)){
665         lcd.setCursor(0,3);
666         lcd.print("CRITICAL LEVEL ");
667     }

```

```

668     else{
669         lcd.setCursor(0,3);
670         lcd.print("NO CRITICAL LEVEL ");
671     }
672 }
673 }
674
675
676 if(a>=TIME){
677 if((temp<overheat)&&(Voltage<overvoltage)&&(Voltage>undervoltage)&&tim==0){
678     digitalWrite(22,HIGH);
679     relaystateLl="ON";
680 }
681 if((temp>=overheat)|| (Voltage>=overvoltage)|| (Voltage<=undervoltage)){
682     digitalWrite(22,LOW);
683     relaystateLl="OFF";
684     tim=0;
685 }
686 if(AC_Current>=overcurrent&&(temp<overheat)&&(Voltage<overvoltage)&&(Voltage>undervoltage)){
687     tim=1;
688 }
689 if(tim==0){
690     TIM =0;
691 }
692 else{
693     relaystateLl="ON or OFF";

```

## Conditions

```
720 }
721 if(timm==0){
722     TIMM=0;
723 }
724 else{
725     relaystateL2="ON or OFF";
726     TIMM =TIMM+1;
727     if(TIMM<TIME){
728         digitalWrite(23,LOW);
729     }
730     if(TIMM>=TIME){
731         digitalWrite(23,HIGH);
732         if(AC_Currentt>=overcurrent){
733             digitalWrite(23,LOW);
734             TIMM=0;
735         }
736     }
737     timm=0;
738 }
739
740 }
741 }
742 if((temp<overheat)&&(Voltageeee<overvoltage)&&(Voltageeee>undervoltage)&&timm==0){
743     digitalWrite(24,HIGH);
744     relaystateL3="ON";
745 }
```

```

746 if((temp>=overheat)|| (Voltage<=undervoltage)|| (Voltage>=overvoltage)){
747   digitalWrite(24,LOW);
748   relaystateL3="OFF";
749   timmm=0;
750 }
751 if(AC_Currenttt>=overcurrent&&(temp<overheat)&&(Voltage<overvoltage)&&(Voltage>undervoltage)){
752   timmm=1;
753 }
754
755 if(timmm==0){
756   TIMMM=0;
757 }
758 else{
759   relaystateL3="ON or OFF";
760
761   TIMMM =TIMMM+1;
762   if(TIMMM<TIME){
763     digitalWrite(24,LOW);
764   }
765   if(TIMMM>=TIME){
766     digitalWrite(24,HIGH);
767     if(AC_Currenttt>=overcurrent){
768       digitalWrite(24,LOW);
769       TIMMM=0;

```

```

770   }
771   else{
772     timmm=0;
773   }
774 }
775 }
776 }
777 else{
778   digitalWrite(22,LOW);
779   digitalWrite(23,LOW);
780   digitalWrite(24,LOW);
781 }
782
783
784 if(Voltage>undervoltage){
785   if(Voltage>overvoltage){
786     undervoltageL1="NO";
787     overvoltageL1="YES";
788   }
789   else {
790     undervoltageL1="NO";
791     overvoltageL1="NO";
792   }
793 }
794 else {

```

```

795 if ((Voltage<=undervoltage) && (Voltage>50)) {
796     overvoltageL1="NO";
797     undervoltageL1="YES";
798 }
799 else {
800     overvoltageL1="NO";
801     undervoltageL1="NO";
802 }
803 }
804 if (Voltagee>undervoltage) {
805     if (Voltagee>overvoltage) {
806         undervoltageL2="NO";
807         overvoltageL2="YES";
808     }
809     else {
810         undervoltageL2="NO";
811         overvoltageL2="NO";
812     }
813 }
814 else {
815 if ((Voltageee<=undervoltage) && (Voltageee>50)) {
816     overvoltageL2="NO";
817     undervoltageL2="YES";
818 }
819 else {

820     overvoltageL2="NO";
821     undervoltageL2="NO";
822     }
823     }
824 if (Voltageeee>undervoltage) {
825     if (Voltageeee>overvoltage) {
826         undervoltageL3="NO";
827         overvoltageL3="YES";
828     }
829     else {
830         undervoltageL3="NO";
831         overvoltageL3="NO";
832     }
833 }
834 else {
835 if ((Voltageeee<=undervoltage) && (Voltageeee>50)) {
836     overvoltageL3="NO";
837     undervoltageL3="YES";
838 }
839 else {
840     overvoltageL3="NO";
841     undervoltageL3="NO";
842     }
843 }
844 if ((temp<(overheat-50)) {
845 overheatnormal="YES";
846 overheatnormal="NO";

```

```

845 overheatsnormal="YES";
846 overheatsnormal="NO";
847 overheatsmiddle="NO";
848 }
849 else {
850   if((temp>=(overheat-50)) && (temp<overheat-20)){
851     overheatsnormal="NO";
852     overheatsnormal="NO";
853     overheatsmiddle="YES";
854   }
855   else {
856     overheatsnormal="NO";
857     overheatsnormal="YES";
858     overheatsmiddle="NO";
859   }
860   }
861   if(OilLevel<criticallevel){
862     oillevelcritical="YES";
863     oillevelnormal="NO";
864     oillevelbetter="NO";
865     SOLUTION="CRITICAL LEVEL HIGH OBLIGATORY COME WITH ENOUGH OIL";
866   }
867   if(OilLevel>=criticallevel){
868     if(OilLevel>=acceptablelevel){
869       oillevelcritical="NO";

870       oillevelnormal="NO";
871       oillevelbetter="YES";
872       SOLUTION="NO PROBLEMS OF OIL BECAUSE ENOUGH OIL IN THANK OF TRANSFORMER";
873     }
874     else {
875       oillevelcritical="NO";
876       oillevelnormal="YES";
877       oillevelbetter="NO";
878       SOLUTION=" CRITICAL LEVEL LOW BUT COME TO ADD OIL";
879     }
880   }
881   buttonstate=digitalRead(buttonn);
882   if(buttonstate==HIGH){
883     GOGOO=1;
884   }
885   else{
886     GOGOO=0;
887   }
888   if((Voltage>=overvoltage&&ll==0) || (Voltage<=undervoltage&&ll==0)){
889     Ll=1;
890   }
891   if(( Voltage>=overvoltage&&ll==1) || (Voltage<=undervoltage&&ll==1)){
892     Ll=0;
893   }
894   if((Voltage<overvoltage&&ll==1&&Voltage>undervoltage) || (Voltage>undervoltage&&ll==1&&Voltage<overvoltage)){
895     ll=0;
896     Ll=0;

```

```

897 }
898
899 if((Voltage>=overvoltage&&l1==0) || (Voltage<=undervoltage&&l2==0)){
900     L2=1;
901 }
902 if((Voltage>=overvoltage&&l2==1) || (Voltage<=undervoltage&&l2==1)){
903     L2=0;
904 }
905 if((Voltage<overvoltage&&l2==1&&Voltage>undervoltage) || (Voltage>undervoltage&&l2==1&&Voltage<overvoltage)){
906     L2=0;
907     L2=0;
908 }
909
910 if((Voltage>=overvoltage&&l3==0) || (Voltage<=undervoltage&&l3==0)){
911     L3=1;
912 }
913 if((Voltage>=overvoltage&&l3==1) || (Voltage<=undervoltage&&l3==1)){
914     L3=0;
915 }
916 if((Voltage<overvoltage&&l3==1&&Voltage>undervoltage) || (Voltage>undervoltage&&l3==1&&Voltage<overvoltage)){
917     L3=0;
918     L3=0;
919 }
920 if((temp>=(overheat-5)) &&t1==0&&temp<overheat) {
921     T1=1;

922     T2=0;
923     t2=0;
924 }
925 if((temp>=(overheat-5)) &&t1==1&&temp<overheat) {
926     T1=0;
927 }
928 if((temp<(overheat-5)) &&t1==1&&temp<overheat) {
929     t1=0;
930     T1=0;
931 }
932 if(temp>=overheat&&t2==0) {
933     T2=1;
934     t1=0;
935     T1=0;
936 }
937 if(temp>=overheat&&t2==1) {
938     T2=0;
939 }
940 if(temp<overheat&&t2==1) {
941     t2=0;
942     T2=0;
943 }
944
945 if(tim==1) {
946     overcurrentL1="YES";
947     y=1;
948     yy=0;

```

```

949 }
950 if (y==1&&tim==0) {
951 yy +=1;
952 }
953 if (y==1&&yy<=2&&yy>0&&tim==0) {
954 yyy=1;
955 }
956 if (yy>0&&yy>=3&&yyy==1) {
957 y=0;
958 yy=0;
959 yyy=0;
960 overcurrentL1="NO";
961 }
962 if (yyy==1&&i1==0) {
963 I1=1;
964 }
965 if (yyy==1&&i1==1) {
966 I1=0;
967 }
968 if (yyy==0&&i1==1) {
969 i1=0;
970 I1=0;
971 }
972
973 if (timm==1) {
974 overcurrentL2="VFS"

```

```

974 overcurrentL2="YES";
975 y2=1;
976 yy2=0;
977 }
978 if (y2==1&&timm==0) {
979 yy2 +=1;
980 }
981 if (y2==1&&yy<=2&&yy2>0&&timm==0) {
982 yyy2=1;
983 }
984 if (yy2>0&&yy2>=3&&yyy2==1) {
985 y2=0;
986 yy2=0;
987 yyy2=0;
988 overcurrentL2="NO";
989 }
990 if (yyy2==1&&i2==0) {
991 I2=1;
992 }
993 if (yyy2==1&&i2==1) {
994 I2=0;
995 }
996 if (yyy2==0&&i2==1) {
997 i2=0;
998 I2=0;
999 }

```

## Envoi des messages

```
1026 }
1027 if(OilLevel<criticallevel&&reee==0){
1028   GOG=1;
1029 }
1030 if(OilLevel<criticallevel&&reee==1){
1031   GOG=0;
1032 }
1033 if(OilLevel>=criticallevel&&reee==1){
1034   reee=0;
1035   GOG=0;
1036 }
1037 if(L1==1||L2==1||L3==1||GOG==1||T1==1||T2==1||I1==1||I2==1||I3==1){
1038   Serial.println();
1039   Serial.print("DATA TO BE SEND TO PHONE OR DATA BASE VIA SIM800L");
1040   //Serial.println();
1041   Data_SMSL1 = "CASE ON L1 \nV1= "+String(Voltage)+"V"+ " \nI1 ="+String(AC_Current,2)+"A"+ " \nP1 ="+String(Power)+"KW"+ " \nE1 ="+String(Energy,
1042   Data_SMSL2 = "CASE ON L2 \nV2= "+String(Voltage)+"V"+ " \nI2 ="+String(AC_Currenttt,2)+"A"+ " \nP2 ="+String(Powerr)+"KW"+ " \nE2 ="+String(Ener
1043   Data_SMSL3 = "CASE ON L3 \nV3= "+String(Voltageeee)+"V"+ " \nI3 ="+String(AC_Currentttt,2)+"A"+ " \nP3 ="+String(Powerrr)+"KW"+ " \nE3 ="+String(E
1044   Data_SMSTOTAL = "TOTAL VOLTAGES \nV= "+String((Voltage+Voltagee+Voltageeee)+"V"+ " \nI ="+String((AC_Current+AC_Currentt+AC_Currenttt),2)+"A"+
1045   Data_SMSCRITICAL_VALUES = "CRITICAL_VALUES \nOvervoltage="+String(overvoltage)+"V"+ " \nUndervoltage ="+String(undervoltage)+"V"+ " \nOvercurrent
1046   Data_SMSOVERVOLTAGES = "OVER VOLTAGES IN LINES \nL1="+String(overvoltageL1)+ " "+" \nL2 ="+String(overvoltageL2)+ " "+" \nL3 :"+String(overvoltageL3)+
1047   Data_SMSUNDERVOLTAGES = "UNDER VOLTAGES IN LINES \nL1="+String(undervoltageL1)+ " "+" \nL2 ="+String(undervoltageL2)+ " "+" \nL3 :"+String(undervoltageL3)+
1048   Data_SMSOVERCURRENTS = "OVER CURRENTS IN LINES \nL1="+String(overcurrentL1)+ " "+" \nL2 ="+String(overcurrentL2)+ " "+" \nL3 :"+String(overcurrentL3)+
1049   Data_SMSOVERHEAT="TEMPERATURE STATUS IN TRANSFORMER \nTemperature measure ="+String(temp)+" C"+ " \nOver heat normal ="+String(overheatnormal)+"
1050   Data_SMSOILLEVEL="OIL LEVEL STATUS IN TRANSFORMER \noil level in tank of transformer="+String(OilLevel)+" Cm"+ " \noil level Normal ="+String(OilLevelNormal)+"
1051   Data_SMSRELAYSTATES = "RELAYS STATES IN LINES \nL1="+String(relaystateL1)+ " "+" \nL2 ="+String(relaystateL2)+ " "+" \nL3 :"+String(relaystateL3)

1052   Data_SMSSOLUTIONS = "SOLUTIONS OF PROBLEMS DETECTED \n ="+String(SOLUTION)+"";
1053
1054   Serial.println();
1055   Serial.print(Data_SMSL1);
1056   Serial.println();
1057   Serial.print(Data_SMSL2);
1058   Serial.println();
1059   Serial.print(Data_SMSL3);
1060   Serial.println();
1061   Serial.print(Data_SMSTOTAL);
1062   Serial.println();
1063   Serial.print(Data_SMSCRITICAL_VALUES);
1064   Serial.println();
1065   Serial.print(Data_SMSOVERVOLTAGES);
1066   Serial.println();
1067   Serial.print(Data_SMSUNDERVOLTAGES);
1068   Serial.println();
1069   Serial.print(Data_SMSOVERCURRENTS);
1070   Serial.println();
1071   Serial.print(Data_SMSOVERHEAT);
1072   Serial.println();
1073   Serial.print(Data_SMSOILLEVEL);
1074   Serial.println();
1075   Serial.print(Data_SMSRELAYSTATES);
1076   Serial.println();
1077   Serial.print(Data_SMSSOLUTIONS);
1078   Serial.println();
```

```

1079 Send_Data(); //
1080 delay(50);
1081 if(L1==1) {
1082     l1=1;
1083 }
1084 if(L2==1) {
1085     l2=1;
1086 }
1087 if(L3==1) {
1088     l3=1;
1089 }
1090 if(T1==1) {
1091     t1=1;
1092 }
1093 if(T2==1) {
1094     t2=1;
1095 }
1096 if(I1==1) {
1097     i1=1;
1098 }
1099 if(I2==1) {
1100     i2=1;
1101 }
1102 if(I3==1) {
1103     i3=1;
1104 }
1105 if(GOG==1) {

1106     reee=1;
1107 }
1108 }
1109 }
1110 void Send_Data()
1111 {
1112     Serial.println("Sending Data..."); //Displays on the serial monitor...Optional
1113     sim8001.print("AT+CMGF=1\r"); //Set the module to SMS mode
1114     delay(10);
1115     sim8001.print("AT+CMGS="+243974413496+"\r"); //Your phone number don't forget to include your country code example +243xxxxxxxx"
1116     delay(10); // delay(500);
1117     sim8001.println();
1118     sim8001.print(Data_SMSL1);
1119     sim8001.println();
1120     sim8001.print(Data_SMSL2);
1121     sim8001.println();
1122     sim8001.print(Data_SMSL3);
1123     sim8001.println();
1124     sim8001.print(Data_SMSTOTAL);
1125     sim8001.println();
1126     sim8001.print(Data_SMSCRITICAL_VALUES);
1127     sim8001.println();
1128     sim8001.print(Data_SMSOVERVOLTAGES);
1129     sim8001.println();
1130     sim8001.print(Data_SMSUNDERVOLTAGES);
1131     sim8001.println();
1132     sim8001.print(Data_SMSOVERCURRENTS);

```