

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté de Technologie

Département de Génie électrique



جامعة سعد دحلب البليدة

كلية التكنولوجيا

قسم الهندسة الكهربائية

Mémoire de Fin de Cycle pour L'obtention du Diplôme de Master

Filière : Electronique

Spécialité : Électronique des Systèmes Embarqués

Thème

Développement d'un système de contrôle et de commande à distance d'un disjoncteur HTA

Proposé par : Md. BOUGHERIRA NADIA & M. BOUGRID CHERIF.

Présenté par :

Mlle Abdelkader Hadjala Fella.

Mlle Mellas Lilya

Promo 2024/2025

REMERCIEMENTS

On tient tout d'abord à remercier Dieu de nous avoir donné la force pour achever notre projet.

*Nous tenons à nous remercier **nous-mêmes**, car nous méritons ce succès, fruit de nos efforts et de notre persévérance.*

*Nous exprimons ensuite notre profonde gratitude à notre chère encadrante Madame **Bougherira Nadia**, pour son accompagnement tout au long des étapes de ce projet, pour son soutien constant, sa patience et ses précieux conseils.*

*Il est comme même très agréable de remercier notre encadreur de La société Sonelgaz **Mr. CHERIF BOUGRID** pour les efforts, les conseils et ses directives précieuses durant la réalisation de notre projet de fin d'étude.*

Nos remerciements les plus sincères vont également aux membres du jury, qui nous ont honorés en acceptant d'évaluer ce travail et en nous consacrant de leur temps.

*Nous n'oublions pas **nos parents**, véritables piliers de notre parcours, pour leur soutien indéfectible, leur confiance et leurs encouragements permanents.*

À toutes celles et ceux qui nous ont soutenus, ne serait-ce que par un mot bienveillant ou une aide discrète, nous disons du fond du cœur :

Merci à vous tous.

إهداء

«ما قال رسول الله ﷺ: أمك ثم أمك ثم أمك ثم أبوك

أهدي ثمرة هذا العمل

إلى أغلى من في الوجود أُمِّي العزيزة سَلِيمَه بن زَغِيمِي .

ثم إلى من أحمل اسمه بكل فخر والدي العزيز ... مُحَمَّد.

إلى اخوتي سندي أسماء، مريم، الياس، عبد النور.

إلى خالتي حبيبتي ... فاطمة الزهراء.

لكم، أهدي هذا العمل بكل فخر وامتنان، فأنتم أساس كل نجاح.

عبد القادر هجالة فلة

Dédicaces

Louange à Dieu,
Le Tout-Puissant, Le Clément, Le Miséricordieux,
pour m'avoir guidée, protégée,

Je dédie ce travail avec tout mon cœur :

À ma mère, nachida boukouaci
plus qu'une mère...

Tu es ma sœur, mon amie, ma confidente, ma moitié, mon tout.
Ton amour est mon refuge, ton regard est ma lumière.
Merci pour chaque mot, chaque geste, chaque prière.
Je t'aime plus que tout au monde.

À mon père, mustapha mellas
l'homme de ma vie,
discret mais si fort, doux mais si ferme, silencieux mais si aimant.
Merci pour ton exemple, ton respect, ta protection.
Tu es mon repère.

À mes frères Mohamed, Lyes, Oussama et Tayeb,
vous êtes mes piliers.
Être la fille unique, la sœur unique, est un honneur que je chéris chaque jour.
Merci pour votre amour, vos regards bienveillants et votre présence constante.

À ma nièce Belkisse
le plus beau cadeau de ma vie.

Je t'aime de tout mon cœur.

Mellas Líllya

Résumé

Résumé :

Ce projet porte sur le développement d'un système de commande et de supervision à distance pour un poste de distribution HTA non équipé d'un système SCADA. Le poste de Meftah a été choisi comme cas d'étude, avec l'utilisation de technologies telles qu'Arduino, Python et le module Ethernet W5500. Le système permet de transmettre des ordres de commande et de surveiller l'état des disjoncteurs en temps réel. Il vise à faciliter l'exploitation à distance, réduire les pannes et améliorer l'efficacité du réseau électrique.

ملخص

يتناول هذا المشروع تطوير نظام للتحكم والمراقبة عن بُعد لمحطة توزيع كهربائية من نوع

HTA غير مجهزة بنظام SCADA .

تم اختيار محطة مفتاح كدراسة حالة، وذلك باستخدام تقنيات مثل

Arduino وPython ووحدة Ethernet W5500

يُتيح النظام إرسال أوامر التحكم ومراقبة حالة القواطع في الزمن الحقيقي، ويهدف إلى تسهيل الاستغلال عن بُعد، تقليل الأعطال، وتحسين فعالية الشبكة الكهربائية

Abstract:

This project focuses on the development of a remote control and monitoring system for an HTA (Medium Voltage) electrical distribution substation that lacks a SCADA system. The Meftah substation was selected as a case study, using technologies such as Arduino, Python, and the W5500 Ethernet module. The system enables real-time control commands and monitoring of circuit breaker status. It aims to simplify remote operation, reduce faults, and enhance the overall efficiency of the power distribution network.

Contents

Liste des Tableaux	8
Liste des abréviations	9
Chapitre 1	4
Généralité sur les réseaux électriques et présentation de l'entreprise.....	4
1.1. Introduction :	5
1.3. Présentation de l'entreprise d'accueil :	6
1.4. La Société de Distribution de l'Électricité et du Gaz – Centre (RDC)	7
1.5. Les activités de SONELGAZ :	8
1.5.1. Activité de production et l'interconnexion :	8
1.5.2. L'activité transport :	9
1.5.3. L'activité de la distribution :	9
1.6. L'organigramme de la direction de la société de distribution de Blida :	10
1.7. Les réseaux électriques :	11
1.7.1. Définition :	11
1.7.2. Les system électrique :	12
1.7.3. Différents réseaux électriques :	13
1.8. Fonctionnement du réseau électrique :	16
1.9. Problématique de recherche :	17
1.10. Conclusion :	17
Chapitre2 :	18
Système SCADA et Poste Distribution d'un Disjoncteur HTA.....	18
2.1 . Introduction :	19
2.2. Définition d'un système SCADA :	20
2.3. Système Micro SCADA (Blida) :	21
2.4. éléments d'un système SCADA :	22
2.4.1.Partie Logiciel (soft) :	23
2.4.2.Partie physique (hard) :	23
2.5.Avantages du SCADA :	28
2.6.Moyens de transmission - Fibre optique:	29
2.7. Postes Électriques:	31
2.7.1. Définition générale:	31
2.7.2. Les réseaux de distribution :	32
2.7.3. Composants du réseau de distribution	33
2.8.1.Salle transformateur :	39
2.8.2. Salle auxiliaire AC :	39

2.8.3 Salle Transformateurs de Source Auxiliaire (TSA):	40
2.8.4 Salle redresseur :	41
2.8.5. Salle Batteries:	42
2.8.6 Salle CCN :	43
2.8.7 tranche generale :	44
2.9.Conclusion :	44
Chapitre 3 :	45
Développement et Réalisation d'un système contrôle et commande d'un disjoncteur HTA	45
3.1. Introduction :	46
3.2. Objectif :	47
3.3. Structure du système réalisé :	47
3.4. Description du Système :	48
3.4.1. Description du Matériel du système contrôle et commande :	49
3.4.2. Logiciel :	59
3.4.3. Réseau de communication :	63
3.5. Étapes de réalisation :	65
3.6. Résultats des tests et validation fonctionnelle :	66
3.7. Limites du système et perspectives d'amélioration :	66
Limites identifiées :	66
3.8. Les avantages attendus du projet pour l'entreprise et les utilisateurs :	67
3.9. Conclusion :	68
Conclusion générale.....	69
Annexe	72

Liste des figures

Figure 1.1: Direction de distribution de l'électricité et du gaz du centre	7
Figure 1.2 : Organigramme de la direction de la société de distribution de Blida.....	9
Figure 1.3 : Réseau électrique	10
Figure 1.4: Les différentes parties d'un réseau électrique	11
Figure 1.5: Réseau de distribution Haute Tension.....	14
Figure 1.6: Schéma de description de réseaux électriques.	14
Figure 1.7 : Schéma illustré d'un réseau électrique montrant l'électricité Produite, transportée et distribué à des niveaux de tensions différentes.....	15
Figure 2.1: Architecture d'un système SCADA.	19
Figure 2.2: Centre de conduite (BLIDA).....	20
Figure 2.3 : Architecture de SCADA Blida.....	21
Figure 2.4: IHM d'un poste commander par GPRS	23
Figure 2.5 : Unité terminale distante (RTU).....	24
Figure 2.6: Schéma générale d'un RTU.	25
Figure 2. 7: RTU 560 ABB de la SONEGAS BLIDA.....	26
Figure 2.8 : Structure d'une fibre optique.	28
Figure 2.9 : poste de BENI MERED commander par la fibre optique.	30
Figure 2.11 : Etage HTA 30kv :different types de cellule d'un poste électrique	32
Figure 2.12.a : Cellule d'arrivée.....	35
Figure 2.12.b: Cellule départ	35
Figure 2.12.c :Cellule couplage	35
Figure 2.13 :Architecture fonctionnelle d'un poste électrique	38
Figure 2.14: Salle transformateur	39
Figure 2.15:Salle auxiliaire AC.	40
Figure 2.16: Salle Transformateurs de Source Auxiliaire (TSA).	41
Figure 2.17: Salle redresseur	42
Figure 2.18: Batteries stationnaires de type Classic OPzS LA (48V)	42
Figure 2.19:Salle CCN.....	43
Figure 2.20: La tranche generale.	44
Figure 3.1 : schéma du "Système de Contrôle et de Commande – Poste MEFTA & Etage	48
Figure 3.2 : HTMEFTTAH" interconnexions des éléments du système contrôle et commande.....	48

Figure 3.3 :Schema de l'interconnexion materiel entre les composants du système de commande HTA	49
Figure 3.4 : interface du système commande et contrôle	50
Figure 3.5: FOX515 ABB.....	51
Figure 3.6 : La RTU560 d'ABB.....	51
Figure 3.7 : Configuration typique d'un système de télécontrôle RTU560	52
Figure 3.8 : Module Ethernet W5500	53
Figure 3.9 : Schema electrique du module Ethernet W5500.	53
Figure 3.10: Schema dune platine Arduino Uno	54
Figure 3.11 : Module 4 relais 5vdc	55
Figure 3.12 : schema de la carte relais a canaux.....	55
Figure 3.13 : mécanisme d'un disjoncter HTA	56
Figure 3.14 : montage et caplage du circute commande	59
Figure 3.15 : Python	60
Figure 3.16 : Interface de Système contrôle et commande HTA réalisée avec Tkinter.....	61
Figure 3.17 : l'étape de Configuration du réseau Ethernet.....	64
Figure 3.18 : STRUCTURE de réalisation.....	65

Liste des Tableaux

Tableau 2.1 : poste commande par fibre optique.....	28
---	----

Liste des abréviations

AC	Courant Alternatif
AIS	Arrivée Isolée Sous-gaz
A	Ampère
Arduino UNO	Modèle de carte Arduino Uno
BT	Basse Tension
CCN	Contrôle-Commande Numérique
DC	Courant Continu
DNP3	Distributed Network Protocol version 3
FOX	Fibre Optique multiplexer X (ABB)
GPRS	General Packet Radio Service
GUI	Graphical User Interface
HT	Haute Tension
HTA	Haute Tension A (Moyenne Tension)
HTB	Haute Tension B (Très Haute Tension)
IAT	Interrupteur Aérien Télécommandé
IED	Intelligent Electronic Device
IEC	International Electrotechnical Commission
IHM	Interface Homme-Machine
IP	Internet Protocol
kV	Kilovolt
kVA	Kilovoltampère
LED	Light Emitting Diode
MW	Mégawatt
MT	Moyenne Tension
NT/XP	Windows NT / XP (systèmes d'exploitation)
OPzS	Batterie plomb-acide stationnaire (type Classic)
PLC	Programmable Logic Controller
RDC	Réseau de Distribution Centre
ROI	Retour sur Investissement
RTU	Remote Terminal Unit
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SDC	Société de Distribution du Centre
SNTP	Simple Network Time Protocol
SPI	Serial Peripheral Interface
TGBT	Tableau Général Basse Tension
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
THT	Très Haute Tension
TSA	Transformateur des Services Auxiliaires
V	Volt
VLAN	Virtual Local Area Network
W5500	Module Ethernet basé sur la puce W5500

Introduction Générale

Introduction générale

L'énergie électrique est aujourd'hui au cœur de tous les secteurs d'activité. Elle constitue un pilier fondamental du développement économique, industriel et social. En Algérie, la demande croissante en électricité a conduit à la modernisation continue des infrastructures de production, de transport et de distribution. Dans ce contexte, les entreprises du secteur de l'énergie, telles que SONELGAS et ses filiales, ont engagé d'importants projets pour renforcer la performance et la fiabilité des réseaux électriques à travers le territoire national.

Avec l'évolution des technologies, les systèmes de supervision et de contrôle à distance tels que SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) se sont imposés comme des outils indispensables pour assurer une gestion intelligente des réseaux de distribution, particulièrement ceux en moyenne tension (HTA). Ces systèmes permettent non seulement de surveiller en temps réel l'état du réseau, mais aussi de commander à distance les équipements électriques, réduisant ainsi les délais d'intervention et les risques humains.

Cependant, malgré ces avancées, certaines stations ou postes HTA restent non équipés de dispositifs de télécommande, ce qui limite la réactivité et l'efficacité des interventions. C'est dans cette optique que s'inscrit notre projet : la conception et la réalisation d'un système de commande et de contrôle à distance pour un poste HTA (cas du poste de Meftah), en s'appuyant sur des solutions technologiques accessibles et évolutives telles que Arduino, Python, et la communication via Ethernet et fibre optique.

Ce travail est structuré en trois chapitres :

Premier chapitre : Dans ce chapitre nous allons définir la présentation de l'entreprise d'accueil et du contexte général du réseau électrique.

Deuxième chapitre : Dans ce chapitre nous allons définir l'étude du système SCADA et des différents types de postes électriques.

Troisième chapitre : Dans ce chapitre nous allons dédié la réalisation pratique de notre système de commande et à son intégration sur le terrain.

À travers cette étude, nous visons à démontrer la faisabilité d'une solution simple et économique pour améliorer la supervision des postes HTA non équipés, en apportant une contribution concrète aux efforts de modernisation du réseau électrique national.

Chapitre 1

Généralité sur les réseaux électriques et présentation de l'entreprise

1.1. Introduction :

L'électricité est un élément essentiel de la vie quotidienne, ce qui nécessite une production efficace et continue. Pour répondre à la demande croissante, de grandes centrales électriques ont été construites. En Algérie, la société nationale Sonelgaz est chargée de la production et de la distribution de l'électricité.

1.2. Présentation de l'entreprise SONEGAS :

De l'époque EGA (Electricité et Gaz d'Algérie), fournisseur historique d'électricité et de gaz, à l'émergence d'un Groupe énergétique de premier plan au niveau national, reconnu et notoire à l'échelle du continent africain et du bassin méditerranéen, Sonelgaz (Société Algérienne de l'Electricité et du Gaz) a écrit durant cinquante années l'une des plus belles pages du développement économique et social de l'Algérie.

Grâce à son parcours et ses réalisations, à ses hommes et ses femmes et aux valeurs qui les animent, génération après génération, Sonelgaz a mené sans relâche et avec abnégation sa noble mission de service public.

« Joyau de la République », pour paraphraser un ancien ministre, le Groupe Sonelgaz est au cœur du développement économique et social du pays.

Présente partout sur le territoire national, jusque dans les zones les plus éloignées, en assurant un taux de pénétration d'électricité de plus de 99 %, un taux de pénétration de gaz de plus de 60 %, taux les plus élevés au monde, Sonelgaz a contribué à améliorer la qualité de vie des familles algériennes leur permettant d'entrer résolument dans le monde moderne.

Sensible à son environnement, consciente de sa dimension sociale, Sonelgaz a de tout temps adopté une attitude de proximité et une démarche citoyenne ; elle a soutenu massivement les initiatives, encourageant les talents et valorisant l'esprit associatif par le mécénat et le sponsoring.[1] .

1.3. Présentation de l'entreprise d'accueil :

La société de distribution de l'Electricité et du Gaz de centre RDC, est une société par Actions, filiale du groupe SONEGAS, elle a été créée en Janvier 2006, elle dispose d'un réseau D'électricité d'une longueur très important et un réseau de gaz aussi important, soit :

- 28 542 Km en HTA.
- 31 115 Km en BT.

L'entreprise a pour missions principales :

-L'exploitation et la maintenance du réseau de distribution de l'électricité et du gaz.

-Le développement des réseaux électricité et gaz permettant le raccordement des nouveaux clients.

-La commercialisation de l'électricité et du Gaz De Centre <<RDC>>, met en œuvre un programme d'investissement dans un double objectif :

-Celui de développer ses réseaux et de répondre à la demande.

-Celui de la modernisation de son exploitation et de sa gestion.[2].

1.4. La Société de Distribution de l'Électricité et du Gaz – Centre (RDC)

Créée en Janvier 2018(changement d'organigramme), elle dispose d'un réseau électricité d'une longueur très importante, en moyenne et Basse Tension (HTA/BT), et d'un réseau gaz d'aussi important. La Société de Distribution d'Electricité et du Gaz de Centre (RDC) a pour mission : L'exploitation et la maintenance du réseau de distribution de l'électricité et du gaz.

- Le développement des réseaux électricité et gaz permettant le raccordement des Nouveaux clients. La commercialisation de l'électricité et du gaz, dans les meilleures conditions de Sécurité, de qualité de service au moindre coût.

La Société de Distribution de l'électricité et du Gaz De Centre « RDC », met en œuvre un programme d'investissement dans un double objectif :

- Celui de développer ses réseaux et de répondre à la demande.
- Celui de la modernisation de son exploitation et de sa gestion.

Dans ce cadre, le bureau de conduite centralisée (SCADA) constitue un projet structurant pour l'amélioration de la conduite des réseaux et de l'amélioration de la qualité de service [3].



Figure 1.1: Direction de distribution de l'électricité et du gaz du centre

1.5. Les activités de SONELGAZ :

SONELGAZ est composée des trois branches d'activités suivantes :

1.5.1. Activité de production et l'interconnexion :

La nature non stockable de l'électricité, impose à l'entreprise une intégration complète de toutes les phases de son activité, depuis la production jusqu'à sa mise à disposition au consommateur final.

C'est l'activité consistant à transformer l'énergie calorifique ou hydraulique en énergie mécanique puis électrique. Le parc de production dont les ouvrages sont conçus et dimensionnés pour répondre à un niveau maximum de la demande, par les quelles en cite :

- Filière Turbines Vapeur : Elle est composée de 20 groupes de puissance unitaire comprise entre 50 MW et 196 MW.
- Filière Turbines à Gaz : Elle est constituée de 86 groupes dont la puissance unitaire varie de 20 MW à 210 MW.
- Filière Hydraulique : Elle est constituée de 34 groupes dont la puissance unitaire varie de 1 MW à 5 MW pour les basses chutes et de 12 MW à 50 MW pour les hautes chutes.

- Filière Diesel : Elle est composée de 183 groupes de puissance unitaire de 0.35 MW à 8 MW. Les groupes de cette filière sont installés au sud et alimentent des réseaux isolés.

Elle est réalisée à partir des lignes de très haute tension (400 KV) qui permettent à la fois :

- D'apporter l'énergie électrique près des grands centres,
- D'assurer une connexion entre les centrales. Le réseau national est interconnecté avec le Maroc et la Tunisie, ce qui permet des échanges commerciaux et des secours mutuels en cas de besoin.

1.5.2. L'activité transport :

- Le transport d'électricité est réalisé à partir des lignes haute tension (60 KV, 220 KV et 400 KV) et permet de se rapprocher des consommateurs finaux (gros clients industriels et postes de distribution)
- Le transport du gaz naturel se fait en haute pression par canalisation aux fins de mise à disposition des abonnés industriels et domestiques.

1.5.3. L'activité de la distribution :

La distribution d'électricité se fait par lignes et câbles de moyenne et basse tension. Elle consiste à alimenter l'ensemble des petits clients industriels et les abonnés domestiques. La distribution assure la satisfaction en énergie électrique des trois grandes catégories de clients :

- Les clients industriels (alimentés par les réseaux de haute tension).
- Les clients industriels de moyenne importance (alimentés par les réseaux de moyenne tension).
- Les ménages et artisans (alimentés par les réseaux de basse tension).
- La distribution du gaz assure la satisfaction des trois grandes catégories de clients :
- Les clients industriels sont alimentés par les réseaux de haute pression.
- Les clients industriels de moyenne importance sont alimentés par les réseaux moyenne pression.
- Les ménages et artisans sont alimentés par les réseaux basse pression. [4].

1.6. L'organigramme de la direction de la société de distribution de Blida :



Figure 1.2 : Organigramme de la direction de la société de distribution de Blida.

❖ La direction de la société de distribution de Blida contient plusieurs divisions lesquelles se complètent entre eux se compose de :

- **Le directeur** : c'est le premier responsable pour gérer l'entreprise économique et Financial, et prend toutes les décisions administratives.
- **Secrétariat** : c'est l'intermédiaire entre le directeur et le personnel et aussi les clients. Il s'occupe de la réception des plaintes des clients et les transmettre au directeur.
- **Attaché juridique** : son rôle axé sur la défense les intérêts de l'entreprise de manière le recours à la justice s'il y a des plaintes contre elle ou bien a déposé une plainte contre les clients par Ex : vol d'électricité et le gaz.
- **L'ingénieur de sécurité** : effectue une étude de l'environnement de travail afin de bien équiper le personnel pour assurer sa sécurité.

- **Division ressource humain** : cette section est d'une grande importance en raison de sa relation avec les autres divisions mais aussi avec la clientèle.
- **Division technique électrique** : cette section étudie le réseau électrique afin d'améliorer la qualité des services et de la maintenance.
- **Division études et exécution des travaux** : faire l'étude des demandes des clients et d'exécution (réalisation de l'électricité et le gaz).
- **Division relation commercial** : cette section d'une grande importance en raison de sa relation avec les autres divisions et aussi il possède des tâches techniques et gestionnaires.[4]

1.7. Les réseaux électriques :

1.7.1. Définition :

Le réseau électrique est un système interconnecté permettant le transport de l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs.

Il est composé de lignes électriques de différents niveaux de tension, reliées entre elles par des postes électriques qui assurent la distribution de l'électricité et le changement de tension à l'aide de transformateurs.

Une gestion efficace des étapes de production, de transport et de consommation est essentielle pour garantir la stabilité et la performance du réseau.

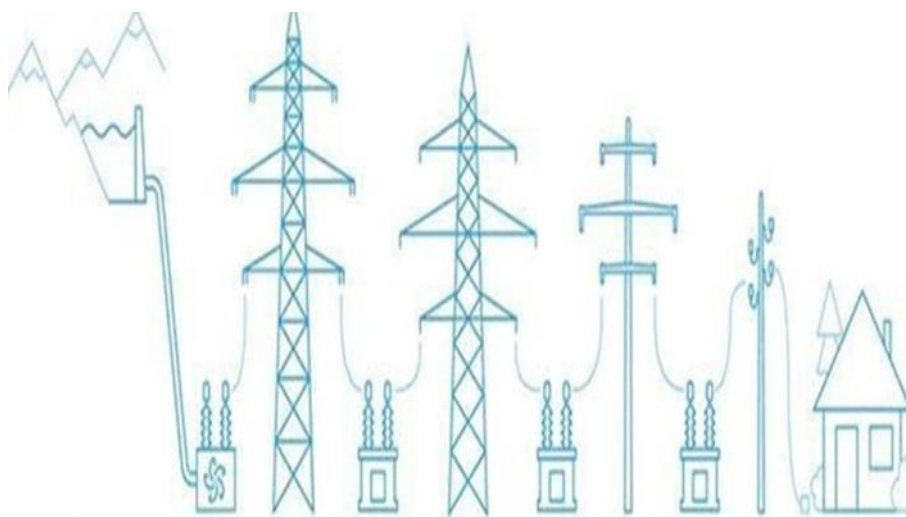


Figure 1.3 : Réseau électrique

1.7.2. Les system électrique :

La génération d'énergie électrique dans les centrales nécessite un système efficace pour acheminer cette énergie aux consommateurs. Pour assurer une synchronisation optimale entre la production et la consommation, le réseau électrique est organisé en niveaux distincts, caractérisés par des tensions variées (haute tension HTA, moyenne tension MTA, basse tension BTA). Chaque niveau est équipé de dispositifs de transformation adaptés.

Le système électrique englobe également des réseaux de transport et de distribution. À partir des centres de production, le réseau de transport approvisionne des postes sources, permettant la distribution d'énergie vers le réseau de distribution. Ce dernier est composé d'infrastructures délivrant l'énergie aux installations des consommateurs. Cette structuration vise à garantir une performance économique globale du système.[4]

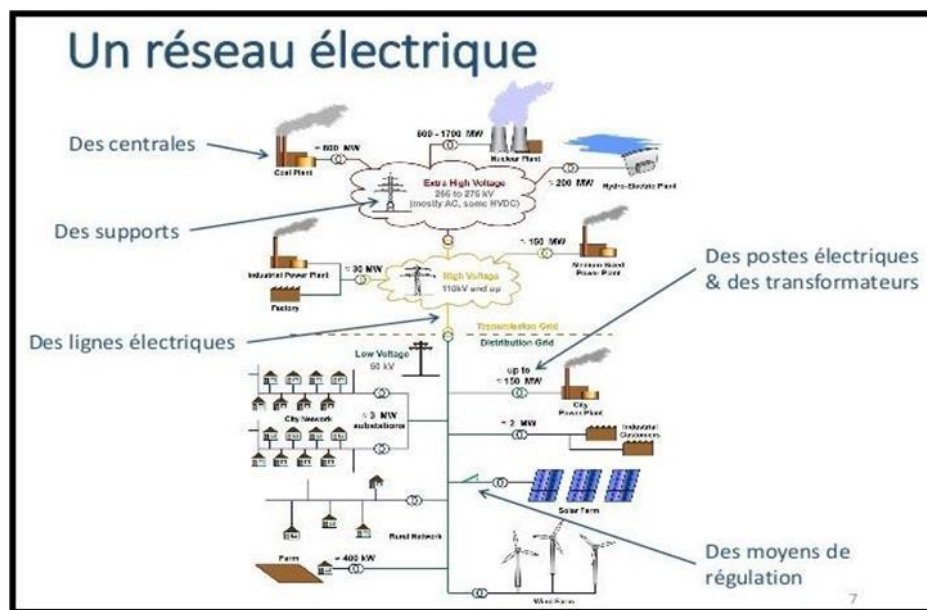


Figure 1.4: Les différentes parties d'un réseau électrique

1.7.3. Différents réseaux électriques :

Le réseau électrique est structuré en plusieurs niveaux, il ne suffit pas de produire le courant électrique dans les centrales, il faut aussi l'amener en différentes tension et puissance jusqu'à l'utilisateur final.

1.7.3.1. Le réseau de transport et d'interconnexion THT :

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission :

- De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport).
- Gérer la répartition de l'offre en orientant la production en fonction de la répartition géographique et temporelle de la demande (fonction d'interconnexion nationale).
- Gérer des flux d'énergie entre les pays en fonction d'échanges programmés ou à titre de secours (fonction interconnexion d'internationale) Parmi les caractéristiques de ce réseau :
- La tension est 150 kV, 225 kV et dernièrement 400 kV.
- Neutre directement mis à la terre.
- Des pylônes souvent métalliques, les hauteurs de 10 à 90 m, distants de quelques centaines de mètres. [2]

1.7.3.2. Réseau de répartition HT :

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension, ont pour rôle de répartir l'énergie issue du réseau de transport au niveau régional. Leur tension est supérieure à 63 kV.

Ces réseaux sont constitués par des lignes aériennes en grande part, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de Kilomètres.

Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et d'autre part, les utilisateurs industriels dont la taille nécessite un raccordement à cette tension (supérieure à 60 MVA).

- La tension est 63 kV ou 90 Kv.
- Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre, o Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 kV. o Limitation courant neutre à 1000 A pour le 63 kV.[2]

1.7.3.3. Réseau de distribution :

Les réseaux de distribution sont alimentés à partir des réseaux de répartition. Ils commencent à partir des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension (inférieures à 63 kV) jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA.

Le poste de transformation HTA/BT constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique. [2] Il existe deux sous niveaux de tension :

1.7.3.4. Réseau de distribution moyenne tension MT (ou HTA) :

Les réseaux de distribution MT permettant l'acheminement de l'énergie électrique des réseaux de répartition aux points de moyenne consommation. Ces points de consommation sont :

- Soit du domaine public, avec accès aux postes de distribution publique HTA/BT.
- Soit du domaine privé, avec accès aux postes de livraison aux abonnés à moyenne consommation, tels que les hôpitaux, les bâtiments administratifs, les petites industries...etc.[4]

➤ Les spécificités de ce réseau :

- HTA (ou MT) : 30 et 10 kV le plus répandu.
- Neutre à la terre par une résistance.
- Limitation à 300 A pour les réseaux aériens.
- Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains.
- Réseaux souterrains en boucle ouverte.
- Supports ou poteaux en béton ou en bois, des hauteurs de 10 à 14 m et distants d'une centaine de mètres [4].

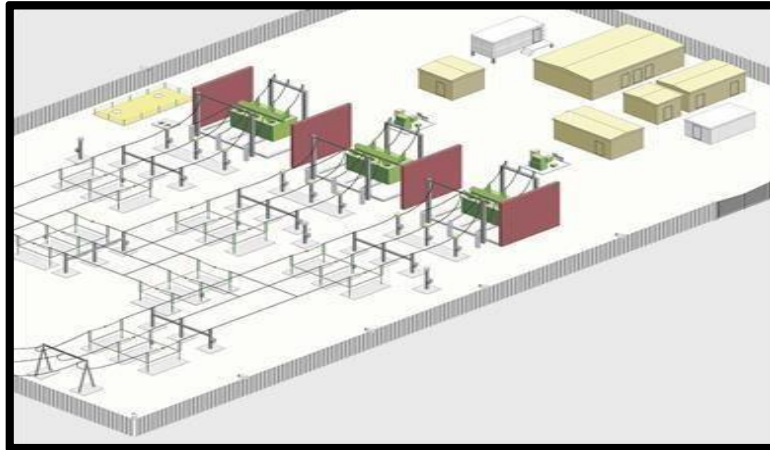


Figure 1.5: Réseau de distribution Haute Tension

1.7.3.5. Réseau de distribution à basse tension BT :

C'est le réseau qui nous est en principe familier puisqu'il s'agit de la tension 220/380 V en Algérie. Nous le rencontrons dans nos maisons via la chaîne : compteur, disjoncteur, fusibles (micro disjoncteurs).

La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de distribution MT aux points de faible consommation dans le domaine public avec l'accès aux abonnés BT.[5]
Il représente le dernier niveau dans une structure électrique illustré en Figure (1.3) .

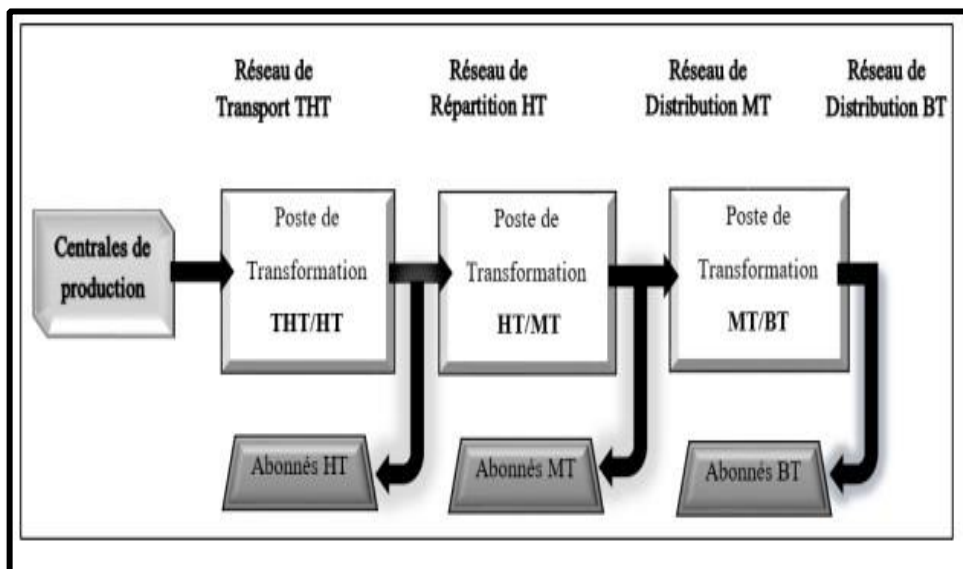


Figure 1.6: Schéma de description de réseaux électriques.

I.8. Fonctionnement du réseau électrique :

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques, nucléaire, éoliennes..., avec les centres de consommation (villes, usines...)

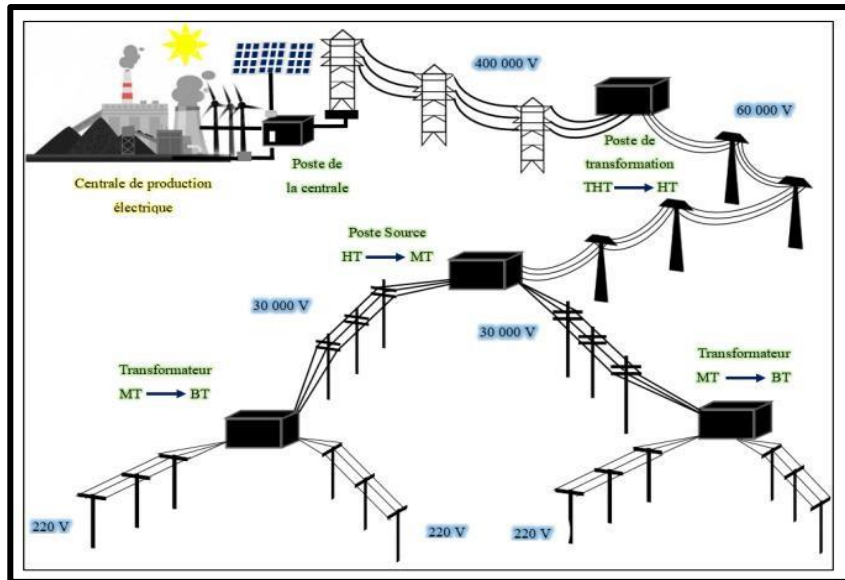


Figure 1.7 : Schéma illustré d'un réseau électrique montrant l'électricité Produite, transportée et distribué à des niveaux de tensions différentes

L'énergie électrique est transportée sur de longues distances dans des lignes électriques (conducteurs de phase, câble de garde, pylônes, isolateurs...) à très haute tension (THT ou HTB), elle est transformée en électricité à la haute tension (HT), elle est ensuite transformée à la tension (MT ou HTA) pour pouvoir être acheminée par le réseau de distribution. Cette transformation intervient dans les postes sources.

- Une fois sur le réseau de distribution, l'électricité haute tension HTA alimente directement les clients industriels. Pour les autres clients (particuliers, commerçants, artisans...), elle est convertie en basse tension (BT) par des postes de transformation avant d'être livrée.
- Au final, la qualité de l'alimentation en électricité des utilisateurs du réseau est donc le résultat de la qualité de tout ce parcours.[6]

1.9. Problématique de recherche :

Dans un contexte d'évolution rapide des systèmes de contrôle et de surveillance à distance des réseaux électriques, le système SCADA constitue un outil essentiel pour garantir le fonctionnement efficace et sécurisé des postes électriques. Cependant, certaines stations peuvent rencontrer des défis techniques entraînant une interruption ou une absence de données dans le système, ce qui entrave les opérations de supervision et de maintenance. Dans ce cadre, notre projet vise à résoudre le problème de l'absence de données d'une station dans le système SCADA, en développant une application mobile permettant aux utilisateurs de surveiller et de contrôler ces stations à distance. Ainsi, la problématique qui se pose est la suivante :

"Comment améliorer la surveillance et le contrôle des postes électriques invisibles dans le système SCADA grâce au développement d'une application mobile garantissant la continuité de la supervision et l'optimisation de l'efficacité opérationnelle ?"

C'est ce que nous explorerons dans cette étude.

1.10. Conclusion :

Ce chapitre a été conçu pour familiariser l'environnement de travail en commençant par la présentation d'entreprise d'accueil, en passant à la description du réseau électrique, leurs types qui sont constitués de différents niveaux de tension, et leurs architectures.

Dans le chapitre prochain nous allons présenter le système SCADA et les différents postes électriques, et expliquer leur rôle dans le raccordement, la distribution et la transformation d'énergie électrique d'une haute tension en basse tension.

Chapitre2 :
Systeme SCADA et Poste Distribution d'un
Disjoncteur HTA

2.1 . Introduction :

Dans ce chapitre, nous explorerons le système SCADA, une technologie avancée utilisée pour la supervision et le contrôle des installations électriques. Nous examinerons en détail les composants de ce système, qu'ils soient logiciels ou matériels, en mettant l'accent sur son rôle dans la surveillance en temps réel et le contrôle précis des opérations électriques, contribuant ainsi à l'amélioration des performances et de l'efficacité opérationnelle.

Ensuite, nous découvrirons les différents types de postes électriques, en nous concentrant sur les postes de Disjoncteur HTA . Nous analyserons leur architecture, leur mode de fonctionnement et leur rôle essentiel dans la distribution et la transformation de l'énergie électrique, garantissant ainsi la continuité et la stabilité du réseau.

Enfin, nous aborderons le concept de télécommande, en expliquant son impact sur la gestion des réseaux électriques, notamment en termes d'optimisation de l'efficacité opérationnelle, d'amélioration de la fiabilité du système et de réduction du temps de réponse en cas de panne.

2.2. Définition d'un système SCADA :

Le système SCADA est un acronyme qui signifie le contrôle et la supervision par acquisition de Données (en anglais : Supervisory Control and Data Acquisition) permettant la centralisation Des données, la présentation souvent semi-graphique sur des postes de « pilotage », le Système SCADA collecte des données de divers appareils d'une quelconque installation, puis Transmet ces données à un ordinateur central ,que ce soit proche ou éloigné, qui alors Contrôle et supervise l'installation , ce dernier est subordonné par d'autres postes D'opérateurs, [1]

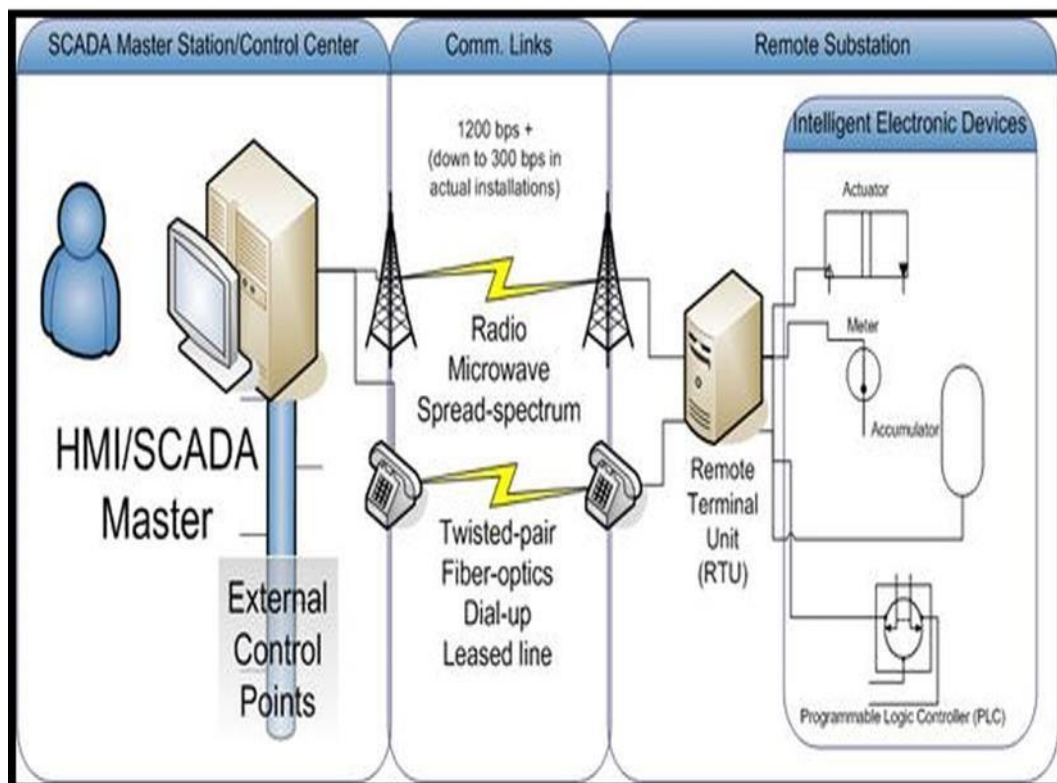


Figure 2.1: Architecture d'un système SCADA.

La figure 2.1 illustre l'architecture générale d'un système SCADA pour le contrôle et la supervision à distance d'un poste électrique. Elle est divisée en trois parties principales : la station maître SCADA, les moyens de communication, et le poste distant (sous-station).

La station maître (HMI/SCADA Master) est l'interface homme-machine installée dans un centre de contrôle comme le montre la figure 2.2.

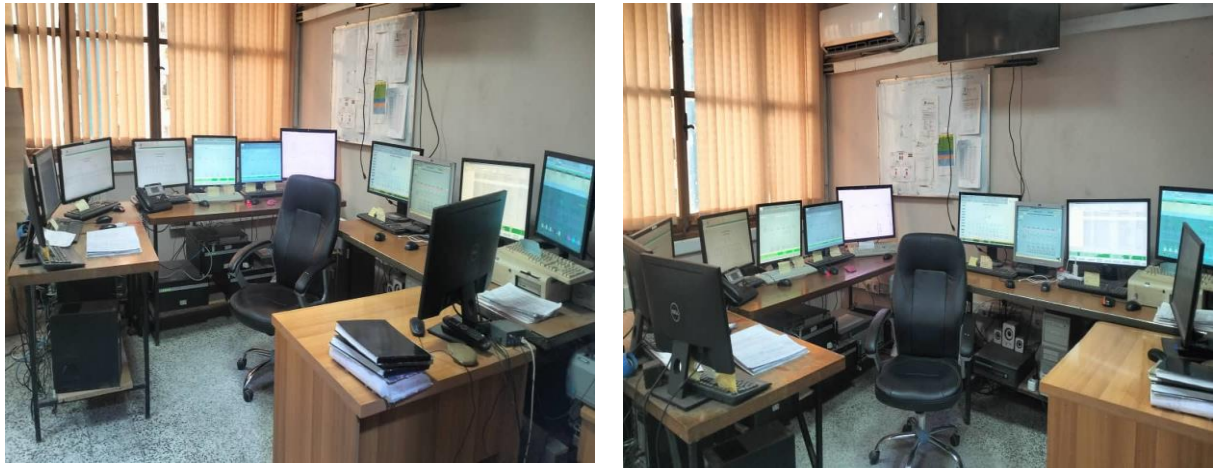


Figure 2.2: Centre de conduite (BLIDA).

Elle est chargée de superviser et d'envoyer les ordres de commande. Elle est connectée à la sous-station via différents types de liaisons de communication, tels que la radio, la fibre optique, les lignes louées ou le réseau téléphonique. Du côté du poste distant, une unité terminale distante (RTU) reçoit les données et commandes de la station maître. Elle est interconnectée avec des dispositifs électroniques intelligents (IED), tels que des actionneurs, des compteurs et des automates programmables (PLC), qui assurent le contrôle des équipements du réseau électrique. Cette architecture permet une supervision fiable, rapide et sécurisée des infrastructures électriques à distance

2.3. Système Micro SCADA (Blida) :

Le système micro SCADA est une solution de télé conduite décentralisée pour les réseaux électriques, visant à réduire les interruptions et à améliorer la qualité de l'énergie fournie. Ce système comprend un ensemble de matériel et d'installations dotées d'un mécanisme spécifique permettant de télécommander à distance les interrupteurs de coupure du réseau depuis un ordinateur de commande. Grâce à cette technologie, l'exploitant peut surveiller et intervenir sur le fonctionnement du réseau en temps réel sans avoir besoin de se déplacer. En cas de défaut, il est possible de modifier rapidement le schéma d'exploitation du réseau pour minimiser la zone non alimentée, en consultant à distance les indicateurs de localisation des défauts. Le système micro SCADA gère l'ensemble des installations majeures de la zone d'exploitation où il est déployé (figure 2.3), notamment :

- Les postes HTB/HTA.

- Les postes HTA/BT.
- Les postes HTA/HTA.
- Les interrupteurs aériens télécommandés (IAT/IAT-CT) [2] .

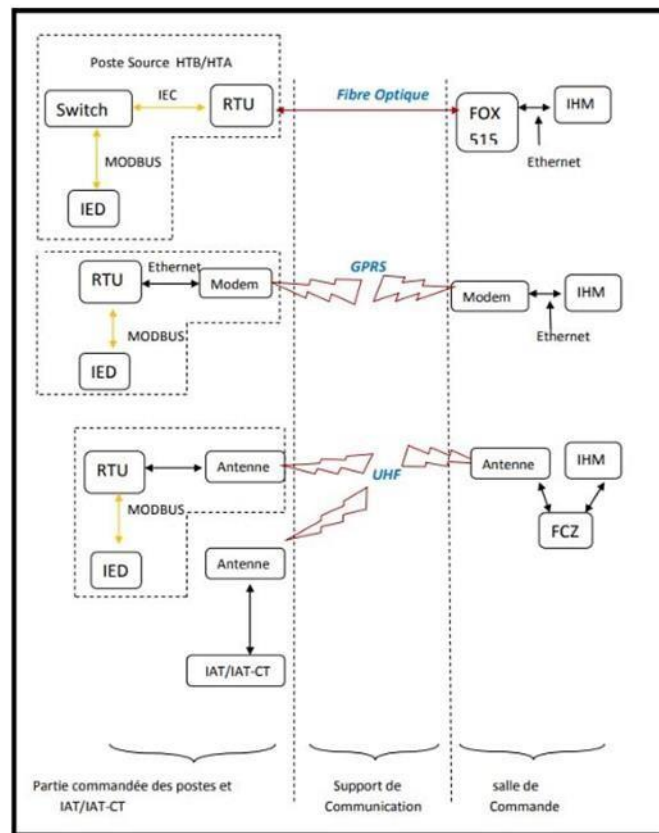


Figure 2.3 : Architecture de SCADA Blida.

2.4. éléments d'un système SCADA :

Un dispositif de supervision comporte du matériel, des contrôleurs, des réseaux et des communications, une base de données, un logiciel de gestion d'entrées-sorties et une interface homme-machine.

Les informations de terrain du dispositif sont centralisées sur une unité centrale. Celle-ci permet à l'opérateur de commander tout ou une partie des actionneurs d'une installation souvent très étendue (usine, réseau de distribution...). Le contrôle sur le terrain est réalisé par des instruments automatiques de mesure et de commande dits « terminaux distants » (abrégés RTU de l'anglais Remote Terminal Unite). Les systèmes SCADA sont constitués en général de deux parties essentielles : [4]

2.4.1.Partie Logiciel (soft) :

Un système SCADA doit être muni d'un logiciel permettant d'assurer la communication entre les éléments du SCADA et les opérateurs (interface homme-machine), et d'accomplir des tâches telles que le traitement des données, la sauvegarde des données, le déclenchement d'alarmes, et le contrôle automatique de processus de haut niveau.

Les logiciels SCADA gèrent des informations concernant les dispositifs connectés au SCADA, mais généralement l'information concernant la topologie et la structure du réseau de canalisation n'existe que sous forme de vues graphiques. Dans aucun de ces logiciels cette information existe sous forme de tableau ou de matrice. L'information sous forme matricielle est très utile pour la modélisation et le traitement des données en vue d'assister automatiquement les opérateurs. [4]

2.4.2.Partie physique (hard) :

2.4.2.1. Responsable de la supervision:

L'opérateur assure la gestion du réseau de distribution et veille au bon fonctionnement du système de télégestion, en s'appuyant sur un poste de conduite, des automates programmables et des connexions à distance via fibre optique ou liaison GSM. [4] (Rôle humain) : Assurer la gestion et la supervision du réseau de distribution, tout en veillant au bon fonctionnement du système de télégestion. Cela inclut l'utilisation d'un poste de conduite, d'automates programmables et de connexions à distance, notamment par fibre optique et/ou liaison GSM. [4]

2.4.2.2.Interface homme-machine (IHM) :

Ceci est utilisé pour se connecter à tous les processus et ensuite présenter ces données à un opérateur humain. L'opérateur utilise toutes les données et surveille et contrôle ainsi tous les processus.

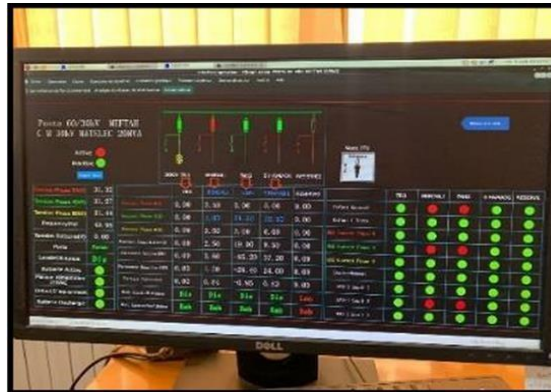


Figure 2.4: IHM d'un poste commander par GPRS

2.4.2.3. Unité terminale distante (RTU) :

La RTU joue le rôle d'esclave dans une architecture maître-esclave. Elle reçoit des instructions de commande émises par l'unité centrale (MTU), les transmet aux dispositifs sous contrôle, puis collecte les données générées par ces derniers pour les renvoyer à la MTU. Une RTU peut être constituée d'un automate programmable. Le débit d'échange de données entre la RTU et les équipements qu'elle contrôle est relativement élevé, et les opérations s'effectuent généralement en boucle fermée. [4]

a) fonctionnement d'une RTU :

La RTU agit comme un nœud de communication entre divers équipements sur le terrain et les plateformes de supervision à distance (figure 2.5). Elle collecte des données à partir de capteurs sans fil (réseaux de capteurs), d'appareils intelligents (IED), et de caméras IP pour la surveillance visuelle. Ces informations sont ensuite transmises vers les utilisateurs finaux via plusieurs canaux : pages web, courriels, FTP, SMS, ou encore via des protocoles SCADA standards tels que DNP3, IEC 60870 ou Modbus. Ce schéma met en évidence la diversité des sources de données et la flexibilité des moyens de communication, soulignant l'importance de la RTU comme interface intelligente entre le terrain et le centre de supervision.

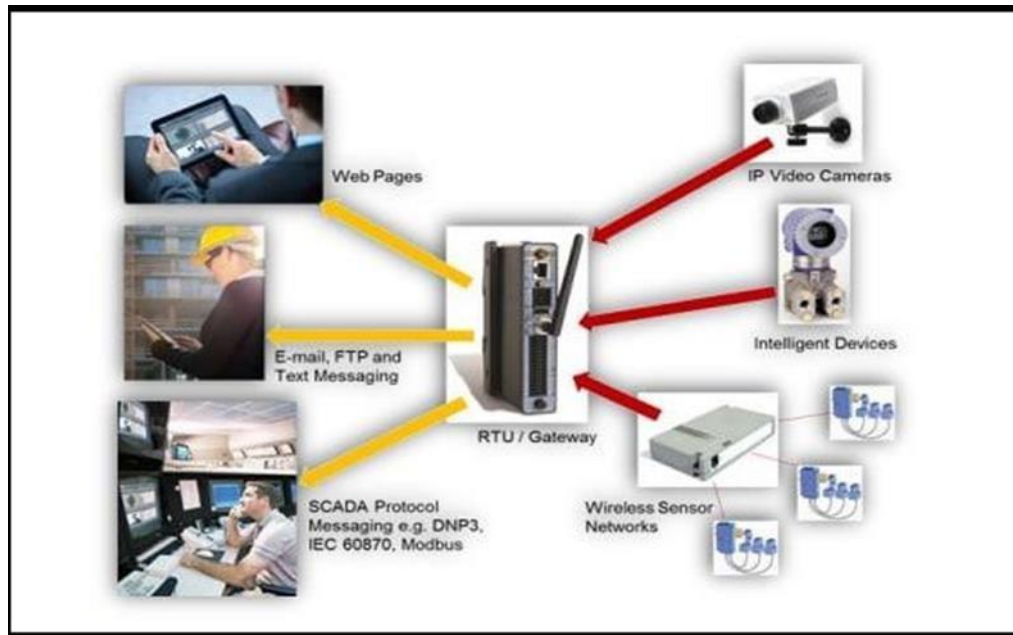


Figure 2.5 : Unité terminale distante (RTU).

Au niveau de chaque poste électrique HTB/HTA et HTA/HTA du réseau de SDC, sont installées une à plusieurs RTU's en fonction de l'architecture du poste, ces RTU's pour leurs majorités sont des PC's industriels fonctionnant sur Windows NT/XP, du constructeur EFASEC qui portent les noms PLC500 et RTU500, ces dernières font état d'un maître par rapport aux différentes protections numérique qui sont considérées comme esclaves. Les RTU's font interface via des cartes d'entrées/sorties avec un ensemble de protection numérique installées sur le réseau, afin de récolter les informations relatives au fonctionnement et les mesures de différents paramètres, et aux systèmes de contrôle en produisant les signaux de commande qui permettent d'intervenir à distance.

Cependant, afin de pouvoir exploiter toutes les informations envoyées de ou vers ces installations, les données sont organisées sous forme de flux (trames de données), qui seront à leur tour traduites à une forme compatible avec le langage utilisé par le système SCADA (figure 2.6).

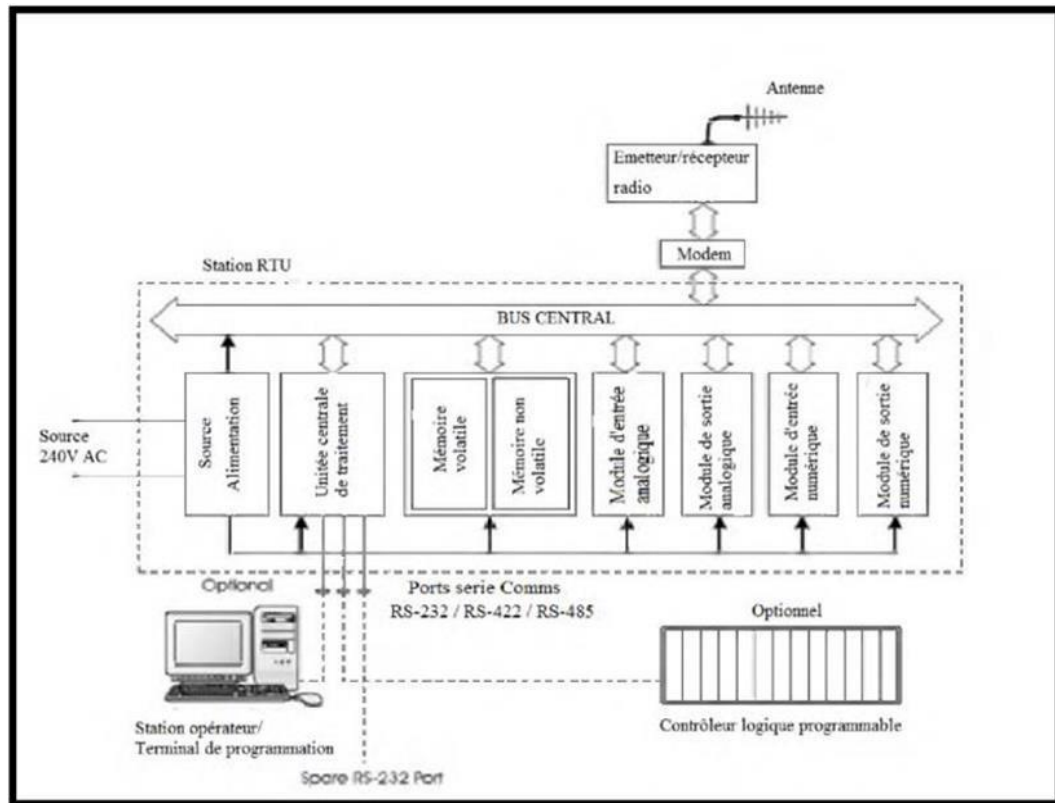


Figure 2.6: Schéma générale d'un RTU.

Les RTU's des postes HTB/HTA et HTA/HTA permettent des communications en différents langages qui sont connus sous le nom de protocoles de communication, en effet les RTU's communique avec les protections numérique généralement avec le protocole MODBUS ou autre et avec le système par un autre protocole IEC 60870-5-101, IEC 60870- 5-104 ou autre.

Les protections numériques font la traduction des signaux électrique issus des capteurs et des appareils de mesure en trames de données correspondantes à l'un des protocoles (figure 2.7).[5]



Figure 2. 7: RTU 560 ABB de la SONELGAZ BLIDA .

b)Applications d'une RTU:

Contrôle et supervision à distance

Le système permet le contrôle et la supervision à distance des postes électriques, en assurant la surveillance des équipements et des actifs du réseau. Il offre la possibilité de télécommander les dispositifs de moyenne tension, tels que les disjoncteurs et les sectionneurs. Il permet également la prise de mesures en temps réel, ainsi que l'affichage des états des interrupteurs. La gestion des alarmes est intégrée, avec visualisation et transmission des informations vers le centre de contrôle. Le système peut aussi détecter et signaler les défauts à la terre et les courts-circuits, qu'il s'agisse de réseaux isolés, compensés ou soumis à des défauts intermittents.

Gestion des actifs

Le système assure également la surveillance de diverses mesures électriques et physiques, telles que les courants, tensions et températures, notamment au niveau des transformateurs. Il permet de suivre les besoins en mesures, que ce soit pour les réseaux basse tension (BT), moyenne tension (MT), ou les deux simultanément. Des dispositifs de sécurité sont intégrés, incluant des alarmes pour la pression du gaz SF6, la température, l'ouverture des portes, les risques d'incendie, etc. En complément, le système assure une surveillance continue de la qualité de l'alimentation électrique, garantissant ainsi un fonctionnement stable et sécurisé du réseau. [5]

Les principales tâches de l'unité terminale distante (RTU)

- Assurer une communication fiable et efficace entre la sous-station secondaire et le centre de contrôle.
- Collecter et traiter les informations provenant de la sous-station secondaire, puis les transmettre au système SCADA.
- Permettre la surveillance et le contrôle à distance du poste secondaire.
- La RTU doit être installée soit à l'intérieur [5]

2.4.2.4.Moyens de communication :

méthode de communication entre le MTU et télécommandes. La communication peut se faire par Internet, réseaux sans fil ou filaire (coaxiale ligne spécialisée ou bien fibre optique) ou le réseau téléphonique public commuté. [6]

2.5.Avantages du SCADA :

Le SCADA présente plusieurs avantages clés, notamment :

Surveillance en temps réel : Il permet de surveiller l'état et le fonctionnement d'un processus à distance grâce à des écrans d'affichage, même si le système est situé dans une zone éloignée.

Contrôle précis : Il assure que les performances requises sont bien réalisées et maintenues.

Gestion des alarmes : Il génère des alertes en cas de défaillance et offre la possibilité de localiser la cause exacte du problème ainsi que l'élément défectueux concerné.

Informations détaillées : Il fournit des données complètes sur le système, aidant ainsi l'opérateur à prendre des décisions éclairées et à intervenir de manière appropriée sans commettre d'erreurs. [6]

2.6.Moyens de transmission - Fibre optique:

Les supports de transmission permettent de transférer des données d'un point à un autre. Ils peuvent être physiques, comme les câbles (paire torsadée, câble coaxial, fibre optique), ou sans fil, comme les ondes radio ou le GPRS utilisé dans les réseaux mobiles. Dans notre projet, nous avons utilisé la fibre optique, un support qui permet de transmettre un très grand volume de données par seconde. Elle se distingue par sa large bande passante et ses faibles pertes de signal, ce qui en fait une solution très performante comparée à d'autres types de transmission. Les composants de la fibre optique sont présentés dans la figure 2.8 [6].

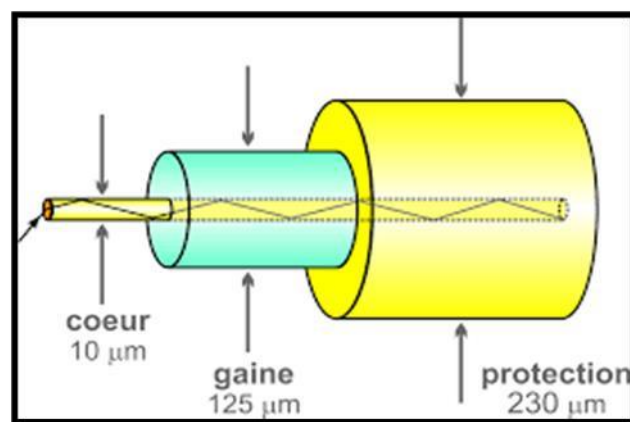


Figure 2.8 : Structure d'une fibre optique.

D'importantes avancées ont été réalisées dans le système de gestion de distribution de Blida SCADA, intégrant un moyen de transmission basé sur la fibre optique, qui supervise actuellement six stations d'origine (Tableau 2.1)

Nom de poste	Type de poste	Game de tension	N° : départ
Boufarik	Source	60KV/30KV	11
Boufarik	Source	60KV/10KV	11
MEFTAH	Source	60KV/30KV	16
Soumàa	Source	60KV/10KV	22
Sidi KBIR	Source	60KV/10KV	20
MARAMAN	Source	60KV/30KV	28

Tableau 2.1 : poste commande par fibre optique.

La fibre optique offre de nombreux avantages, parmi lesquels :

- **Excellentes performances de transmission**, grâce à une atténuation très faible du signal, une large bande passante et la possibilité d'utiliser le multiplexage.
- **Facilité d'installation**, en raison de son faible encombrement, de sa flexibilité et de sa légèreté.
- **Sécurité électrique renforcée**, grâce à une isolation complète des câbles, ce qui la rend adaptée aux environnements à risque.
- **Immunité aux interférences électromagnétiques**, garantissant une transmission de données stable et fiable.
- **Rentabilité à long terme**, avec un coût global inférieur à celui d'autres supports, une durée de vie plus longue et de meilleures performances.[6]

La figure 2.9 représente l'interface SCADA d'un poste électrique HTA (30 kV), plus précisément le poste BEN MERED à Blida, dont la commande et la supervision sont assurées à distance via un réseau de communication en fibre optique. Annex 3

Description technique :

- **Technologie utilisée :**

La fibre optique permet une communication fiable, rapide et sécurisée entre le poste et le centre de conduite. Elle assure :

Une latence très faible dans la transmission des données de mesure et des ordres de commande.

Une immunité totale aux interférences électromagnétiques, essentielle dans les environnements électriques HT.

Une grande bande passante, adaptée à la transmission simultanée de nombreuses données (mesures, états, alarmes, vidéos, etc.).

- **Interface SCADA :**

Il s'agit d'un synoptique unifilaire qui permet de visualiser en temps réel l'état de chaque départ HTA.

Chaque colonne correspond à un départ client, par exemple : BOUARFA, CHRÉA, USTB, MAZARNA, BEN BOUALI, etc.

Les disjoncteurs (en rouge) sont actuellement ouverts (position "O"), ce qui indique que les départs sont non alimentés.

À droite, se trouve l'arrivée du réseau HT (AIS ARRIVÉE 30 kV), à partir de laquelle l'alimentation est distribuée aux barres puis aux départs.

- **Commandes à distance :**

Grâce au SCADA et à la fibre optique, les opérateurs peuvent ouvrir/fermer les disjoncteurs, surveiller les tensions et courants, et recevoir des alarmes instantanément depuis un centre de conduite situé à plusieurs kilomètres.

Elle évite les déplacements sur site pour les opérations courantes, améliore la réactivité en cas de défaut, et renforce la sécurité des interventions.



Figure 2.9 : poste de BENI MERED commander par la fibre optique.

2.7. Postes Électriques:

2.7.1. Définition générale:

Selon la Commission Électrotechnique Internationale (CEI), un poste électrique est une entité du réseau électrique située en un lieu donné, regroupant les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'appareillage électrique, des bâtiments, et éventuellement des transformateurs. Il constitue un maillon essentiel du réseau, jouant un rôle à la fois dans la transmission et dans la distribution de l'électricité.

Les postes permettent :

- L'élévation de la tension pour faciliter le transport sur de longues distances,

- La réduction de la tension pour l'adapter à l'usage final des consommateurs (particuliers ou industriels).

On les retrouve à chaque extrémité des lignes électriques, généralement sous le nom de *sous-stations*. Il en existe plusieurs types, selon leur rôle dans la chaîne énergétique :

Types de postes :

- **Postes de sortie de centrale** : raccordent une centrale de production au réseau de transport.
- **Postes d'interconnexion** : relient entre elles plusieurs lignes haute tension (HTB).
- **Postes éleveurs** : augmentent le niveau de tension à l'aide de transformateurs.
- **Postes de distribution** : abaissent la tension pour la distribution à grande échelle [7].

2.7.2. Les réseaux de distribution :

Le réseau de distribution constitue le dernier maillon de la chaîne électrique. Il a pour rôle d'acheminer l'énergie depuis le réseau HTA (moyenne tension) jusqu'aux points de consommation à faible puissance situés dans le domaine public, tout en assurant également l'accès aux abonnés en haute tension (HTB ou HT), comme illustré dans la figure 2.11.



Figure 2.11 : Etage HTA 30kv :différents types de cellule d'un poste électrique

Deux types de réseaux sont à distinguer :

- **Réseaux de distribution HTA** : alimentent les points de moyenne consommation depuis les réseaux de répartition.

- **Réseaux de distribution BT** : desservent directement les usagers finaux. Ces réseaux desservent un très grand nombre de consommateurs, essentiellement dans le secteur domestique. Ils sont, dans de nombreux cas, encore exploités manuellement.

2.7.3. Composants du réseau de distribution

La distribution d'électricité repose sur un ensemble d'ouvrages assurant le transfert de l'énergie depuis les postes sources HT/MT (par exemple, 60 kV à 22 kV) jusqu'aux postes de livraison HTA/BT. Voici les principaux types de postes rencontrés dans ce réseau [10].

2.7.3.1. Le Poste HTB/HTA (Poste Source)

Ce poste fait la liaison entre le réseau de transport (HTB, ~100 kV) et le réseau de distribution (HTA, ~10 kV). Il constitue un élément fondamental de toute infrastructure électrique nationale. son rôle est :

- La Transformation de la très haute tension (THT) en HTA .
- La Répartition de l'énergie vers plusieurs lignes de distribution appelées départs.

La tension est abaissée par un ou plusieurs transformateurs intégrés dans le poste. La Société de Distribution de l'Électricité et du Gaz du Centre (SDC) gère la partie HTA de près d'une dizaine de postes HTB/HTA, tous télécommandés depuis un centre de conduite [8].

2.7.3.2. Le Poste HTA/HTA

Ce type de poste assure deux fonctions principales :

- Démultiplication des départs MT en aval des postes HTB/HTA (sans transformateur) : généralement constitué de 2 arrivées HTA et de 8 à 12 départs HTA ;
- Passage entre deux niveaux HTA (avec transformateurs) : utilisé dans les réseaux qui emploient plusieurs niveaux de tension moyenne.

La SDC exploite plus de 8 postes HTA/HTA, également télécommandés depuis un centre de conduite.

2.7.3.3. Le Poste HTA/BT (Poste de Distribution)

Ce poste est situé à proximité des usagers. Il remplit deux rôles :

- Multiplication des départs MT en aval d'un poste HTB/HTA (sans transformateur),
- Abaissement de la tension vers des niveaux utilisables en basse tension (BT).

Caractéristiques techniques du poste HTA/BT :

- Tensions d'entrée : 10 kV ou 30 kV (notamment à Blida),
- Tension de sortie : 230/400 V,
- Puissance : de 100 à 630 kVA,
- Alimentation possible : souterraine (coupure d'artère) ou aérienne (dérivation),
- Éléments internes :
 - Cellule de protection générale (disjoncteur HTA),
 - Cellule de comptage de l'énergie,
 - Protection des transformateurs par fusibles HTA,
 - Tableau Général Basse Tension (TGBT) [6].

Ce type de poste ne fait pas partie de notre cas d'étude .

2.7.3.4. Sources de Disjonctore HTA – Cellules préfabriquées :

Les postes HTA/MT équipés de cellules préfabriquées sont des unités modulaires utilisées dans les réseaux électriques pour assurer la distribution et la gestion de l'énergie. Chaque cellule joue un rôle spécifique et contribue au bon fonctionnement de l'ensemble:

- **Cellule d'arrivée :** Cette cellule est responsable de la réception de l'énergie électrique depuis une source externe, telle qu'une ligne de transmission ou un transformateur principal (Figure 2.12.a).
- **Cellule départ :** Distribue l'énergie électrique vers différentes lignes de distribution ou vers des équipements spécifiques(Figure 2.12.b).
- **Cellule couplage :** Permet de coupler deux barres omnibus (ou busbars) pour assurer une flexibilité et une redondance dans le système de distribution (Figure 2.12.c).
- **Cellule mesure :** Effectue la mesure et la surveillance des paramètres électriques (tension, courant, puissance, etc.)[6].



Figure 2.12.a : Cellule d'arrivée



Figure 2.12.b: Cellule départ



Figure 2.12.c :Cellule couplage

2.7.3.5. Les déferont modelés de cellule HTA 30kv (départ) :



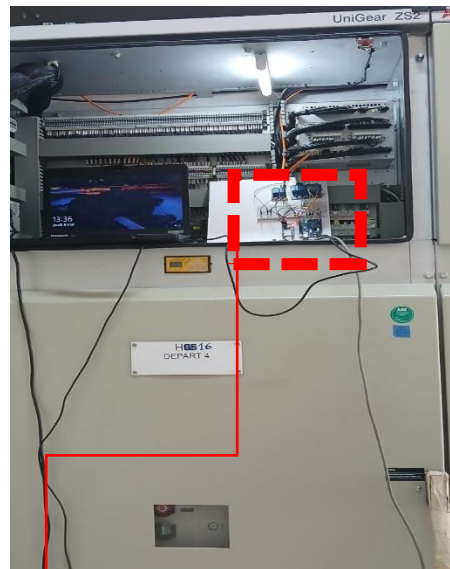
Cellule ABB



Cellule ALSTHOM 30kv



Cellule SCHNEIDER 30kv



Dans notre projet réalisé à Meftah, nous avons trouvé une cellule ABB intégrée dans la station

Notre projet

2.8. Elements physiques du poste HTA :

Le poste HTA se compose d'un ensemble de salles techniques interconnectées, où chaque salle joue un rôle spécifique et complémentaire dans le fonctionnement global de l'installation. Ces salles assurent la transformation, la protection, la commande et la distribution de l'énergie électrique. Ensemble, elles forment un système cohérent et structuré garantissant la sécurité, la fiabilité et la continuité de l'alimentation.

La figure 2.13 représente l'architecture fonctionnelle d'un poste électrique, mettant en évidence les différentes salles techniques et leur rôle dans la chaîne de distribution et de gestion de l'énergie électrique, depuis Disjonctore HTA jusqu'aux équipements de protection, de commande, et de secours.

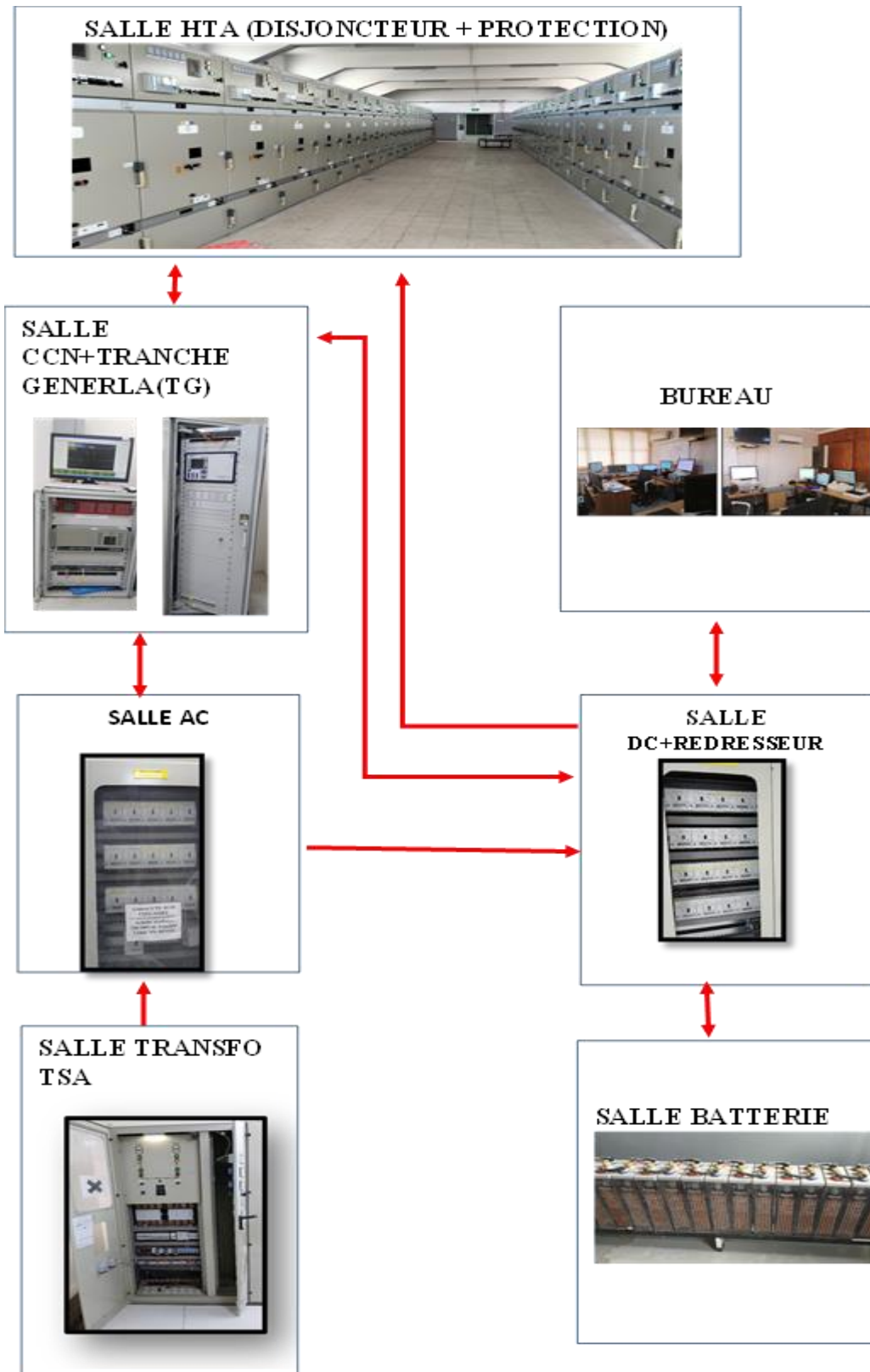


Figure 2.13 :Architecture fonctionnelle d'un poste électrique

2.8.1.Salle transformateur :

L'alimentation est assurée en triphasé 380/220 V par un ou deux transformateurs MT/BT appelés transformateurs des services auxiliaires TSA. (Un seul transformateur fonctionne, l'autre est en arrêt, lorsqu'un défaut arrive, ce dernier prend la relève à l'aide de la permutation automatique).

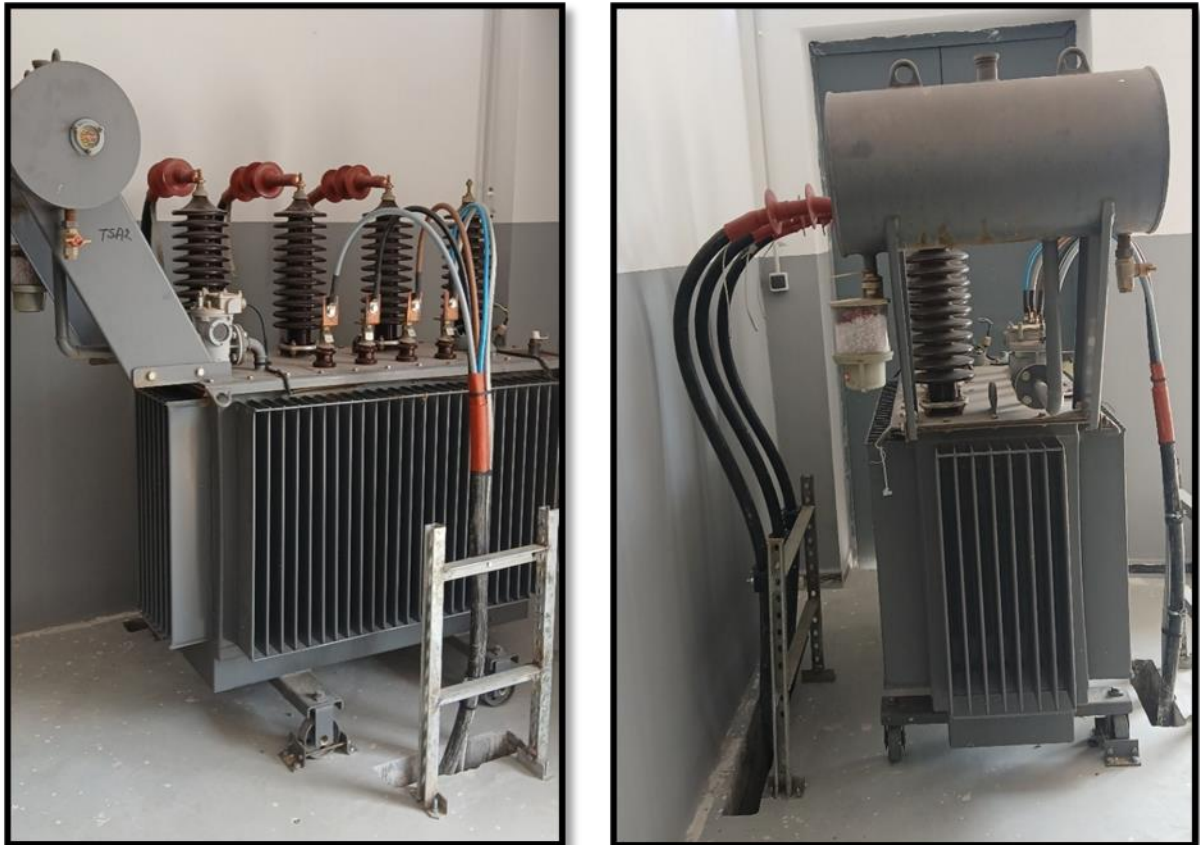


Figure 2.14: Salle transformateur

2.8.2. Salle auxiliaire AC :

Lorsque l'installation comporte deux transformateurs des services auxiliaires, un dispositif automatique assure, lors d'un manque de tension sur un transformateur, la permutation de l'alimentation sur le second. Ce dispositif doit comporter un verrouillage électrique et mécanique afin d'interdire une mise en parallèle des transformateurs de services auxiliaires qui doivent avoir une puissance suffisante pour alimenter l'ensemble des auxiliaires [10].



Figure 2.15:Salle auxiliaire AC.

2.8.3 Salle Transformateurs de Source Auxiliaire (TSA):

Les services auxiliaires alternatifs sont alimentés directement par la HTA via des transformateurs HTA/BT, appelés transformateurs de Source Auxiliaire (TSA). Les alimentations alternatives sont utilisées pour l'alimentation des redresseurs, l'éclairage des travées, le chauffage des équipements électriques (dans le cas d'une augmentation de l'humidité), la ventilation des armoires de protection , et la climatisation du poste .

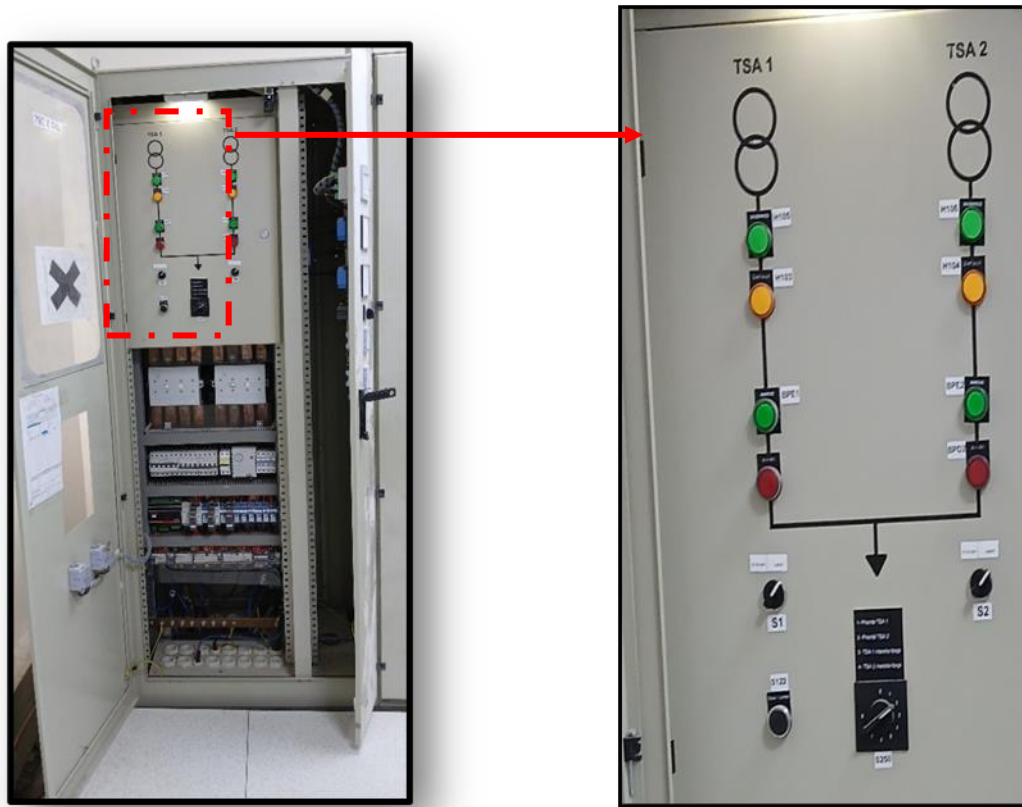


Figure 2.16: Salle Transformateurs de Source Auxiliaire (TSA).

2.8.4 Salle redresseur :

- Les alimentations en courant continu sont assurées par des ensembles constituées d'une batterie d'accumulateurs et d'un redresseur.
- Les installations principales de commande et de contrôle sont alimentées sous la tension 127 V ou 48 V [10].
- Protections.



Figure 2.17: Salle redresseur

2.8.5. Salle Batteries:

Le poste contient des batteries de 48V pour assurer l'alimentation dans le cas de manque de courant alternatif secours, les 2 circuits seront alimentés à partir des batteries directement.



Figure 2.18: Batteries stationnaires de type Classic OPzS LA (48V)

Des batteries industrielles stationnaires de type Classic OPzS LA sont utilisées dans le poste. Il s'agit de batteries plomb-acide avec un électrolyte liquide (acide sulfurique). Ces batteries appartiennent à la gamme OPzS, reconnue pour ses plaques tubulaires internes qui garantissent une longue durée de vie et une excellente performance, notamment en cas de décharges profondes. Elles sont utilisées dans les systèmes en courant continu pour assurer l'alimentation de secours en cas de coupure du courant alternatif, garantissant ainsi le fonctionnement continu des équipements de protection, des systèmes de commande, du RTU et du système SCADA. Ces batteries constituent un élément essentiel dans les postes de transformation électrique à moyenne et basse tension (HTA/BT) et sont maintenues en état de fonctionnement permanent grâce à des redresseurs fixes.

2.8.6 Salle CCN :

Le système de contrôle-commande numérique (CCN) joue un rôle essentiel dans la gestion et l'exploitation du poste. Il permet de commander les différents équipements depuis la salle de contrôle, de visualiser les états de fonctionnement des installations électriques, de superviser l'état des relais de protection, ainsi que d'afficher les valeurs mesurées de chaque travée. Ce système contribue ainsi à une meilleure supervision et à une intervention rapide en cas de besoin.



L'armoire CCN englobe la tranche générale, les switches, RTU, l'IHM, les convertisseur fibre optique de communications pour superviser tous les équipements du poste MT.

**Armoire
CCN**

Figure 2.19:Salle CCN

2.8.7 tranche generale :

La tranche générale assure des fonctions de sécurité, des fonctions qui facilitent l'exploitation du poste et de la surveillance de l'alimentation électrique continue du poste (signaux, alarmes, modes de fonctionnement du poste, appels téléphoniques, éclairage, gestion du personnel de terrain, etc.)

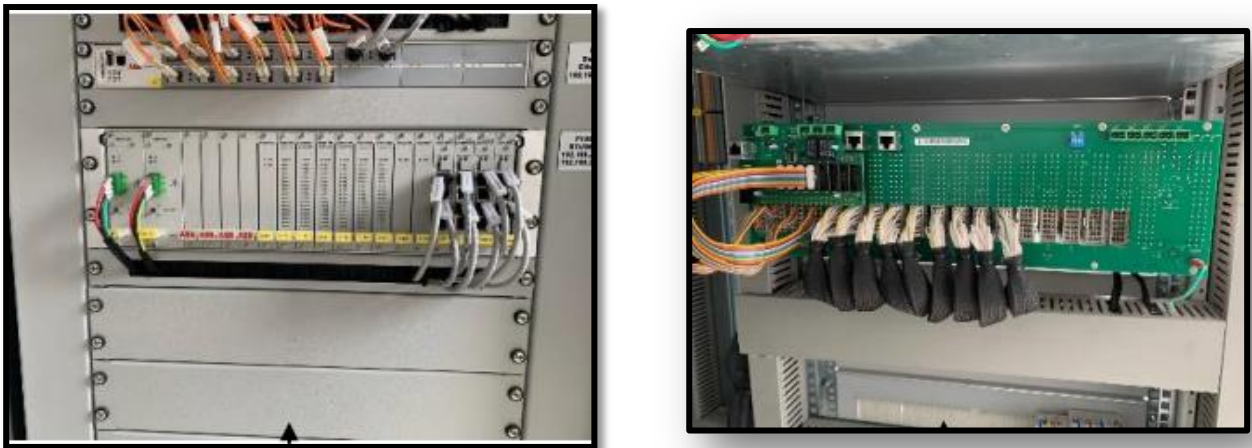


Figure 2.20: La tranche generale.

2.9.Conclusion :

À la fin de ce chapitre, nous avons étudié le système de téléconduite (SCADA) en présentant une analyse détaillée de ses composants et de ses fonctionnalités, en le considérant comme un outil central permettant la supervision et le contrôle efficaces des installations électriques à distance, même lorsqu'elles sont situées à des milliers de kilomètres du centre de commande.

Nous avons également abordé les différents types de postes électriques, en précisant leur architecture et leur rôle fondamental dans le raccordement du réseau électrique, ainsi que dans la distribution et la transformation de l'énergie d'une haute tension vers une basse tension, garantissant ainsi la continuité et l'efficacité du service électrique

Chapitre 3 :

Développement et Réalisation d'un système contrôle et commande d'un disjoncteur HTA

3.1. Introduction :

Dans cette étape clé de notre projet, nous allons concevoir un système de commande et de contrôle à distance pour un poste HTA. L'objectif est de résoudre le problème des postes non équipés de télécommande, comme c'est le cas du poste de Meftah. Pour cela, nous allons développer une commande et contrôle, capable de piloter les équipements du poste à distance (Disjoncteur HTA). Le système sera basé sur une carte Arduino, un module Ethernet pour la communication réseau, et un programme écrit en Python, développé dans Visual Studio Code.

3.2. Objectif :

L'objectif principal de ce projet est de concevoir et de réaliser un système de commande et de contrôle à distance pour un poste de distribution moyenne tension (HTA) dépourvu de dispositif de télécommande, tel que le poste de Meftah. Ce système vise à automatiser le pilotage des équipements électriques, notamment le disjoncteur HTA, tout en assurant une surveillance en temps réel de l'état du poste.

Dans le contexte actuel, de nombreux postes électriques sont encore exploités manuellement, ce qui engendre des délais d'intervention prolongés, des risques pour la sécurité du personnel, ainsi qu'un manque d'efficacité dans la gestion du réseau électrique. En mettant en place une solution de télécommande, le projet répond au besoin de modernisation des infrastructures électriques en améliorant la réactivité, la fiabilité et la sécurité de l'exploitation.

Ce projet contribuera ainsi à la numérisation des postes HTA, tout en constituant une base pour des systèmes SCADA évolutifs, adaptés aux besoins croissants en automatisation du secteur énergétique.

3.3. Structure du système réalisé :

Le système développé intègre plusieurs composants interconnectés afin d'assurer la surveillance et le pilotage des postes HTA. Installé sur un PC portable, il permet la commande et le contrôle à distance des postes via une carte Arduino, connectée au réseau à l'aide d'un module Ethernet. Cette carte assure la gestion des signaux de commande.

La connexion entre le PC et les équipements du poste s'effectue par fibre optique, à travers une unité RTU. Cette liaison garantit une communication stable, rapide et sécurisée, essentielle au bon fonctionnement du système de télécommande (figure 3.1).

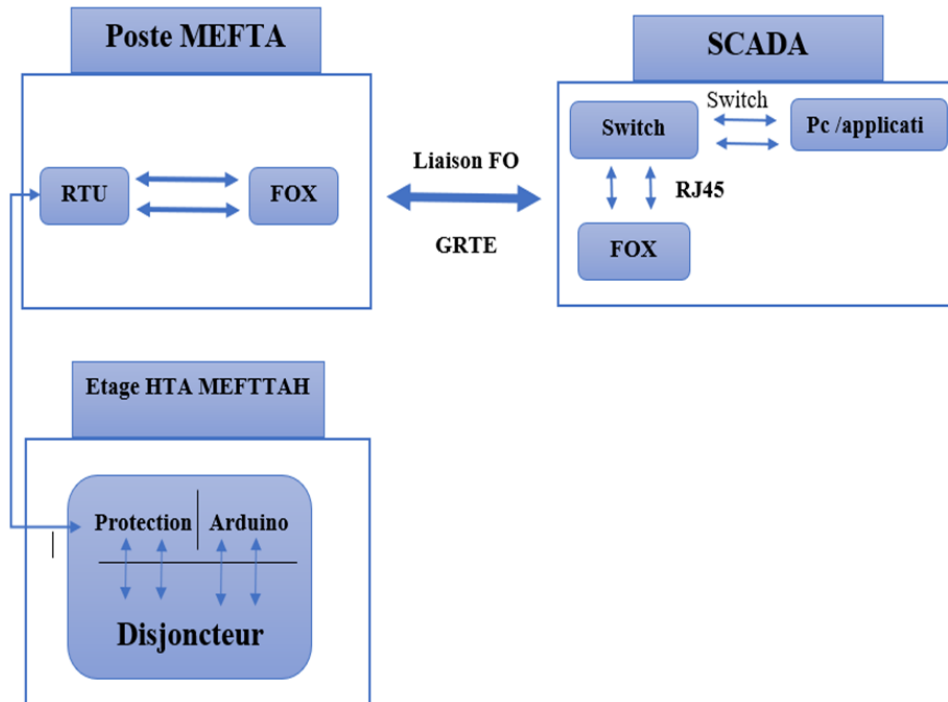


Figure 3.1 : schéma du "Système de Contrôle et de Commande – Poste MEFTA & Etage HTMEFTTAH"

3.4. Description du Système :

Le système réalisé est composé de trois éléments principaux interconnectés :

- le matériel,
- Les logiciels
- le réseau de communication (figure 3.2).

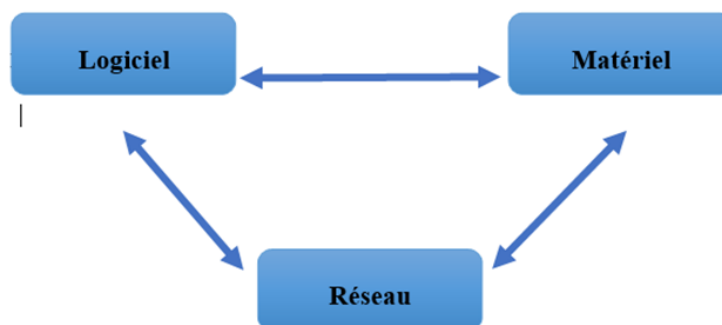


Figure 3.2 : interconnexions des éléments du système contrôle et commande

Chaque composant joue un rôle essentiel pour assurer une surveillance et un contrôle efficaces des postes électriques invisibles.

3.4.1. Description du Matériel du système contrôle et commande :

Le système constitué d'un pc portable ; d'un Arduino, une carte Ethernet, bloque de relais 5VDC, FOX 515 ABB pour assurer la communication OPTIQUE entre SCADA et le poste HTA et dans le poste Hun RTU 500 ABB et un disjoncter HTA . (figure 3.3)

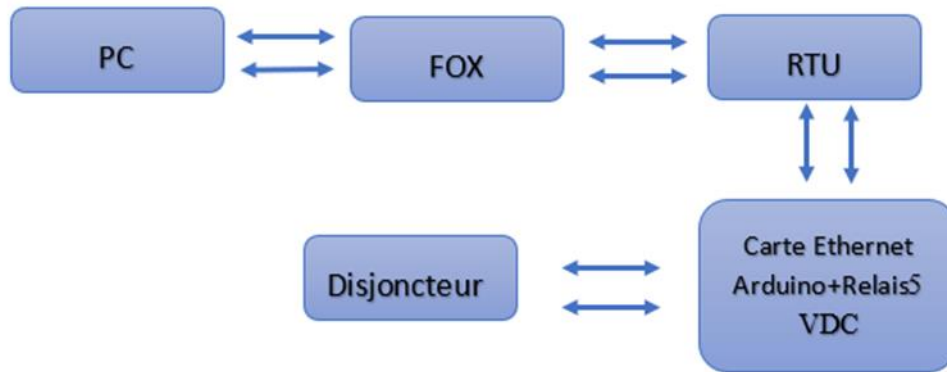


Figure 3.3 :Schema de l'interconnexion materiel entre les composants du système de commande HTA

3.4.1.1. Pc portable :

Le PC portable est utilisé pour exécuter le programme de commande et de contrôle, spécialement conçu pour ce projet (voir figure 3.4). Il constitue l'interface principale de supervision et permet d'interagir avec les équipements du poste à distance. (Figure 3.4).

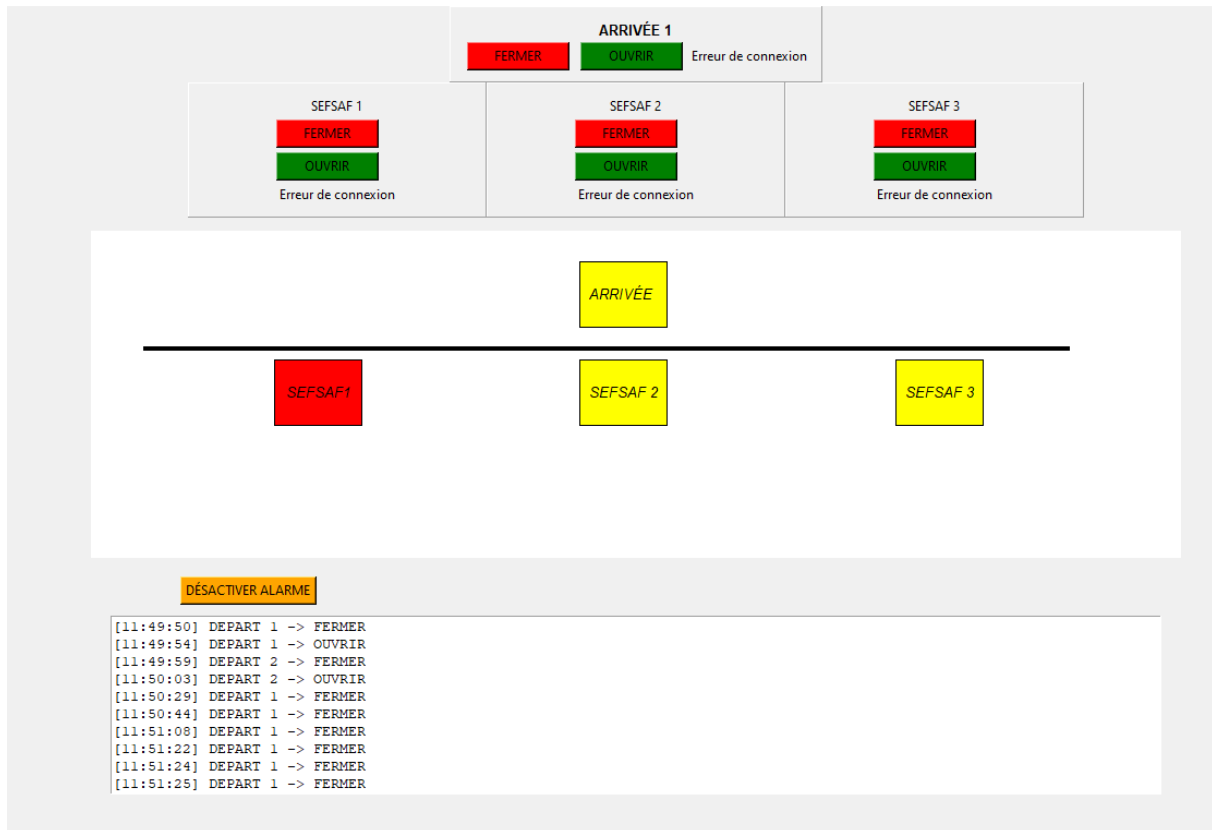


Figure 3.4 : interface du système commande et contrôle

3.4.1.2. FOX515 ABB :

Le système FOX est une plateforme modulaire composée de multiplexeurs et d'équipements de communication, conçue pour assurer la transmission fiable de données, de voix et de signaux de protection au sein des infrastructures électriques, en permettant la convergence des réseaux traditionnels (TDM) et modernes (Ethernet/IP). Utilisée pour connecter et superviser les postes électriques, les centrales et autres équipements critiques, cette solution est spécialement adaptée aux environnements industriels exigeant robustesse, sécurité et haute disponibilité. Ainsi, FOX ne désigne pas un seul produit, mais une gamme complète d'équipements intégrés pour la communication dans les réseaux électriques. (Figure 3.5).

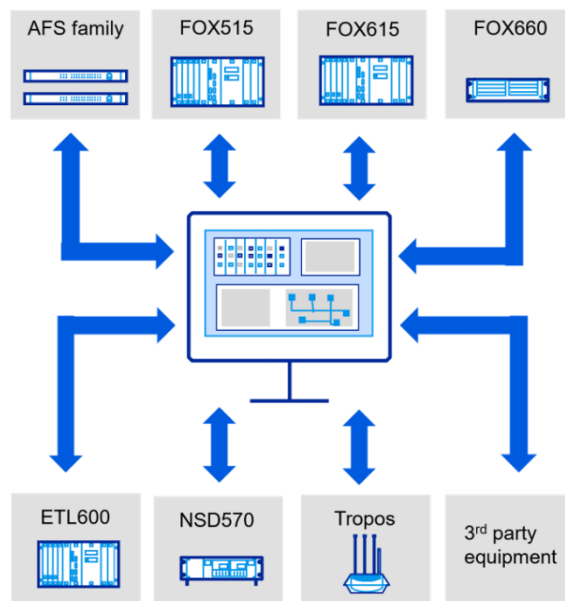


Figure 3.5: FOX515 ABB

3.4.1.3. RTU560 d'ABB (Remote Terminal Unit) :

Dans notre projet, nous avons constaté que l'unité RTU560 d'ABB était déjà installée dans le poste HTA, utilisée pour connecter les équipements de terrain au système SCADA afin d'assurer une surveillance et un contrôle efficaces. Nous avons observé que cette unité permet une intégration fluide avec différents équipements grâce à son support de plusieurs protocoles, ainsi qu'à ses fonctionnalités avancées de cybersécurité et sa haute précision dans la synchronisation des événements. Sa présence dans la station reflète son adoption comme solution fiable pour les réseaux de distribution intelligents (Figure 3.6).

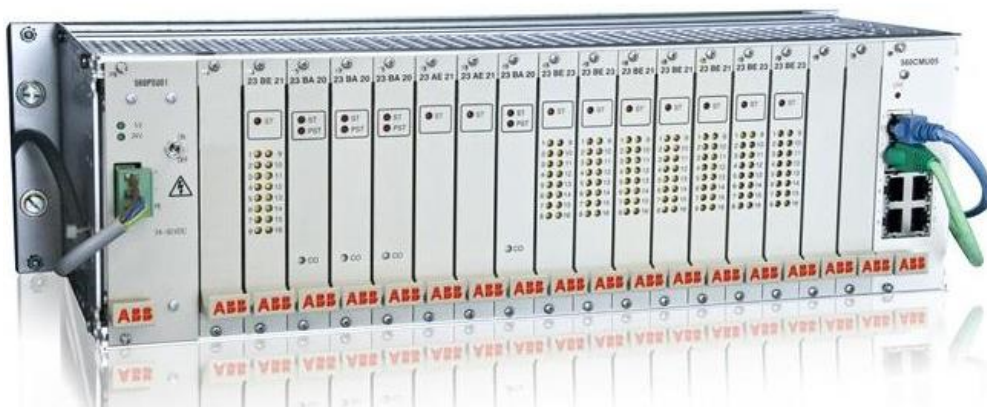


Figure 3.6 : La RTU560 d'ABB

La RTU560 d'ABB est une solution complète grâce à son design modulaire flexible, prenant en charge jusqu'à 16 unités centrales de traitement (CMUs), ce qui lui permet de gérer de grandes quantités de données. Elle est compatible avec de nombreux protocoles tels que IEC 60870-5-101/104, Modbus, DNP3 et IEC 61850, facilitant ainsi son intégration dans les systèmes SCADA. Elle offre également une haute précision de synchronisation temporelle allant jusqu'à 1 milliseconde, avec prise en charge de GPS, DCF77 ou SNTP, tout en intégrant des fonctions avancées de cybersécurité telles que l'authentification sécurisée, la surveillance des tentatives d'accès non autorisées et la protection des données sensibles. De plus, elle dispose d'une interface utilisateur HMI intégrée basée sur le web, facilitant la configuration et la supervision à distance (Figure 3.7).

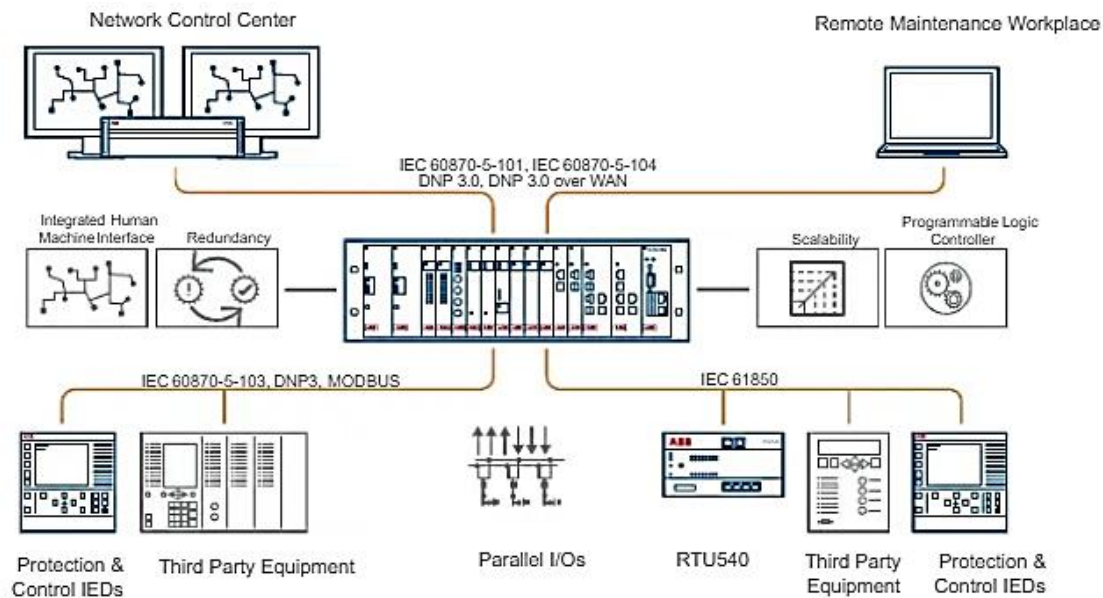


Figure 3.7 : Configuration typique d'un système de télécontrôle RTU560

3.4.1.4. Module Ethernet W5500 :

Dans le cadre de notre projet, nous avons utilisé la carte Ethernet W5500 comme solution efficace pour connecter le microcontrôleur Arduino au réseau, dans le but d'envoyer et de recevoir les commandes de contrôle ainsi que les états des disjoncteurs au sein du système SCADA. Cette carte est basée sur le circuit intégré W5500 de Wiznet, qui intègre les protocoles TCP/IP, ce qui allège la charge du microcontrôleur et assure une communication fiable via une interface SPI à haute vitesse, allant jusqu'à 80 MHz. (Figure 3.8).

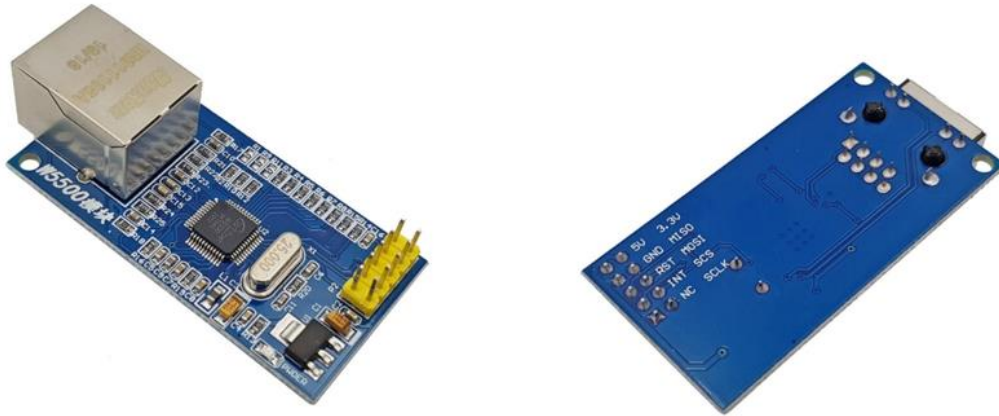


Figure 3.8 : Module Ethernet w5500

Le module prend en charge jusqu'à 8 connexions socket indépendantes, permettant au système de gérer plusieurs communications simultanément — une fonctionnalité essentielle dans les environnements industriels. Il offre également des fonctions avancées telles que le Wake On LAN, un mode d'économie d'énergie, ainsi qu'une mémoire interne de 32 Ko servant de tampon pour les données transmises et reçues. (Figure 3.9).

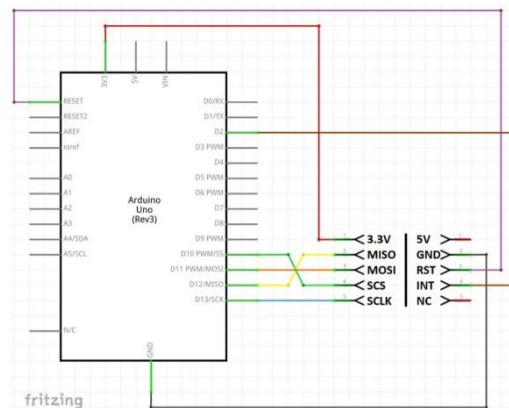


Figure 3.9 : Schema électrique du module Ethernet W5500.

Grâce à ces caractéristiques, la carte W5500 nous a permis d'assurer une transmission rapide et sécurisée des données, contribuant ainsi à renforcer la fiabilité de notre système de surveillance et de contrôle à distance.

3.4.1.5. Carte Arduino :

La carte Arduino Uno constitue l'élément central du système de commande dans notre projet. Elle agit comme une unité de traitement qui reçoit les instructions du système SCADA via la carte Ethernet W5500, puis les convertit en signaux numériques envoyés aux disjoncteurs pour assurer leur commande. (Figure 3.10).

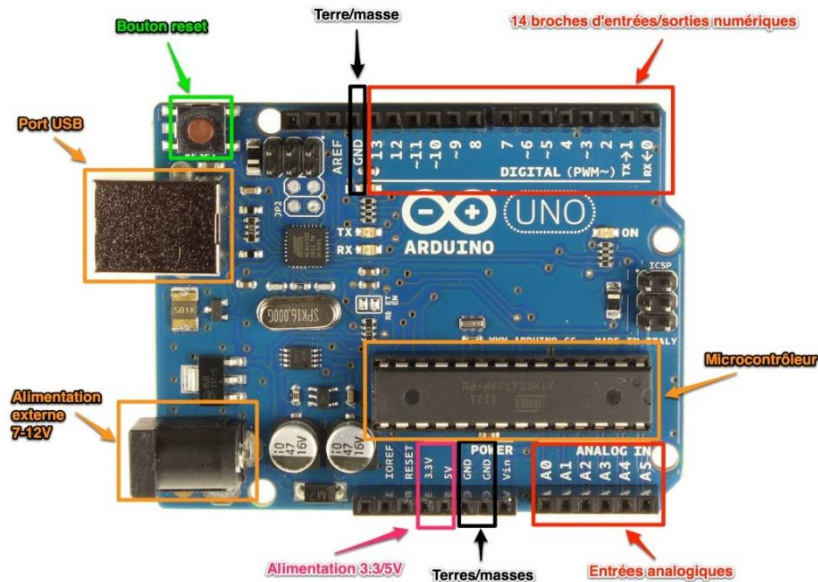


Figure 3.10: Schéma d'une platine Arduino Uno

L'Arduino Uno se distingue par sa simplicité de programmation et sa compatibilité avec de nombreux modules externes, ce qui en fait un choix idéal pour exécuter des tâches logiques et de contrôle. Sa rapidité de réponse et sa capacité à traiter les données avec précision ont permis d'assurer une interaction efficace et en temps réel avec les commandes provenant du système de supervision, renforçant ainsi la fiabilité globale du système.

3.4.1.6. Module 4 relais 5vdc :

Dans notre système de contrôle et commande d'un poste HTA, nous avons utilisé une carte relais 4 canaux pour piloter des disjoncteurs fonctionnant sous 48V DC. Cette carte assure l'interface entre l'Arduino (5V) et le circuit de puissance, grâce à une isolation optique qui protège les composants basse tension.

Chaque signal envoyé par l'Arduino permet d'activer ou de désactiver un relais, qui contrôle à son tour l'ouverture ou la fermeture du disjoncteur. La présence de quatre canaux facilite la gestion de plusieurs équipements à partir d'un seul microcontrôleur, assurant ainsi un contrôle fiable et centralisé. (Figure 3.11).

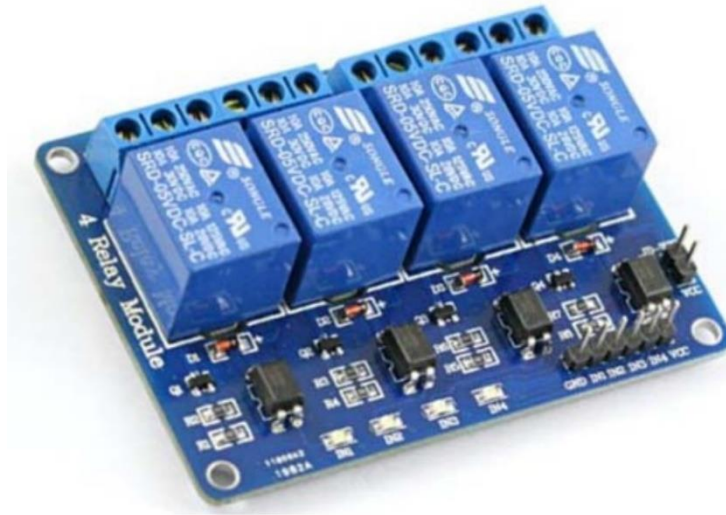


Figure 3.11 : Module 4 relais 5vdc

carte relais 4 canaux à niveau bas fonctionnant sous 5V, et chaque canal nécessite un courant de commande de 15 à 20 mA. Elle peut être utilisée pour contrôler divers appareils et équipements nécessitant un courant élevé. Elle est équipée de relais haute puissance pouvant fonctionner sous AC 250V 10A ou DC 30V 10A. Cette carte possède une interface standard qui permet un contrôle direct via un microcontrôleur. Le module est optiquement isolé du côté haute tension pour répondre aux exigences de sécurité et éviter les boucles de masse lors de l'interfaçage avec un microcontrôleur.[1] (Figure 3.12).

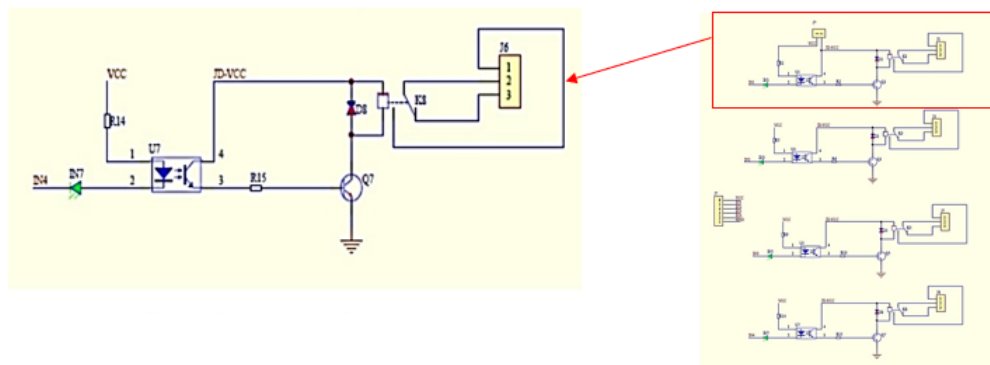


Figure 3.12 : schema de la carte relais a canaux

VCC et RY-VCC sont également les sources d'alimentation du module relais. Lorsque vous devez piloter une charge de forte puissance, vous pouvez retirer le cavalier (jumper) et

connecter une alimentation externe à RY-VCC pour alimenter les relais ; connectez ensuite VCC à la broche 5V de la carte microcontrôleur (MCU) pour fournir les signaux d'entrée.[1]

3.4.1.7. Disjoncteur :

Les disjoncteurs des postes de distribution sont actionnés par l'envoi d'une impulsion électrique vers les bobines d'ouverture ou de fermeture. Les dispositifs de protection déclenchent automatiquement ces impulsions en cas de détection d'un défaut ou d'un dépassement des seuils électriques, assurant ainsi la coupure du courant pour protéger les équipements. Dans le cadre de notre projet, un système de commande à distance a été développé à l'aide d'une carte Arduino, permettant l'envoi d'ordres de manœuvre au disjoncteur. Pour adapter la tension de sortie de l'Arduino (5V) à celle nécessaire au fonctionnement des bobines du disjoncteur (48V), nous utilisons des relais. L'Arduino active la bobine du relais en 5V, fermant ainsi le contact interne pour permettre le passage de la tension 48V vers la bobine du disjoncteur

Ce système représente une solution efficace et sécurisée pour la commande à distance des disjoncteurs, que ce soit par la protection automatique ou via des ordres manuels depuis l'interface de contrôle et de commande. (Figure 3.13).

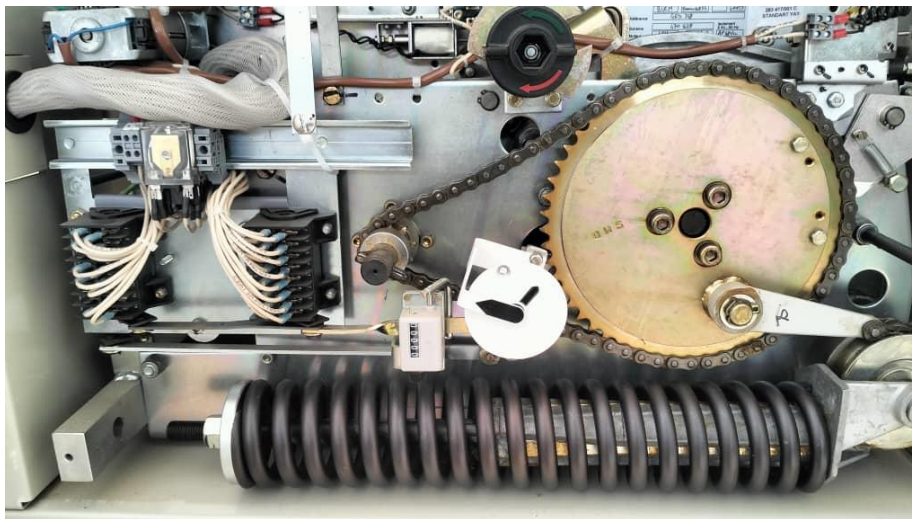
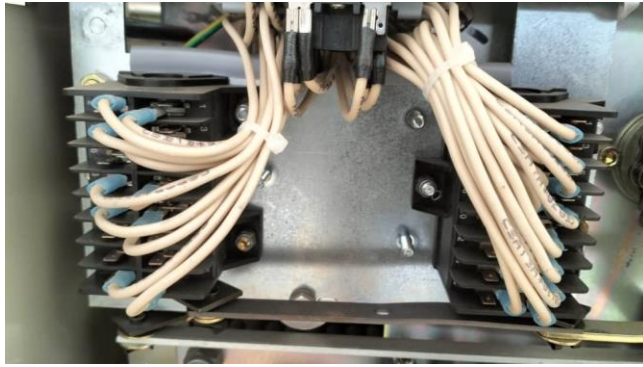
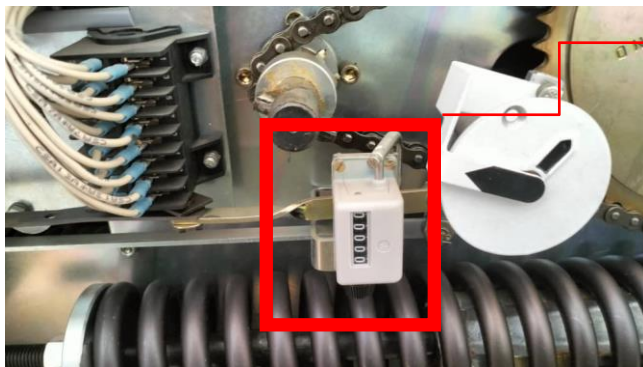


Figure 3.13 : mécanisme d'un disjoncteur HTA

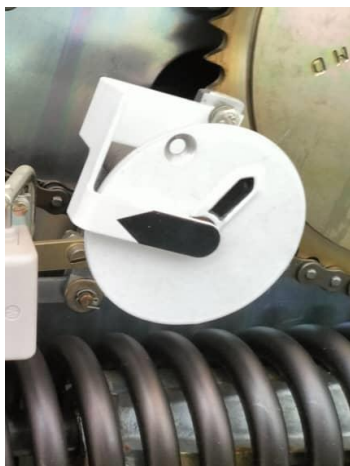
Le mécanisme interne d'un disjoncteur HTA (Haute Tension A), c'est-à-dire destiné à la moyenne tension. On peut remarquer les composants mécaniques qui permettent le fonctionnement d'ouverture ou de fermeture du disjoncteur (figure 3.14). Voici une description des principaux éléments visibles :



Fin de cours de position : Transmet les signaux électriques entre le disjoncteur et l'unité de commande.

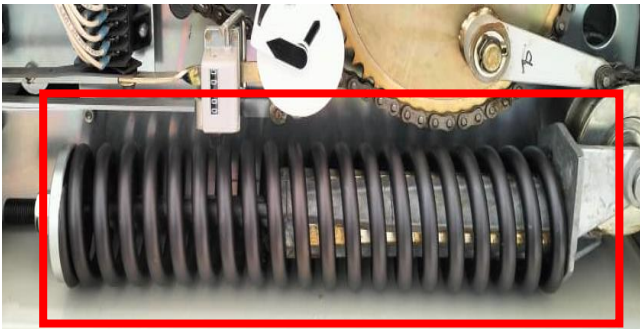
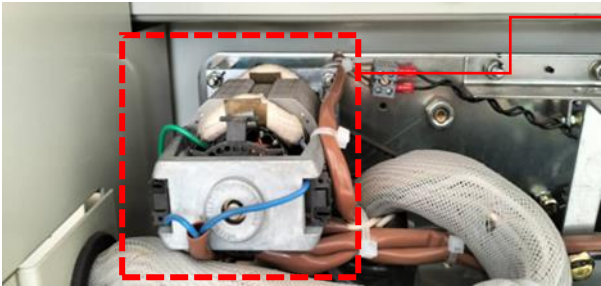


Compteur : Surveillent le nombre de manœuvre de disjoncteur et envoient (OUVERTYRE / FERMÉTURE).



Came et disque blanc rotatif :

Permet de déterminer précisément la position du disjoncteur (ouvert/fermé).

	Ressort : Stocke l'énergie mécanique nécessaire pour ouvrir ou fermer le disjoncteur rapidement.
	Moteur de réarmement de disjoncteur : Fournit l'énergie mécanique pour charger le ressort et actionner les engrenages.
	Roues dentées et chaîne : Transmet le mouvement du moteur aux autres composants.

La figure 3.14 illustre le montage et le câblage du circuit de commande. À cette étape, la carte Arduino a été connectée à un bloc de relais 5VDC afin d'assurer la commande des équipements HTA. Chaque relais joue le rôle d'un interrupteur électronique, permettant de piloter les circuits de puissance de manière sécurisée.

Les relais ont été correctement alimentés et reliés aux bornes de commande des disjoncteurs HTA. Par ailleurs, le module Ethernet W5500 a été intégré à la carte Arduino pour permettre la communication réseau avec l'interface de supervision. Cette configuration assure une interaction fiable entre le système de commande local et l'interface distante.

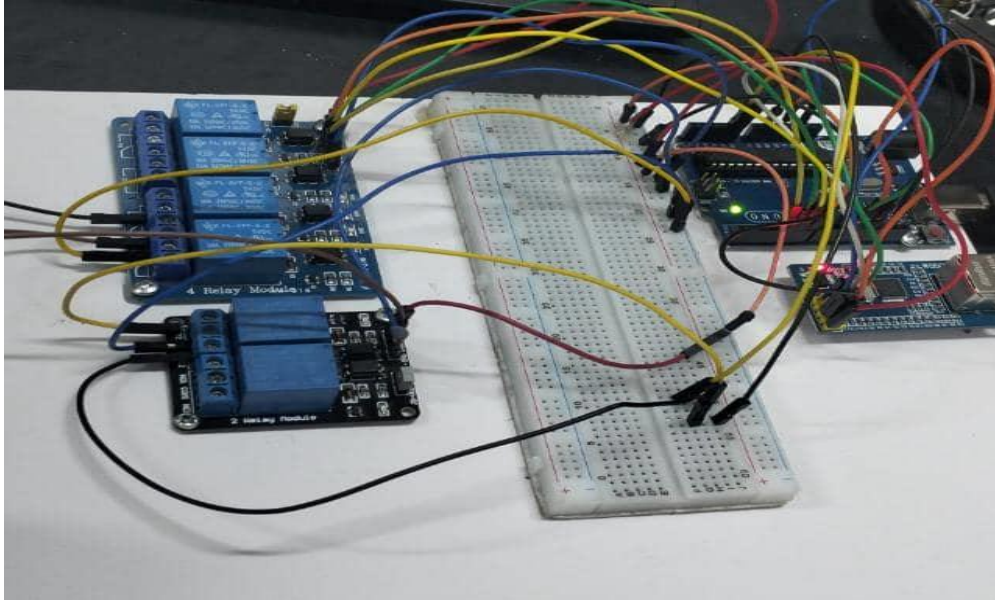


Figure 3.14 : montage et caplage du circuite commande

3.4.2. Logiciel :

Dans cette partie, les programmes qui contrôlent le système et assurent leur interconnexion sont développés, garantissant ainsi l'exécution des commandes de contrôle et la surveillance en temps réel. Cela inclut la programmation de la carte Arduino pour recevoir et exécuter les commandes, ainsi que le développement de l'interface graphique utilisateur pour le contrôle et le suivi, en utilisant le langage Python. La communication entre l'ordinateur et la carte Arduino est également testée afin d'assurer un fonctionnement efficace et fiable du système

3.4.2.1. Développement du programme Arduino :

La carte Arduino UNO constitue l'élément central du système de commande. Elle est programmée pour gérer les signaux numériques et actionner les relais connectés aux disjoncteurs. Le programme, développé en langage C/C++, permet d'exécuter les commandes d'ouverture et de fermeture avec précision et rapidité, assurant ainsi un contrôle direct et sécurisé des équipements électriques. Cette logique garantit une réponse instantanée aux instructions envoyées depuis l'interface de supervision, tout en maintenant la stabilité et l'efficacité du système, le code Arduino correspondant est en annexe1.

3.4.2.2. Création de l'interface du système de contrôle et de commande en utilisant Python (Tkinter)

Le langage Python est reconnu pour sa puissance et sa flexibilité, ce qui en fait un excellent choix pour le développement d'applications de bureau avec interfaces graphiques, particulièrement adaptées aux systèmes de contrôle et de commande des postes HTA. (Figure



3.15).

Figure 3.15 : Python

Dans ce système, Python est utilisé pour concevoir une interface utilisateur graphique (figure 3.16) à l'aide de la bibliothèque Tkinter, qui fournit des outils complets pour créer des fenêtres interactives incluant des boutons, des indicateurs d'état et des messages d'information. Cette interface permet à l'opérateur d'envoyer facilement des commandes d'ouverture ou de fermeture des disjoncteurs.

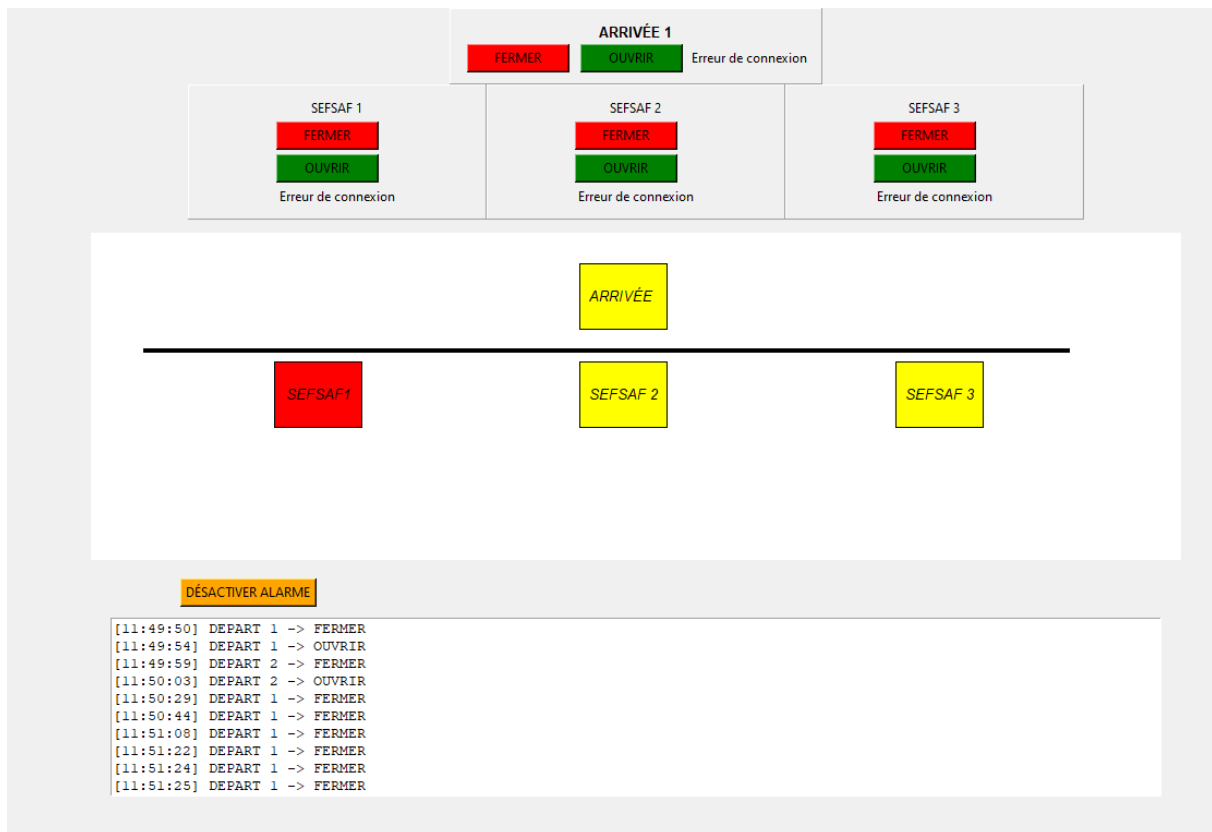


Figure 3.16 : Interface de Système contrôle et commande HTA réalisée avec Tkinter

Description de l'interface graphique (Tkinter GUI) – POSTE HTA MEFTAH

a) Objectif de l'interface :

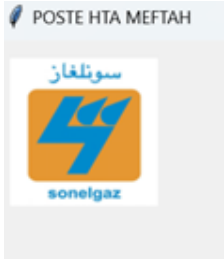
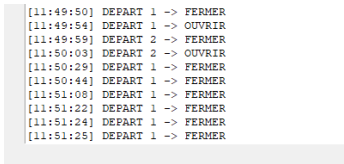
Commander manuellement les disjoncteurs des lignes (arrivée et départs).

Surveiller l'état de chaque disjoncteur (ouvert/fermé).

Enregistrer les événements dans un journal horodaté (historique).

Déclencher une alarme sonore en cas d'ouverture non programmée

b) Composants de l'interface :

 Logo de l'entreprise	 ARRIVÉE = Source d'alimentation électrique.
 Bouton orange intitulé : DÉSACTIVER ALARME Affiché uniquement en cas de déclenchement. Permet de couper le signal sonore.	 Boutons de commande des disjoncteurs : Pour chaque ligne (arrivée ou départ), on retrouve : FERMER : pour fermer le disjoncteur. OUVRIR : pour ouvrir le disjoncteur. Une étiquette affichant l'état actuel du disjoncteur.
 DÉPARTS = Lignes de sortie (SEFSAF 1, 2, 3).	 <pre>[11:49:50] DEPART 1 -> FERMER [11:49:54] DEPART 1 -> OUVRIR [11:49:59] DEPART 2 -> FERMER [11:50:03] DEPART 2 -> OUVRIR [11:50:29] DEPART 1 -> FERMER [11:50:44] DEPART 1 -> FERMER [11:51:08] DEPART 1 -> FERMER [11:51:22] DEPART 1 -> FERMER [11:51:24] DEPART 1 -> FERMER [11:51:25] DEPART 1 -> FERMER</pre> Zone d'historique : Une zone de texte affichant toutes les actions et alertes avec l'heure.

L'interface de contrôle a été conçue à l'aide de la bibliothèque Tkinter en Python dans le but de superviser et de commander à distance un poste de distribution électrique de type HTA. Cette interface permet l'ouverture et la fermeture manuelle des disjoncteurs via des boutons dédiés pour chaque ligne (arrivée et départs), tout en affichant en temps réel l'état de chaque disjoncteur (ouvert / fermé). Une mise à jour automatique s'effectue toutes les 5 secondes grâce à une communication avec la carte Arduino via le protocole HTTP. En cas d'ouverture non commandée d'un départ, une alarme sonore et un message d'alerte s'affichent automatiquement à l'écran, avec la possibilité de désactiver manuellement l'alarme. Toutes les actions et alertes sont enregistrées dans un historique situé en bas de l'interface, permettant une traçabilité précise des opérations. L'interface comprend également un schéma visuel simple représentant les positions des disjoncteurs à l'aide de couleurs indiquant leur état, offrant ainsi une expérience de surveillance intuitive et réaliste. le code Python correspondant est donné en annexe 2 .

3.4.3. Réseau de communication :

La communication réseau joue un rôle central dans le bon fonctionnement d'un système de contrôle et de commande à distance. Elle permet la transmission fiable des ordres entre l'unité de supervision (poste opérateur) et les équipements de terrain. Dans le contexte d'un poste HTA, l'intégration d'un réseau Ethernet local combiné à une liaison fibre optique via une RTU (Remote Terminal Unit) garantit une communication rapide, sécurisée et en temps réel. Cette architecture réseau assure l'envoi des commandes vers les disjoncteurs et la réception des états de fonctionnement, tout en facilitant la supervision à distance.

3.4.3.1. Configuration du réseau Ethernet :

Pour assurer un fonctionnement stable et fiable du système de contrôle et commande, la configuration du réseau Ethernet commence par l'attribution d'une adresse IP fixe à la carte Arduino. Cette adresse fixe permet à l'Arduino d'être reconnu et stable au sein du réseau local, facilitant ainsi la communication avec les autres dispositifs ou applications de contrôle sans nécessiter une redétection ou une modification constante des paramètres réseau. (Figure 3.17).

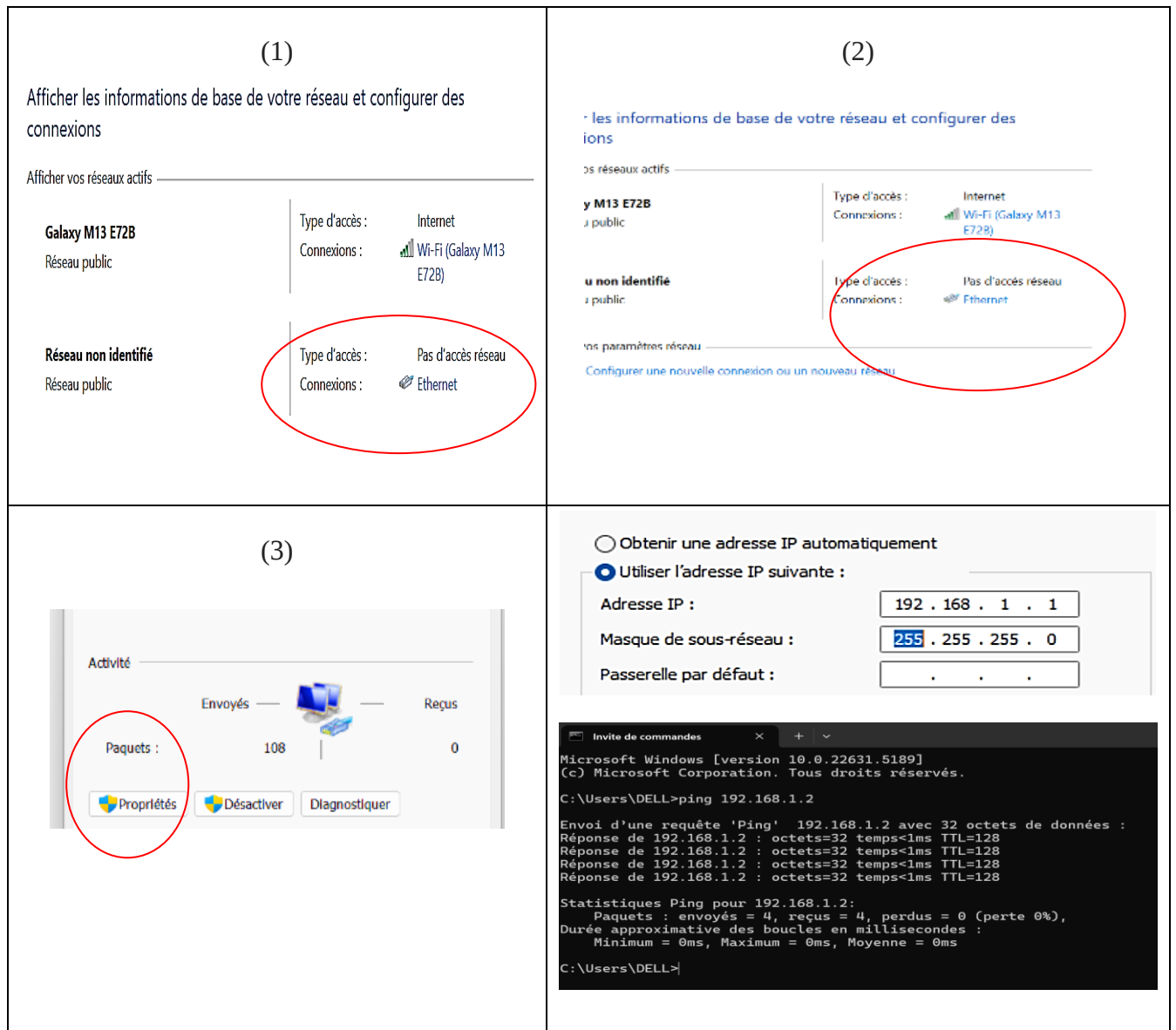


Figure 3.17 : l'étape de Configuration du réseau Ethernet

Ensuite, le protocole TCP/IP est activé. Ce protocole de communication fiable garantit le transfert précis et efficace des commandes et des données entre l'Arduino et le système de contrôle. Le protocole TCP segmente les données en paquets, assure leur transmission correcte et confirme leur réception, offrant ainsi une connexion stable et une interaction en temps réel avec le système.

3.5. Étapes de réalisation :

La mise en œuvre du système de commande et de contrôle à distance a suivi plusieurs étapes structurées, allant de la phase de conception jusqu'à l'installation sur le terrain. Voici les principales étapes réalisées figure (3.18) :

- **Étude préalable et conception du système** : analyse des besoins du poste HTA de Meftah, choix des composants (Arduino, FOX, RTU560, etc.) et élaboration de l'architecture du système.
- **Montage et tests en laboratoire** : assemblage du circuit de commande sur table, programmation de l'Arduino, conception de l'interface Python et validation du fonctionnement local (manœuvre des relais, communication réseau, etc.).
- **Préparation du site** : vérification de l'infrastructure existante, configuration des équipements de communication (FOX, RTU) et intégration du système développé.
- **Installation sur le terrain** : raccordement physique des composants (PC, module Ethernet, relais, disjoncteurs), alimentation du système et mise en place de la supervision.
- **Tests de validation sur site** : exécution des commandes à distance, observation des réponses des équipements et ajustements si nécessaire pour assurer la fiabilité du système en conditions réelles.

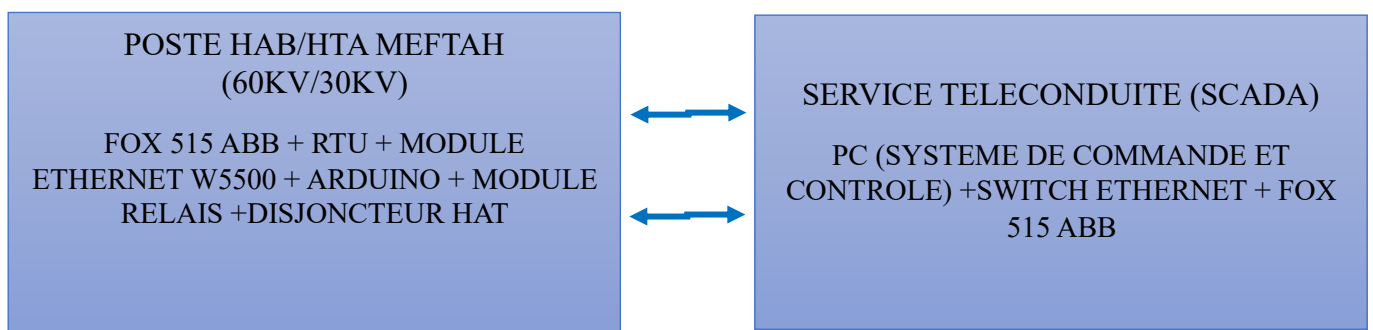


Figure 3.18 : STRUCTURE de réalisation

3.6. Résultats des tests et validation fonctionnelle :

Afin de valider la fiabilité et la performance du système de commande et de contrôle, plusieurs tests fonctionnels ont été réalisés dans différentes conditions :

- **Réactivité du système** : les relais ont réagi instantanément (moins de 1 seconde) après l'envoi des ordres via l'interface Python. La manœuvre des disjoncteurs a été confirmée par le retour d'état simulé.
- **Test de communication** : la connexion entre le PC et la carte Arduino via le module Ethernet W5500 a été stable durant des sessions prolongées. Aucun paquet de données n'a été perdu pendant la transmission TCP/IP.
- **Taux de réussite des commandes** : sur 50 cycles de test, 100 % des ordres ont été exécutés avec succès, ce qui confirme la fiabilité du système dans un environnement contrôlé.
- **Simulation de panne réseau** : la déconnexion volontaire du câble Ethernet a entraîné une perte de communication immédiate, prouvant la dépendance du système à la connectivité continue

Ces résultats démontrent que le système est apte à assurer une supervision de base et un contrôle fiable dans le cadre d'un poste HTA, tout en soulignant l'importance de la robustesse du réseau de communication dans les applications industrielles critiques.

3.7. Limites du système et perspectives d'amélioration :

Limites identifiées :

Malgré les résultats satisfaisants obtenus, le système présente certaines limites :

- **Dépendance au réseau** : toute perte de connexion interrompt la communication entre l'interface et les équipements.
- **Sécurité informatique limitée** : l'absence de chiffrement ou d'authentification expose le système à des risques en environnement non protégé.
- **Interface simplifiée** : l'IHM réalisée avec Tkinter est fonctionnelle mais reste basique en termes de supervision avancée.
- **Portée restreinte** : le prototype a été conçu pour un seul poste HTA, sans capacité de gestion multi-sites.
- **Données limitées** : le système ne fournit que l'état des disjoncteurs (ouvert/fermé), sans mesures électriques (tension, courant, défauts).

Perspectives d'amélioration :

Pour surmonter ces limitations et améliorer les performances du système, plusieurs pistes sont envisageables :

- Généralisation du système à d'autres postes HTA avec supervision centralisée via un serveur ou un SCADA complet.
- Remplacement de l'IHM Tkinter par une interface SCADA professionnelle (ex : WinCC, Panorama, Ignition) permettant l'analyse de données, la gestion d'alarmes, et la visualisation graphique des réseaux.
- Ajout de capteurs de mesure électrique (tension, courant, fréquence) pour enrichir la supervision et anticiper les défauts.
- Mise en place de redondances au niveau du réseau et de l'alimentation pour renforcer la fiabilité.
- Sécurisation du système par chiffrement des données, authentification des utilisateurs, et segmentation réseau .
- Évolution vers une application mobile ou Web pour permettre la supervision à distance à partir de différents terminaux.

Ces perspectives ouvrent la voie à une transition vers un système SCADA intelligent, modulaire et évolutif, en phase avec les exigences modernes de la gestion énergétique.

3.8. Les avantages attendus du projet pour l'entreprise et les utilisateurs :

Ce projet vise à moderniser la gestion des postes de distribution moyenne tension (HTA) en introduisant un système de commande et de supervision à distance. Il apporte des bénéfices significatifs tant pour l'entreprise exploitante que pour les utilisateurs finaux. Les avantages peuvent être classés selon deux axes principaux :

Pour l'entreprise :

- Réduction du besoin d'envoyer des équipes sur site pour des interventions manuelles.
- Diminution des pannes causées par des erreurs humaines, ce qui réduit les frais de maintenance.
- L'utilisation de dispositifs de commande intelligents diminue la dépendance à la main-d'œuvre manuelle.
- Meilleure exploitation des équipements grâce à la surveillance en temps réel et au contrôle précis.
- L'investissement dans un système de commande à distance apporte des bénéfices à long terme .

- Préparation à l'intégration future dans un système SCADA global regroupant plusieurs postes.
- Le projet reflète une orientation vers la digitalisation et la modernisation.
- Il contribue au respect des normes internationales de gestion de l'énergie.

Pour client (collectivités, distributeurs, citoyens) :

- Réduction des délais de coupure grâce à des interventions rapides et instantanées.
- Fourniture d'une alimentation électrique plus stable.
- Réduction des risques d'accidents liés aux interventions manuelles.
- Une réponse rapide aux pannes diminue les risques de dommages.
- Diminution des pertes pour les clients dues aux coupures d'électricité, en particulier dans les secteurs sensibles (usines, hôpitaux, etc.).
- Les clients constatent une amélioration des performances globales.
- Augmentation de leur satisfaction vis-à-vis de la qualité du service.

3.9. Conclusion :

La réalisation de ce système de commande et de contrôle à distance constitue une étape majeure vers la modernisation des postes HTA. En combinant des technologies ouvertes et économiques comme Arduino et Python avec des infrastructures de communication industrielle robustes (FOX, RTU560), le projet démontre la faisabilité d'une solution SCADA légère, fiable et évolutive. L'architecture mise en place offre une base solide pour l'automatisation de la gestion des réseaux électriques et peut facilement être étendue à d'autres postes.

Ce travail contribue non seulement à améliorer l'efficacité opérationnelle des installations électriques, mais s'inscrit également dans une démarche plus large de transition numérique et de gestion intelligente de l'énergie, en réponse aux enjeux actuels de performance, de sécurité et de durabilité dans le secteur énergétique.

Conclusion générale

En conclue, notre projet explorer de manière approfondie le fonctionnement des réseaux électriques, en particulier la distribution en moyenne tension (HTA), ainsi que les technologies modernes de supervision comme le système SCADA. L'étude nous a permis de comprendre les enjeux liés à la surveillance en temps réel, à la sécurité des installations et à la continuité de service dans un contexte énergétique de plus en plus exigeant.

Nous avons ensuite concrétisé une solution technique permettant le contrôle à distance d'un poste HTA non équipé, en utilisant des outils simples, modulables et accessibles tels qu'Arduino, Python et le module Ethernet W5500. Cette solution a été testée et validée avec succès sur le terrain, apportant une preuve de faisabilité et ouvrant la voie à des déploiements plus larges.

Au-delà de la réalisation technique, ce travail nous a permis de développer des compétences transversales : analyse de besoins, conception de systèmes embarqués, programmation, communication réseau et intégration terrain. Il illustre aussi comment de simples solutions open source peuvent contribuer efficacement à la modernisation d'un réseau électrique national.

Ainsi, ce projet constitue un premier pas vers une transition numérique intelligente des postes électriques, et représente une base évolutive pour de futurs systèmes SCADA plus avancés.

Référence

Référence pour chapitre 1

- [1] PFE de monsieur fellag (Télécommande et supervision d'un poste de transformation électrique)
- [2] : PFE de BOUMEDJADJI Chafika & ROUABHIA Fella (Télécommande d'un poste HTA(MT)/BT par wifi) chapitre1
- [3] : <https://fr.scribd.com/document/399652153/CHAP1-presentation-DuReseauElectriqueTerminologie-Et-Concept-de-Base>
- [4] : PFE de chaib nada & dendani khouloud (Automatisation de poste HTA/MT par automate programmable) chapitre1
- [5] : OULMI Sabrina : Étude d'un système de supervision et de contrôle SCADA du réseau électrique de la Sonelgaz SDA, Mémoire de master professionnel, Electronique Industrielle, Université TIZIOUZOU, 2018.
- [6] : http://www.pap08.eu/fichiers/180418_Sensibilisation_Enedis.pdf

Référence pour chapitre 2

- [7] «Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems», National Communications System, Technical Information Buletin 04-1 Octobre 2004.
- [8] VERNEUIL Jean-Louis, " Simulation de systèmes de télécommunications Par fibre optique à 40 Gbits/s", L'UNIVERSITE DE LIMOGES, N° d'ordre : 49
- [9] ABB SUPPORT «Feeder Protection and Control REF63 Application Manual».
- [10] https://fr.wikipedia.org/wiki/Commutateur_réseau mai 2021
- [11] PFE de ALLAOUA CHARIF & KICHAH RABAH Télécommande et Supervision D'un Poste Source électrique) chapitr2

- [12] : PFE de chaib nada & dendani khouloud (Automatisation de poste HTA/MT par automate programmable) chapitre1
- [13] : PFE de BOUMEDJADJI Chafika & ROUABHIA Fella (Télécommande d'un poste (MT)/BT par wifi) chapitre1
- [14] contrôle électrique, "Conservatoire du Contrôle-Commande du Réseau français de Transport Electricité", <https://esconce2014.estelenerg.org/6-equipementscommuns-de-postes/6-4-auxiliaires>.
- [15] PFE DE HABICHE Nassima & MEGHNINE Yasmine(Transmission des alarmes de la tranche générale aux postes sources HT/ MT en utilisant une carte arduino) chapitre 2
- [16] Introduction à la fibre optique - Raccourci

Référence pour chapitre 3

- [17] <https://www.handsontec.com/dataspecs/4Ch-relay.pdf>

Annexe

Annexe 1 :

Code Arduino :

```
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox
import requests
import datetime
import winsound
import time
import threading
from PIL import Image, ImageTk

# --- Paramètres ---
ARDUINO_IP = "192.168.2.188"
PORT = "80"

# --- Variables globales ---
historique = []
etat_disjoncteurs = ["inconnu"] * 4
derniere_action_manuelle = [False] * 4
alarme_active = False

# --- Fonctions ---

def envoyer_commande(num, etat):
    try:
        response =
requests.get(f"http://{ARDUINO_IP}:{PORT}/switch?d={num}&etat={etat}",
timeout=2)
        if response.status_code == 200:
            log_action(f"DEPART {num} -> {etat.upper()}")
```

```

        derniere_action_manuelle[num] = True
        maj_etat_disjoncteur(num)
    else:
        messagebox.showwarning("Erreur", "Commande échouée.")
except Exception:
    messagebox.showerror("Erreur", "Arduino non joignable.")

def maj_etat_disjoncteur(num):
    global etat_disjoncteurs, alarme_active
    try:
        response = requests.get(f"http://{ARDUINO_IP}:{PORT}/etat?d={num}",
                                timeout=2)
        if response.status_code == 200:
            texte = response.text.strip().lower()
            etat = texte if texte in ["ferme", "ouvert"] else "invalide"
            etat_precedent = etat_disjoncteurs[num]
            etat_disjoncteurs[num] = etat

            labels_etat[num].config(text=f"État : {etat.upper()}")
            update_dessin(num, etat)

            if etat != etat_precedent:
                if not derniere_action_manuelle[num]:
                    log_action(f"ALERTE: {num} OUVERTURE DEPART SUITE
DÉCLENCHEMENT!")
                    declencher_alarme()
                else:
                    log_action(f"DEPART {num} (COMMANDE A DISTANCE)")
                    derniere_action_manuelle[num] = False
            else:
                labels_etat[num].config(text="Erreur serveur")
    except Exception:
        labels_etat[num].config(text="Erreur de connexion")

def jouer_alarme():

```

```

freq = 800
duree = 500
while alarme_active:
    winsound.Beep(freq, duree)
    time.sleep(0.5)

def declencher_alarme():
    global alarme_active
    if not alarme_active:
        alarme_active = True
        log_action("ALARME DÉCLENCHEMENT !")
        label_alarme.pack(pady=5)
        threading.Thread(target=jouer_alarme, daemon=True).start()

def arreter_alarme():
    global alarme_active
    if alarme_active:
        alarme_active = False
        log_action("Alarme désactivée")
        label_alarme.pack_forget()

def log_action(action):
    timestamp = datetime.datetime.now().strftime("%H:%M:%S")
    historique.append(f"[{timestamp}] {action}")
    if len(historique) > 50:
        historique.pop(0)
    maj_historique()

def maj_historique():
    zone_historique.config(state='normal')
    zone_historique.delete(1.0, tk.END)
    for ligne in historique:
        zone_historique.insert(tk.END, ligne + "\n")
    zone_historique.config(state='disabled')

```

```

def update_dessin(index, etat):
    couleurs = {"ferme": "red", "ouvert": "green", "invalide": "yellow"}
    couleur = couleurs.get(etat.lower(), "gray")
    canvas.itemconfig(carrés[index], fill=couleur)

# --- Interface ---

fen = tk.Tk()
fen.title("POSTE HTA MEFTAH")
fen.geometry("1200x700")

# Frame principal
frame_principal = tk.Frame(fen)
frame_principal.pack(fill="both", expand=True)

# Logo
frame_logo = tk.Frame(frame_principal)
frame_logo.pack(side="left", anchor="n", padx=10, pady=10)
image = Image.open("C:/Users/DELL/Desktop/my pyhtone/logo.jpg")
image = image.resize((100, 100), Image.LANCZOS)
photo_logo = ImageTk.PhotoImage(image)
label_logo = tk.Label(frame_logo, image=photo_logo)
label_logo.pack(anchor="nw")

# Interface à droite
frame_interface = tk.Frame(frame_principal)
frame_interface.pack(side="left", fill="both", expand=True)

frame_main = tk.Frame(frame_interface)
frame_main.pack()

labels_etat = []

# Canvas centré
canvas_width = 1000

```

```

canvas_height = 300
box_width = 80
box_height = 60
espacement = 100

canvas = tk.Canvas(frame_interface, width=canvas_width, height=canvas_height,
bg="white")
canvas.pack(pady=10)

carrés = []

# D0 centré
x0 = (canvas_width - box_width) // 2
y0 = 30
carre_d0 = canvas.create_rectangle(x0, y0, x0+box_width, y0+box_height,
fill="gray")
canvas.create_text(x0 + box_width//2, y0 + box_height//2, text="D0", font=("Arial",
10))
carrés.append(carre_d0)

# Ligne horizontale
canvas.create_line(100, 110, 900, 110, width=4)

# DEPARTs centrés
num_depart = 3
depart_total_width = num_depart * box_width + (num_depart - 1) * espacement
start_x = (canvas_width - depart_total_width) // 2
y_depart = 120

for i in range(num_depart):
    x = start_x + i * (box_width + espacement)
    carre = canvas.create_rectangle(x, y_depart, x+box_width, y_depart+box_height,
fill="gray")
    canvas.create_text(x + box_width//2, y_depart + box_height//2,
text=f"DEPART {i+1}", font=("Arial", 10))

```

```

carrés.append(carre)

# Contrôles
frame_d0 = tk.Frame(frame_main, padx=10, pady=10, bd=1, relief="ridge")
frame_d0.grid(row=0, column=0, columnspan=3)
tk.Label(frame_d0, text="ARRIVÉE 1", font=("Arial", 10, "bold")).pack()
btn_f0 = tk.Button(frame_d0, text="FERMER", width=12, bg="red",
command=lambda: envoyer_commande(0, "fermer"))
btn_o0 = tk.Button(frame_d0, text="OUVRIR", width=12, bg="green",
command=lambda: envoyer_commande(0, "ouvrir"))
btn_f0.pack(side="left", padx=5)
btn_o0.pack(side="left", padx=5)
lbl0 = tk.Label(frame_d0, text="État : Inconnu")
lbl0.pack(side="left", padx=5)
labels_etat.append(lbl0)

for i in range(1, 4):
    frame = tk.Frame(frame_main, padx=10, pady=10, bd=1, relief="ridge")
    frame.grid(row=1, column=i-1)
    tk.Label(frame, text=f"DEPART {i}").pack()
    btn_f = tk.Button(frame, text="FERMER", width=12, bg="red", command=lambda
i=i: envoyer_commande(i, "fermer"))
    btn_o = tk.Button(frame, text="OUVRIR", width=12, bg="green",
command=lambda i=i: envoyer_commande(i, "ouvrir"))
    btn_f.pack(pady=2)
    btn_o.pack(pady=2)
    lbl = tk.Label(frame, text="État : Inconnu")
    lbl.pack()
    labels_etat.append(lbl)

label_alarme = tk.Label(frame_interface, text="ALARME ACTIVE", fg="red",
font=("Arial", 16, "bold"), bg="yellow")
label_alarme.pack_forget()

```

```

btn_alarme = tk.Button(frame_interface, text="DESACTIVER ALARME",
bg="orange", command=arreter_alarme)
btn_alarme.pack(pady=5)

zone_historique = tk.Text(frame_interface, height=10, width=120, font=("Courier",
10), state='normal')
zone_historique.pack(pady=5)
zone_historique.config(state='disabled')

def mise_a_jour():
    for i in range(4):
        maj_etat_disjoncteur(i)
    fen.after(5000, mise_a_jour)

# --- Initialisation ---
log_action("TEST: Interface lancée")
mise_a_jour()
fen.mainloop()

```

Annexe 2 :

Code python :

```
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox
import requests
import datetime
import winsound
import time
import threading
from PIL import Image, ImageTk

# --- Paramètres ---
ARDUINO_IP = "192.168.2.188"
PORT = "80"

# --- Variables globales ---
historique = []
etat_disjoncteurs = ["inconnu"] * 4
derniere_action_manuelle = [False] * 4
alarme_active = False

# --- Fonctions ---

def envoyer_commande(num, etat):
    try:
        response =
requests.get(f"http://{ARDUINO_IP}:{PORT}/switch?d={num}&etat={etat}",
timeout=2)
        if response.status_code == 200:
            log_action(f"DEPART {num} -> {etat.upper()}")
            derniere_action_manuelle[num] = True
            maj_etat_disjoncteur(num)
        else:
            messagebox.showwarning("Erreur", "Commande échouée.")
    except Exception:
        messagebox.showerror("Erreur", "Arduino non joignable.")

def maj_etat_disjoncteur(num):
    global etat_disjoncteurs, alarme_active
    try:
        response = requests.get(f"http://{ARDUINO_IP}:{PORT}/etat?d={num}",
timeout=2)
        if response.status_code == 200:
            texte = response.text.strip().lower()
            etat = texte if texte in ["ferme", "ouvert"] else "invalide"
            etat_precedent = etat_disjoncteurs[num]
            etat_disjoncteurs[num] = etat

            labels_etat[num].config(text=f"État : {etat.upper()}")
            update_dessin(num, etat)

            if etat != etat_precedent:
                if not derniere_action_manuelle[num]:
                    log_action(f"ALERTE:{num} OUVERTURE DEPART SUITE
DÉCLENCHEMENT!")
```

```

        declencher_alarmme()
    else:
        log_action(f"DEPART {num} (COMMANDE A DISTANCE)")
        derniere_action_manuelle[num] = False
    else:
        labels_etat[num].config(text="Erreur serveur")
except Exception:
    labels_etat[num].config(text="Erreur de connexion")

def jouer_alarmme():
    freq = 800
    duree = 500
    while alarmme_active:
        winsound.Beep(freq, duree)
        time.sleep(0.5)

def declencher_alarmme():
    global alarmme_active
    if not alarmme_active:
        alarmme_active = True
        log_action("ALARME DÉCLENCHEMENT !")
        label_alarmme.pack(pady=5)
        threading.Thread(target=jouer_alarmme, daemon=True).start()

def arreter_alarmme():
    global alarmme_active
    if alarmme_active:
        alarmme_active = False
        log_action("Alarme désactivée")
        label_alarmme.pack_forget()

def log_action(action):
    timestamp = datetime.datetime.now().strftime("%H:%M:%S")
    historique.append(f"[{timestamp}] {action}")
    if len(historique) > 50:
        historique.pop(0)
    maj_historique()

def maj_historique():
    zone_historique.config(state='normal')
    zone_historique.delete(1.0, tk.END)
    for ligne in historique:
        zone_historique.insert(tk.END, ligne + "\n")
    zone_historique.config(state='disabled')

def update_dessin(index, etat):
    couleurs = {"ferme": "red", "ouvert": "green", "invalide": "yellow"}
    couleur = couleurs.get(etat.lower(), "gray")
    canvas.itemconfig(carrés[index], fill=couleur)

# --- Interface ---

fen = tk.Tk()
fen.title("POSTE HTA MEFTAH")
fen.geometry("1200x700")

frame_principal = tk.Frame(fen)

```

```

frame_principal.pack(fill="both", expand=True)

frame_logo = tk.Frame(frame_principal)
frame_logo.pack(side="left", anchor="n", padx=10, pady=10)

image = Image.open("C:/Users/DELL/Desktop/my pyhtone/logo.jpg")
image = image.resize((100, 100), Image.LANCZOS)
photo_logo = ImageTk.PhotoImage(image)
label_logo = tk.Label(frame_logo, image=photo_logo)
label_logo.pack(anchor="nw")

frame_interface = tk.Frame(frame_principal)
frame_interface.pack(side="left", fill="both", expand=True)

frame_main = tk.Frame(frame_interface)
frame_main.pack()

labels_etat = []
canvas = tk.Canvas(frame_interface, width=1000, height=300, bg="white")
canvas.pack(pady=10)

# --- Positions ajustées ---
x0, y0 = 450, 30 # ARRIVÉE 1 décalée à gauche
carre_d0 = canvas.create_rectangle(x0, y0, x0+80, y0+60, fill="gray")
canvas.create_text(x0+40, y0+30, text="ARRIVÉE ", font=("Arial", 10))
carrés = [carre_d0]

canvas.create_line(50, 110, 900, 110, width=4) # Barre HTA étendue à gauche

positions = [(170, 120), (450, 120), (740, 120)] # Départs déplacés à droite
for i, (x, y) in enumerate(positions):
    carre = canvas.create_rectangle(x, y, x+80, y+60, fill="gray")
    nom_depart = ["SEFSAF 1", "SEFSAF 2", "SEFSAF 3"][i]
    canvas.create_text(x+40, y+30, text=nom_depart, font=("Arial", 10))
    carrés.append(carre)

frame_d0 = tk.Frame(frame_main, padx=10, pady=10, bd=1, relief="ridge")
frame_d0.grid(row=0, column=0, columnspan=3)
tk.Label(frame_d0, text="ARRIVÉE 1", font=("Arial", 10, "bold")).pack()

btn_f0 = tk.Button(frame_d0, text="FERMER", width=12, bg="red",
    command=lambda: envoyer_commande(0, "fermer"))
btn_o0 = tk.Button(frame_d0, text="OUVRIR", width=12, bg="green",
    command=lambda: envoyer_commande(0, "ouvrir"))
btn_f0.pack(side="left", padx=5)
btn_o0.pack(side="left", padx=5)

lbl0 = tk.Label(frame_d0, text="État : Inconnu")
lbl0.pack(side="left", padx=0)
labels_etat.append(lbl0)

noms_dep = ["SEFSAF 1", "SEFSAF 2", "SEFSAF 3"]
for i in range(1, 4):
    frame = tk.Frame(frame_main, padx=80, pady=10, bd=1, relief="ridge")
    frame.grid(row=1, column=i-1)

    tk.Label(frame, text=noms_dep[i-1]).pack()

```

```

        btn_f = tk.Button(frame, text="FERMER", width=12, bg="red", command=lambda
i=i: envoyer_commande(i, "fermer"))
        btn_o = tk.Button(frame, text="OUVRIR", width=12, bg="green",
command=lambda i=i: envoyer_commande(i, "ouvrir"))
        btn_f.pack(pady=2, anchor="w")
        btn_o.pack(pady=2, anchor="w")

        lbl = tk.Label(frame, text="État : Inconnu")
        lbl.pack()
        labels_etat.append(lbl)

label_alarme = tk.Label(frame_interface, text="ALARME ACTIVE", fg="red",
font=("Arial", 16, "bold"), bg="yellow")
label_alarme.pack_forget()

frame_alarme = tk.Frame(frame_interface)
frame_alarme.pack(anchor="w", padx=480, pady=5)

btn_alarme = tk.Button(frame_alarme, text="DÉSACTIVER ALARME", bg="orange",
command=arreter_alarme)
btn_alarme.pack()

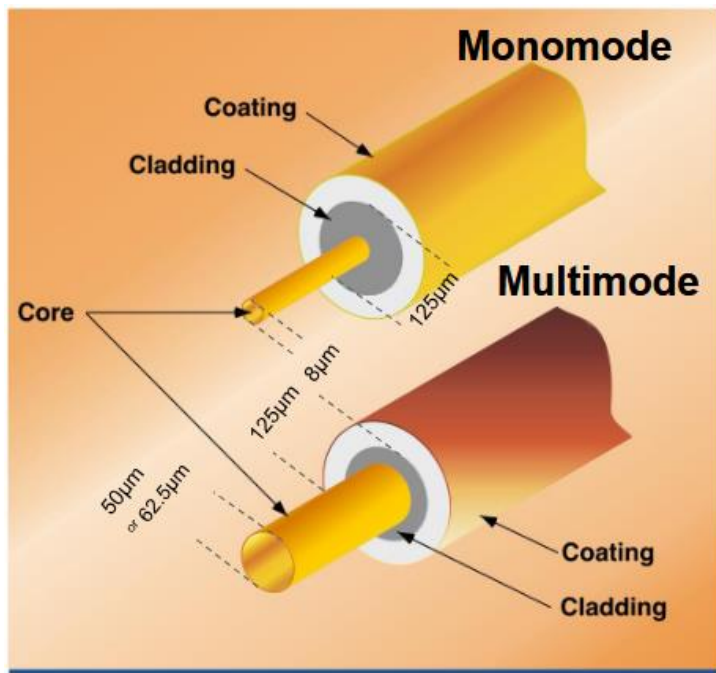
zone_historique = tk.Text(frame_interface, height=10, width=120,
font=("Courier", 10), state='normal')
zone_historique.pack(pady=5)
zone_historique.config(state='disabled')

def mise_a_jour():
    for i in range(4):
        maj_etat_disjoncteur(i)
    fen.after(5000, mise_a_jour)

log_action("TEST: Interface lancée")
mise_a_jour()
fen.mainloop()

```

Annexe 3 :



- **Core (Cœur):** transporte la lumière
- **Cladding (Manteau):** maintient la lumière dans le cœur
- **Coating (Revêtement primaire):** protège le cœur et la manteau
- **Le cœur ne peut pas être séparé du manteau!**