الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure de Technologie
Département : Génie électrique Et Informatique Industrielle

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme Master en Automatique

Spécialité
Automatique et Informatique Industrielle

Etude comparative entre les équipements de terrain utilisés pour la Téléconduite par le système SCADA

Réalisé par

Abed BENADDA
Mohamed Wassim OUMAROUCHI

Présenté et défendu publiquement le **02/07/2023**

Composition du Jury :

Président	Mme Karima BOULAAM	M.C.B	ENST
Encadrant	Mme Malika BOUTERFAS	M.C.A	ENST
Encadrant	M. Tarek CHERIFI	M.C.B	ENST
Examinateur	M . Toufik BOUDIAR	M.C.A	ENST
Examinatrice	Mme Lamia HABANI	M.A.A	ENST

Année universitaire 2022 – 2023

Dédicace

”

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail,

À ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de pour moi,

À mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études,

À mon frères Sohibe et Mes sœurs,

À mes meilleurs amis : Zaki, Fayçal, Hicham, Akram, Moustapha, Abdeldjabar,

Et mes chers collèges,

Et tout fin qui m'aide et compulse ce modeste travail,

Et enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont apporté leur soutien et qui ont contribué à l'élaboration de ce modeste travail.

Merci.

”

- Wassim

”

Je dédie ce travail aux personnes qui m'ont soutenu et inspiré tout au long de ma vie. À ma mère Aicha, qui a toujours été mon pilier de force et source d'encouragement. Ton amour et ton soutien infaillibles m'ont aidé à surmonter les défis et à atteindre mes objectifs. Ce travail vous est dédié, Mama, avec amour et gratitude,

À mon père Ahmed, qui a été mon allié et mon guide constants. ton soutien et votre orientation inébranlables m'ont donné la force de poursuivre mes rêves. Je n'aurais pas pu arriver aussi loin sans Baba,

À ma grand-mère Aicha, qui a toujours été un phare de lumière dans ma vie. Votre sagesse et votre amour ont été une source d'inspiration pour moi,

À mon frère aîné Mohamed et ma sœur cadette Sara, qui m'ont toujours encouragé à être le meilleur de moi-même. Votre soutien et votre amour signifient tout pour moi,

Aux familles BENADDA, qui ont toujours été un pilier de soutien pour moi. Votre encouragement et vos conseils m'ont aidé à surmonter les défis et à atteindre mes objectifs,

À mes superviseurs Tarek Cherifi et Mme. Malika Bouterfas, qui m'ont fourni des conseils et un soutien inestimables tout au long de ce projet. Votre expertise et votre encouragement m'ont aidé à grandir à la fois personnellement et professionnellement

Merci.

”

- Abed

Remerciements

”

Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements à nos encadrants, M. Tarek Cherifi et Mme. Malika Bouterfas, pour leur accompagnement, leur expertise et leur patience tout au long de notre projet. Leur soutien et leurs conseils avisés nous ont permis de progresser et de surmonter les défis rencontrés avec succès. Nous sommes reconnaissants pour l'opportunité qu'ils nous ont offerte de travailler sous leur direction, ce qui a été une expérience inestimable pour notre développement professionnel. Nous sommes également reconnaissants pour leur engagement envers notre réussite et pour les enseignements que nous avons pu tirer de leur expérience. Nous leur sommes infiniment reconnaissants pour leur précieuse contribution à notre projet et pour leur dévouement envers notre réussite.

”

Table des matières

Table des figures **I**

Liste des tableaux **II**

Liste des sigles et acronymes **III**

Introduction Générale **1**

Chapitre 1. La Téléconduite SCADA **3**

1.1 Introduction 4

1.2 Composants d'un système SCADA 5

1.2.1 Master Terminal Unit (MTU) 5

1.2.2 Les Unités Terminales Distante (RTU) 6

1.2.3 Les Automates Programmables Industriels (API) 6

1.2.4 L'interface homme-machine (IHM) 6

1.2.5 Infrastructure de communication 7

1.2.6 Stockage et analyse des données 7

1.2.7 Gestion des alarmes et des événements 7

1.2.8 Sécurité et contrôle d'accès 7

1.3 Configuration générale d'un système SCADA 8

1.3.1 Topologies SCADA 8

1.4 Fonctions des systemes SCADA 11

1.5 Evolution des Architectures SCADA 12

1.5.1 Monolithique 12

1.5.2 Distribuée 12

1.5.3 Réseau 12
1.5.4 IoT 12
1.6 SCADA pour le système de distribution d'énergie électrique 13
1.6.1 L'importance cruciale de la Téléconduite dans les systemes d'énergie électriques 13
1.6.2 Principaux protocoles de transports utilisés dans la Téléconduite 13

Chapitre 2. Évaluation Comparative des Equipements de Téléconduite 18

2.1 Présentation des fabriquant d'équipement de Téléconduite et leurs produits . . . 19
2.1.1 Présentation de marché 19
2.1.2 Présentation des fournisseurs 19
2.1.3 Présentation des importants équipements de terrain 20
2.2 Analyse comparative de l'équipement de Téléconduite sélectionné 30
2.2.1 Critère d'évaluation 30
2.2.2 Analyse comparative entre les équipements de Téléconduite de chaque fournisseur 31
2.2.3 Résultats générale de l'étude comparative 33

Conclusion Générale 34

Bibliographie 36

Webographie 38

Résumé 39

Table des figures

1.1 Système SCADA [2] . . . 4
1.2 Les composants du système SCADA. . . . 5
1.3 Configuration du réseau en étoile : MTU, RTU. . . . 5
1.4 Configuration matérielle typique du RTU dans les systèmes SCADA. . . . 6
1.5 Exemple d'interface opérateur (HMI) [3]. . . . 7
1.6 La disposition générale d'un système SCADA [3] . . . 8
1.7 Topologies de communication SCADA de base [3] . . . 9
1.8 Topologies de communication SCADA étendue [3]. . . . 10
1.9 Exemple de mise en œuvre d'un système SCADA (Surveillance et contrôle de la distribution) [3]. . . . 10
1.10 Exemple d'implémentation pour la surveillance et le contrôle ferroviaire [5] . . . 11
1.11 Principe de fonctionnement du Modbus. . . . 14
1.12 Structure générale de la trame Modbus . . . 14
1.13 Aperçu du protocole DNP3 . . . 15
1.14 La structure de l'IEC 60870. . . . 16
2.1 Modèle de RTU3030C. . . . 20
2.2 Différents modèles de SIMATIC PLCs de Siemens . . . 22
2.3 Les différents modules RTU 560 . . . 23
2.4 Modèle PLC AC500. . . . 23
2.5 Modèle PLC AC500-XC. . . . 24
2.6 Modèle PLC AC500-S. . . . 24
2.7 Modèle RTU TALUS T200 E/S . . . 25
2.8 Modèle RTU SCADAPack 350. . . . 25
2.9 Modèle RTU ADVC. . . . 26
2.10 Modicon M340 . . . 26
2.11 Modicon M580. . . . 26
2.12 Modicon M221. . . . 27
2.13 Modicon M238 . . . 27
2.14 Modicon Quantum. . . . 27
2.15 Modicon Premium. . . . 28
2.16 Automate CompactLogix. . . . 28
2.17 Automate ControlLogix. . . . 29
2.18 Automate MicroLogix. . . . 29
2.19 Automate SLC 500. . . . 29
2.20 Automate PLC-5 . . . 30
2.21 Automate FlexLogix. . . . 30

Liste des tableaux

2.1 Liste des points forts des RTU des fournisseurs mentionnés. 31

Liste des sigles et acronymes

AC	*Alternating Current*
ADU	*Application Data Unit*
DCOM	*Distributed Component Object Model*
DNP3	*Distributed Network Protocol*
E/S	*Entrées/Sorties (Inputs/Outputs)*
EPA12	*Enhanced Performance Architecture*
GPRS	*General Packet Radio Service*
GSM	*Global System for Mobile Communications*
HMI	*Human Machine Interface*
IEC	*International Electrotechnical Commission*
IoT	*Internet of Things*
OLE	*Object Linking and Embedding*
OPC	*Object Linking and Embedding for Process Control*
OSI	*Open Systems Interconnection*
PLC	*Programmable Logic Controller*
PROFIBUS	*Process Field Bus*
PDU	*Protocol Data Unit*
RTU	*Remote Terminal Unit*
SGBD	*Système de Gestion de Base de Données*
SCADA	*Supervisory Control And Data Acquisition*
TIA	*Totally Integrated Automation*
TCP/IP	*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*
UMTS	*Universal Mobile Telecommunications System*
WAN	*Wide Area Network*

Introduction Générale

Introduction Générale

L'évolution technologique rapide des réseaux industriels a conduit à l'émergence vers de nouveaux systèmes de communication pour améliorer la gestion des réseaux d'énergie. Dans ce contexte, la Téléconduite SCADA est devenue un élément crucial pour les entreprises de distribution d'énergie, car elle permet de surveiller et de contrôler les équipements à distance. La Téléconduite SCADA est un système de communication qui permet de superviser à distance les équipements électriques. Elle assure une coordination optimale entre les différents acteurs du réseau et améliore la qualité de service offerte aux clients.

Le choix d'un équipement de Téléconduite adapté est donc essentiel pour assurer le bon fonctionnement du réseau électrique. Cependant, avec la diversité des équipements proposés par différents fabricants, il est difficile de savoir lequel choisir.

L'objectif de cette étude est de réaliser une évaluation comparative des équipements de système de Téléconduite SCADA de différents fournisseurs. Cette étude permettra d'analyser les performances des équipements de Téléconduite et de déterminer les avantages et inconvénients de chaque fournisseur. Les résultats obtenus pourront être utilisés comme référence pour aider les entreprises à sélectionner le fournisseur le plus approprié en fonction de leurs besoins. De plus, cette étude permettra de contribuer à l'avancement de la recherche dans le domaine de la Téléconduite SCADA en fournissant des données précises et fiables sur les performances des équipements. Enfin, cette étude a pour but de sensibiliser les professionnels et les étudiants du domaine de l'énergie aux enjeux de la Téléconduite SCADA et de les informer sur les dernières avancées technologiques dans ce domaine.

Nous espérons que cette étude sera utile pour les gestionnaires de réseau qui cherchent à améliorer les performances et la fiabilité de leurs réseaux de distribution électrique grâce à la technologie de Téléconduite SCADA.

Pour atteindre notre objectif, nous avons organiser ce document en deux chapitres :

Chapitre I Est consacré à la présentation de la Téléconduite SCADA et de ses principaux éléments. Nous y aborderons également les technologies de communication utilisées pour les systèmes de Téléconduite SCADA.

Chapitre II Nous présenterons une évaluation comparative des équipements de système de Téléconduite SCADA fournis par différents fabricants. Nous y discuterons des critères d'évaluation tels que la performance, la fiabilité, la flexibilité et le coût, et nous procéderons à une analyse comparative approfondie pour évaluer les avantages et les inconvénients de chaque équipement.

La Téléconduite SCADA

1.1 Introduction

SCADA, acronyme de "Supervisory Control And Data Acquisition" (système de contrôle et d'acquisition de données), est un réseau industriel qui englobe les fonctions essentielles pour la commande et la supervision des processus industriels : Les entreprises l'utilisent généralement pour superviser et contrôler leurs équipements sur plusieurs sites, ainsi que pour collecter et enregistrer des données sur leurs opérations.

Un système SCADA est généralement constitué d'un logiciel associé à des éléments matériels tels que des automates programmables industriels (API[1]) et des unités terminales distantes (RTU[2]. La collecte de données commence avec Les APIs et Les RTUs, qui communiquent avec l'équipement d'un centre de production, comme les machines et les capteurs d'une usine. Les données collectées à partir de ces équipements sont ensuite transmises vers une salle de contrôle, par exemple, où les opérateurs peuvent superviser Les APIs et Les RTUs à l'aide d'interfaces homme-machine (IHM). Les IHM constituent un composant essentiel des systèmes SCADA, car ce sont les écrans utilisés par les opérateurs pour communiquer avec SCADA.

Grâce aux systèmes SCADA, les employés ont la possibilité de contrôler leurs processus industriels localement ou à distance, et d'interagir directement avec les équipements tels que les moteurs, les pompes et les capteurs, à partir d'un emplacement central. Ces systèmes peuvent également prendre des décisions de contrôle automatique basées sur les données reçues.

Les systèmes SCADA offrent également aux organisations la possibilité de surveiller leurs processus, de générer des rapports en temps réel et d'archiver les données pour un traitement et une évaluation ultérieure [1].
.

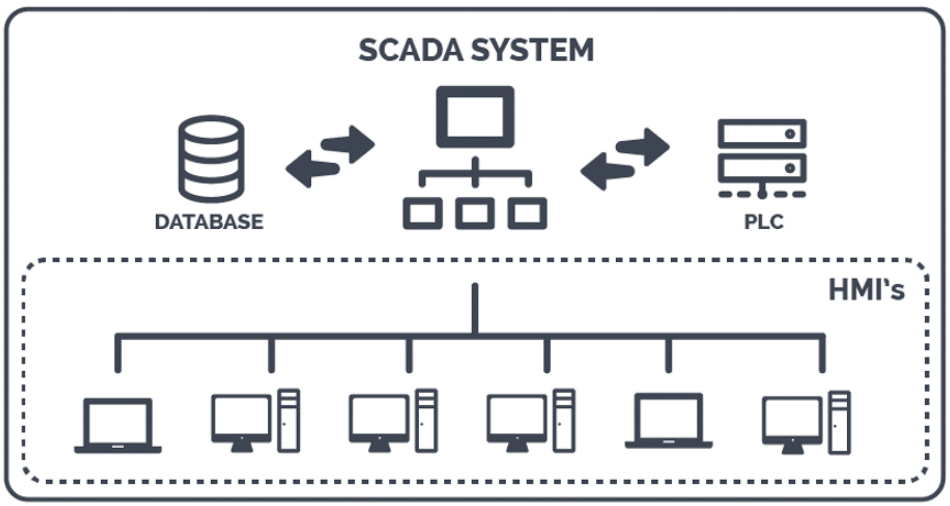


Fig. 1.1: Système SCADA [2]

[1]**API** Automates programmables industriels
[2]**RTU**) Unités terminales distantes

1.2 Composants d'un système SCADA

Un système SCADA, utilisé comme un outil de sécurité de consignation d'appareil électrique, est généralement composé des sous-systèmes suivants, comme indiqué dans la figure 1.2 :

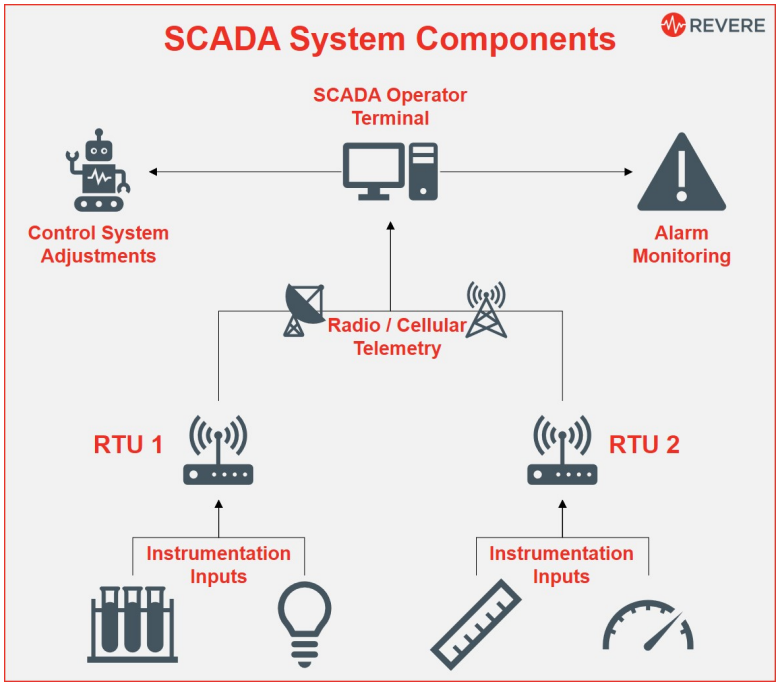


Fig. 1.2: Les composants du système SCADA.

1.2.1 Master Terminal Unit (MTU)

Le MTU est le cœur du système SCADA. Elle comprend un ordinateur, un PLC et un serveur de réseau qui aide le MTU à communiquer avec Les RTUs comme illustré dans la figure 1.3. Le MTU initie la communication, collecte et enregistre les données, facilite l'interface avec les opérateurs et permet la communication de données vers d'autres systèmes.

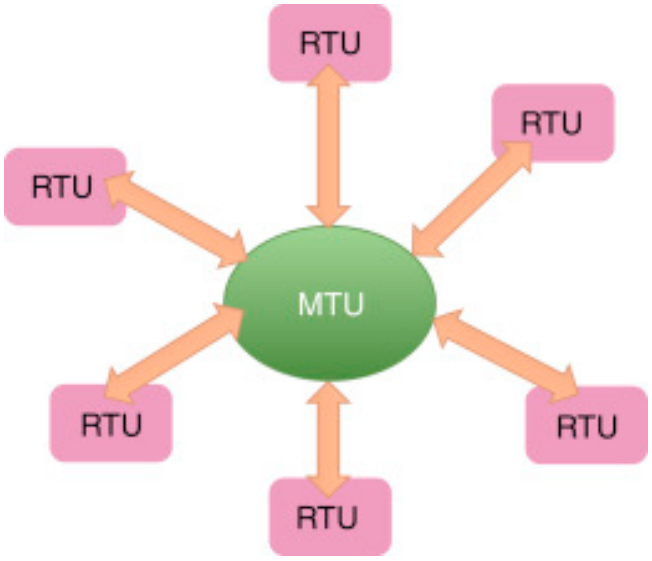


Fig. 1.3: Configuration du réseau en étoile : MTU, RTU.

1.2.2 Les Unités Terminales Distante (RTU)

Les RTUs sont des dispositifs électroniques installés à des emplacements éloignés dans le processus industriel, tels qu'une sous-station dans une centrale électrique. Ils collectent des données à partir de capteurs et d'équipements, et transmettent ces données au système SCADA central.

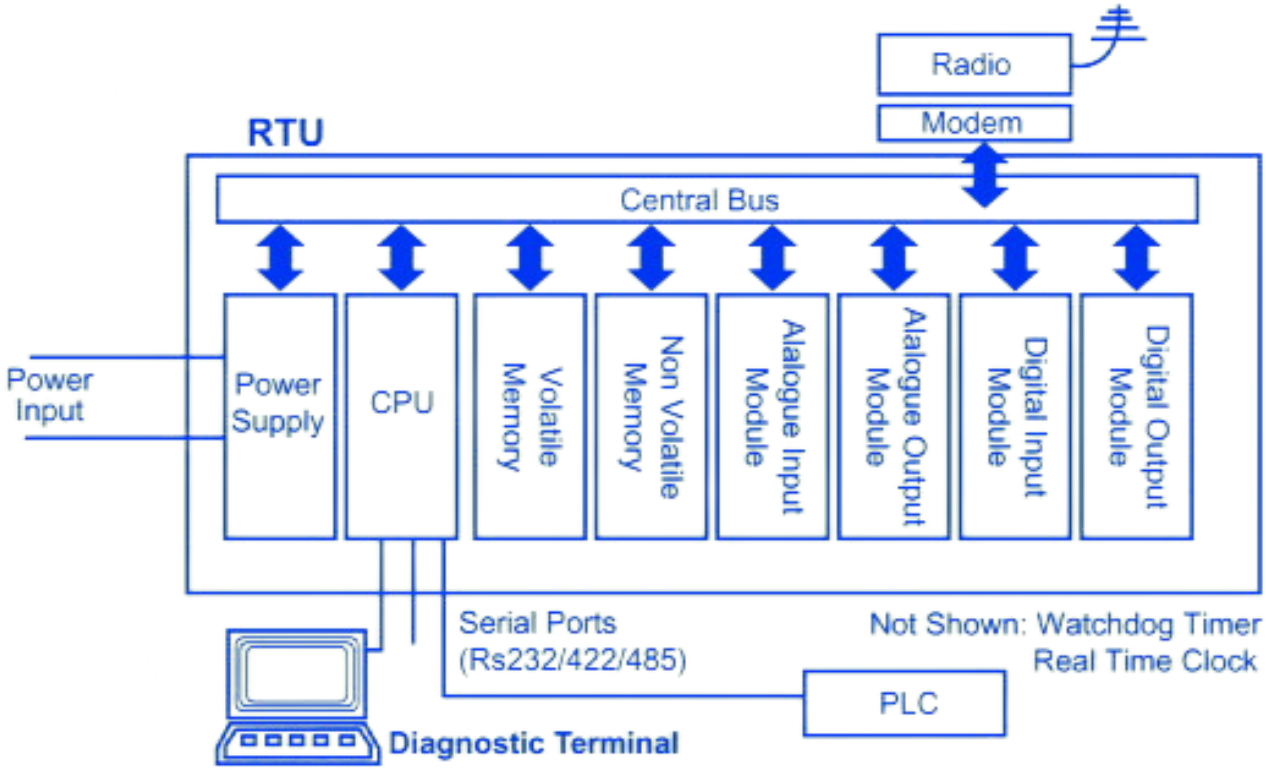


Fig. 1.4: Configuration matérielle typique du RTU dans les systèmes SCADA.

1.2.3 Les Automates Programmables Industriels (API)

Les Automates Programmables Industriels sont de petits ordinateurs utilisés pour automatiser les processus industriels. Ils peuvent être programmés pour contrôler l'équipement et prendre des décisions en fonction des données collectées par Les RTUs.

1.2.4 L'interface homme-machine (IHM)

L'IHM et comme montre par l'exemple dans la figure 1.5 est l'interface à travers laquelle les opérateurs interagissent avec le système SCADA. Elle se compose généralement d'un écran d'ordinateur ou d'un moniteur, et d'un logiciel qui permet à l'opérateur de surveiller le processus, définir des paramètres et effectuer des ajustements.

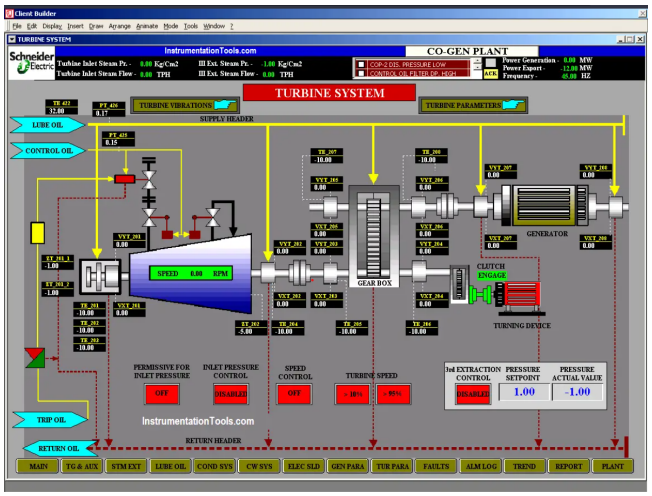


FIG. 1.5: Exemple d'interface opérateur (HMI) [3].

1.2.5 Infrastructure de communication

Pour répondre aux exigences de communication, les systèmes SCADA utilisent souvent une combinaison de radio et de connexions directes série ou d'autres connexions modernes. Les grandes installations telles que les chemins de fer et les centrales électriques préfèrent souvent utiliser Ethernet ou IP[3] plutôt que le réseau synchrone optique (SONET[4]). Le terme "télémétrie" est utilisé lorsque le système SCADA assure la fonction de gestion et de surveillance à distance [4].

1.2.6 Stockage et analyse des données

Le système SCADA collecte de grandes quantités de données provenant du processus industriel, qui doivent être stockées et analysées. Cela se fait généralement à l'aide d'un système de gestion de base de données (SGBD[5]), qui permet aux opérateurs d'interroger les données, de générer des rapports et d'identifier les tendances ou les anomalies dans le processus.

1.2.7 Gestion des alarmes et des événements

Le système SCADA est responsable de la surveillance du processus et d'alerter les opérateurs en cas d'alarmes ou d'événements nécessitant une attention particulière. Cela se fait généralement à travers un système de gestion des alarmes, qui classe les alarmes en fonction de leur gravité et fournit des instructions sur la manière d'y répondre.

1.2.8 Sécurité et contrôle d'accès

Le système SCADA est un composant critique de l'infrastructure industrielle et doit donc être sécurisé contre tout accès ou altération non autorisé. Cela se fait généralement à l'aide de mécanismes de contrôle d'accès tels que des mots de passe ou une authentification biométrique, ainsi que le chiffrement et d'autres mesures de sécurité pour protéger les données et l'infrastructure de communication.

[3] **IP** protocole de communication de réseau
[4] **SONET** norme de réseau de fibre optique pour la transmission de données à haute vitesse
[5] **SGBD** Système de Gestion de Base de Données

1.3 Configuration générale d'un système SCADA

Figure 1.6 montre les composants et la configuration générale d'un système SCADA. Le centre de contrôle abrite un serveur de contrôle et des routeurs de communication. Les autres composants du centre de contrôle comprennent l'interface homme-machine (IHM), les stations de travail d'ingénierie et l'historique des données, qui sont tous connectés par un réseau local (LAN[6]).

Le centre de contrôle collecte et enregistre les informations recueillies par les sites sur le terrain, affiche des informations à l'IHM et peut générer des actions en fonction des événements détectés. Le centre de contrôle est également responsable de l'alarme centralisée, de l'analyse des tendances et des rapports.

Le site sur le terrain effectue un contrôle local des actionneurs et surveille les capteurs. Les sites sur le terrain sont souvent équipés d'une capacité d'accès à distance pour permettre aux opérateurs d'effectuer des diagnostics et des réparations à distance, généralement via un modem dial-up ou une connexion WAN[7] séparée.

Des protocoles de communication standard et propriétaires fonctionnant sur des communications série et réseau sont utilisés pour transporter des informations entre le centre de contrôle et les sites sur le terrain en utilisant des techniques de télémesure telles que la ligne téléphonique, le câble, la fibre et les radiofréquences telles que la diffusion, le micro-ondes et le satellite.

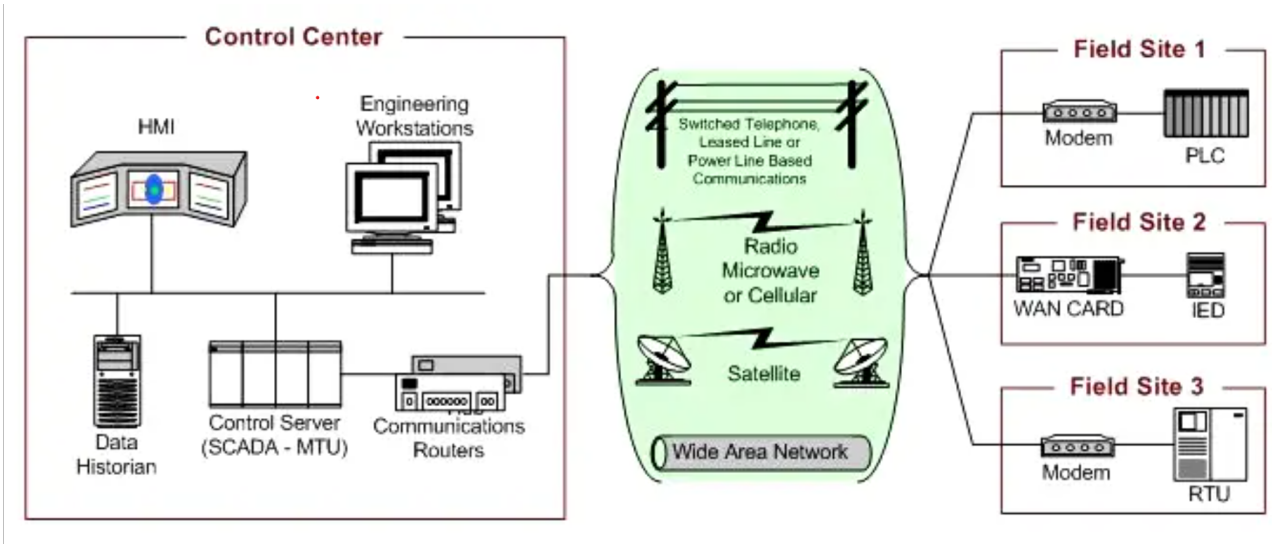


FIG. 1.6: La disposition générale d'un système SCADA [3]

1.3.1 Topologies SCADA

Les topologies de communication SCADA qui sont représentées à la figure 1.7 varient selon les implémentations. Les différentes topologies utilisées.

Le point à point est fonctionnellement le type le plus simple ; cependant, il est coûteux en raison des canaux individuels nécessaires pour chaque connexion. Dans une configuration en série, le

[6]**LAN** Réseau local
[7]**WAN** Réseau étendu

nombre de canaux utilisés est réduit ; cependant, le partage de canal a un impact sur l'efficacité et la complexité des opérations SCADA. De même, l'utilisation d'un canal par appareil dans les configurations en série-étoile et multi-points entraîne une diminution de l'efficacité et une augmentation de la complexité du système[3].
Les quatre topologies de base des systèmes SCADA présentées dans la Figure 1.7 peuvent être améliorées en utilisant des dispositifs dédiés pour gérer les échanges de communication, la commutation de messages et le tamponnement de données.

1) **Topologie de base d'un système SCADA** La topologie de base d'un système SCADA peut être représentée par une structure en couches (Couche de terrain, de communication, de supervision et Couche d'application), avec chaque couche remplissant un rôle spécifique dans la collecte, le traitement et la gestion des données.

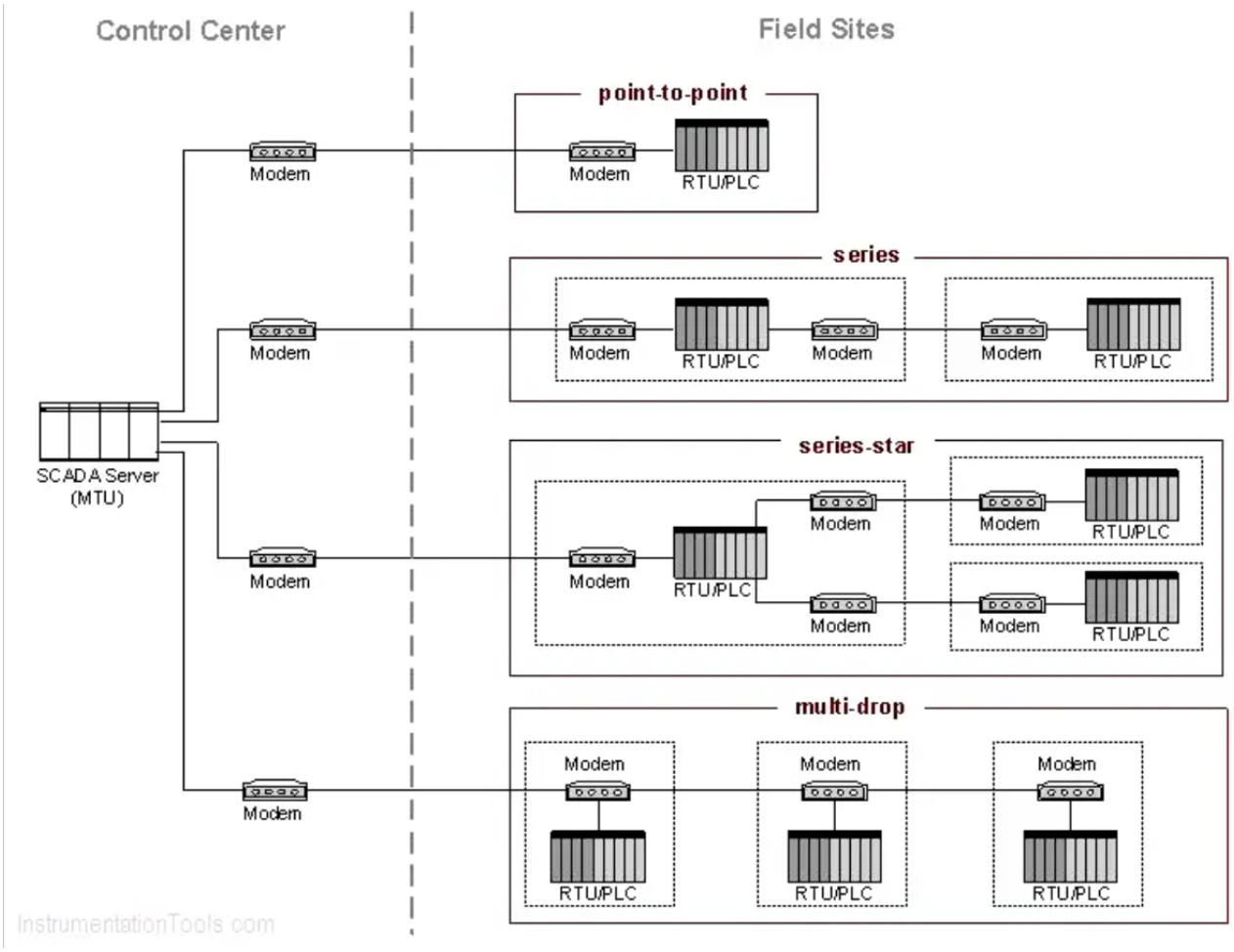


Fig. 1.7: Topologies de communication SCADA de base [3]

2) **Topologie SCADA étendue** Les grands systèmes SCADA contenant des centaines de RTUs emploient souvent un sous-serveur de contrôle pour alléger la charge sur le serveur principal. Ce type de topologie est illustré dans la Figure 1.8, qui présente un exemple de mise en œuvre d'un système SCADA pour la surveillance et le contrôle de la distribution, comme le montre la figure 1.9.

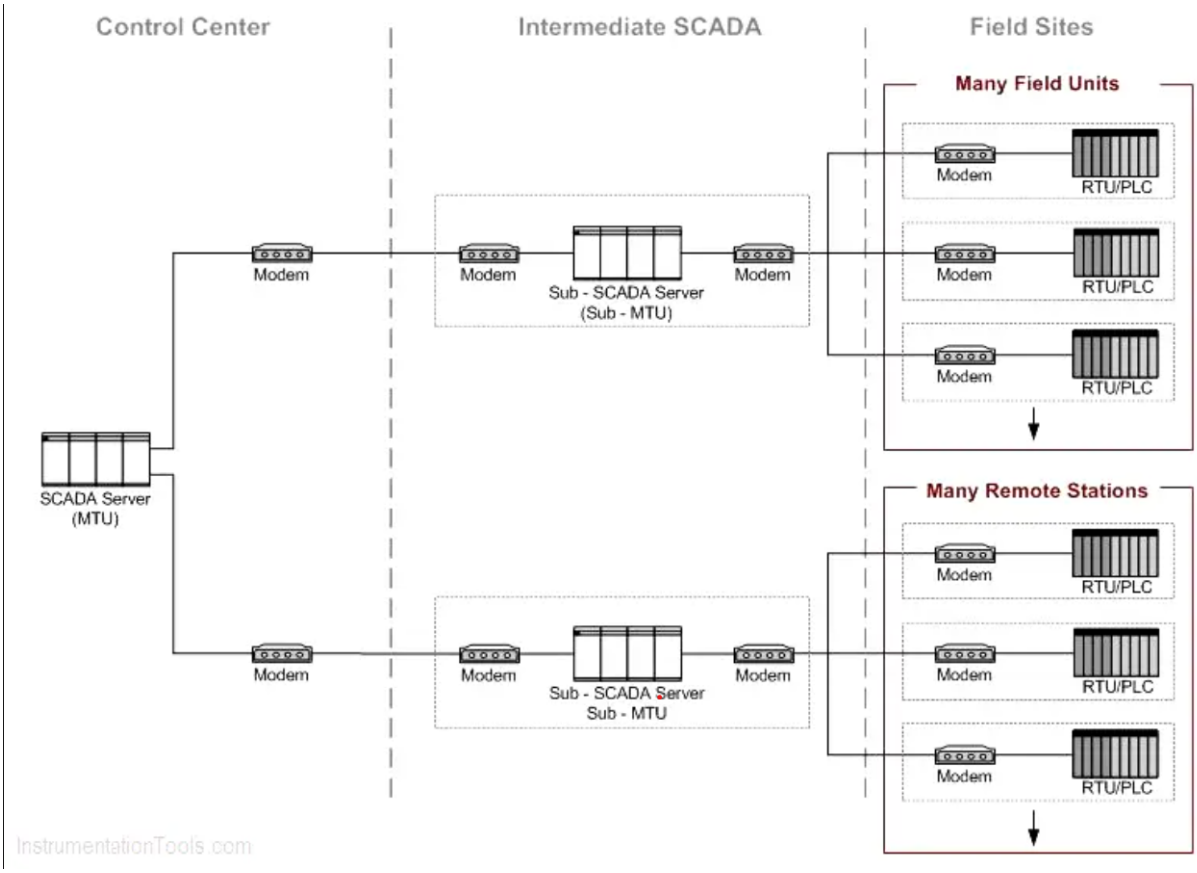


FIG. 1.8: Topologies de communication SCADA étendue [3].

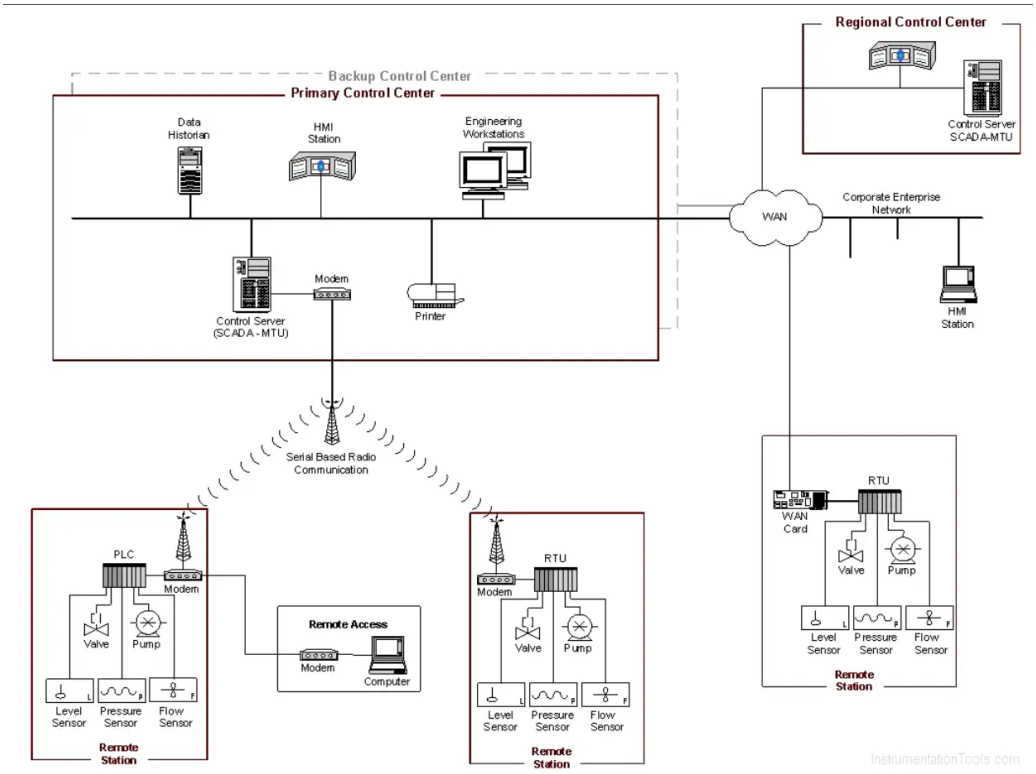


FIG. 1.9: Exemple de mise en œuvre d'un système SCADA (Surveillance et contrôle de la distribution) [3].

La Figure1.10 montre un exemple d'implémentation pour la surveillance et le contrôle ferroviaire. Cet exemple comprend un centre de contrôle ferroviaire qui abrite le système SCADA et trois sections d'un système ferroviaire. Le système SCADA interroge les sections ferroviaires pour des informations telles que l'état des trains, des systèmes de signalisation, des systèmes d'électrification de la traction et des distributeurs automatiques de billets. Ces informations sont également transmises aux consoles des opérateurs de la station HMI située dans le centre de contrôle ferroviaire. Le système SCADA surveille également les entrées des opérateurs au centre de contrôle ferroviaire et distribue des commandes d'opérateur de haut niveau aux composants de la section ferroviaire. De plus, le système SCADA surveille les conditions dans les sections ferroviaires individuelles et émet des commandes en fonction de ces conditions (par exemple, arrêter un train pour l'empêcher d'entrer dans une zone qui a été déterminée comme inondée ou occupée par un autre train en fonction de la surveillance des conditions) [5].

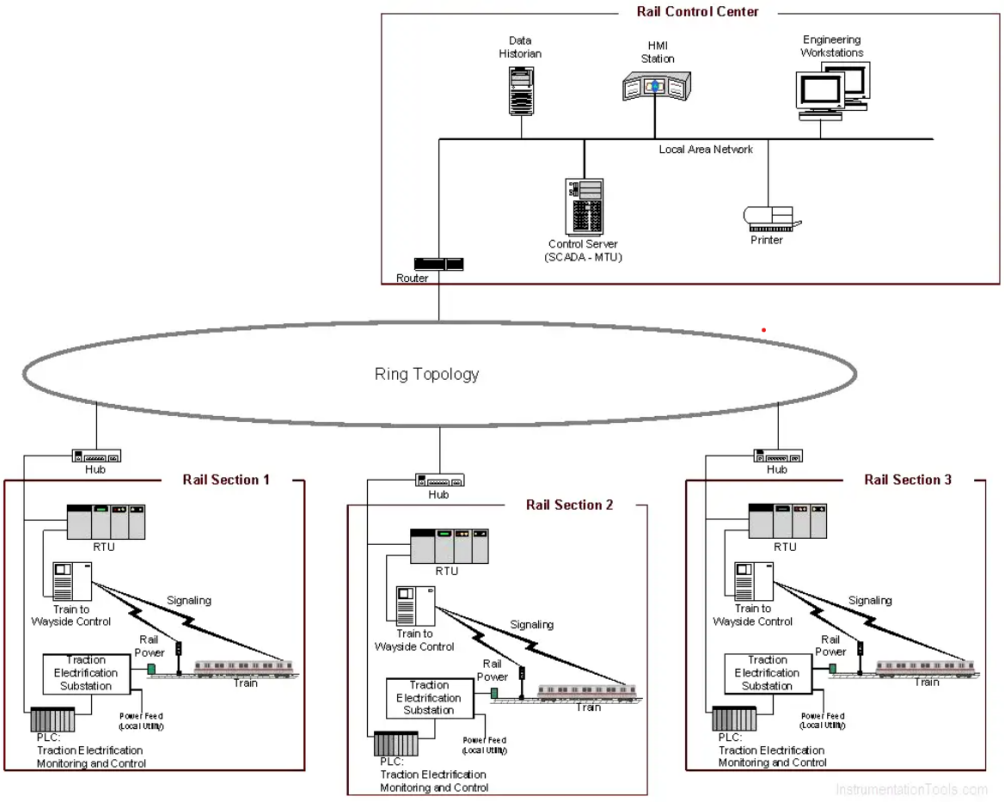


Fig. 1.10: Exemple d'implémentation pour la surveillance et le contrôle ferroviaire [5]

1.4 Fonctions des systemes SCADA

Les fonctions principales d'un système SCADA sont :

- Acquisition des données provenant des dispositifs d'instrumentation de terrain via des RTU.
- Traitement des données de terrain pour détecter les alarmes et autres changements significatifs dans le processus.
- Fourniture d'une base de données cohérente d'informations sur le processus concernant le pipeline et les installations.

- Présentation des données via une interface utilisateur graphique facile à comprendre, des alarmes, des tendances et des rapports.
- Exécution d'un contrôle à distance des dispositifs de terrain.
- Exécution d'une surveillance et d'un diagnostic du système et prise de mesures appropriées.
- Archivage historique des données pour un stockage et une analyse historique à court et long terme.
- Transfert de données d'ingénierie en temps réel directement vers et depuis le système de modélisation tel que le système
- d'application de pipeline.
- Fourniture de données système aux systèmes d'information de gestion (MIS)[8] et de gestion de la chaîne d'approvisionnement.
- Intégration avec des installations de système d'information géographique (GIS)[9].[6]

1.5 Evolution des Architectures SCADA

Les systèmes SCADA sont classés en quatre générations d'architectures :

1.5.1 Monolithique

Le système SCADA original a été créé à une époque où les réseaux n'existaient pas. Ces premiers systèmes n'étaient pas conçus pour se connecter à d'autres systèmes. Les réseaux étendus (WAN) communiquaient avec des unités terminales distantes. La redondance était assurée par la connexion d'un ordinateur de secours à toutes Les RTUs.

1.5.2 Distribuée

La deuxième génération de SCADA a pu tirer parti des réseaux locaux (LAN) et était plus petite et moins chère que son prédécesseur. Les informations étaient partagées en quasi temps réel entre les stations, chacune ayant ses propres tâches. La distribution a augmenté la puissance de traitement et la redondance du système.

1.5.3 Réseau

La communication sur les (WAN's) et l'utilisation de PLC pour la surveillance font de cette génération quelque chose de similaire à la 2ème génération. Cependant, elle est capable de se connecter à Internet et à des périphériques tiers.

1.5.4 IoT

En combinant le SCADA avec le cloud[10], l'IoT[11] fournit aux systèmes SCADA une alternative aux PLC et l'utilisation de la modélisation de données et d'algorithmes complexes [7].

[8] **MIS** Systèmes d'information de gestion
[9] **GIS** Système d'information géographique
[10] **Cloud** Services informatiques via Internet
[11] **IoT** Internet des objets

1.6 SCADA pour le système de distribution d'énergie électrique

Le système de distribution d'énergie électrique gère la dispersion de l'électricité des postes de distribution vers les charges. De nombreuses entreprises de services publics dépendent du travail manuel pour effectuer les tâches de distribution telles que l'interruption de l'alimentation des charges, la vérification horaire des métriques clés, le diagnostic des pannes...etc.

La mise en œuvre de SCADA dans la distribution d'énergie électrique réduit non seulement l'opération manuelle et ses coûts, mais facilite également des processus fluides en réduisant les interruptions.
Le système SCADA rassemble les données provenant de divers postes électriques et les traite en conséquence. Les automates programmables (PLC) dans les postes surveillent en continu les composants du poste et les transmettent au système central.

1.6.1 L'importance cruciale de la Téléconduite dans les systemes d'énergie électriques

L'objectif à atteindre est d'assurer le fonctionnement optimal de l'ensemble du système électrique en termes d'économie, de qualité et de sécurité de l'approvisionnement électrique. Plus précisément, cet objectif peut être décomposé en plusieurs points :

Qualité

Assurer une alimentation électrique continue et améliorer le service client pour un fonctionnement optimal du système.

Économie

Optimiser l'exploitation du système en minimisant les pertes, en planifiant le développement du réseau et en effectuant une maintenance régulière.

Sécurité

Protéger les employés et garantir la sécurité des consommateurs en détectant rapidement les pannes, assurant une restauration rapide du réseau et en préservant l'environnement.

Sûreté

Assurer la sécurité du système électrique en détectant rapidement les pannes, en assurant une restauration rapide du réseau électrique en cas de panne et en préservant l'environnement. [8].

1.6.2 Principaux protocoles de transports utilisés dans la Téléconduite

Modbus

Modbus est un protocole de communication série développé par Modicon. C'est une méthode utilisée pour transmettre des informations en série (une après l'autre) entre les dispositifs électroniques.

Le système SCADA utilise le protocole Modbus pour la communication en couche OSI (Open System Interconnexion) ou la communication en temps réel entre les équipements de terrain connectés à plusieurs lignes réseau. Modbus a utilisé quatre types de communication entre la station maître et la station distante comme message de demande à la station maîtresse, message de réponse de la station maîtresse, accusé de réception de message / traitement ou confirmation (sur réception d'un message par station distante) station distante. Habituellement, le protocole Modbus fournit des services de communication "entre l'unité terminale maîtresse et les unités terminales distantes et/ou entre les dispositifs de terrain et l'IHM. Dans le système SCADA,

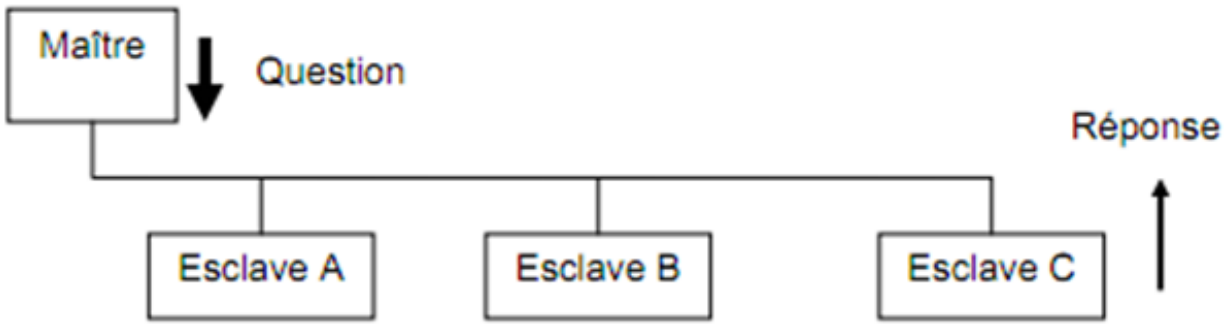


Fig. 1.11: Principe de fonctionnement du Modbus.

lorsque la station distante initialise la communication et envoie le message de demande au protocole Modbus de la station maître, ce message (demande) est assemblé de la station distante vers l'unité de données de protocole (PDU). Ou en ajoutant un code de fonction avec les données demandées, également appelé unité de données de protocole (PDU). En ajoutant des champs à la couche OSI 2, l'unité de données de protocole (PDU) construite va se convertir en une unité de données d'application (ADU). À la réception, la station maître générera le message de demande et le renverra à la station distante.

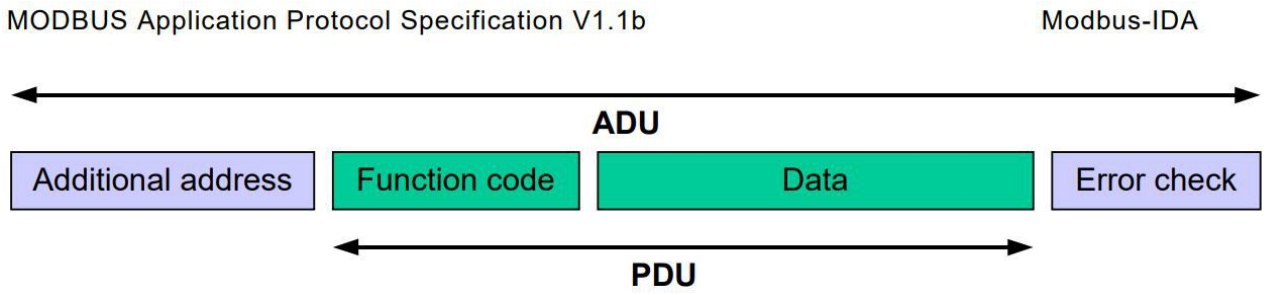


Fig. 1.12: Structure générale de la trame Modbus

DNP3

DNP3 est l'acronyme de « Distributed Network Protocol » est un protocole ouvert et public, DNP3 est basé sur l'utilisation du modèle EPA[12] « Enhanced Performance Architecture ».

Le protocole de réseau distribué (DNP3) est l'un des protocoles ouverts importants utilisés dans les communications SCADA entre la station terminale principale et les stations terminales distantes ou les stations externes. Généralement, la station terminale principale initialise

[12]**EPA** Évaluation de performance d'architecture

la commande ou envoie des données à la station terminale distante et à la réponse de la station terminale distante en fonction de la demande de la station terminale principale. Le protocole DNP est utilisé pour les communications série ou Internet Protocol (IP) entre la station terminale principale et les stations terminales distantes. En utilisant le protocole TCP / IP, DNP3 fournit la communication sur Internet entre les périphériques connectés dans les réseaux étendus (WAN) et le protocole DNP3 est situé au-dessus de la suite de protocoles TCP / IP dans la hiérarchie de communication pour une communication équitable sur Internet.

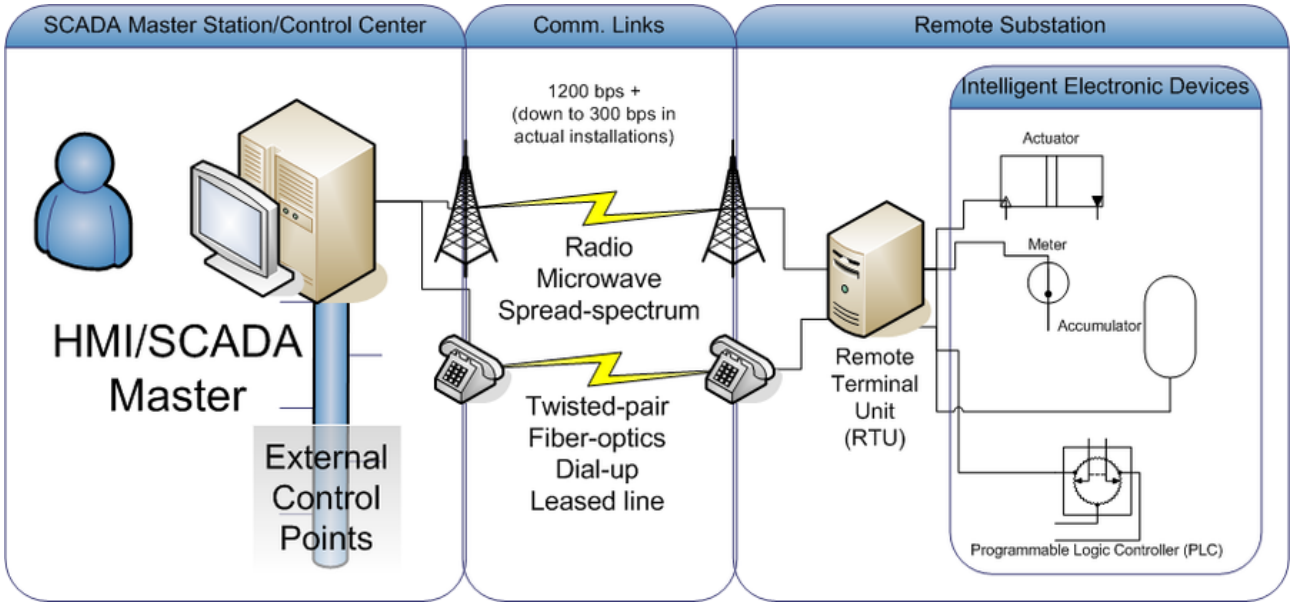


Fig. 1.13: Aperçu du protocole DNP3

IEC 60870-5

IEC 60870-5 est l'ensemble de normes produites par la Commission électrotechnique internationale (CEI). Il a été créé pour fournir une norme ouverte pour la transmission de la télémétrie, du contrôle et de l'information SCADA. Il fournit une description fonctionnelle détaillée de l'équipement de télécontrôle et des systèmes de contrôle de processus géographiquement répartis, spécifiquement pour les systèmes SCADA. La norme est destinée à être appliquée dans les industries électriques et possède des objets de données spécifiquement destinés à de telles applications. Elle est également applicable aux applications SCADA générales dans n'importe quelle industrie. Cependant, le protocole IEC 60870-5 est principalement utilisé dans les industries électriques des pays européens.

Lorsque l'IEC[13] 60870-5 a été initialement achevé en 1995 avec la publication du profil IEC 870-5-101, il ne couvrait que la transmission sur des circuits de communication bit-sérieux de bande passante relativement faible. Avec l'utilisation de plus en plus répandue de la technologie de communication en réseau, l'IEC 60870-5 prévoit désormais également les communications sur les réseaux utilisant la suite de protocoles TCP/IP. Cette même séquence de développement s'est produite pour DNP3 [9]

[13]**IEC** Commission électrotechnique internationale

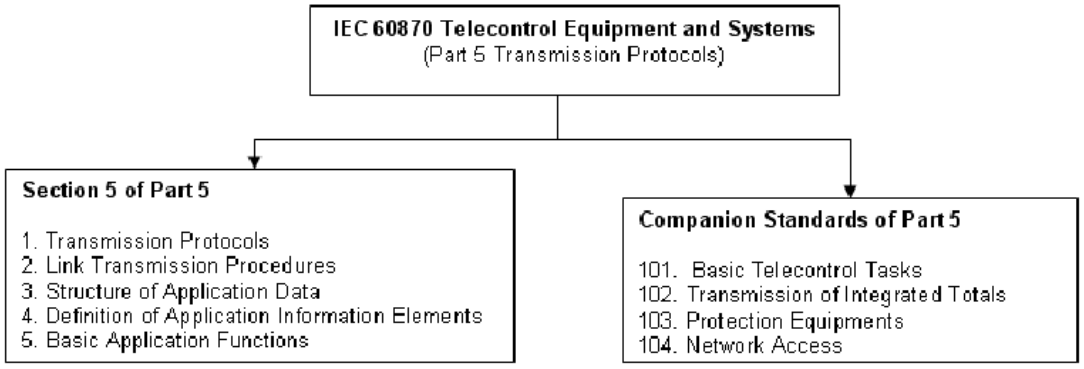


Fig. 1.14: La structure de l'IEC 60870.

Profibus

Les dispositifs Profibus communiquent en utilisant le profil de communication PROFIBUS DP (périphérie décentralisée) standardisé, qui définit les règles régissant la communication. Au cœur du profil de communication se trouve ce que l'on appelle le concept maître/esclave, où un maître (interlocuteur actif en communication) interroge cycliquement les esclaves associés (interlocuteurs passifs en communication). Lorsqu'un esclave est interrogé, il réagit en envoyant une trame de réponse au maître interrogateur. Une trame de demande contient les données de sortie, par exemple la vitesse de consigne d'un entraînement, et la trame de réponse associée contient les données d'entrée, par exemple la dernière valeur mesurée par un capteur. Dans un cycle de bus, le maître interroge, par exemple échange des données d'E/S avec, tous les esclaves associés. Ce cycle d'interrogation est répété aussi rapidement que possible.

En parallèle avec ce type de communication, qui est décrit comme cyclique et prend en charge l'échange régulier de données d'entrée et de sortie entre un maître et ses esclaves, les données de paramètre, par exemple les réglages des dispositifs, peuvent également être transmises via PROFIBUS. Cette action est initiée par le maître (typiquement sous le contrôle d'un programme utilisateur) entre les cycles d'E/S pour lire et/ou écrire les données de paramètre de l'esclave. Ce type de communication est appelé communication acyclique.

Il peut y avoir plus d'un maître sur un système PROFIBUS. Dans de tels systèmes, les droits d'accès sont passés d'un maître à l'autre (passage de jeton).

Afin de répondre de la meilleure façon possible aux exigences spécifiques des différents domaines d'application, le système de communication PROFIBUS a été étendu au-delà de sa fonctionnalité de base pour inclure un certain nombre de niveaux supplémentaires prenant en charge des fonctions spéciales. Il existe actuellement trois niveaux de protocole : DP-V0, DP-V1 et DP-V2.

OPC

OPC signifie OLE (Object linking and Embedding) for Process Control - maintenant également appelé Open Process Control - et établit une distinction entre les fournisseurs de matériel et les développeurs de logiciels. Il fournit un mécanisme pour fournir des données à partir d'une source de données et les transmet à toute application cliente de manière standardisée. L'utilité de l'OPC a atteint le point où l'automatisation sans l'OPC est impensable. Cette interface est prise en charge par presque tous les systèmes SCADA, de visualisation et de contrôle de processus.

Elle offre aux applications de production et commerciales de l'ensemble de l'entreprise manufacturière un accès aux informations de l'usine en temps réel de manière cohérente, rendant l'interopérabilité multivendeur et la connectivité « plug and play » une réalité.

L'interopérabilité est assurée par la création et la maintenance de spécifications de normes ouvertes. Il existe actuellement sept spécifications de normes terminées ou en développement. Basé sur les normes et la technologie fondamentales du marché de l'informatique générale, la Fondation OPC adapte et crée des spécifications qui répondent aux besoins spécifiques de l'industrie. L'OPC continuera de créer de nouvelles normes au fur et à mesure des besoins et d'adapter les normes existantes pour utiliser les nouvelles technologies. L'OPC est basé sur le modèle de programmation d'objets de composants DCOM/COM développé par Microsoft, dans lequel les logiciels sont divisés en parties plus petites.

Les systèmes SCADA basés sur le Web utilisent Internet pour transférer des données entre les unités terminales distantes (RTU) et l'unité terminale principale (MTU) et/ou entre les postes de travail des opérateurs et la MTU. Cela permet de réduire les coûts d'installation du réseau SCADA par rapport à l'installation d'un réseau dédié [10]. Par conséquent, de nombreux chercheurs du monde entier ont essayé de concevoir et de mettre en œuvre une approche pour accéder à un serveur OPC DA via Internet afin de réaliser un système SCADA basé sur le Web. DCOM est adapté pour les LAN où il y a moins d'interruptions et de bruit, mais lorsqu'il est utilisé via Internet, il y aura certaines limitations liées à sa nature. Pour cette raison, les chercheurs ont essayé d'utiliser des services informatiques (IT) pour atteindre leurs objectifs. Dans les sections suivantes, nous présentons un aperçu des travaux dans ce domaine.

Évaluation Comparative des Equipements de Téléconduite

2.1 Présentation des fabriquant d'équipement de Téléconduite et leurs produits

2.1.1 Présentation de marché

Il existe des statistiques internationaux qui nous informent que le taille des marchés de certains équipements de Téléconduite est significativement grande, par exemple pour les plcs d'après "Markt-
Watch"[11]. Le marché mondial des contrôleurs logiques programmables (PLC) était évalué à 12410 millions USD en 2019 et il devrait atteindre 15940 millions USD d'ici la fin de 2026, et pour La taille du marché des RTU le potentiel de croissance est de 1,94 milliard USD au cours de la période 2020-2024[12].

D'après ces statistiques, on constate que le marché des équipements de Téléconduite prend une partie importante du marché mondiale des equipements industriels.

2.1.2 Présentation des fournisseurs

Il existe plusieurs fournisseurs d'équipements de Téléconduite pour les systèmes SCADA. Voici quelques exemples de fournisseurs connus :

- **Schneider Electric :** qui est une multinationale d'origine français. Experte et leader Mondial de l'efficacité énergétique et de la durabilité, des solutions énergétiques numériques et de l'automatisation.
- **Siemens :** est un groupe international d'origine allemande spécialisé dans les secteurs de l'énergie, de la santé, de l'industrie et du bâtiment.
- **ABB :**est une société suédo-suisse dont le siège est à Vasteras, en Suède et à Zurich, en Suisse. Est une grande entreprise de technologie énergétique et d'automatisation.
- **Honeywell :** Est une société américaine fondée en 1906, à l'origine uniquement engagée dans la régulation thermique, aujourd'hui principalement impliquée dans l'énergie nucléaire, l'aérospatiale, l'automatisation des bâtiments et la défense.
- **Emerson :** Emerson est une multinationale basée à Ferguson, dans le Missouri, aux États-Unis. Cette société fournit une large gamme de services d'ingénierie aux industriels et commerciaux.
- **Yokogawa Electric Corporation :** est une entreprise japonaise d'électrotechnique. Fondée en 1915, elle est notamment pionnière du système numérique de contrôle-commande.
- **Mitsubishi Electric Corporation :** est une entreprise japonaise de fabrication de matériel électrique et architectural ainsi que l'un des plus grands producteurs mondiaux de panneaux photovoltaïques où ses principaux concurrents sont Sharp, Kyocera, BP Solar et Shell Solar.
- **Rockwell Automation (Allen Bradley) :** Rockwell Automation est une entreprise de génie électrique et d'automation, basée à Milwaukee dans le Wisconsin. Elle est un fournisseur d'envergure mondial de solutions d'automatisation industrielle, de puissance, de contrôle et d'information.

2.1.3 Présentation des importants équipements de terrain

Dans ce qui suit, nous avons étudie deux équipements de terrain utilisés dans la Téléconduite (RTU et PLC) des quatre fournisseurs qui sévissent actuellement sur le marché algérien, à savoir : Siemens, ABB, Schneider Electric et Rockwell Automation.

Siemens

Les appareils de la famille RTU3000C sont des stations de Téléconduite compactes RTU pour une utilisation autosuffisante en énergie. Ils conviennent tout particulièrement à la surveillance et à la commande de stations extérieures non raccordées au réseau d'alimentation électrique. Ces RTUs sont en mesure de collecter de manière autonome des données horodatées issues de capteurs raccordés, de les prétraiter et de les transférer à un poste de conduite. La RTU3000C est alimentée par le biais d'une pile, d'un accumulateur, d'un panneau solaire ou d'un bloc d'alimentation CC 12 à 24 V CC [13].
Dans cette famille il existe plusieurs modèles des RTU, on peut en citer 3 :



Fig. 2.1: Modèle de RTU3030C.

- **SIMATIC RTU3030C :** Le RTU, comme montré dans la figure 2.1 a un modem 3G intégré (supporte GSM/GPRS et UMTS) sert à surveiller et commander des stations externes qui sont réparties géographiquement et ne sont pas connectées à un réseau d'alimentation en énergie. La RTU permet d'enregistrer des données du processus et de Les transmettre à un poste de conduite central ou dans le cloud par téléphonie mobile ou par Le biais de l'interface de réseau local et d'un routeur externe.

- **SIMATIC RTU3031C :** C'est le même que SIMATIC RTU3030C mais a en plus 4 sorties TOR additionnelles et prend en charge la géolocalisation et synchronisation d'horloges via GPS.
- **SIMATIC RTU3041C :** C'est le même que SIMATIC RTU3030C la seule différence c'est qu'il a un modem 4G intégré au lieu de 3G.

Et en plus **Siemens** fournie d'autre RTU modulaire parmi eux :

- **RTU modulaires SIMATIC ET 200SP–Design compact et performances impressionnantes :** Les stations de Téléconduite modulaires sur la base du "Distributed Controller SIMATIC ET 200SP" convainquent par leur design particulièrement compact et par des performances impressionnantes. Le processeur de communication "CP 1542SP-1 IRC" leur permet de communiquer avec un poste de conduite "Telecontrol" par différents protocoles de Téléconduite. Ainsi les avantages du système SIMATIC ET 200SP peuvent aussi être utilisés dans l'environnement Telecontrol [14].

Les différents modèles de SIMATIC PLCs de Siemens ont des fonctionnalités et des capacités différentes. Voici une brève description de chaque modèle [15] :

- **SIMATIC ET 200:** Un système d'E/S distribué conçu pour les applications décentralisées, offrant une grande flexibilité et une variété d'options d'interface. Il est modulaire et peut être étendu avec des modules d'E/S supplémentaires pour répondre à des exigences spécifiques.

- **SIMATIC S7-200:** Un contrôleur compact conçu pour les applications de niveau inférieur avec une faible complexité de contrôle. Il est facile à programmer et à mettre en service, avec une gamme d'interfaces intégrées.

- **SIMATIC S7-300:** Comme montré dans la figure 2.2 es tUn contrôleur modulaire conçu pour les applications de niveau moyen, avec une grande flexibilité et une large gamme d'interfaces d'E/S. Il peut être étendu avec des modules supplémentaires pour prendre en charge une variété de fonctions et de tâches.

- **SIMATIC S7-400:** Comme montré dans la figure 2.2 est Un contrôleur haut de gamme pour les applications de niveau supérieur, avec une grande capacité de mémoire et de traitement et une gamme complète d'interfaces d'E/S. Il peut être utilisé pour des applications de contrôle de processus et de production hautement automatisées.

- **SIMATIC S7-1200:** Comme montré dans la figure 2.2 est Un contrôleur compact conçu pour les applications de niveau inférieur avec une faible complexité de contrôle. Il est facile à programmer et à mettre en service, avec une gamme d'interfaces intégrées et une option de modules d'extension pour les fonctionnalités supplémentaires.

- **SIMATIC S7-1500:** Comme montré dans la figure 2.2 est Un contrôleur avancé pour les applications industrielles plus complexes, avec des temps de cycle de traitement rapides et une grande capacité de mémoire. Il est capable de traiter des tâches de contrôle plus complexes et offre une gamme de fonctions de sécurité intégrées.

Il convient de noter que Siemens propose également des contrôleurs spécifiques pour les applications telles que la robotique (SIMATIC S7-1500 T-CPU), les applications de motion control (SIMATIC S7-1500 Motion Control), et d'autres applications spécialisées.

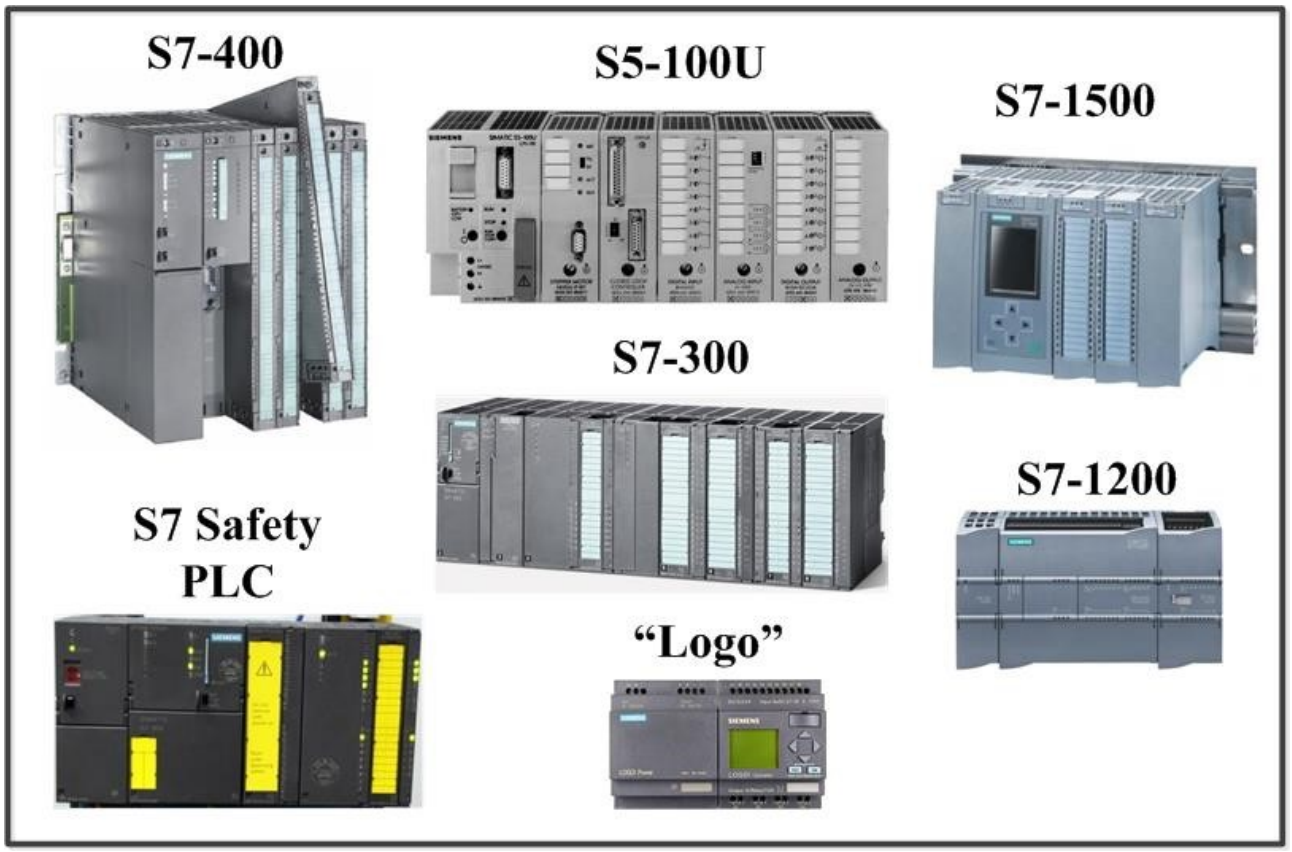


Fig. 2.2: Différents modèles de SIMATIC PLCs de Siemens .

ABB

Parmi les exemples de RTU largement exploitées dans le marché national nous citons [16] :

- **RTU560:** Comme représenté dans la figure 2.3 cette RTU modulaire offre des fonctionnalités de communication avancées, une grande capacité de traitement de données et une grande flexibilité en termes d'entrées/sorties. Elle est conçue pour être utilisée dans des environnements difficiles et est capable de résister à des températures extrêmes, des vibrations et des chocs.

- **RTU540:** Cette RTU compacte est conçue pour être utilisée dans des applications de télégestion d'eau et d'énergie, offrant une grande résistance aux conditions environnementales extrêmes. Elle dispose d'une grande capacité de stockage de données, de fonctionnalités de sécurité avancées et de communications haut débit.

- **RTU520:** Cette RTU compacte et économique est conçue pour les applications de surveillance et de contrôle à distance des équipements industriels. Elle dispose de nombreuses entrées/sorties et offre des fonctionnalités avancées de communication et de sécurité.

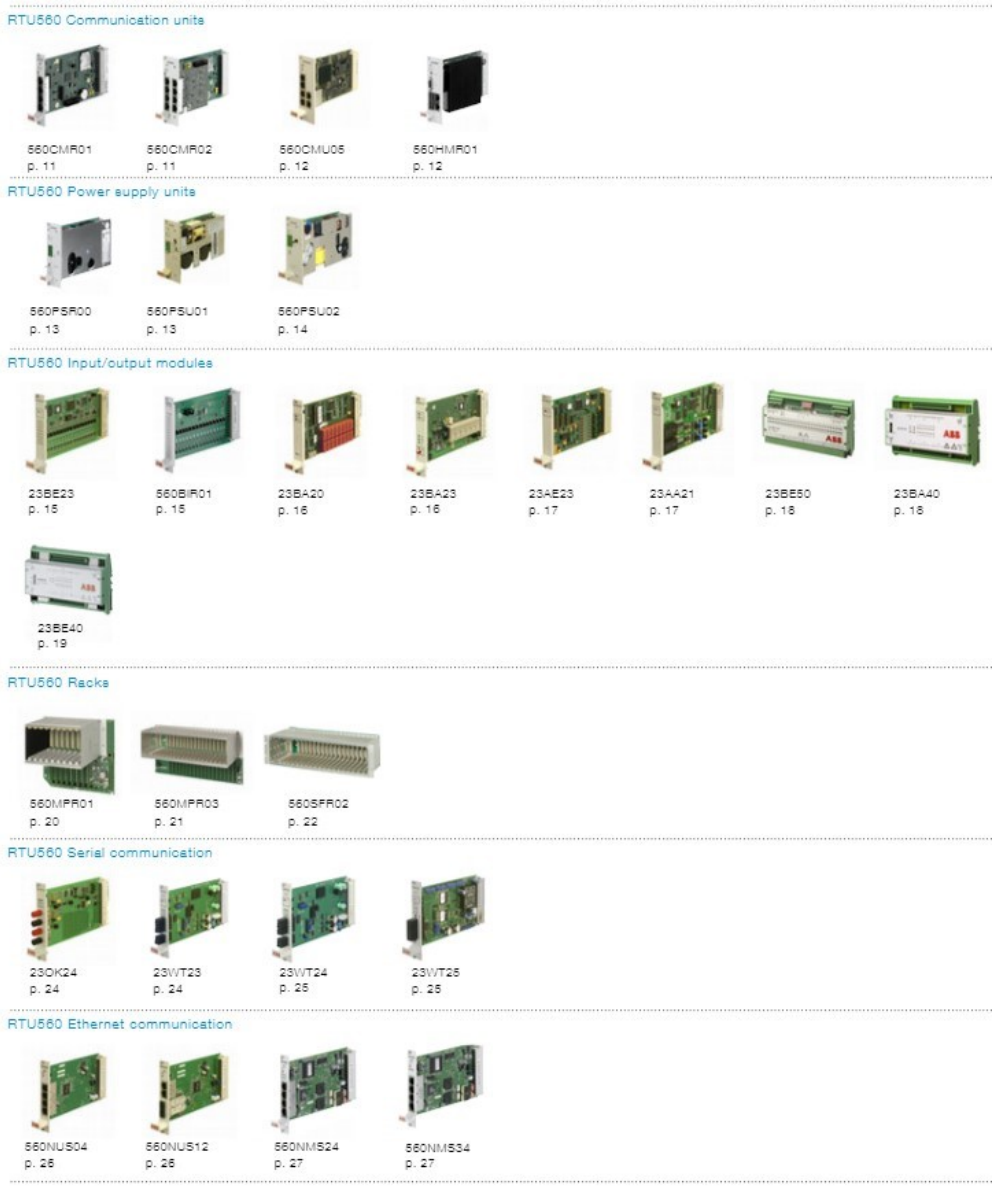


Fig. 2.3: Les différents modules RTU 560 .

Voici quelques-uns des modèles de PLC proposés par ABB :

- **PLC-AC500:** une famille de contrôleurs programmables modulaires pour les applications industrielles de moyenne à grande envergure. Cette famille de produits offre une grande flexibilité et de nombreuses options de communication pour s'adapter aux besoins de chaque application.



Fig. 2.4: Modèle PLC AC500.

- **PLC-AC500-XC [17] :** un contrôleur programmable à sécurité intégrée pour les applications nécessitant une sécurité accrue, telles que les systèmes de surveillance des machines ou les systèmes de protection des personnes.



Fig. 2.5: Modèle PLC AC500-XC.

- **PLC-AC500-S [18] :** une famille de contrôleurs programmables destinée aux applications de sécurité fonctionnelle, conformément aux normes internationales IEC 61508 et IEC 62061.



Fig. 2.6: Modèle PLC AC500-S.

- **PLC-AC500 eco PLC :** une gamme de PLC économiques pour les petites applications industrielles. Ces contrôleurs programmables offrent des fonctions de base pour la commande des machines et des processus.

- **PLC-AC500-XC Safety PLC :** une famille de PLC programmables à sécurité intégrée pour les applications nécessitant une sécurité accrue, telles que les systèmes de surveillance des machines ou les systèmes de protection des personnes.

Schneider Electric

Schneider Electric propose plusieurs gammes de RTU pour les applications de Téléconduite :

- **Gamme TALUS [19] :** La gamme TALUS de Schneider Electric est une solution RTU destinée aux réseaux électriques. Les RTUs de la gamme TALUS proposent des fonctionnalités avancées de surveillance, de contrôle et de gestion des réseaux, ce qui permet une exploitation efficace et fiable des infrastructures électriques souterraines. Ces RTUs offrent une connectivité étendue, une robustesse accrue et une intégration transparente avec les systèmes SCADA existants.



Fig. 2.7: Modèle RTU TALUS T200 E/S

- **Gamme SCADAPack [20] :** cette gamme comprend des RTU modulaires et programmables pour les applications de surveillance et de contrôle des processus industriels. Les modèles SCADAPacks sont disponibles en différentes tailles et configurations pour répondre aux besoins des différents types d'applications.



Fig. 2.8: Modèle RTU SCADAPack 350.

- **Gamme ADVC [21] :** cette gamme de RTU est spécialement conçue pour les applications de Téléconduite et de télémétrie. Les RTUs ADVC sont disponibles en différentes tailles et configurations, offrant une large gamme de fonctionnalités pour répondre aux besoins spécifiques de chaque application.

Les RTUs de Schneider Electric sont équipés de différents types d'interfaces de communication, tels qu'Ethernet, RS-232, RS-485, GPRS, etc. Ils prennent en charge différents protocoles de communication pour garantir une intégration facile avec les systèmes SCADA. Les RTUs de Schneider Electric sont également conçus pour résister aux conditions environnementales difficiles, comme les températures extrêmes, l'humidité, la poussière et les vibrations.



Fig. 2.9: Modèle RTU ADVC.

Voici une description de quelques PLC du fournisseur Schneider Electric :

- **Modicon M340 [22] :** Comme représenté dans la figure 2.1.3 le Modicon M340 est un PLC modulaire destiné aux applications de contrôle de processus et de machines. Il est doté d'une architecture à hautes performances et permet une grande flexibilité en termes de configuration. Il est équipé d'un processeur à haute vitesse et dispose de plusieurs options de communication.



Fig. 2.10: Modicon M340 .

- **Modicon M580 [23] :** comme montré dans la figure 2.11 le Modicon M580 est un PLC de nouvelle génération, qui intègre les dernières technologies de communication et de sécurité. Il est conçu pour les applications critiques et nécessitant une grande disponibilité. Il est doté d'un processeur redondant et de fonctionnalités de sécurité intégrées.



Fig. 2.11: Modicon M580.

- **Modicon M221 [24] :** Le Modicon M221 est un PLC compact destiné aux applications de contrôle de machines et d'automatismes. Il est facile à utiliser et à installer, et dispose de fonctionnalités avancées telles que des fonctions de motion control, des entrées/sorties analogiques et une grande capacité de stockage.



Fig. 2.12: Modicon M221.

- **Modicon M238 [25] :** Comme représenté dans la figure 2.13 le Modicon M238 est un PLC destiné aux applications de contrôle de processus et de machines. Il est conçu pour une utilisation en environnement industriel difficile, avec une grande robustesse et une grande résistance aux perturbations électromagnétiques. Il dispose de plusieurs options de communication et de fonctionnalités avancées telles que des fonctions de motion control.



Fig. 2.13: Modicon M238 .

- **Modicon Quantum [26] :** Le Modicon Quantum est un PLC modulaire destiné aux applications de contrôle de processus et de machines de grande envergure. Il est doté d'une architecture à hautes performances et permet une grande flexibilité en termes de configuration. Il dispose de nombreuses options de communication et de fonctionnalités avancées telles que des fonctions de motion control et une grande capacité de stockage.



Fig. 2.14: Modicon Quantum.

- **Modicon Premium [27] :** Le Modicon Premium est un PLC modulaire destiné aux applications de contrôle de processus et de machines de grande envergure. Il est doté d'une architecture à hautes performances et permet une grande flexibilité en termes de configuration. Il dispose de nombreuses options de communication et de fonctionnalités avancées telles que des fonctions de motion control et une grande capacité de stockage.



Fig. 2.15: Modicon Premium.

Rockwell Automation

Voici une brève description de quelques modèles de PLC de Rockwell Automation :

- **CompactLogix :** c'est une gamme de PLC modulaires et compacts, conçus pour les applications de contrôle de petite à moyenne envergure. Ils sont équipés d'un processeur rapide et offrent une grande flexibilité pour la communication et l'extension d'E/S.



Fig. 2.16: Automate CompactLogix.

- **ControlLogix [28] :** c'est une gamme de PLC modulaires haut de gamme, conçus pour les applications de contrôle de grande envergure. Ils sont équipés d'un processeur rapide et offrent une grande capacité de traitement, de communication et d'extension d'E/S.



Fig. 2.17: Automate ControlLogix.

- **MicroLogix [29] :** c'est une gamme de PLC compacts et économiques, conçus pour les applications de contrôle de petite envergure. Ils sont équipés d'un processeur rapide et offrent une grande flexibilité pour la communication et l'extension d'E/S.



Fig. 2.18: Automate MicroLogix.

- **SLC 500 :** c'est une gamme de PLC modulaires et compacts, conçus pour les applications de contrôle de petite à moyenne envergure. Ils sont équipés d'un processeur rapide et offrent une grande flexibilité pour la communication et l'extension d'E/S.



Fig. 2.19: Automate SLC 500.

- **PLC-5 :** c'est une gamme de PLC modulaires et compacts, conçus pour les applications de contrôle de grande envergure. Ils sont équipés d'un processeur rapide et offrent une grande capacité de traitement, de communication et d'extension d'E/S.



Fig. 2.20: Automate PLC-5 .

- **FlexLogix :** c'est une gamme de PLC modulaires et compacts, conçus pour les applications de contrôle de grande envergure. Ils sont équipés d'un processeur rapide et offrent une grande capacité de traitement, de communication et d'extension d'E/S. Ils sont particulièrement adaptés aux environnements industriels difficiles.



Fig. 2.21: Automate FlexLogix.

2.2 Analyse comparative de l'équipement de Téléconduite sélectionné

2.2.1 Critère d'évaluation

Pour l'évaluation d'équipements de téléconduit sélectionner précédemment en utilise des critères qui sont classifié chaque produite. Voici les critère d'évaluation :

- **Performances :** les performances d'un appareil de Téléconduite sont déterminées par sa capacité à fournir des mesures précises, une haute résolution, des vitesses de transmission rapides et une capacité de stockage suffisante. Les appareils les plus performants sont ceux qui fournissent des mesures précises avec une haute résolution et des vitesses de transfert rapides.

- **Fiabilité :** La fiabilité des équipements de contrôle à distance est un critère important, car toute panne ou défaillance peut entraîner une interruption de service ou la perte de données critiques. Les appareils les plus fiables sont ceux qui ont été testés et validés dans des conditions réelles et qui disposent de fonctionnalités de sécurité avancées telles que la redondance, la surveillance à distance et la détection des erreurs.
- **Sécurité :** La sécurité des dispositifs de contrôle à distance est essentielle pour protéger les systèmes SCADA contre les cyberattaques et les intrusions malveillantes. Les appareils les plus sécurisés sont ceux dotés d'un cryptage avancé, de pare-feu, de contrôles d'accès, d'une gestion des identités et d'autorisations d'accès.
- **Facilité d'utilisation :** La facilité d'utilisation d'un appareil de contrôle à distance est importante pour permettre aux utilisateurs de le configurer, de le surveiller et de le contrôler facilement. Les appareils les plus conviviaux sont ceux dotés d'une interface utilisateur intuitive, d'une documentation claire et d'un dépannage intégré.
- **Coût :** Le coût du matériel de télécommande est un critère important pour les entreprises car il peut avoir un impact significatif sur le budget. Le matériel le plus abordable est celui qui offre les meilleures performances et la plus grande fiabilité.

En somme, les résultats de l'évaluation comparative des équipements de Téléconduite doivent fournir une analyse détaillée de chaque critère d'évaluation pour chaque équipement sélectionné, mais nous dans ce projet en va donner une évaluation globale pour aider à déterminer lequel est le plus adapté à votre système SCADA en fonction de vos besoins et de votre budget.

2.2.2 Analyse comparative entre les équipements de Téléconduite de chaque fournisseur

Dans cette partie on va faire une comparaison entre les quatre fournisseurs des équipements sélectionnés , puis on fera une classification de chaque fournisseur en se basant sur les critères mentionnés précédemment.

Voici une liste des points forts des RTU que nous avons mentionné précédemment :

Tab. 2.1: Liste des points forts des RTU des fournisseurs mentionnés.

Siemens	Haute disponibilité et robustesse. Flexibilité pour s'adapter à différents protocoles de communication. Possibilité de mise en réseau de plusieurs RTU pour une utilisation à grande échelle.
ABB	Capacité de traitement rapide et précis des données en temps réel. Conception modulaire pour une évolutivité facile. Excellente intégration avec les systèmes de contrôle de processus d'ABB.
Schneider	Capacité de traitement haute performance pour des applications industrielles exigeantes. Intégration facile avec les logiciels de supervision de Schneider Electric. Fonctionnalités avancées de cybersécurité.

Ces points forts peuvent varier en fonction des besoins spécifiques de l'application et des exigences de l'utilisateur.

Nous avons répertorié ci-dessous quelques points forts de chaque modèle de PLC des fournisseurs mentionnés :

Siemens

- SIMATIC S7-1200 : compact et facile à utiliser, adapté aux petites applications industrielles.
- SIMATIC S7-1500 : performances élevées, grande capacité de mémoire, sécurité intégrée, facile à intégrer dans des réseaux complexes.
- SIMATIC S7-300 : polyvalence, robustesse et adaptabilité aux applications de taille moyenne à grande.
- SIMATIC S7-400 : performances élevées, grande capacité de mémoire, adaptabilité aux applications de grande taille.
- SIMATIC ET 200 : modularité, adaptabilité aux différentes tailles d'applications, évolutivité.

ABB

- AC500 : polyvalence, grande capacité de mémoire, performances élevées, sécurité intégrée, convivialité.
- AC500-eCo : économique, compact et facile à utiliser, adapté aux petites applications industrielles.
- AC500-S : performances élevées, adaptabilité aux applications de grande taille, évolutivité, sécurité intégrée.

Schneider Electric

- Modicon M340 : performances élevées, grande capacité de mémoire, modularité, sécurité intégrée, adaptabilité aux applications de taille moyenne à grande.
- Modicon M580 : performances élevées, grande capacité de mémoire, sécurité intégrée, adaptabilité aux applications de grande taille, communication rapide.
- Modicon M221 : compact, facile à utiliser, adapté aux petites applications industrielles.
- Modicon M238 : performances élevées, convivialité, adaptabilité aux applications de taille moyenne.
- Modicon Quantum : polyvalence, performances élevées, grande capacité de mémoire, sécurité intégrée, adaptabilité aux applications de grande taille.
- Modicon Premium : robustesse, performances élevées, adaptabilité aux applications de grande taille, évolutivité.

Rockwell Automation

- CompactLogix : performances élevées, communication rapide, adaptabilité aux applications de taille moyenne.
- ControlLogix : performances élevées, grande capacité de mémoire, sécurité intégrée, adaptabilité aux applications de grande taille, évolutivité.
- MicroLogix : compact, économique, facile à utiliser, adapté aux petites applications industrielles.
- SLC 500 : polyvalence, robustesse, évolutivité, adaptabilité aux applications de taille moyenne
- PLC-5 : performances élevées, robustesse, adaptabilité aux applications de grande taille.
- FlexLogix : performances élevées, communication rapide, adaptabilité aux applications de grande taille.

2.2.3 Résultats générale de l'étude comparative

1. **Siemens :** est reconnu pour sa gamme étendue de produits PLC et RTU avec une grande variété d'options de communication et de configuration. Ils sont également connus pour leur plateforme TIA (Totally Integrated Automation) qui permet une intégration transparente de l'ensemble du système de contrôle. En outre, Siemens a une présence mondiale avec un support technique étendu et des services de formation.
2. **ABB :** propose des solutions de Téléconduite et de systèmes SCADA pour les industries de l'énergie et de l'eau, notamment avec leur plateforme System 800xA qui offre une vue complète de l'ensemble du système de contrôle. Ils ont également une forte présence dans l'automatisation des processus industriels et sont connus pour leur capacité à gérer des charges de travail élevées avec des performances optimales.
3. **Schneider Electric :** offre une large gamme de PLC et de RTU pour les applications industrielles, avec une attention particulière aux exigences en matière de sécurité. Leurs produits sont également connus pour leur facilité d'utilisation et leur convivialité, ainsi que pour leur intégration transparente avec les autres produits de leur gamme, tels que les variateurs de vitesse et les panneaux de contrôle.
4. **Rockwell Automation :** est connu pour sa gamme de produits PLC, y compris les gammes CompactLogix, ControlLogix, MicroLogix, SLC 500, PLC-5 et FlexLogix, qui offrent des options de configuration flexibles pour les applications industrielles. Ils ont également une forte présence dans les solutions SCADA avec leur plateforme FactoryTalk qui offre des outils de visualisation et d'analyse de données avancés.

Il est important de noter que les points forts de chaque fournisseur peuvent varier en fonction des besoins spécifiques de l'application et des exigences de l'industrie.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude nous donne une vue générale sur les différents équipements de Téléconduite fournis par quatre fournisseurs connus sur le sol algérien, ces derniers nous offrent des choix correspondants aux besoins de notre industrie, Ce qui nous permet un gain important en temps et argent qui sont deux éléments essentiels pour le développement de notre industrie. Mais cette étude est limitée en ce qui concerne la comparaison entre tous les équipements de teleconduite ainsi que l'approfondissement dans l'étude des caractéristiques techniques des différents équipements. Enfin on se demande est ce que à l'avenir les différents équipementiers intégreront l'intelligence artificielle dans le choix des caractéristiques techniques des différents équipements de Téléconduite.

Bibliographie

[5] K. Stouffer, V. Pillitteri, S. Lightman, M. Abrams et A. Hahn, « Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security », en, National Institute of Standards et Technology, rapp. tech. NIST SP 800-82r2, juin 2015, NIST SP 800-82r2.

[6] B. Mehta et Y. Reddy, « SCADA systems », en, in *Industrial Process Automation Systems*, Elsevier, 2015, p. 237-300.

[7] A. Ujvarosi, « EVOLUTION OF SCADA SYSTEMS », en, t. 9, n° 1, 2016.

[9] J. Jayasamraj, « SCADA Communication & Protocols », en, *Journal of SCADA Research*, t. 10, n° 3, p. 100-120, 2023.

[10] D. Li, Y. Serizawa et M. Kiuchi, « Concept design for a Web-based supervisory control and data-acquisition (SCADA) system », in *IEEE/PES transmission and distribution conference and exhibition*, IEEE, t. 1, 2002, p. 32-36.

Webographie

[1] *Qu'est-ce qu'un SCADA ? Supervisory Control and Data Acquisition | COPA-DATA*, fr. adresse : https://www.copadata.com/fr/produits/zenon-software-platform/visualisation-controle/qu-est-ce-qu-un-scada-supervisory-control-and-data-acquisition-copa-data/ (visité le 20/04/2023).

[2] *SCADA System : What is it ? (Supervisory Control and Data Acquisition) | Electrical4U*, en_US, avr. 2021. adresse : https://www.electrical4u.com/scada-system/ (visité le 20/04/2023).

[3] E. Staff, *SCADA Systems*, en, août 2020. adresse : https://instrumentationtools.com/scada-systems/ (visité le 20/04/2023).

[4] *SCADA : Communication Infrastructure*. adresse : http://www.scadaworld.net/communication-infrastructure.html (visité le 20/04/2023).

[8] *La Teleconduite Des Reseaux Electriques | PDF | Réseau électrique | Scada*. adresse : https://www.scribd.com/document/477988241/la-teleconduite-des-reseaux-electriques (visité le 24/04/2023).

[11] *Programmable Logic Controller (PLC) Market Size, Revenue, and Forecast 2030*, EN-US. adresse : https://www.marketwatch.com/press-release/programmable-logic-controller-plc-market-size-revenue-and-forecast-2030-2023-04-04 (visité le 27/04/2023).

[12] *Industrial Remote Terminal Unit Market Size, Share Growth, Trends Industry Analysis Forecast Technavio*. adresse : https://www.technavio.com/report/industrial-remote-terminal-unit-market-industry-analysis (visité le 27/04/2023).

[13] *SIMATIC RTU3000C - Global eBusiness - Siemens WW*. adresse : https://mall.industry.siemens.com/mall/fr/WW/Catalog/Products/10283160 (visité le 27/04/2023).

[14] *RTU modulaires basées SIMATIC ET 200SP*, fr. adresse : https://mall.industry.siemens.com/mall/fr/WW/Catalog/Products/10316342?tree=CatalogTree# (visité le 27/04/2023).

[15] *Automates*, fr. adresse : https://mall.industry.siemens.com/mall/fr/WW/Catalog/Products/5000005?tree=CatalogTree (visité le 27/04/2023).

[16] *RTU500 series product catalog 2022(A4-web)*. adresse : https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4CAE001329&DocumentPartId=A4-web (visité le 27/04/2023).

[17] Adresse : https://new.abb.com/plc/programmable-logic-controllers-plcs/ac500-xc (visité le 27/04/2023).

[18] *AC500-S - Programmable Logic Controllers PLCs | ABB*, en. adresse : https://new.abb.com/plc/programmable-logic-controllers-plcs/ac500-s (visité le 27/04/2023).

[19] *Gamme TALUS*, Documentation produit, Schneider Electric, 2023. adresse : https://www.schneider-electric.com/ (visité le 19/06/2023).

[20] *Catalogue SCADApack 570_575 | Schneider Electric*. adresse : https://www.se.com/fr/fr/download/document/ZZ6451/ (visité le 27/04/2023).

[21] *ADVC Catalogue | Schneider Electric*. adresse : https://www.se.com/ww/en/download/document/ADVC_Controller/ (visité le 27/04/2023).

[22] *Modicon M340 | Schneider Electric Global*, en-WW. adresse : https://www.se.com/ww/en/product-range/1468-modicon-m340/ (visité le 27/04/2023).

[23] *Discover catalog for Modicon M580 automation platform Catalogue | Schneider Electric*. adresse : https://www.se.com/ww/en/download/document/DIA6ED2151012EN/ (visité le 27/04/2023).

[24] *Catalog Modicon TM3 Expansion IO modules for Modicon M221, M241, M251 and M262 plc_February 2023 Catalogue | Schneider Electric*. adresse : https://www.se.com/ww/en/download/document/DIA3ED2140109EN/ (visité le 27/04/2023).

[25] *Catalog Logic controller Modicon M238 Catalogue | Schneider Electric*. adresse : https://www.se.com/ww/en/download/document/DIA6ED2100106EN/ (visité le 27/04/2023).

[26] *Discover catalog for Modicon Quantum automation platform Catalogue | Schneider Electric*. adresse : https://www.se.com/ww/en/download/document/MKTED2120701EN/ (visité le 27/04/2023).

[27] *Catalogue plate-forme d'automatisme Modicon Premium | Télécharger Schneider Electric*. adresse : https://www.se.com/dz/fr/download/document/MKTED212031FR/ (visité le 27/04/2023).

[28] *ControlLogix Control Systems | Allen-Bradley*, en-US. adresse : https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/large-controllers/controllogix.html (visité le 27/04/2023).

[29] *MicroLogix 1400 Programmable Logic Controller Systems | Allen-Bradley*. adresse : https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/micro-controllers/micrologix-family/micrologix-1400-controllers.html (visité le 27/04/2023).

ملخص

أصبح التحكم عن بُعد عنصرًا أساسيًا في إدارة الشبكات الكهربائية ويُمكِّن مراقبة المعدات الكهربائية والتحكم فيها عن بُعد.
يُعَدُّ اختيار المعدات المناسبة للتحكم عن بُعد أمرًا ضروريًا للتشغيل السليم للشبكة الكهربائية، ولكن نظرًا لتنوع المعدات المُقدَّمَة من قِبَل مصنعي المعدات المختلفين، يصعب اتخاذ القرار بشأن أي معدة يجب اختيارها. تتيح هذه الدراسة تقييم ومقارنة أداء معدات التحكم عن بعد مثل RTU و PLC التي تُوفِّرُها مُصَنِّعون مختلفون، بناءً على معايير الأداء والموثوقية والمرونة والتكلفة.
تهدف الدراسة أيضًا إلى توعية المحترفين والطلاب بتحديات التحكم عن بُعد من خلال نظام SCADA وإعلامهم بأحدث التقنيات المتوفرة.

كلمات مفتاحية :
المتحكم المنطقي القابل للبرمجة، وحدة التحكم عن بعد الطرفية، الشبكة الكهربائية، التحكم عن بعد، نظام التحكم الآلي للمراقبة والتحكم في العمليات الصناعية.

Résumé

La Téléconduite est devenue un élément essentiel de la gestion des réseaux énergétiques et permet de surveiller et de contrôler à distance les équipements électriques.
Le choix d'équipements de Téléconduite appropriées est crucial pour le bon fonctionnement du réseau électrique, mais compte tenu de la diversité des équipements proposés par les différents fabricants, il est difficile de savoir lequel choisir. Cette étude permettra d'évaluer et de comparer les performances des équipements de Téléconduite tels que RTU et PLC...etc, fournis par différents fabricants, en se basant sur les critères de performance, fiabilité, flexibilité et coût.
L'étude vise également à sensibiliser les professionnels et les étudiants aux défis de la Téléconduite à travers le système SCADA et à faire connaître les dernières avancées technologiques.

Mots clés : Contrôleur Logique Programmable, Unité Terminale à Distance, Réseau électrique, Téléconduite, SCADA.

Abstract

Telecontrol has become an essential part of electrical network management and allows remote monitoring and control of electrical equipment.
The choice of appropriate telecontrol equipment is crucial for the proper functioning of the power system, but given the diversity of equipment offered by different manufacturers, it is difficult to know which one to choose. This study will evaluate and compare the performance of telecontrol equipment such as RTU and PLC provided by different manufacturers, based on the criteria of performance, reliability, flexibility and cost.
The study also aims to raise awareness among professionals and students of the challenges of telecontrol through SCADA and to publicize the latest technological advances.

Keywords : Programmable Logic Controller, Remote Terminal Unit, Electrical network, Telecontrol, SCADA.