



# ETUDE DE FAISABILITE TECHNOLOGIQUE ET ECONOMIQUE DE LA DIGITALISATION DU POSTE ELECTRIQUE DE LOME AFLAO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE  
**MASTER**  
**SPECIALITE : GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE**

---

Présenté et soutenu publiquement le 17 juillet 2024 par :

**Chahid ZATO 20200707**

**Directeur de mémoire : Dr. Sayon Dit Sadio SIDIBE Enseignant Chercheur /Maitre de conférences (CAMES)-Département Génie Electrique, Energétique et Industriel, 2iE (GEEI)**

**Encadrant 2iE : Dr. MOUSSA KADRI Mahaman Sani /Maitre-Assistant (CAMES) - Département Génie Electrique Energétique et Industriel, 2iE (GEEI)**

**Maître de stage : Sylvestre K. SAMBIANI, Chef service Entretien et Télécom DRT/LAF**

**Structure d'accueil du stage : Communauté Electrique du Bénin (CEB) DRT**

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr.-Ing. habil. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE

Membres et correcteurs : Ing. Justin BASSOLE  
Ing. Madieumbe GAYE

**Promotion [2023/2024]**

## DEDICACES

Je dédie ce modeste travail comme preuve de respect et de reconnaissance à :

- Mes chers parents, Monsieur Malick ZATO et Madame SEGO GOBI Safiatou épouse ZATO pour leurs soutiens, leurs précieux conseils et encouragements tout au long de ce parcours
- Ma très chère grande sœur Zalcaw ALI ZATO pour son soutien son amour.
- Toute la famille ZATO pour tous les efforts et moyens consentis pour me voir réussir dans mes études.
- A tous mes amis avec qui j'ai partagé beaucoup de moments inoubliables.
- Tous mes camarades de classe et de promotion pour l'expérience partagée et les moments agréables passés ensemble.

## REMERCIEMENTS

Avant de commencer la présentation de ce travail ;

Un grand remerciement au bon DIEU de m'avoir accordé la santé, le courage et la volonté pour rédiger ce présent travail.

Je remercie le Directeur Général de la CEB de m'avoir accepté au sein de sa structure et le Directeur Général de 2iE de m'avoir permis de suivre ma formation d'ingénierie dans un cadre conviviale.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon Directeur de mémoire, Dr. Sayon Dit Sadio SIDIBE pour son encadrement attentif, ses conseils avisés, et sa disponibilité constante tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie mon encadreur pédagogique Dr. Sani Mahaman KADRI MOUSSA pour sa disponibilité, sa compréhension, ses conseils et remarques tout au long de l'élaboration de ce présent mémoire.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon maitre de stage Ing. Sylvestre K. SAMBIABI d'avoir accepté de m'encadrer pour mon projet de fin d'étude, pour son soutien, son accompagnement technique, et conseil durant cette période passée au sein du service études réseau.

Je remercie le chef Division Appareillage Contrôle Electricité et Telecom Ing. CAKPO Didier pour son soutien, sa disponibilité et ses précieux conseils

Mes remerciements vont à l'endroit des agents des différents services : service Entretien et Télécom, Service Exploitation pour leurs assistances et explications. Cela m'a été d'une grande utilité.

Mes remerciements s'adressent à tout le corps administratif et professoral de 2iE particulièrement à celui du département Génie électrique, énergétique et industriel pour l'accompagnement pédagogique.

Je profite de l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

## RESUME

Ce mémoire traite de l'étude de faisabilité de la digitalisation du poste électrique de Lomé Aflao, essentielle pour améliorer l'efficacité et la fiabilité du réseau électrique de la Communauté Electrique de Benin (CEB). Nous avons effectué une revue de la littérature sur les avantages et défis de la digitalisation des postes électriques.

Le poste de Lomé Aflao est analysé, révélant des défis tels que l'obsolescence des équipements et des difficultés de surveillance. Pour y remédier, plusieurs solutions technologiques sont évaluées : SCADA pour la supervision, ELOG pour la collecte de données, et relais TR4 pour la surveillance des transformateurs. Chaque technologie est examinée en termes de fonctionnalité, fiabilité, sécurité, coût, facilité de déploiement, interopérabilité, maintenance, évolutivité et adaptabilité.

Les conclusions principales indiquent que la digitalisation du poste électrique de Lomé Aflao est non seulement réalisable mais également avantageuse à long terme. En outre, ces technologies, bien que pouvant fonctionner indépendamment, offrent une interopérabilité qui optimise la gestion des infrastructures électriques et réduit les risques de pannes. Les bénéfices économiques et opérationnels associés à cette numérisation justifient amplement les investissements initiaux estimé à **173 970 000 FCFA**, positionnant ainsi Lomé Aflao comme un modèle de modernisation des postes électriques de la CEB.

Nous avons mis en œuvre une planification détaillée et sélectionné les technologies les plus appropriées. La formation du personnel, un déploiement progressif et un plan de maintenance sont également intégrés dans notre approche. De plus, cette étude propose des perspectives futures de recherche, telles que l'intégration de l'intelligence artificielle pour l'analyse des données, le renforcement de la cybersécurité et l'optimisation de l'intégration des énergies renouvelables. Ce travail offre une feuille de route claire pour la modernisation du poste de Lomé Aflao, avec des implications positives pour le réseau électrique de la CEB.

### Mots Clés

- 
- 1- Analyse économique digitalisation**
  - 2- Etude de faisabilité technologique de la digitalisation**
  - 3- Lomé Aflao CEB**
  - 4- Digitalisation de Poste électrique**
  - 5- Réseau intelligent**
  - 6- Technologies de supervision réseau électrique**

## ABSTRACT

This thesis examines the feasibility study of digitizing the Lomé Aflao electrical substation, essential for improving the efficiency and reliability of the CEB electrical network. We conducted a literature review on the advantages and challenges of digitizing electrical substations. The Lomé Aflao substation was analyzed, revealing challenges such as equipment obsolescence and monitoring difficulties. To address these issues, several technological solutions were evaluated: SCADA for supervision, ELOG for data collection, and TR4 relays for transformer monitoring. Each technology was assessed in terms of functionality, reliability, safety, cost, ease of deployment, interoperability, maintenance, scalability, and adaptability.

The main conclusions indicate that digitizing the Lomé Aflao electrical substation is not only feasible but also advantageous in the long term. Furthermore, these technologies, while capable of functioning independently, offer interoperability that optimizes the management of electrical infrastructure and reduces the risk of failures. The economic and operational benefits associated with this digitization fully justify the initial investment estimated at **173 970 000 FCFA**, thus positioning Lomé Aflao as a model for modernizing CEB electrical substations.

We implemented detailed planning and selected the most appropriate technologies. Personnel training, progressive deployment, and a maintenance plan are also integrated into our approach. Additionally, this study proposes future research perspectives, such as integrating artificial intelligence for data analysis, strengthening cybersecurity, and optimizing the integration of renewable energies. This work provides a clear roadmap for the modernization of the Lomé Aflao substation, with positive implications for the CEB electrical network.

### Key words:

- 
- 1- **Economic analysis of digitization**
  - 2- **Feasibility study of digitization technology**
  - 3- **Lomé Aflao CEB**
  - 4- **Digitization of electrical substations**
  - 5- **Smart grid**
  - 6- **Electrical network supervision technologie**

## LISTE DES ABREVIATIONS

- 2iE** : Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
- AIE** : Agence Internationale de l'Energie
- CEB** : Communauté Electrique du Benin
- CEET** : Compagnie d'Energie Electrique du TOGO
- CEI** : International Electrotechnical Commission (Commission Électrotechnique Internationale)
- GOOSE** : Generic Object Oriented Substation Events (Sous-station Orientés Objet Génériques)
- IHM** : Interface Humain Machine
- IoT** : Internet of Things (Internet des Objets)
- LAN** : Local Area Network (Réseau Local)
- RTU** : Remote Terminal Unit (Unité Terminale Distante)
- SBEE** : Société Béninoise Energie Electrique
- SCADA** : Supervisory Control And Data Acquisition (Contrôle de supervision et acquisition de données)
- TC** : Transformateur de Courant
- TT** : Transformateur de Tension

## TABLE DES MATIERES

Dédicaces .....	i
Remerciements.....	ii
Résumé.....	iii
Liste des abréviations.....	v
Table des matières.....	vi
Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures .....	ix
I. Introduction Générale .....	1
II. Présentation de l'étude et de la structure d'accueil.....	3
1- Présentation de la structure d'accueil.....	3
2- Objectifs de l'étude .....	6
3- Justification du travail.....	6
4- Méthodologie .....	7
III. Revue de l'art sur les technologies numériques dans le secteur électrique .....	8
1- Définitions et concepts clés .....	8
2- Évolution des technologies numériques dans le domaine de l'électricité .....	9
3- Avantages et défis de la digitalisation des opérations électriques .....	10
4- Cadre réglementaire et normatif .....	15
IV. État des lieux du poste électrique de Lomé Aflao .....	18
1- Localisation et description générale du poste électrique .....	18
2- Équipements et infrastructures présents dans le poste .....	19
3- Problèmes et défis rencontrés dans le fonctionnement actuel .....	28

V.	Analyse de Faisabilité Technologique de la Digitalisation du poste électrique de Lomé aflao.....	30
1-	Présentation des technologies retenues pour la Digitalisation du poste de Lomé aflao ...	30
A-	SCADA .....	30
B-	Elog Data .....	31
C-	Relais TR42 .....	33
2-	Évaluation Technique de la Mise en Place des différentes technologies retenues .....	34
A-	SCADA .....	34
B-	Elog Data .....	37
C-	Relais TR42 .....	43
3-	Avantages et inconvénients de chaque technologie.....	47
A-	SCADA .....	47
B-	Elog Data .....	50
C-	Relais TR42 .....	51
VI.	Analyse économique de la Digitalisation Du poste Electrique de lomé Aflao.....	53
1-	SCADA .....	53
2-	Elog data .....	55
3-	Relais TR42 .....	56
VII.	Conclusion- Perspectives .....	60
	Recommandations.....	62
	Bibliographie.....	63
	Annexes.....	65



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Avantages de la digitalisation d'un poste électrique.....	12
Tableau 2 : Défis liés à la digitalisation d'un poste électrique.....	14
Tableau 3: Avantages du SCADA au poste de Lomé Aflao.....	47
Tableau 4 : Inconvénients du SCADA au poste de Lomé Aflao .....	49
Tableau 5 : Avantages du ELOG Data au poste de Lomé Aflao .....	50
Tableau 6 : Inconvénients du ELOG Data au poste de Lomé Aflao .....	50
Tableau 7 : Avantages du relais TR42 au poste de Lomé Aflao .....	51
Tableau 8 : Inconvénients du relais TR42 au poste de Lomé Aflao.....	51
Tableau 9: Récapitulatif de l'étude économique de l'installation du SCADA .....	54
Tableau 10 : Récapitulatif de l'étude économique de l'Elog Data .....	56
Tableau 11: Récapitulatif de l'étude économique du relais TR42 .....	57
Tableau 12 : Analyse des critères de choix pour les différentes technologies sélectionnées .....	57

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de la CEB .....	5
Figure 2: Petit récapitulatif sur l'histoire de l'industrie en image .....	10
Figure 3 : Architecture de référence pour la digitalisation des postes électriques IEC 61850(12) .....	16
Figure 4: Localisation du poste de Lomé Aflao sur la carte de l'espace de la CEB <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Figure 5 : Localisation du poste de Lomé Aflao dans la ville de Lomé .....	19
Figure 6 : Schéma synoptique du poste de Lomé Aflao .....	20
Figure 7 : transformateur du poste de Lomé Aflao .....	21
Figure 8 : Disjoncteur Deak Tank.....	22
Figure 9 : Disjoncteur Pneumatique à gros volume d'huile .....	22
Figure 10 : Disjoncteur Live Tank.....	23
Figure 11 : Sectionneurs du champ électrique.....	23
Figure 12 : synoptique de la salle de commande du poste de Lomé Aflao .....	24
Figure 13 : Relais Micom P632 .....	25
Figure 14 : Relais Micom P444 .....	25
Figure 15: Calculateur MiCOM C264 .....	27
Figure 16 Transformateur de Courant.....	28
Figure 17 : Interface Système SCADA dans un poste électrique(14) .....	31
Figure 18 : module Elog Data enerdis(15).....	32
Figure 19 : Centrale de Mesure Enerdis(16).....	32
Figure 20 : Relais TR42 Orion Italia(17).....	34
Figure 21 : Architecture du SCADA avec MICOM C264 .....	35
Figure 22 : Architecture du système Elog data.....	38
Figure 23 : schéma de raccordement des centrales de mesures .....	40
Figure 24 : Schéma de connexion des centrales de mesures dans le circuit Mesures et comptages du poste électrique .....	41
Figure : 25 Schéma de Raccordement du module Elog.....	42
Figure 26 : Diagramme d'architecture du système de relais TR42 .....	44
Figure 27 : Schéma de branchement des relais TR42.....	45



## I. INTRODUCTION GENERALE

La transition vers des pratiques opérationnelles numériques dans le secteur de l'énergie électrique représente un défi crucial et une opportunité majeure pour les entreprises du domaine. Des études ont déjà été réalisées sur l'impact des technologies numériques dans le domaine électrique. Au niveau international, l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) a publié plusieurs rapports sur ce sujet, soulignant le potentiel de ces technologies pour améliorer la performance des réseaux électriques(1). En Afrique, des initiatives telles que le projet Smart Grid Africa visent à promouvoir le développement des réseaux intelligents sur le continent.

Au cœur de cette transformation, la Communauté Électrique du Bénin (CEB) se trouve confrontée à la nécessité de moderniser ses infrastructures électriques afin de répondre aux défis croissants du secteur et de garantir une distribution d'électricité efficace et fiable.

Au sein de la CEB, le poste de Lomé Aflao occupe une place stratégique facilitant la distribution d'électricité. Toutefois, malgré son importance, ce poste électrique traditionnel rencontre des limites en termes de réactivité, de précision des données et d'efficacité opérationnelle, principalement dues à des méthodes de gestion et de contrôle encore largement manuelles.

Cette transition vers des pratiques opérationnelles numériques s'inscrit dans une tendance plus large de transformation des réseaux électriques traditionnels en Smart Grid, visant à améliorer la gestion du réseau, à détecter les pannes plus rapidement, et à garantir une distribution d'électricité plus stable et plus sûre.

L'objectif principal de cette étude est donc d'évaluer la faisabilité technologique et économique de la digitalisation du poste électrique de Lomé Aflao. Pour ce faire, nous examinerons en détail les différentes technologies disponibles, telles que les systèmes de contrôle-commande numériques, les relais numériques, les protocoles de communication, entre autres. Nous analyserons également les défis et les opportunités associés à la mise en œuvre de ces technologies, ainsi que leur impact prévu sur les opérations électriques.

Pour aborder cette problématique, nous avons adopté une approche méthodologique, comprenant une revue approfondie de la littérature existante, une collecte de données primaires et une analyse qualitative. Cette démarche nous permettra d'évaluer de manière approfondie l'impact des technologies numériques sur les opérations électriques de la CEB, et de formuler des recommandations pratiques pour une transition réussie vers des pratiques opérationnelles numériques plus efficaces.

Ce mémoire est structuré en six chapitres principaux :

Le premier chapitre présente la structure d'accueil, les objectifs de l'étude, sa justification, et la méthodologie de recherche.

Le deuxième chapitre offre une revue des technologies numériques dans le secteur électrique, en abordant les définitions, l'évolution, les avantages et défis, ainsi que le cadre réglementaire et normatif.

Le troisième chapitre décrit l'état des lieux du poste électrique de Lomé Aflao, incluant sa localisation, ses équipements, et les défis actuels.

Le quatrième chapitre traite de la faisabilité technologique de digitalisation du poste de Lomé Aflao, avec une présentation, une évaluation technique, et une analyse des avantages et inconvénients des technologies retenues.

Le cinquième chapitre analyse la faisabilité économique de la digitalisation du poste.

Enfin, le sixième chapitre conclut en synthétisant les résultats et en proposant des perspectives pour de futures recherches.

## II. PRESENTATION DE L'ETUDE ET DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL

### 1- PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

#### CRÉATION

La Communauté électrique du Bénin (CEB), organisme international à caractère public est créée par un accord international signé le 27 Juillet 1968 entre le Togo et le Dahomey (actuel République du Bénin), instituant le code Daho-Togolais de l'électricité, devenu code Bénino-Togolais.

Cet accord a pour fondement la traduction de la solidarité d'intérêt entre les deux pays par une politique concertée dans le secteur de l'électricité en vue d'un développement rapide et harmonieux de leurs économies respectives.

#### Missions

La CEB est créée pour :

- Réaliser et exploiter les installations de production et de transport de l'énergie sur l'ensemble des territoires des deux Etats ;
- Conclure des accords relatifs à l'importation et à l'exportation de l'énergie électrique ;
- Acheter la production de l'énergie électrique auprès des entreprises publiques et privées installées dans les deux Etats (acheteur unique) ;
- Négocier en cas de nécessité avec les pays voisins des deux Etats, des accords de transit d'énergie électrique ;
- Contribuer aux efforts d'électrification des collectivités, des entreprises publiques et privées ;
- Assurer grâce à son centre de Formation Professionnelle et de Perfectionnement, la formation et le perfectionnement des agents au profit des entreprises des deux Etats ;
- Planifier la production et le transport de l'énergie électrique dans les deux Etats.

#### Objectifs

Par le code Bénino - Togolais de l'électricité, la CEB entend remplir ses missions pour atteindre les objectifs suivants :

- Assurer la réalisation industrielle et le développement sous-régional par la fourniture de l'énergie électrique de qualité, en quantité suffisante et à moindre coût aux populations et aux entreprises des deux Etats ;
- Mettre en commun des ressources énergétiques régionales pour une meilleure coopération interétatique.

Notre stage s'est déroulé à la Direction Régionale Togo au poste de Lomé Aflao. La direction générale assure le transport et la distribution d'électricité sur le territoire Togolais, Elle s'occupe également de l'exploitation de tous les postes électriques de la CEB présents au TOGO.



Figure 1: Organigramme de la CEB



## 2- OBJECTIFS DE L'ETUDE

**Objectif Global :** Évaluer la faisabilité technologique et économique de la digitalisation des opérations électriques de la Communauté Électrique du Bénin (CEB) afin d'identifier les opportunités d'amélioration et de modernisation des pratiques opérationnelles.

**Objectifs Spécifiques :**

1. Diagnostiquer le système actuel du poste de Lomé Aflao et identifier les défis opérationnels à relever
2. Analyser et sélectionner les technologies numériques susceptibles d'améliorer les opérations électriques de la CEB
3. Réaliser une étude de faisabilité technique et économique des technologies retenues et évaluer leurs avantages potentiels

## 3- JUSTIFICATION DU TRAVAIL

Le poste électrique de Lomé Aflao opéré manuellement par le personnel de la CEB rencontre actuellement plusieurs défis majeurs qui affectent sa fiabilité opérationnelle et sa capacité à répondre efficacement aux besoins croissants en électricité dans la région. Ces défis nécessitent une évaluation approfondie pour mettre en œuvre des solutions technologiques modernes.

Les pannes récurrentes et les temps d'arrêt prolongés compromettent la continuité du service électrique, impactant négativement les utilisateurs finaux et la satisfaction client.

Les opérations manuelles actuelles limitent la réactivité aux incidents, rendant difficile l'intervention rapide lors de conditions météorologiques défavorables et pendant les heures non ouvrables.

Bien que partiellement commandé depuis le tableau synoptique, le poste nécessite une surveillance continue et une intervention humaine fréquente, ce qui augmente la charge de travail opérationnelle et réduit la précision des données.

Les relevés manuels des caractéristiques électriques et des températures dans le champ électrique sont sujets à des erreurs potentielles, ce qui peut compromettre la fiabilité des données rapportées et la prise de décision.

Cette situation souligne la nécessité urgente de moderniser le poste de Lomé Aflao à travers une numérisation efficace et adaptée, visant à automatiser les processus, améliorer la surveillance en temps réel, et réduire les risques opérationnels tout en augmentant la fiabilité du réseau électrique.

## 4- METHODOLOGIE

Dans cette section, nous détaillerons l'approche méthodologique utilisée pour mener cette étude sur la digitalisation du poste électrique de Lomé Aflao. Cette méthodologie a été conçue pour répondre à nos objectifs de recherche tout en garantissant la rigueur et la fiabilité de notre analyse.

### **Cadre de la recherche**

Nous avons défini nos objectifs d'étude et justifié notre choix méthodologique en fonction de ces objectifs. Nous avons également pris en compte les ressources disponibles et les contraintes de notre étude pour garantir sa faisabilité et sa pertinence.

### **Collecte de données**

Nous avons mené une revue approfondie de la littérature existante sur la digitalisation des postes électriques pour comprendre les tendances actuelles, et les meilleures pratiques. En parallèle, nous avons organisé des entretiens avec des experts du domaine et des questionnaires auprès du personnel de la CEB pour recueillir des données sur l'état actuel du poste électrique de Lomé Aflao, ainsi que ses défis et besoins en numérisation. De plus, nous avons effectué des visites sur le terrain pour observer directement le fonctionnement du poste et identifier les aspects spécifiques à prendre en compte pour la numérisation.

### **Analyse des données**

Nous avons utilisé des techniques d'analyse qualitative pour examiner en profondeur les données qualitatives issues des entretiens et des observations sur le terrain.

### **Interprétation des résultats**

Nous avons synthétisé les principales conclusions de notre analyse des données, en les comparant avec la littérature existante pour identifier les convergences, les divergences et les contributions uniques de notre étude. Nous avons interprété les implications de nos résultats pour la numérisation du poste électrique de Lomé Aflao, en mettant en évidence les défis potentiels, les opportunités et les recommandations pour l'action future.

### **Validation**

Enfin, nous avons soumis nos résultats à une validation par des experts du domaine afin de renforcer la crédibilité de nos conclusions. Nous avons également réfléchi sur le processus de recherche, en identifiant les biais potentiels, les limites méthodologiques et les leçons apprises pour orienter les futures recherches.

### III. REVUE DE L'ART SUR LES TECHNOLOGIES NUMERIQUES DANS LE SECTEUR ELECTRIQUE

#### 1- DEFINITIONS ET CONCEPTS CLES

**Digitalisation** : C'est le processus de transformation des opérations traditionnelles en processus numériques, impliquant souvent l'utilisation de technologies telles que les capteurs, les automates programmables, les systèmes de contrôle-commande, etc.

**Poste électrique** : Le poste source est un ouvrage électrique permettant de relier le réseau public de transport d'électricité au réseau public de distribution d'électricité. Il sert à transformer une très haute tension en haute tension et diriger l'énergie électrique vers plusieurs canalisations haute tension, appelées « départs ».

On distingue différents types de postes, tels que les postes de transformation, les postes de distribution, et les postes de sectionnement. Les composants principaux d'un poste électrique comprennent les transformateurs de puissance, les disjoncteurs, les sectionneurs, les relais de protection, les dispositifs de mesure, et les systèmes de contrôle-commande.

**Smart Grid** : Le Smart Grid est une évolution du réseau électrique traditionnel. C'est un réseau de transport et de distribution d'électricité que des capacités en termes de commande numérique, de surveillance et de télécommunications rendent plus performant. Il assure un échange bidirectionnel, en temps réel, d'énergie et d'information entre les différents acteurs de la chaîne de l'électricité, depuis le site de production jusqu'aux utilisateurs commerciaux, industriels et résidentiels. Cette évolution est cruciale pour intégrer les ressources énergétiques renouvelables et distribuées, et améliorer l'efficacité et la durabilité du réseau électrique et des services associés.(2)

**Cyber sécurité** : Il s'agit des risques potentiels associés aux cyberattaques sur les postes électriques comprennent la prise de contrôle à distance des équipements, la manipulation des données de mesure et de contrôle, et la perturbation des processus opérationnels. Ces menaces sont amplifiées par la connectivité croissante des postes électriques aux réseaux informatiques et

à Internet, ainsi que par l'utilisation de protocoles de communication standard.

**Interopérabilité** : C'est la capacité des différents systèmes et équipements à échanger et à utiliser des informations de manière transparente, soulignant son importance dans les environnements numériques complexes.

## 2- ÉVOLUTION DES TECHNOLOGIES NUMERIQUES DANS LE DOMAINE DE L'ELECTRICITE

La révolution numérique a profondément modifié le paysage énergétique et industriel, apportant d'énormes avantages aux entreprises et aux consommateurs. En tant que pionnier des technologies numériques, le secteur de l'énergie est à l'avant-garde de cette transformation. Les services publics d'électricité et les sociétés pétrolières et gazières ont été des pionniers du numérique dans les années 1970, utilisant les nouvelles technologies pour rationaliser la gestion et l'exploitation du réseau ou modéliser les actifs d'exploration et de production(3). Cela fait plusieurs années que la révolution numérique mondiale dans le secteur de l'énergie a commencé. Il y a plusieurs décennies, l'industrie était pionnière dans l'application de technologies émergentes telles que l'informatique. L'Industrie 4.0, parfois qualifiée de quatrième révolution industrielle, marque le début d'évolutions substantielles ces dernières années. (3). Les sociétés énergétiques investissent massivement dans la technologie numérique et le rythme de la numérisation du secteur continue de s'accélérer. Depuis 2014, selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), les investissements mondiaux dans les infrastructures et les logiciels d'énergie numérique ont augmenté chaque année de plus de 20 %, atteignant 47 milliards de dollars en 2016. En 2016, les investissements numériques représentaient près de 40 % de plus que les investissements mondiaux. Dans le secteur de l'électricité au gaz naturel (34 milliards USD)(4). La déréglementation du secteur électrique et l'adoption de nouvelles politiques en faveur des énergies renouvelables ont constitué la base de ces changements dans plusieurs pays, principalement dans les États membres de l'Union européenne(5). Ces dernières années, l'application de technologies numériques telles que l'Internet des objets, l'intelligence artificielle, l'analyse des mégadonnées et la blockchain a favorisé la vague de transformation numérique dans le secteur de l'énergie. Dans le secteur de l'électricité, la transformation numérique a un impact profond sur la manière dont l'électricité est produite, transportée et distribuée. Cette revue de la littérature explore l'impact de la

transformation numérique sur le secteur de l'énergie ainsi que les avantages et les défis associés à cette transformation. Le secteur de l'électricité est traditionnellement caractérisé par de grandes centrales électriques centralisées produisant de l'électricité et la transmettant aux consommateurs via un réseau de haute technologie. L'avènement des technologies numériques transforme profondément les processus de production, de distribution et de consommation d'électricité. Ces avancées sont essentielles pour améliorer l'efficacité des systèmes de production, de transport et de distribution d'électricité, ainsi que pour optimiser l'expérience client.

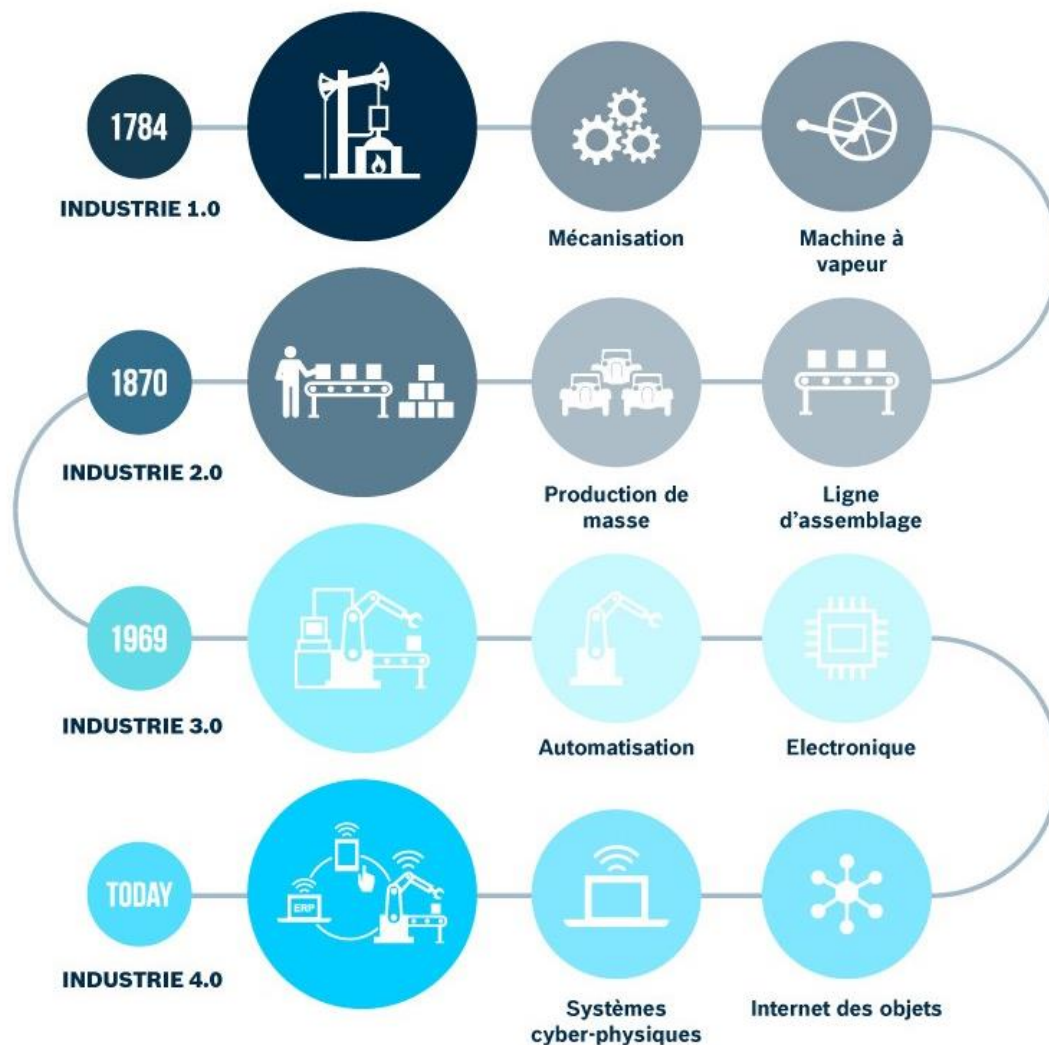


Figure 2: Petit récapitulatif sur l'histoire de l'industrie en image

### 3- AVANTAGES ET DEFIS DE LA DIGITALISATION DES

## OPERATIONS ELECTRIQUES

### Avantages de la digitalisation sur les opérations électriques du poste électrique

#### **Efficacité et fiabilité accrues :**

Les postes électriques numériques sont plus petits, plus fiables, plus sûrs et plus efficaces que leurs homologues analogiques(6).

Ils permettent une meilleure gestion de la demande et une intégration plus efficace des sources d'énergie renouvelables.

Ils peuvent réduire les coûts d'exploitation et d'entretien, améliorer l'efficacité des centrales électriques et du réseau, réduire les pannes et les temps d'arrêt, et prolonger la durée de vie opérationnelle des actifs(7).

#### **Sécurité accrue :**

Les capteurs de courant optiques peuvent surveiller directement le courant dans une ligne à haute tension sans avoir besoin d'un transformateur pour abaisser le courant à un niveau mesurable (1). Cela renforce la sécurité en éliminant le risque de circuits ouverts qui peuvent générer des tensions dangereuses (1).

#### **Coûts réduits :**

Un poste entièrement numérique bénéficie d'un coût global réduit, d'une maintenance et d'une extension facilitée.

La numérisation et l'exploitation des données pourraient réduire les coûts du réseau électrique. Selon l'AIE, la numérisation pourrait permettre aux producteurs et distributeurs d'électricité d'économiser près de 100 milliards d'euros par an(7)

#### **Meilleure gestion de l'énergie :**

En rapprochant constamment l'offre et la demande, les réseaux électriques intelligents rendent le réseau électrique plus équilibré(1).

Ils évitent les pics de consommation coûteux et limitent largement les périodes de surproduction, évitant ainsi les pertes d'électricité et les contraintes sur le réseau(1).

En conclusion, la digitalisation des postes électriques offre de nombreux avantages en termes d'efficacité, de fiabilité, de sécurité et de coûts réduits.

.Cependant, il est important de noter que la mise en œuvre de ces technologies nécessite une planification et une gestion appropriées(8).

Tableau 1 : Avantages de la digitalisation d'un poste électrique

Quoi	Comment	Résultats
<b>Réseaux intelligents</b>	La mise en œuvre de la technologie numérique dans le réseau énergétique permet une surveillance et un contrôle en temps réel de la distribution d'électricité	Amélioration de l'efficacité ; Réduction des coûts ; Augmentation de la fiabilité
<b>Maintenance prédictive</b>	Les technologies numériques sont utilisées pour surveiller l'état des équipements électriques et prédire quand une maintenance est nécessaire.	Réduit les temps d'arrêt ; Réduit les coûts de maintenance ; Augmenter la fiabilité du réseau électrique
<b>Énergie renouvelable</b>	Les technologies numériques telles que l'analyse prédictive, l'apprentissage automatique et les capteurs IoT sont utilisées pour optimiser les performances des sources d'énergie renouvelables, telles que l'éolien et le solaire.	Plus efficace Rentable
<b>Analyse des données</b>	La transformation numérique permet aux entreprises d'améliorer la collecte, l'analyse et la gestion des données dans le secteur de l'énergie.	Prendre des décisions plus éclairées Optimiser leurs opérations.

L'application des technologies numériques qui se traduisent par un changement transformateur implique de nombreux défis dans le secteur de l'énergie et dans tous les autres secteurs. Une main-d'œuvre qualifiée et compétente (principalement des compétences numériques) est le premier besoin d'un point de vue managérial. Tous les employés ont besoin de connaissances et de compétences numériques à différents niveaux, quel que soit leur rôle organisationnel (prévision, conception, transmission, production, vente et utilisation de l'énergie). Une vision managériale claire et une stratégie numérique bien définie sont d'autres exigences essentielles pour qu'une organisation prenne des mesures vers le numérique(9). Des études récentes sur les réussites de la



transformation numérique de différentes organisations ont montré qu'une transition réussie ne dépend pas uniquement des technologies adoptées, mais, plus important encore, s'appuie sur les stratégies numériques déployées par ses dirigeants.

Le capital à investir dans l'achat, la mise en œuvre et l'utilisation des technologies numériques est une autre exigence vitale. La transformation des organisations, des processus et des technologies est forcée par la transformation numérique. De telles réformes se heurtent souvent à des résistances à différents niveaux de gestion. La gestion du changement, qui vise principalement à surmonter les résistances des employés, est une compétence managériale essentielle pour les entreprises qui ne peuvent se développer sans une transformation continue(10).

Les systèmes hérités, la mauvaise qualité des données et la cybersécurité sont quelques-uns des obstacles technologiques à la transformation numérique dans le secteur de l'énergie. De nombreuses entreprises du secteur de l'énergie utilisent encore des systèmes existants qui ne sont pas compatibles avec les nouvelles technologies, ce qui peut ralentir l'adoption de nouveaux systèmes. La qualité et la cohérence des données sont également essentielles à la transformation numérique, mais la plupart des entreprises du secteur de l'énergie sont confrontées à une mauvaise qualité des données et à des sources de données cloisonnées. Le secteur de l'énergie est l'une des infrastructures les plus critiques, ce qui en fait une cible de grande valeur pour les cyberattaques, et les technologies numériques peuvent augmenter le risque (10).

Même si les organisations surmontent les obstacles internes et répondent aux exigences, et que la nécessité de les mettre en œuvre est justifiée, hiérarchisée et réalisable, des difficultés dans l'application et l'utilisation des technologies numériques peuvent découler de conditions externes. La faiblesse des cadres juridiques, l'absence de normes et de politiques nationales, la limitation des investissements gouvernementaux dans ce domaine, la résistance des groupes sociaux et l'absence de lignes directrices spécifiques à l'industrie en matière de transformation sont quelques exemples d'obstacles externes à la transformation numérique du secteur de l'énergie(11). Bien que de nombreux gouvernements nationaux et régionaux aient défini la numérisation comme une priorité stratégique et entrepris des initiatives à grande échelle pour soutenir la transformation numérique de la science, de l'industrie et de la société, la transformation numérique rapide et efficace dans le secteur de l'énergie est impossible sans le soutien du gouvernement et des groupes sociaux associés à ce secteur. Ils doivent être conscients des changements vitaux qui peuvent survenir en raison de la transformation du secteur, en particulier les mises à pied (11).



Tableau 2 : Défis liés à la digitalisation d'un poste électrique

Catégorie	Défis/Exigences	Détails
<b>Compétences et main-d'œuvre</b>	Main-d'œuvre qualifiée et compétente	Nécessité de compétences numériques à tous les niveaux organisationnels pour la prévision, la conception, la transmission, la production, la vente et l'utilisation de l'énergie.
	Formation et développement continus	Tous les employés doivent acquérir des connaissances et des compétences numériques, indépendamment de leur rôle organisationnel.
<b>Stratégie managériale</b>	Vision managériale claire et stratégie numérique bien définie	Une stratégie numérique bien planifiée est essentielle pour guider les organisations vers une transformation numérique réussie.
	Gestion du changement	Compétence essentielle pour surmonter la résistance des employés à différents niveaux de gestion et assurer une transition en douceur vers les nouvelles technologies.
<b>Investissement financier</b>	Capital à investir	Investissement nécessaire pour l'achat, la mise en œuvre et l'utilisation des technologies numériques. La transformation des processus organisationnels exige des fonds substantiels.
<b>Obstacles technologiques</b>	Systèmes hérités	De nombreuses entreprises utilisent encore des systèmes existants incompatibles avec les nouvelles technologies, ralentissant l'adoption de nouveaux systèmes.
	Qualité des données	La mauvaise qualité des données et les sources de données cloisonnées posent des défis à la transformation numérique.
	Cybersécurité	Le secteur de l'énergie est une cible de grande valeur pour les cyberattaques, et l'adoption de technologies numériques augmente les risques de sécurité.
<b>Conditions externes</b>	Faiblesse des cadres juridiques	L'absence de normes et de politiques nationales, ainsi que la limitation des investissements gouvernementaux, peuvent entraver la transformation numérique.
	<b>Résistance sociale</b>	La résistance des groupes sociaux et l'absence de lignes directrices spécifiques à l'industrie peuvent freiner l'adoption des technologies numériques.
	<b>Soutien gouvernemental</b>	Le soutien du gouvernement et des groupes sociaux est crucial pour une transformation numérique rapide et efficace. Les changements, notamment les mises à pied, nécessitent une sensibilisation et un accompagnement adéquats.

## 4- CADRE REGLEMENTAIRE ET NORMATIF

La digitalisation des postes électriques représente une étape cruciale dans la modernisation des infrastructures énergétiques. Cette transition nécessite un cadre réglementaire et normatif solide pour garantir l'interopérabilité, la sécurité, et l'efficacité des systèmes numériques. Au Togo, l'adoption de normes internationales, telles que la CEI 61850, joue un rôle central dans cette transformation.

### **Norme CEI 61850**

La norme CEI 61850 est une norme internationale qui définit les protocoles de communication entre les différents systèmes d'une sous-station, tels que les équipements de protection, de contrôle et de mesure. Elle permet aux appareils d'échanger rapidement des données et des états à l'aide de GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events) et de valeurs échantillonnées via un réseau local (LAN), sans nécessiter de liaisons distinctes pour chaque appareil.

### **Spécifications et Applications au Togo :**

#### **Utilisation des Protocoles de Communication Standardisés :**

La CEI 61850 favorise l'utilisation de protocoles de communication standardisés pour l'échange de données entre les différents équipements d'une sous-station. Au Togo, cette adoption permet une intégration plus efficace des équipements de protection, de contrôle et de mesure, réduisant ainsi les coûts de déploiement et de maintenance.

#### **Utilisation de GOOSE et de Valeurs Échantillonnées (SV):**

Les fonctionnalités GOOSE et SV de la norme CEI 61850 permettent un échange rapide de données et d'états entre les appareils, améliorant la réactivité du système de contrôle et de protection. Cette capacité est particulièrement bénéfique pour les sous-stations togolaises, où une réponse rapide est essentielle pour maintenir la stabilité du réseau.

#### **Simplification de l'Architecture des Réseaux de Communication :**

En utilisant un réseau local (LAN) pour transporter les données et les états entre les équipements, la CEI 61850 simplifie l'architecture des réseaux de communication dans les sous-stations. Au Togo, cette simplification réduit la complexité du câblage et facilite la gestion des réseaux de communication.

#### **Amélioration de l'Interopérabilité des Infrastructures :**

En adoptant la norme CEI 61850, les sous-stations électriques togolaises peuvent bénéficier d'une meilleure interopérabilité entre les équipements de différents fabricants. Cela facilite l'intégration

de nouveaux équipements et la mise à niveau des systèmes existants, tout en garantissant la compatibilité entre les différents composants du réseau électrique. La série de normes CEI 61850 divise ces systèmes d'appareillage en trois niveaux et décrit le protocole de communication entre les fonctions du système d'appareillage :

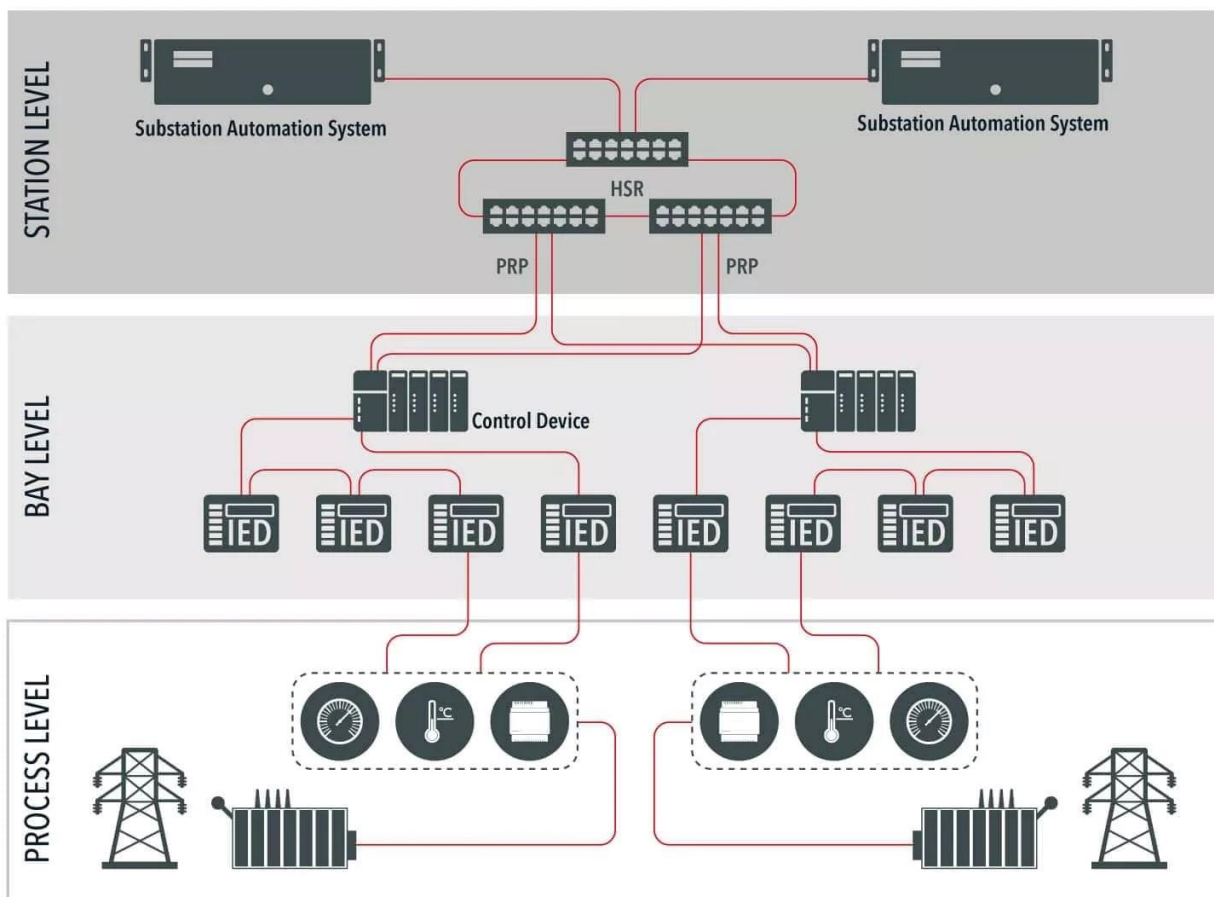


Figure 3 : Architecture de référence pour la digitalisation des postes électriques IEC 61850(12)

### Autres Réglementations et Normes

#### Réglementations Nationales :

Le Togo a mis en place des réglementations nationales pour soutenir la digitalisation des postes électriques. Ces réglementations couvrent les aspects de la sécurité, de la protection des données, et des exigences techniques pour les équipements numériques.

#### Normes de Sécurité :

La sécurité est un aspect crucial de la digitalisation, particulièrement dans le contexte des infrastructures critiques comme les postes électriques. Au Togo, les normes de sécurité s'alignent sur les meilleures pratiques internationales pour garantir la protection contre les cyberattaques. Cela implique l'adoption de mesures de cybersécurité robustes, telles que l'utilisation de pare-feu,

la gestion stricte des accès et des identifiants, ainsi que la surveillance continue des systèmes pour détecter toute activité suspecte.

Les normes de sécurité intègrent également des protocoles de cryptage des données pour prévenir les accès non autorisés et garantir l'intégrité et la confidentialité des informations échangées. Des audits réguliers de sécurité et des tests de pénétration sont effectués pour identifier et corriger les vulnérabilités potentielles.

En outre, la formation continue du personnel est essentielle pour assurer la compréhension et l'application adéquates de ces mesures de sécurité. Des sessions de sensibilisation et de formation sont organisées pour préparer les employés à réagir efficacement aux menaces de sécurité.

Ces efforts combinés visent à assurer la résilience et la continuité des opérations du réseau électrique, minimisant ainsi les risques d'interruptions dues à des cyberattaques. En alignant les normes de sécurité sur les meilleures pratiques internationales, le Togo s'efforce de renforcer la protection de ses infrastructures critiques tout en soutenant la transition vers une gestion plus numérique et automatisée de ses réseaux électriques.

Le cadre réglementaire et normatif de la numérisation des postes électriques au Togo, centré sur la norme CEI 61850, offre une base solide pour la modernisation des infrastructures énergétiques. En adoptant des protocoles de communication standardisés, en simplifiant l'architecture des réseaux, et en améliorant l'interopérabilité des équipements, le Togo peut améliorer la fiabilité, la sécurité, et l'efficacité de ses systèmes électriques. Ces efforts sont soutenus par des réglementations nationales et des normes de sécurité qui garantissent une transition numérique sécurisée et efficace.

## **IV. ÉTAT DES LIEUX DU POSTE ELECTRIQUE DE LOME**

### **AFLAO**

La présentation du poste électrique de Lomé Aflao constitue une étape essentielle pour contextualiser notre étude de faisabilité technologique et économique de la Numérisation du poste électrique de Lomé Aflao. Dans cette section, nous allons fournir une description détaillée du poste électrique, en mettant en lumière son importance stratégique, ses équipements essentiels, ses opérations actuelles, ainsi que les défis rencontrés dans son fonctionnement. Cette présentation nous permettra de mieux comprendre les enjeux spécifiques liés à la numérisation envisagée du poste électrique de Lomé Aflao, et servira de fondement pour notre analyse ultérieure.

#### **1- LOCALISATION ET DESCRIPTION GENERALE DU POSTE ELECTRIQUE**

Le poste électrique de Lomé Aflao est situé dans la région Maritime, au cœur de la ville de Lomé, et constitue un élément essentiel du réseau électrique de la Communauté Électrique du Bénin (CEB). Il s'agit d'un poste stratégique qui assure l'interconnexion et la transformation des sources d'énergie des différentes centrales de production.

Ce poste joue un rôle vital dans la transformation et la distribution de l'énergie électrique pour répondre aux besoins des consommateurs togolais.

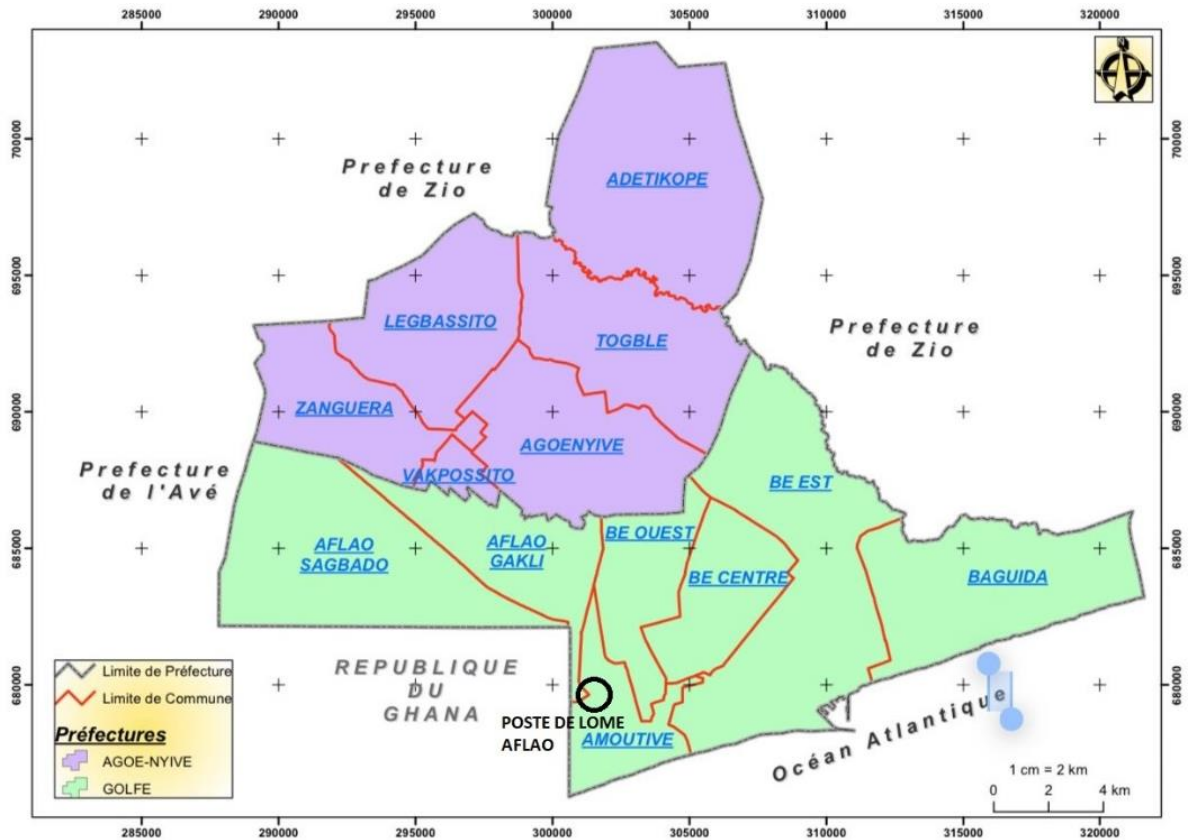


Figure 4 : Localisation du poste de Lomé Aflao dans la ville de Lomé

## 2- ÉQUIPEMENTS ET INFRASTRUCTURES PRESENTS DANS LE POSTE

Le poste électrique de Lomé Aflao est équipé d'une gamme d'infrastructures et d'équipements électriques nécessaires à la distribution efficace de l'électricité. Parmi les principaux équipements présents dans le poste, on trouve des transformateurs, des disjoncteurs, des sectionneurs, des compteurs, des câbles électriques, ainsi que divers dispositifs de protection et de contrôle.

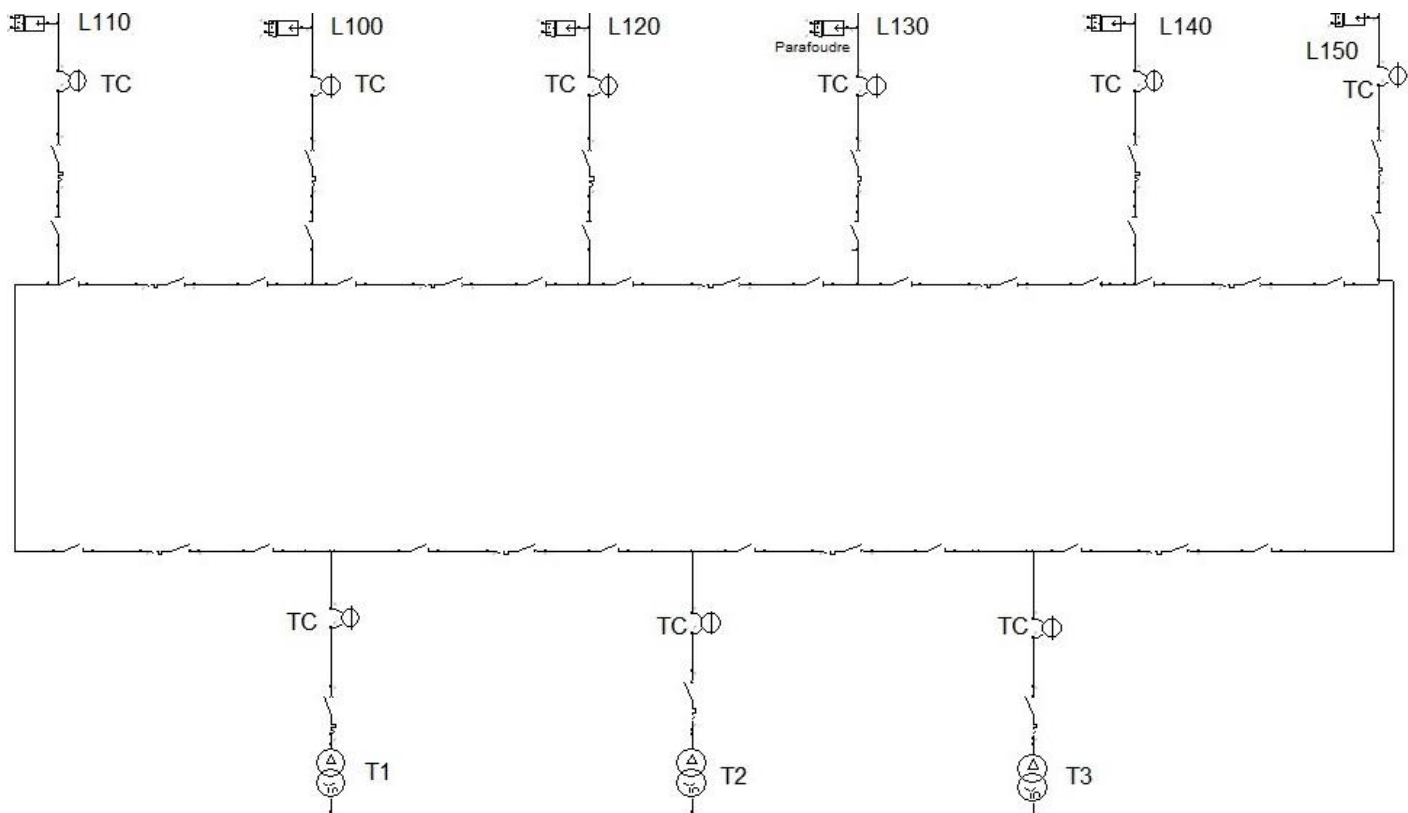


Figure 5 : Schéma synoptique du poste de Lomé Aflao

Le cœur du poste électrique est composé de trois transformateurs qui abaissent la tension électrique de 161 kV provenant des sources de production à une tension de 20 kV, conforme aux normes de distribution locales. Ces transformateurs jouent un rôle essentiel dans la conversion de la haute tension en une tension appropriée pour la distribution aux utilisateurs finaux du réseau de la CEET.





Figure 6 : transformateur du poste de Lomé Aflao

En plus des transformateurs, le poste électrique comprend une gamme d'équipements de protection et de commande, tels que des disjoncteurs, des sectionneurs et des transformateurs de courant. Les disjoncteurs, qu'ils soient de type "Dead tank" ou "live tank", sont utilisés pour protéger le réseau contre les surcharges, les courts-circuits et autres anomalies électriques, en interrompant le courant en cas de besoin pour prévenir les dommages aux équipements et assurer la sécurité du personnel. Les disjoncteurs du champ électrique sont commandables à partir du tableau synoptique de la salle de commande.





Figure 7 : Disjoncteur Deak Tank



Figure 8 : Disjoncteur Pneumatique à gros volume d'huile



Figure 9 : Disjoncteur Live Tank

Les sectionneurs sont des dispositifs de coupure qui permettent d'isoler des parties spécifiques du réseau électrique pour des opérations de maintenance ou en cas d'urgence. Ils offrent une fonction de séparation sécurisée des circuits électriques, permettant aux techniciens d'intervenir en toute sécurité sur les équipements sans risque de choc électrique ou d'arc électrique. Certains des sectionneurs situés dans la partie 161 kV du champ électrique sont équipés de dispositifs permettant leur commande à distance depuis le tableau synoptique de la salle de commande. En revanche, les autres sectionneurs du champ ne disposent pas de cette fonctionnalité et ne peuvent être actionnés qu'au niveau local, en se rendant physiquement au pied de ces appareils.



Figure 10 : Sectionneurs du champ électrique

## Contrôle-commande du poste électrique

Le contrôle-commande du poste électrique de Lomé Aflao repose sur un système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) déporté et un Tableau synoptique. Le système SCADA permet la surveillance à distance des équipements et des opérations électriques, mais ne permet pas actuellement d'effectuer des commandes directes depuis la salle de commande locale. Les opérateurs peuvent uniquement lire les valeurs caractéristiques et les relevés des équipements pour effectuer des interventions manuelles si nécessaire.

Les commandes effectives du poste électrique sont centralisées au niveau du système de dispatching, situé sur un autre site. Cette configuration présente des avantages en termes de centralisation et de coordination des opérations électriques, mais peut également poser des défis en cas de pannes ou d'incidents nécessitant une réponse immédiate sur le terrain.

Cependant le tableau synoptique permet le déclenchement des disjoncteurs et l'ouverture de certains sectionneurs du champ électrique.

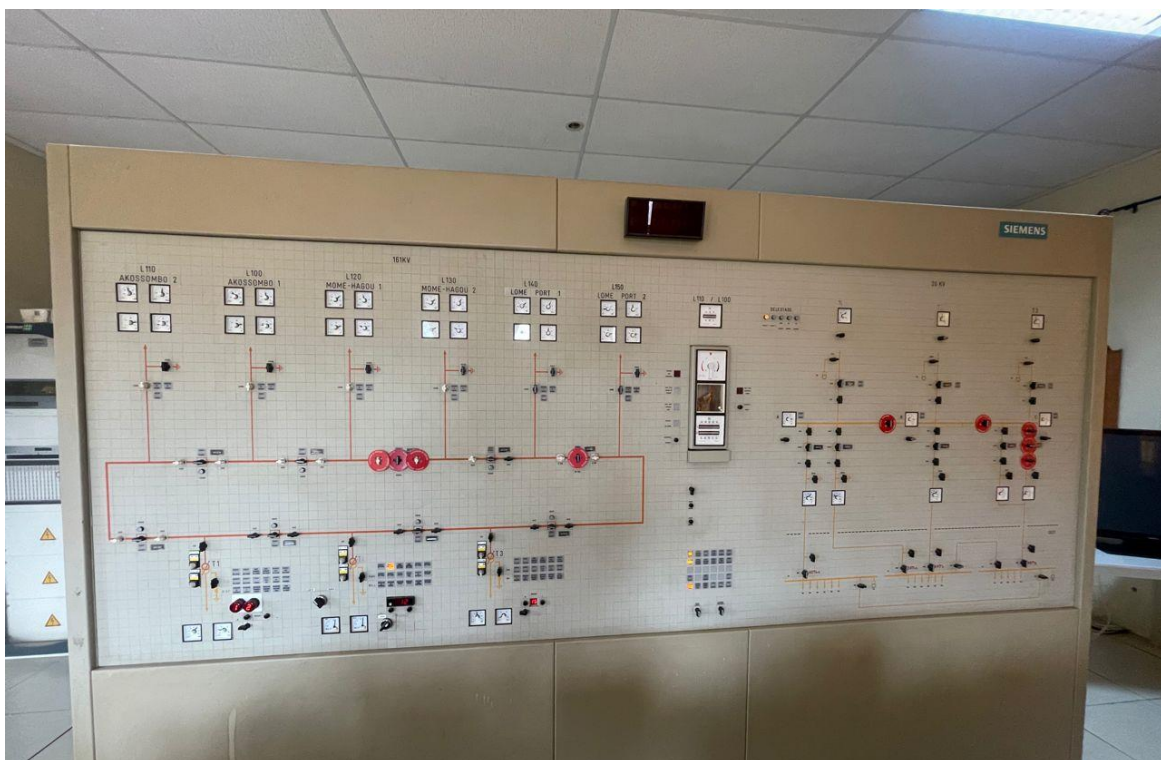


Figure 11 : synoptique de la salle de commande du poste de Lomé Aflao

La sécurité des équipements du poste et de la ligne est principalement assurée par les relais de protection Micom P632 et P444. Ces relais jouent un rôle crucial dans la détection et la réponse aux anomalies électriques, garantissant ainsi la fiabilité et la sécurité du réseau électrique.

Le relais Micom P632 est spécifiquement conçu pour la protection des transformateurs, tandis que



le relais Micom P444 est utilisé pour la protection des lignes de transmission. Ces relais sont programmés pour surveiller en permanence les paramètres électriques critiques, tels que la tension, le courant, la fréquence, etc. En cas de détection d'une condition anormale, ils déclenchent des actions de protection appropriées, telles que l'ouverture des disjoncteurs pour isoler la partie défectueuse du réseau.

Les relais Micom P632 et P444 contribuent à minimiser les temps d'arrêt et à prévenir les dommages aux équipements électriques, assurant ainsi la continuité et la stabilité de l'alimentation électrique dans la région de Lomé Aflao.

Les équipements sont installés au plus près des installations de puissance à la salle de relaiage pour la conduite en local et la protection des personnes et du matériel.



Figure 12 : Relais Micom P632



Figure 13 : Relais Micom P444

Ces automatismes de contrôle doivent satisfaire les fonctions suivantes :

**Surveiller :**

- Acquisition et traitement informatisé des données du procédé
- Datation à la source : permettre une datation précise et commune à tout le système, la synchronisation de chaque équipement avec précision.
- Emettre les informations de sortie pour les fonctions d'exploitation (conduite locale, téléconduite, maintenance, analyse d'incident électrotechnique, accès distant), de protections et automates.

**Protéger :**

Protéger le réseau électrique le plus intelligemment possible en agissant sur le disjoncteur associé afin :

- De surveiller en permanence les divers paramètres d'une partie d'un réseau (ligne, câble ou transformateur),
- D'agir en situation anormale,
- De transmettre des informations pour l'exploitation du réseau.

**Contrôler**

- Agir sur les organes de coupures ou les prises de transformateurs à l'aide de commandes : locales (depuis le calculateur), depuis la salle de commande, depuis la Supervision distante.
- Commandes Sécurisées : habilitation du point de conduite, mot de passe, autocontrôles, interverrouillages, ...

Le calculateur MiCOM C264/C264C RTU constitue la nouvelle génération de calculateurs de postes électriques modulaires.

Il est utilisé pour commander et surveiller des tranches de postes électriques. Sa capacité est prévue pour contrôler des organes de coupure équipés d'une signalisation électrique de retour dans des postes moyenne ou haute tension.



Figure 14: Calculateur MiCOM C264

Pour assurer ce rôle une coordination entre les transformateurs de courant et le dispositif contrôle-commande du poste est essentiel.

Les transformateurs de courant et de tension (TC/TT) sont des composants essentiels du système de surveillance et de protection électrique d'un poste électrique. Ces dispositifs sont utilisés pour mesurer les courants et les tensions du réseau électrique, et fournir des signaux proportionnels aux relais pour le contrôle-commande. Les relais du poste, en coordination avec les automates programmables et les capteurs, collaborent pour former un système de contrôle-commande intégré, garantissant ainsi la surveillance et la gestion efficace des opérations du poste électrique. (voir schéma système contrôle commande dans l'annexe 4).

Les TC et TT sont utilisés pour mesurer respectivement les courants élevés circulant dans les lignes électriques. Ils fonctionnent en réduisant proportionnellement le courant du réseau à un niveau compatible avec les instruments de mesure et de protection. Les relais pour le contrôle-commande reçoivent ensuite ces signaux de courant et tensions réduits des TC et les utilisent pour surveiller les conditions électriques du réseau et déclencher des actions de protection en cas d'anomalies.

Les signaux de courant et de tension provenant des transformateurs de courant et de tension sont directement connectés aux entrées des relais pour le contrôle-commande. En fonction de ces valeurs mesurées, les relais peuvent déclencher des actions de protection telles que le déclenchement des disjoncteurs pour maintenir la stabilité et la sécurité du réseau électrique.



Figure 15 Transformateur de Courant

### **3- PROBLEMES ET DEFIS RENCONTRES DANS LE FONCTIONNEMENT ACTUEL**

Actuellement, les opérations électriques au poste de Lomé Aflao sont principalement réalisées de manière manuelle par le personnel de la CEB. Cela implique la surveillance régulière des équipements, la maintenance préventive et curative, ainsi que la gestion des incidents et des pannes électriques.

Malgré les efforts du personnel pour assurer le bon fonctionnement du poste électrique, plusieurs défis ont été identifiés. Parmi les problèmes courants figurent les pannes fréquentes, les temps d'arrêt prolongés, les inefficacités opérationnelles et les limitations en termes de réactivité et de précision des données.

En raison du fonctionnement manuel du poste et des conditions météorologiques défavorables telles que les interruptions pendant la pluie, l'opérateur se trouve dans l'incapacité de rétablir le réseau car il lui est impossible d'accéder au terrain pour effectuer les interventions nécessaires et les commandes ne peuvent pas être effectuées depuis la salle de commande locale. La possibilité de commande est partiellement possible à partir du tableau synoptique.

Toutes les heures, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, un opérateur doit effectuer une surveillance

manuelle en observant l'écran du consigneur d'état. À chaque intervalle d'une heure, il doit recueillir et enregistrer manuellement les caractéristiques électriques du poste. Cela inclut les mesures de tension, de courant, de fréquence, ainsi que les différentes puissances actives, réactives et apparentes pour chaque transformateur et chaque ligne. Ces relevés manuels sont essentiels car ils fournissent des informations cruciales pour la CEB. Ils permettent à la CEB de documenter et de justifier ses actions en cas d'incidents, ainsi que de fournir des rapports mensuels au dispatching. Ces rapports sont nécessaires pour évaluer la quantité d'électricité vendue au réseau de la CEET.

Chaque jour à 9h, l'opérateur descend dans le champ électrique pour relever les températures des enroulements primaires, secondaires et de l'huile du transformateur. Cette tâche régulière revêt une importance cruciale pour plusieurs raisons : elle permet de surveiller l'état de santé du transformateur, d'anticiper les besoins en maintenance préventive, de garantir la sécurité des opérations et de se conformer aux normes et réglementations en vigueur dans le domaine électrique. Cependant Le fait que ces relevés soient réalisés manuellement présente plusieurs inconvénients. Tout d'abord, cela limite la flexibilité de l'opérateur, qui ne peut pas effectuer les relevés pendant certaines conditions météorologiques, telles que la pluie. De plus, pendant que l'opérateur descend dans le champ électrique pour effectuer les relevés, il n'est pas présent à la salle de commande, ce qui augmente le risque d'incidents ou de pannes pouvant survenir en son absence. Les relevés de températures faites par les opérateurs peuvent parfois contenir des erreurs et le traitement de ces données relevées manuellement peut s'avérer parfois difficile pour le service d'exploitation du poste.



## **V. ANALYSE DE FAISABILITE TECHNOLOGIQUE DE LA DIGITALISATION DU POSTE ELECTRIQUE DE LOME AFLAO**

Face aux différents défis rencontrés dans l'exploitation actuelle du poste électrique de Lomé Aflao, nous présenterons dans cette section les technologies conçues pour pallier les problèmes précédemment identifiés. Nous aborderons également l'évaluation technique de leur mise en place ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Le choix de ces technologies s'est basé sur des pratiques observées dans d'autres postes électriques plus digitalisés où l'exploitation est plus aisée, les retours d'expérience des exploitants de poste électriques sur les forums et les propositions des chefs services exploitation des postes électriques de la CEB.

### **1- PRESENTATION DES TECHNOLOGIES RETENUES POUR LA DIGITALISATION DU POSTE DE LOME AFLAO**

#### **A- SCADA**

Le système SCADA, acronyme de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervision, Contrôle et Acquisition de Données), est un outil crucial dans la gestion des postes électriques. Il permet de surveiller, contrôler et collecter des données en temps réel sur l'état et le fonctionnement du réseau électrique.

Le SCADA du fournisseur Siemens est composé de plusieurs éléments, notamment des capteurs et des actionneurs dispersés dans le poste électrique pour collecter des données et effectuer des actions en fonction des commandes reçues. Ces données sont ensuite transmises à une unité de contrôle centrale où elles sont analysées, traitées et affichées sur une interface graphique conviviale.

Les principales fonctionnalités du SCADA comprennent la surveillance en temps réel des paramètres électriques tels que la tension, le courant, la fréquence, la puissance, etc., la détection des incidents et des anomalies, le contrôle à distance des équipements, la gestion des alarmes et des événements, ainsi que l'enregistrement et l'historisation des données pour l'analyse ultérieure. Le SCADA est essentiel pour assurer la fiabilité, la sécurité et l'efficacité des opérations électriques. Il permet aux opérateurs de surveiller et de contrôler le réseau à distance, de prendre des décisions rapides en cas d'urgence, et d'optimiser les performances du système électrique dans

son ensemble.



Figure 16 :Interface Système SCADA dans un poste électrique(13)

## B- Elog Data

Le système ELOG agit comme une unité de centralisation et de gestion de données provenant de divers équipements communicants présents dans le poste électrique de Lomé Aflao. Il rassemble et enregistre automatiquement les données provenant notamment d'une centrale de mesure électrique, offrant ainsi une vue centralisée de ces données.

La centrale de mesure, intégrée au système ELOG, joue un rôle crucial en mesurant et analysant les paramètres électriques du réseau. Elle prend en entrée le courant et la tension du champ électrique grâce à des transformateurs de courant (TC) et des transformateurs de tension (TT), puis présente en sortie les caractéristiques réelles du réseau, telles que les tensions simples et composées, le courant, la puissance, les harmoniques tensions et courant, ainsi que la fréquence.

En utilisant des bus de terrain RS485 et le protocole Modbus RTU, le système ELOG peut se connecter à divers équipements du poste électrique. Cette connexion bidirectionnelle permet une communication efficace avec les équipements compatibles, facilitant ainsi la collecte et la transmission des données.



Figure 17 : module Elog Data enerdis(14)



Figure 18 : Centrale de Mesure Enerdis(15)

## C- Relais TR42

En ce qui concerne la surveillance des transformateurs la solution technologique proposée est le relais de surveillance, de contrôle et de capteur de température TR42 du fabricant Oron Italia. Ce relais est spécifiquement conçu pour les transformateurs triphasés en résine moulée ou de type sec comme ceux présents dans le poste de Lomé Aflao, quel que soit leur niveau de tension (kV) ou de puissance (kVA).

Les principales fonctions du TR42 incluent la surveillance en temps réel des capteurs de température des enroulements du transformateur, ainsi que l'exécution d'actions préprogrammées en fonction des données recueillies. Parmi ces actions figurent notamment l'allumage ou l'extinction du ventilateur de refroidissement, la génération d'alarmes en cas de dépassement de seuils de température critiques, ou encore le déclenchement de mesures de protection pour prévenir les dommages au transformateur.

Ce relais est équipé d'un port de communication RS485 qui permet d'établir une connexion avec d'autres dispositifs ou systèmes de surveillance, tels qu'un système SCADA ou un logiciel de gestion des actifs. Cela permet une intégration aisée du TR42 dans l'infrastructure existante du poste électrique de Lomé Aflao, facilitant ainsi la collecte et l'analyse des données de température du transformateur.

En intégrant le relais TR42 dans le système de contrôle-commande du poste électrique, il serait possible d'automatiser la surveillance des températures des enroulements du transformateur, d'activer des mesures de protection en cas de détection de conditions anormales, et de fournir aux opérateurs des alertes en temps réel sur l'état de santé du transformateur. Cette solution contribuerait ainsi à améliorer la sécurité des opérations électriques et à réduire les risques d'incidents ou de pannes.



Figure 19 : Relais TR42 Orion Italia(16)

## 2- ÉVALUATION TECHNIQUE DE LA MISE EN PLACE DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES RETENUES

### A- SCADA

Le Système de Contrôle et d'Acquisition de Données (SCADA) est essentiel pour la surveillance et la gestion des infrastructures électriques. Son implémentation au poste électrique de Lomé Aflao vise à améliorer l'efficacité opérationnelle, réduire les temps d'arrêt, et optimiser la gestion des ressources. Cette évaluation technique détaille la conception, l'installation et la configuration du système SCADA, en mettant en avant les aspects techniques et les bénéfices attendus.

#### 1. Description Technique du SCADA

Le SCADA est un système de contrôle et de supervision essentiel pour la gestion des infrastructures électriques modernes. Il permet de surveiller, contrôler et collecter des données en temps réel des différents équipements connectés, améliorant ainsi l'efficacité opérationnelle et la réactivité en cas de dysfonctionnement.

##### Composantes Principales du SCADA :

- **Serveur SCADA** : Le cœur du système, responsable de la collecte et du traitement des données.
- **Interfaces Homme-Machine (IHM)** : Pour la visualisation et le contrôle par les opérateurs.
- **RTU (Remote Terminal Unit)** : MiCOM C264, servant de relais entre les équipements

sur le terrain et le serveur SCADA.

- **Protocole de Communication :** Utilisation de Modbus pour la transmission des données entre le MiCOM C264 et le SCADA.

## 2. Architecture du Système

L'architecture du système SCADA comprend plusieurs composants clés : les Unités Terminales à Distance (RTU), les Interfaces Homme-Machine (HMI), les serveurs SCADA, les réseaux de communication et les capteurs. Ces éléments travaillent ensemble pour collecter, transmettre et analyser les données en temps réel.

Le RTU installé au poste de Lomé Aflao est le MICOM C264.

Le MiCOM C264 est un ordinateur pour poste électrique, RTU (Remote Terminal Unit), et convertisseur de protocole faisant partie de la gamme PowerLogic™ de Schneider Electric. Ce dispositif est crucial pour la commande et la surveillance des équipements électriques au poste de Lomé Aflao. Il permet une communication efficace avec les dispositifs électroniques intelligents (IED) et les systèmes SCADA.

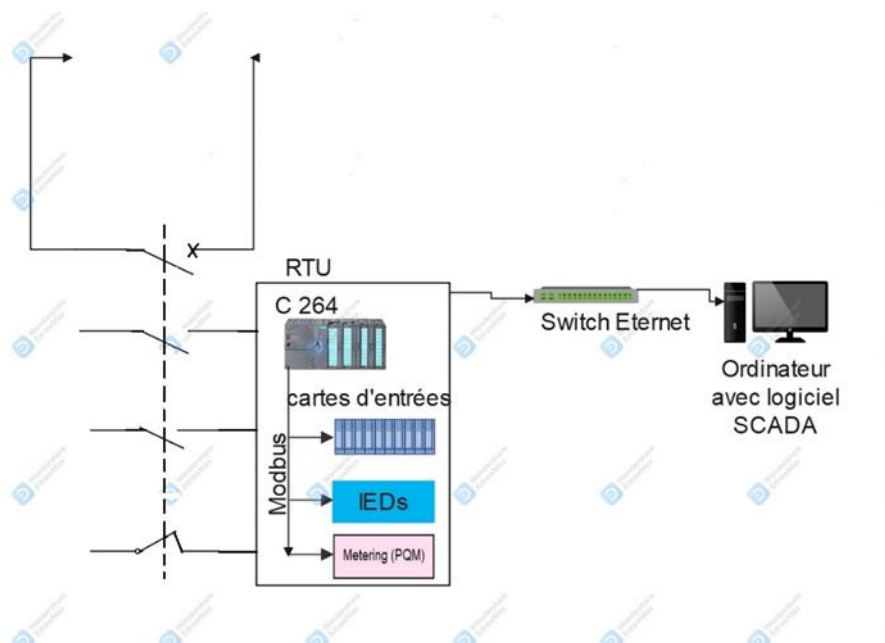


Figure 20 : Architecture du SCADA avec MICOM C264

Ce schéma illustre la connexion entre le serveur SCADA, les IHM, le MICOM C264, et les équipements du poste.

Le relais MICOM C264 collecte les données sur l'état des équipements du poste (par exemple, si un disjoncteur est ouvert ou fermé) et transmet ces informations au serveur SCADA, qui les traite et les affiche sur les Interfaces Homme-Machine (IHM) situées dans la salle de commande. Lorsqu'un opérateur souhaite ouvrir ou fermer un équipement, il utilise l'IHM pour envoyer une commande. Cette commande est alors transmise au serveur SCADA, qui envoie l'instruction au relais MICOM C264. Le relais exécute la commande en ouvrant ou fermant l'équipement concerné. Après l'exécution de la commande, le relais MICOM C264 envoie un feedback sur l'état de l'équipement au serveur SCADA, qui met à jour l'affichage sur les IHM, permettant ainsi aux opérateurs de confirmer que l'action a été effectuée avec succès.

### 3. Configuration et Installation

L'installation du SCADA doit être soigneusement planifiée pour garantir une intégration fluide avec le MICOM C264 et les autres équipements du poste.

#### Étapes de la Configuration et de l'Installation :

1. **Étude Préliminaire** : Évaluation des besoins de supervision et de contrôle du poste.
2. **Conception du Système** : Définition de l'architecture du SCADA, incluant les serveurs, les IHM et les interfaces de communication.
3. **Installation Matérielle** : Mise en place des serveurs SCADA, des IHM, et des interfaces de communication.
4. **Configuration Logicielle** : Paramétrage du SCADA pour communiquer avec le MICOM C264 via le protocole Modbus.
5. **Tests et Validation** : Vérification de la collecte et du traitement des données en temps réel, ainsi que de la réactivité du système en cas d'anomalie.

### 4. Intégration avec le MICOM C264 et les équipements Existants

L'intégration réussie du SCADA avec le MICOM C264 et les autres équipements existants est cruciale pour une supervision efficace.

#### Points Clés de l'Intégration :

- **Compatibilité**: Le SCADA peut communiquer efficacement avec le MICOM C264 et les autres dispositifs.
- **Interfaçage** : Connecter le SCADA aux points de mesure et de commande via le MICOM



C264.

- **Tests d'Interopérabilité** : Valider la communication entre le SCADA, le MICOM C264, et les équipements du poste.

- **Maintenance et Évolutivité**

Un bon plan de maintenance et une conception évolutive sont essentiels pour garantir la durabilité et la performance du système SCADA.

**Maintenance :**

- **Préventive** : Planification de la maintenance régulière pour assurer le bon fonctionnement du SCADA.
- **Curative** : Réparation et remplacement rapide des composants défectueux.

**Évolutivité :**

- **Scalabilité** : Possibilité d'ajouter de nouveaux équipements et de nouvelles fonctionnalités au SCADA.
- **Mises à Jour** : Intégration des améliorations technologiques pour optimiser les performances.

L'implémentation du système SCADA au poste électrique de Lomé Aflao représente une avancée significative dans la gestion des infrastructures électriques. L'architecture du système, la configuration et l'installation ainsi que l'intégration et la compatibilité avec le relais Micom C264, confirment la faisabilité et les avantages substantiels de cette numérisation. En intégrant des technologies de pointe pour la surveillance et le contrôle, ce projet contribuera à améliorer l'efficacité, la fiabilité et la sécurité des opérations.

## B- ELOG DATA

### a) Architecture du Système

L'architecture du système Elog Data pour le poste électrique de Lomé Aflao est conçue pour garantir une surveillance optimale et une intégration fluide avec les équipements existants. Voici un aperçu de l'architecture proposée :

- Modules de Mesure : Chaque transformateur et ligne de départ sera équipé d'une centrale de mesure Enerdis ; Et un module Elog pour collecter les données électriques mesurées en temps réel par les centrales de mesures.



- Réseau de Communication : Les modules Elog seront connectés via un réseau local (LAN) sécurisé permettant le transfert des données vers le système central de gestion.
- Serveur Central : Un serveur central sera installé pour collecter, stocker et analyser les données provenant des modules Elog. Ce serveur hébergera également le logiciel de gestion File Zila.
- Interface Utilisateur : Les données collectées seront accessibles via une interface utilisateur intuitive, accessible depuis les postes de travail des opérateurs dans la salle de commande.

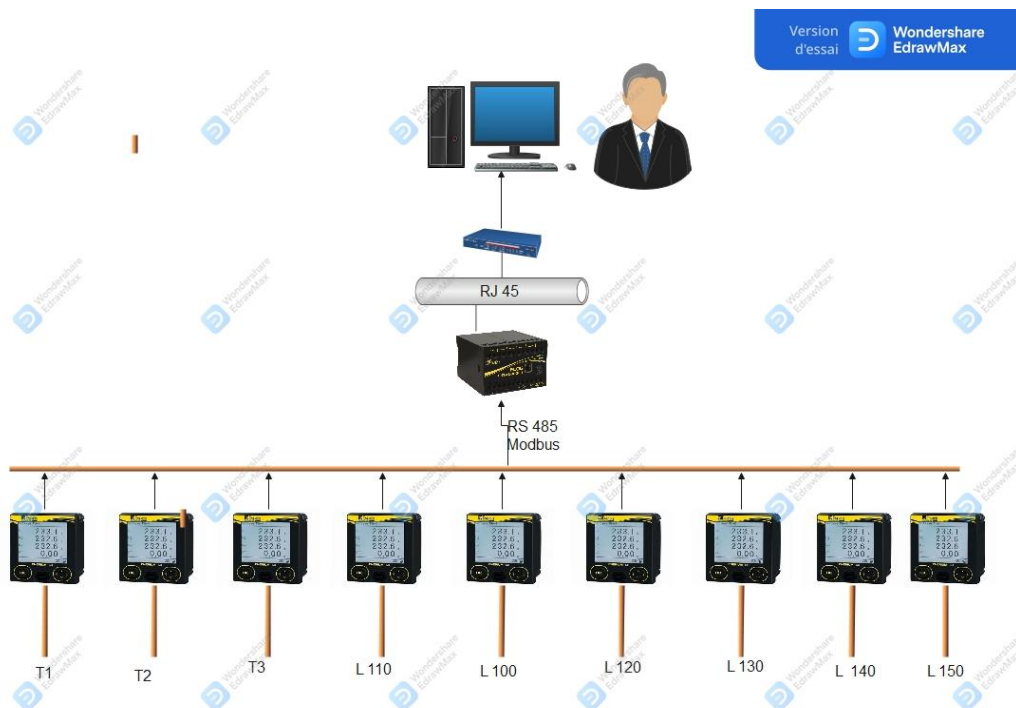


Figure 21 : Architecture du système Elog data

## b) Spécifications Techniques

### Modules de Mesure :

- Type : Enerdis
- Fonctionnalités : Mesure de tension, courant, puissance, énergie, Fréquence, puissance active et réactive.

### Modules Elog :

- Fonctionnalités : Collecte et transmission de données, alerte en cas d'anomalies
- Protocole de communication : Modbus TCP/IP

**Réseau de Communication :**

- Type : LAN
- Composants : câblage Ethernet

**Serveur Central :**

- Processeur : Intel Xeon
- Logiciel : Elog Data, système d'exploitation Linux/Windows Server

**Interface Utilisateur :**

- Logiciel : Page Web embarquée ou File ZILA
- Fonctionnalités : Visualisation des données, génération de rapports, configuration des alertes

### **c) Compatibilité et Intégration**

Pour assurer une intégration fluide, les modules Elog et les centrales de mesure Enerdis sont compatibles avec les équipements existants du poste électrique. Les modules Elog utilisent le protocole de communication standard Modbus TCP/IP, garantissant une interopérabilité avec les systèmes de gestion existants. Des tests préalables seront effectués pour vérifier la compatibilité et résoudre les éventuels problèmes d'intégration avant la mise en service complète.

### **d) Installation et Configuration**

L'installation des modules Elog et des centrales de mesure Enerdis sera réalisée par l'équipe d'entretien et appareillage de la CEB, qui possède une expertise préalable dans ce domaine. Voici les étapes détaillées :

**1. Préparation :**

- Vérification des équipements et des composants nécessaires.
- Obtention des permis et autorisations nécessaires pour les travaux.
- Mise en place des mesures de sécurité, incluant la déconnexion électrique des équipements concernés.

**2. Installation des Centrales de Mesure et des Modules Elog :**

- Montage des centrales de mesure Enerdis sur les transformateurs et les lignes de départ.

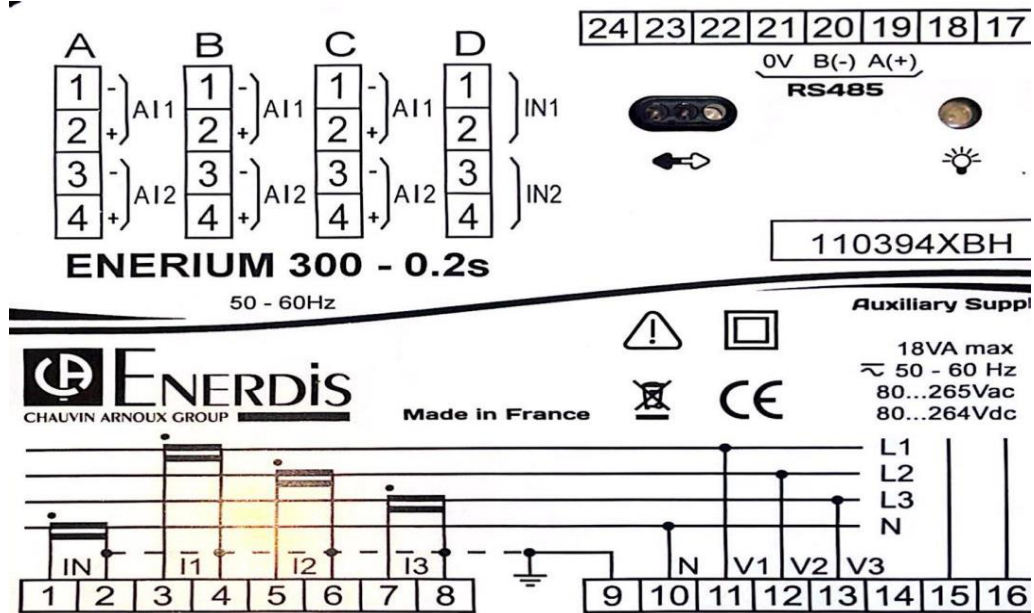


Figure 22 : schéma de raccordement des centrales de mesures

Le schéma ci-dessus nous montre le schéma de raccordement des centrales de mesures. Nous pouvons y voir ses différentes entrées à savoir les courants et tensions provenant des TC et TT. Ce module sera intégré dans le circuit de Mesures des transformateurs et des différents départs juste après les compteurs d'énergies installés à la salle de relayage.

Les Schémas suivants nous montrent l'intégration des centrales dans ce circuit de Mesures et Comptages.

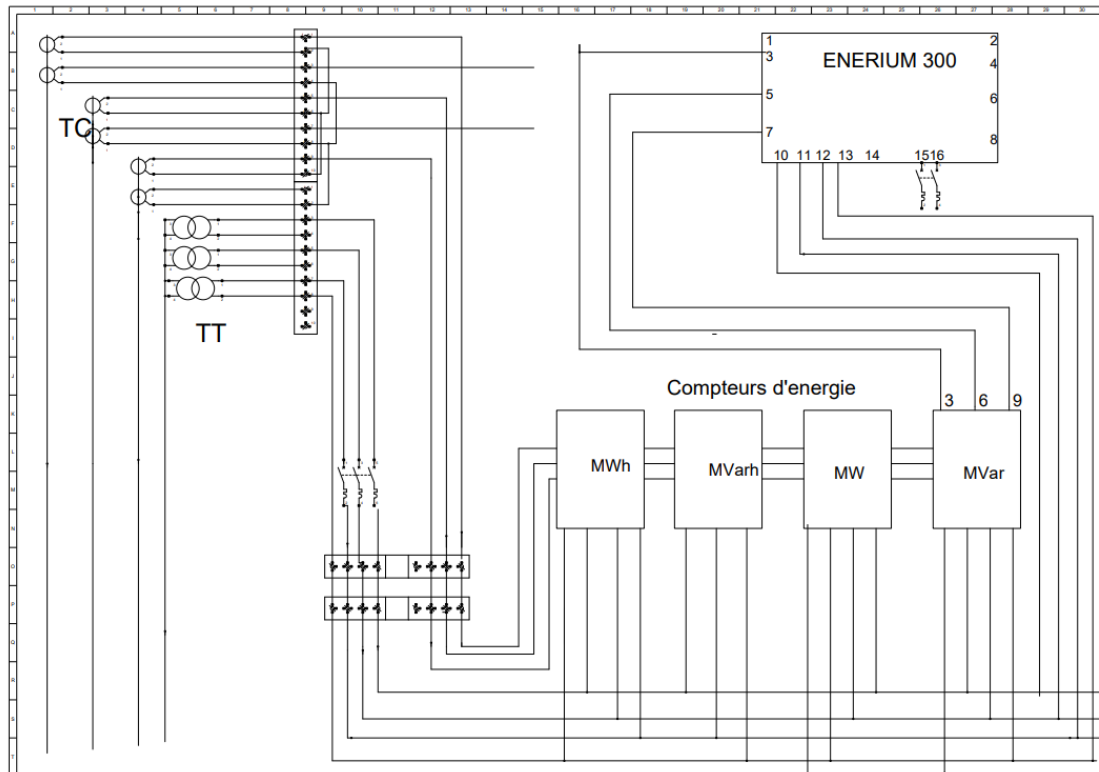


Figure 23 : Schéma de connexion des centrales de mesures dans le circuit Mesures et comptages du poste électrique

Ce schéma illustre l'intégration de la centrale de mesure dans le circuit de mesure et de comptage du poste électrique. Les courants et tensions nécessaires pour les centrales de mesure sont obtenus à partir des Transformateurs de Courant (TC) et des Transformateurs de Tension (TT) situés dans le champ électrique. Ces transformateurs fournissent des valeurs précises de courant et de tension, essentielles pour la mesure et le comptage de l'énergie.

Les signaux de courant et de tension ainsi obtenus passent par les compteurs d'énergie déjà installés dans le circuit, permettant de collecter des données précises sur la consommation énergétique.

Pour alimenter les centrales de mesure en 230 V AC, la tension est prélevée directement aux niveaux des borniers du circuit. Cette méthode d'alimentation garantit une source de tension stable et fiable pour le fonctionnement des centrales de mesure.

- Installation du module Elog à proximité des centrales de mesure.
- Connexion du module Elog aux centrales de mesure via Modbus RS 485.

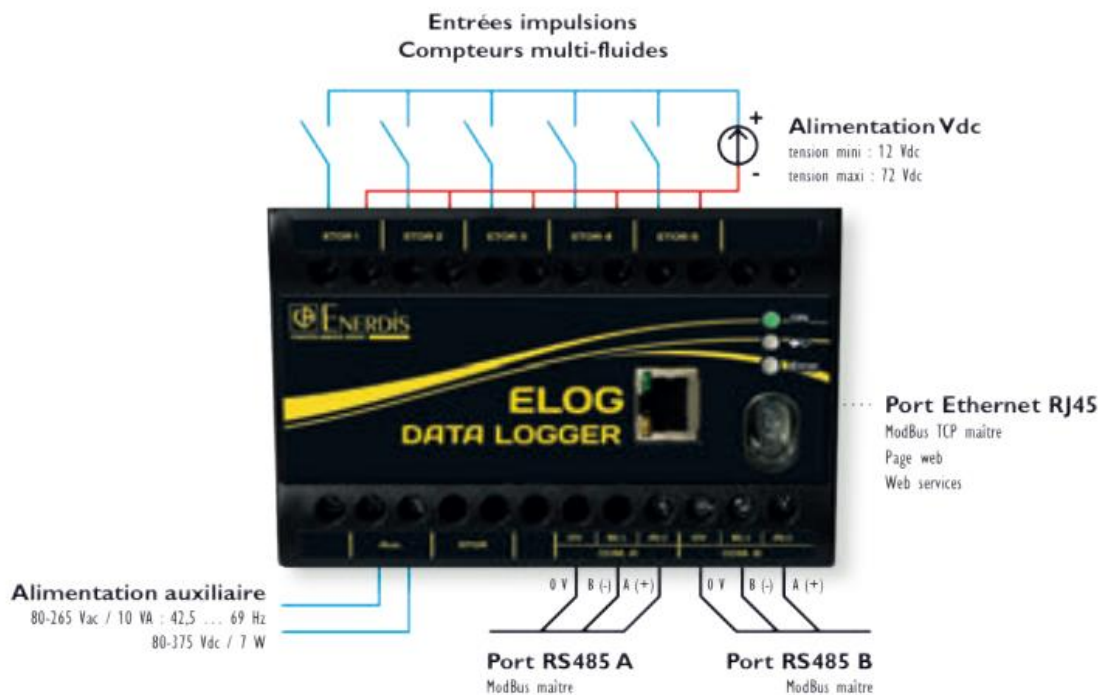


Figure : 24 Schéma de Raccordement du module Elog

Le schéma de raccordement du module Elog illustre les différentes entrées et sorties du module, permettant une intégration optimale dans le réseau électrique du poste de Lomé Aflao. Ce schéma met en évidence les points de connexion pour l'alimentation électrique, les communications, ainsi que les interfaces de mesure et de contrôle.

### 3. Configuration du Réseau de Communication :

- Mise en place du câblage Ethernet.
- Connexion du module Elog au réseau local.

Le module Elog est connecté au réseau local via un câble Ethernet RJ45. Étant donné que la longueur maximale pour une transmission de données avec un câble RJ45 est de 100 mètres, nous avons choisi le chemin le plus court entre la salle de relayage, où le module Elog sera installé, et la salle de commande située juste au-dessus. Le câble passera par le chemin déjà utilisé pour la fibre optique existante, couvrant une distance d'environ 40 mètres.

#### 4. Installation du Serveur Central :

- Installation du serveur central dans la salle de contrôle commande.
- Configuration du serveur avec le logiciel File Zila.
- Connexion du serveur au réseau local.

#### 5. Test et Vérification :

- Réalisation de tests de connectivité pour s'assurer que les modules Elog transmettent correctement les données au serveur central.
- Vérification des données collectées via l'interface utilisateur.
- Ajustement des configurations si nécessaire.

### e) Configuration du Système

Une fois l'installation physique terminée, la configuration du système Elog Data sera réalisée pour optimiser la surveillance et la gestion des équipements :

- Paramétrage des Modules Elog :
  - Configuration des paramètres de communication (adresse IP, ports, ).
  - Définition des seuils d'alerte pour les différentes mesures (tension, courant, Puissance active et réactive.).
- Configuration du Logiciel Elog Data :
  - Création de profils pour chaque équipement surveillé (transformateurs, lignes de départ).
  - Configuration des rapports automatisés et des alertes en cas de dépassement des seuils.
- Formation du Personnel :
  - Formation des opérateurs et du personnel technique à l'utilisation du logiciel Elog Data.
  - Distribution de la documentation technique et des manuels d'utilisation.

Cette approche méthodique garantira une installation et une configuration réussies du système Elog Data, permettant une surveillance en temps réel et une gestion optimisée des équipements du poste électrique de Lomé Aflao.

## C- Relais TR42

Les relais TR42 de Oron Italia sont conçus pour la surveillance et la protection des transformateurs. Leur installation au poste électrique de Lomé Aflao vise à améliorer la sécurité et la fiabilité des opérations, en assurant une protection avancée contre les défaillances des

transformateurs. Cette évaluation technique détaille la conception, l'installation et la configuration des relais TR42, en mettant en avant les aspects techniques.

Le relais de température digital TR-42 a été créé comme accessoire de première importance pour le transformateur, comme protection contre des températures excessives dangereuses sur l'enroulement isolant et pour faire intervenir des ventilateurs de refroidissement. La température est décelée par 4 détecteurs thermiques PT 100 DIN 43760, dont trois sont disloqués à l'intérieur des bobines du transformateur et le quatrième dans le nucléo magnétique.

### a) Architecture du Système

L'architecture du système de surveillance avec les relais TR42 comprend un relais par transformateur, pour un total de trois relais pour les trois transformateurs du poste.

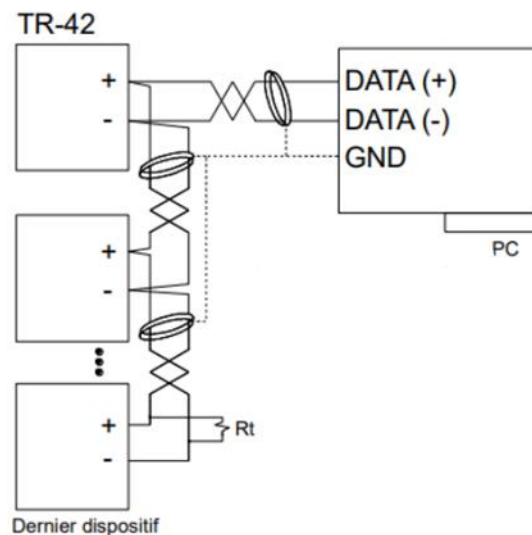


Figure 25 : Diagramme d'architecture du système de relais TR42

Le diagramme d'architecture du système de relais TR42 illustre la configuration des relais installés sur chaque transformateur, et leur communication avec le serveur via le protocole Modbus. Ce schéma montre les connexions essentielles et les interactions entre les relais, les transformateurs, et le serveur central.

Les relais TR42 sont positionnés sur chaque transformateur, permettant une surveillance et une protection continues. Chaque relais collecte des données en temps réel sur les conditions de fonctionnement du transformateur, y compris les mesures de courant et de tension.

Les informations recueillies par les relais sont transmises au serveur central via des connexions

Modbus. Cette configuration assure que les données critiques sont centralisées.

Le serveur central joue un rôle clé en recevant les données de tous les relais, en les analysant pour détecter des anomalies potentielles, et en envoyant des commandes de contrôle et de protection si nécessaire. Le serveur centralisé permet également une interface avec le système SCADA, intégrant ainsi les données des relais TR42 dans une vue d'ensemble du réseau électrique.

### b) Spécifications Techniques

Les spécifications techniques incluent les détails des relais TR42 et leur connexion aux transformateurs et au système de contrôle central.

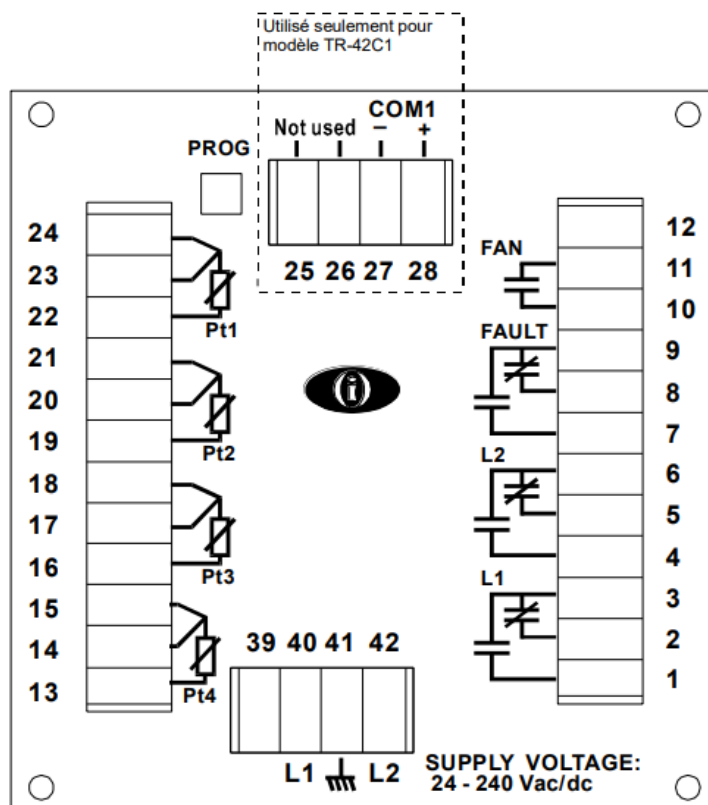


Figure 26 : Schéma de branchement des relais TR42

Le schéma de branchement du relais TR42 illustre les connexions et interactions entre les différents composants du système de protection et de contrôle du poste électrique. Ce schéma fournit par le fournisseur détaillé les diverses entrées et sorties du relais TR42, ainsi que leur intégration dans le réseau électrique.

Les entrées comprennent les signaux provenant des capteurs sondes PT100, qui sont acheminés



vers le relais TR42 pour surveiller et analyser les différentes températures au niveau des enroulements et de l'huile du transformateur.

Les sorties incluent les signaux de protection envoyés en cas de détection d'anomalies ou de conditions de défaut. Le relais envoie des signaux pour déclencher les disjoncteurs, relais pour effectuer des opérations spécifiques comme le déclenchement ou la fermeture de circuits de ventilation.

Les interfaces de communication comprennent un port Ethernet pour la communication avec le serveur permettant le transfert de données et la réception de commandes en temps réel, ainsi que des ports série pour les communications locales avec d'autres équipements de protection et de contrôle, facilitant une gestion intégrée du réseau.

Le relais TR42 est alimenté en 24V DC par une source d'énergie qu'on pourra mesurer dans le coffret du transformateur, assurant son fonctionnement continu et fiable.

Ce diagramme met en évidence la centralité du relais TR42 dans le système de protection et de contrôle du poste de Lomé Aflao. Il montre comment le relais reçoit des informations critiques, traite ces données, et envoie des commandes appropriées pour maintenir la sécurité et l'efficacité du réseau électrique.

Les relais TR42 sont installés directement sur les transformateurs, surveillant en continu les conditions opérationnelles et fournissant des alertes en cas de défaillance.

Les sondes de températures livrées avec le relais sont montées sur les différents ports indiqués. (13 à 24)

Les ports 11 et 12 sont connectés au circuit des ventilateurs du transformateur.

Les relais sont alimentés en 24V DC

### **c) Installation et Configuration**

L'installation des relais TR42 nécessite une préparation minutieuse et une exécution précise pour garantir une intégration réussie et un fonctionnement optimal.

➤ Procédures détaillées :

- Préparation du site : il est crucial de mettre en place toutes les mesures de sécurité, notamment la consignation du transformateur sur lequel on va intervenir. Afin d'éviter un arrêt imprévu, nous recommandons d'effectuer cette installation pendant une journée de maintenance semestrielle du poste, lorsque les transformateurs seront déjà consignés.

- Installation physique : Monter les relais TR42 sur les armoires des transformateurs.
- Connexion des câbles : Connecter les câbles électriques et de communication conformément au schéma de câblage.

Une fois l'installation physique terminée, les relais TR42 doivent être configurés pour assurer une communication fluide avec le système de contrôle central.

Étapes de configuration :

- Configuration des adresses IP : Attribuer des adresses IP aux relais TR42 et aux interfaces de contrôle.
- Paramétrage des ports de communication : Configurer les ports nécessaires pour la communication entre les relais et le serveur central.
- Test de communication : Vérifier que tous les relais TR42 communiquent correctement avec le serveur central.

L'implémentation des relais TR42 au poste électrique de Lomé Aflao représente une avancée significative dans la protection et la surveillance des transformateurs. En intégrant des technologies de pointe pour la détection des défaillances et la protection des équipements, ce projet contribuera à améliorer la sécurité, la fiabilité et l'efficacité des opérations. Les schémas techniques insérés dans cette évaluation fournissent une compréhension visuelle des étapes de conception, d'installation et de configuration, assurant ainsi une mise en œuvre réussie des relais TR42.

### 3- AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CHAQUE

#### TECHNOLOGIE

##### A- SCADA

Tableau 3: Avantages du SCADA au poste de Lomé Aflao

Avantages de la Numérisation	Détails
Amélioration de la Surveillance et du Contrôle	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Surveillance en temps réel des opérations du poste électrique.</li> <li>-Vue d'ensemble instantanée des conditions du réseau, permettant de réagir rapidement aux incidents.</li> <li>-Réduction des interventions manuelles, augmentant la sécurité et l'efficacité des opérateurs.</li> </ul>

<p><b>Efficacité Énergétique</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi et optimisation de la distribution de l'énergie, réduisant les pertes techniques au poste.</li> <li>- Surveillance proactive et alertes en temps réel pour minimiser les temps d'arrêt.</li> </ul>
<p><b>Gestion de Réseau Améliorée</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collecte et analyse des données détaillées pour une meilleure prise de décisions.</li> <li>- Identification rapide des pannes et localisation précise des défauts au poste, facilitant les interventions.</li> </ul>
<p><b>Numérisation et Automatisation</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automatisation des tâches répétitives et complexes, réduisant les erreurs humaines.</li> <li>- Intégration avec d'autres technologies de gestion de l'énergie et des infrastructures intelligentes.</li> </ul>
<p><b>Cybersécurité</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protocoles de sécurité avancés pour protéger les données sensibles et les opérations du poste.</li> <li>- Surveillance continue des menaces de sécurité, avec des alertes et des réponses automatisées.</li> </ul>
<p><b>Développement d'un Réseau Intelligent (Smart Grid)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilitation de l'intégration des énergies renouvelables et des systèmes de stockage d'énergie.</li> <li>- Amélioration de la résilience du réseau face aux perturbations, avec une réponse rapide aux événements.</li> </ul>
<p><b>Retour sur Investissement</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Économies réalisées grâce à une meilleure gestion des ressources et réduction des pertes d'énergie.</li> <li>- Amélioration de la maintenance préventive et curative, réduisant les coûts à long terme.</li> <li>- Meilleure qualité de service pour les clients grâce à une gestion plus efficace des pannes et des interruptions de service.</li> </ul>

Tableau 4 : Inconvénients du SCADA au poste de Lomé Aflao

Inconvénients	Détails
<b>Coûts Initiaux Élevés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts élevés pour l'achat de licences logicielles, du matériel nécessaire, et les frais d'installation.</li> <li>- Budget limité de la CEB, accentué par les retards de paiements de la SBEE et de la CEET.</li> </ul>
<b>Maintenance et Mise à Niveau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintenance régulière nécessaire pour assurer le bon fonctionnement du SCADA.</li> <li>- Coûts de maintenance pouvant s'accumuler sur le long terme.</li> <li>- Formation continue du personnel nécessaire pour maîtriser les nouvelles technologies.</li> </ul>
<b>Vulnérabilité aux Cyberattaques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de cyberattaques malgré les protocoles de sécurité avancés.</li> <li>- Interruption de service, dommages matériels et risques pour la sécurité des données en cas de cyberattaque.</li> </ul>
<b>Complexité de l'Implémentation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planification minutieuse et compétences spécialisées nécessaires pour l'implémentation.</li> <li>- Modifications des infrastructures existantes au poste de Lomé Aflao, augmentant le temps et les ressources nécessaires.</li> </ul>
<b>Dépendance Technologique</b>	Forte dépendance à la technologie, nécessitant une gestion manuelle en cas de défaillance du SCADA.
<b>Fiabilité du Réseau de Communication</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité d'un réseau de communication fiable pour transmettre les données et les commandes en temps réel.</li> <li>- Toute interruption du réseau de communication peut affecter la performance du SCADA.</li> </ul>

## B- Elog Data

Tableau 5 : Avantages du ELOG Data au poste de Lomé Aflao

Avantage	Détails
<b>Automatisation des relevés</b>	L'ELOG permettra d'automatiser la collecte et l'enregistrement des caractéristiques du réseau électrique, réduisant ainsi la dépendance à l'égard des relevés manuels et améliorant l'efficacité opérationnelle en évitant les erreurs humaines.
<b>Surveillance en temps réel</b>	Connexion en temps réel avec les équipements du poste électrique, facilitant la détection précoce des anomalies et la prise de décisions rapides.
<b>Analyse des données</b>	Collecte et analyse des données sur la performance du réseau électrique, fournissant des informations pour l'optimisation des opérations et la planification de la maintenance.
<b>Réduction des coûts</b>	Automatisation des processus de surveillance et de collecte de données, réduisant les coûts associés aux relevés manuels et aux opérations de maintenance préventive.
<b>Amélioration de la sécurité</b>	Surveillance continue du réseau électrique, permettant une réponse rapide aux incidents et réduisant les risques d'erreurs humaines.

Tableau 6 : Inconvénients du ELOG Data au poste de Lomé Aflao

Inconvénient	Détails
<b>Coût initial élevé</b>	L'acquisition et l'installation de l'ELOG peuvent représenter un investissement financier important pour la CEB.
<b>Besoin de formation</b>	Le personnel de la CEB devra être formé à l'utilisation de l'ELOG, nécessitant du temps et des ressources supplémentaires.
<b>Maintenance requise</b>	L'ELOG nécessitera une maintenance régulière pour assurer son bon fonctionnement, entraînant des coûts supplémentaires à long terme.

<b>Dépendance à la connectivité</b>	La fiabilité de l'ELOG dépendra de la disponibilité d'une connexion Internet stable, ce qui peut être un défi au poste de Lomé Aflao.
<b>Sécurité des données</b>	Assurer la sécurité et la confidentialité des données collectées par l'ELOG constitue un défi, notamment contre les cyberattaques.

## C- Relais TR42

Tableau 7 : Avantages du relais TR42 au poste de Lomé Aflao

<b>Avantage</b>	<b>Détails</b>
<b>Surveillance en temps réel</b>	Surveillance continue et en temps réel des températures des enroulements du transformateur, fournissant des données précises et actualisées sur l'état thermique du transformateur.
<b>Prise de décision proactive</b>	Détection rapide des variations de température et des conditions anormales, permettant aux opérateurs de prendre des décisions proactives pour éviter les pannes et les dommages potentiels.
<b>Automatisation des actions</b>	Fonctionnalités programmables permettant d'automatiser certaines actions telles que l'allumage ou l'extinction du ventilateur de refroidissement en fonction des seuils de température prédéfinis.
<b>Réduction des risques d'incidents</b>	Surveillance constante et réaction rapide aux conditions anormales, réduisant les risques d'incidents et de pannes des transformateurs, assurant ainsi la fiabilité et la disponibilité du réseau électrique.
<b>Compatibilité et intégration</b>	Compatible avec les équipements existants et les protocoles de communication utilisés dans le poste électrique, facilitant son intégration dans le système de contrôle-commande existant sans nécessiter de modifications majeures.

Tableau 8 : Inconvénients du relais TR42 au poste de Lomé Aflao

<b>Inconvénient</b>	<b>Détails</b>
<b>Formation du</b>	Nécessité de former les techniciens à l'installation, à la configuration et à la

<b>personnel</b>	maintenance du relais TR42, afin de garantir son bon fonctionnement et sa fiabilité.
<b>Coûts</b>	Les coûts liés à la formation du personnel, l'acquisition, l'installation et la maintenance du relais TR42 peuvent constituer un obstacle, en particulier dans un contexte où les ressources financières sont limitées.

En somme, bien que l'implémentation de ces technologies au poste de Lomé Aflao nécessite un investissement initial important et une adaptation organisationnelle, les avantages potentiels justifient pleinement la faisabilité de cette numérisation. Elle représente une étape stratégique vers la modernisation et l'optimisation du réseau électrique de la CEB, garantissant une meilleure efficacité et une plus grande résilience face aux défis futurs.



## VI. ANALYSE ECONOMIQUE DE LA DIGITALISATION DU POSTE ELECTRIQUE DE LOME AFLAO

### 1- SCADA

#### Coûts initiaux de mise en œuvre

L'implantation d'un SCADA de taille moyenne en entreprise représente un investissement conséquent. Il y a un coût de base à la mise en place de l'infrastructure : achat de l'ordinateur, programmation initiale, etc.

#### Le prix fluctuera ensuite en fonction de :

- La quantité d'équipements à contrôler ;
- Les options (mise en place d'alarmes, types de données à recueillir pour les rapports, complexité des séquences à programmer, complexité des interactions entre les équipements)
- Qualité et niveau de détail des visuels à intégrer ;
- Du prix de la licence SCADA

L'implantation d'un SCADA constitue un investissement de taille, mais nous pouvons nous attendre à un excellent retour sur investissement.

#### Autres points à considérer dans les coûts :

- **Les frais de livraison et d'installation** : le fait d'implanter de nouveaux équipements (machines et panneaux de contrôle) en même temps que le SCADA peut représenter des coûts supplémentaires et un échéancier plus long.
- **Les frais de maintenance / mise à jour du système** : Les coûts de maintenance ont été prévu à 15 % des coûts initiaux comme dans la plupart des projets d'ingénierie de la CEB, incluant les systèmes SCADA, en raison de la nécessité de mises à jour logicielles régulières, de réparations et remplacements de matériel, de support technique continu, de formation du personnel, et de tests et audits de sécurité. Ce pourcentage couvre également l'évolution technologique, garantissant que le système reste efficace, sécurisé et compatible avec les nouvelles technologies à long terme. Cette estimation prudente vise à anticiper et gérer les coûts récurrents liés à la maintenance et à l'optimisation des systèmes

installés. Nous avons évalué ces frais sur 5 ans pour estimer les frais de maintenance car elle offre une bonne visibilité et précision des coûts, correspondant à de nombreux cycles de maintenance des équipements, et facilite la planification financière et l'évaluation du retour sur investissement. Cela permet de prévoir les interventions nécessaires pour assurer le bon fonctionnement des installations sur le moyen terme.

- **Les pièces de rechange** : il n'y a pas de pièce de rechange à prévoir pour le système en tant que tel, si le SCADA installé en redondance. On peut toutefois en prévoir pour la réparation des panneaux de commande.

Tableau 9: Récapitulatif de l'étude économique de l'installation du SCADA

Élément	Description	Coût (FCFA)
Coût Total du SCADA	Système SCADA de taille moyenne	60 000 000
Licence Logicielle	Licence pour utilisation du logiciel SCADA	12 000 000
Matériel	Matériel nécessaire (serveurs, ordinateurs,)	6 000 000
Installation et Configuration	Coûts d'installation et de configuration	18 000 000
<b>Coût Total Initial</b>	Somme des coûts ci-dessus	105 000 000
Maintenance Annuelle	15 % du coût total initial par an	9 000 000
<b>Coût de Maintenance Annuelle Total sur 5 ans</b>	Coût total de la maintenance pour 5 ans	45 000 000
<b>Analyse Totale sur 5 Ans</b>		
Coût Initial	Coût du SCADA, licence, matériel, installation	105 000 000
Maintenance sur 5 ans	Coût total de la maintenance pour 5 ans	45 000 000
<b>Total sur 5 ans</b>	Somme des coûts initial et de maintenance	150 000 000

Nous avons considéré les meme couts que celui du projet de mise en place du SCADA déployé au poste électrique de Legbassito.

## 2- ELOG DATA

Pour établir l'étude économique de l'installation du projet Elog Data avec 9 centrales de mesure Enerdis et 1 module Elog pour les 3 transformateurs et les 6 lignes de départ du poste électrique, nous devons prendre en compte les éléments suivants :

- **Coût des équipements (centrales de mesure et modules Elog)**
- **Coût d'installation (puisque l'équipe maîtrisant déjà l'installation, cela peut réduire les coûts)**
- **Coût de la maintenance annuelle**

### Coût des équipements

Supposons les coûts suivants pour les équipements, basés sur les prix des équipements dans d'autres postes de la CEB :

- Centrale de mesure Enerdis : 1 000 000 FCFA par unité
- Module Elog : 1 200 000 FCFA par unité

Calcul des coûts totaux des équipements :

- 9 centrales de mesure :  $9 * 1\,000\,000\text{ FCFA} = 9\,000\,000\text{ FCFA}$
- 1 modules Elog :  $1\,200\,000\text{ FCFA} = 1\,200\,000\text{ FCFA}$
- Coût total des équipements en FCFA =  $10\,200\,000\text{ FCFA}$

### Coût d'installation

Étant donné que l'équipe maîtrise déjà l'installation, nous pouvons estimer que les coûts d'installation seront réduits. Supposons une réduction de 30 % par rapport aux coûts initiaux.

- Coût initial estimé pour une nouvelle installation : 3 060 000 FCFA

### Coût de la maintenance annuelle

Supposons une maintenance annuelle de 15 % du coût total des équipements :

- Coût total des équipements : 10 200 000 FCFA
- Maintenance annuelle :  $15\% * 10\,200\,000\text{ FCFA} = 1\,530\,000\text{ FCFA}$

Tableau 10 : Récapitulatif de l'étude économique de l'Elog Data

Catégorie	Coût (FCFA)
<b>Coûts initiaux</b>	
<b>Coût des équipements</b>	10 200 000
<b>Coût d'installation</b>	3 060 000
<b>Total coûts initiaux</b>	13 260 000
<b>Coûts de maintenance annuelle</b>	
<b>Maintenance annuelle</b>	1 530 000
<b>Coût total de maintenance sur 5 ans</b>	7 650 000
<b>Coût total sur 5 ans</b>	
<b>Coûts initiaux + maintenance sur 5 ans</b>	20 910 000

Nous avons considéré les meme couts que celui du projet de mise en place du Elog Data au poste électrique de Dapaong qui est poste de meme taille.

### 3- RELAIS TR42

Pour établir l'étude économique de l'installation des relais TR42 du fabricant Oron Italia pour la surveillance des transformateurs du poste, nous devons prendre en compte les éléments suivants :

Coût des équipements (relais TR42) fourni par le fabricant Orion Italia (17)

Coût d'installation

Coût de la maintenance annuelle

#### **Coût des équipements :**

Nombre de relais TR42 : 3

Coût unitaire d'un relais TR42 : 600 000 FCFA

Coût total des équipements :  $3 * 600\,000\text{ FCFA} = 1\,800\,000\text{ FCFA}$

#### **Coût d'installation :**

Coût d'installation par relais : 120 000 FCFA

Coût total d'installation :  $3 * 120\,000\text{ FCFA} = 360\,000\text{ FCFA}$

#### **Coût de maintenance annuelle**

Estimation : 10 % du coût total des équipements par an

Coût total des équipements : 1 800 000 FCFA

Maintenance annuelle : 10 % \* 1 800 000 FCFA = 180 000 FCFA

Coût total de maintenance sur 5 ans : 180 000 FCFA \* 5 = 900 000 FCFA

Tableau 11: Récapitulatif de l'étude économique du relais TR42

Catégorie	Coût (FCFA)
<b>Coûts initiaux</b>	
Coût des équipements	1 800 000
Coût d'installation	360 000
<b>Total coûts initiaux</b>	2 160 000
<b>Coûts de maintenance annuelle</b>	
Maintenance annuelle	180 000
Coût total de maintenance sur 5 ans	900 000
<b>Coût total sur 5 ans</b>	
Coûts initiaux + maintenance sur 5 ans	3 060 000

Voici un tableau d'analyse des critères de choix pour les différentes technologies sélectionnées

Tableau 12 : Analyse des critères de choix pour les différentes technologies sélectionnées

Critères de choix	SCADA	Relais TR42	Elog
Fonctionnalité	Supervision	Surveillance transformateur	Collecte de données
Fiabilité	Très élevée	Très élevée	Très élevée
Sécurité	Très élevée	Très élevée	Très élevée
Coût	Elevée	Modéré	Modéré
Facilité de déploiement	Moyenne	Elevée	Elevée
Interopérabilité	Très élevée	Modéré	Très élevée
Maintenance	Moyenne	Faible	Moyenne
Évolutivité	Très élevée	Moyenne	Très élevée
Adaptabilité	Très élevée	Très élevée	Très élevée

- **Explications des évaluations :**

**SCADA :**

- **Fonctionnalité** : Le SCADA offre une supervision complète du réseau électrique, permettant le contrôle et la gestion en temps réel.
- **Fiabilité** : Les systèmes SCADA sont conçus pour une fiabilité élevée afin de garantir une supervision continue.
- **Sécurité** : Équipés de multiples couches de sécurité pour protéger contre les cyberattaques.
- **Coût** : Les systèmes SCADA sont généralement coûteux en raison de leur complexité et de leur large portée.
- **Facilité de déploiement** : L'installation et la configuration peuvent être complexes et nécessiter un temps important.
- **Interopérabilité** : Compatibles avec une large gamme d'équipements et de protocoles standards.
- **Maintenance** : Requiert une maintenance régulière et des compétences spécialisées.
- **Évolutivité** : Conçus pour être évolutifs et intégrer de nouvelles technologies facilement.
- **Adaptabilité** : Hautement adaptables aux différentes configurations de réseau.

**Relais TR4 :**

- **Fonctionnalité** : Spécialisé dans la surveillance des transformateurs, incluant le contrôle de la température et les actions en temps réel.
- **Fiabilité** : Très fiable pour la surveillance des transformateurs.
- **Sécurité** : Sécurisé pour les opérations de surveillance spécifiques.
- **Coût** : Coût modéré comparé aux systèmes SCADA.
- **Facilité de déploiement** : Facile à déployer pour des applications spécifiques.
- **Interopérabilité** : Moyenne, principalement conçu pour des applications spécifiques aux transformateurs.
- **Maintenance** : Requiert peu de maintenance après installation.
- **Évolutivité** : Moyenne, évolue moins que les systèmes SCADA ou Elog.
- **Adaptabilité** : Moyenne, conçu principalement pour une fonction spécifique.

**Elog :**

- **Fonctionnalité** : Spécialisé dans la collecte et la gestion des données de divers équipements.

- **Fiabilité** : Très fiable pour la collecte et la gestion des données.
- **Sécurité** : Sécurisé pour la collecte et le stockage des données.
- **Coût** : Modéré.
- **Facilité de déploiement** : Facile à déployer et configurer pour la collecte de données.
- **Interopérabilité** : Très élevé, compatible avec de nombreux équipements et protocoles.
- **Maintenance** : Moyenne, nécessite une surveillance régulière.
- **Évolutivité** : Très élevé, facile à mettre à jour et à intégrer de nouveaux équipements.
- **Adaptabilité** : Très élevé, peut s'adapter à diverses configurations de réseau et besoins de collecte de données.

Ces évaluations montrent que chaque technologie a ses propres forces et est choisie en fonction des besoins spécifiques du poste électrique de Lomé Aflao.



## VII. CONCLUSION- PERSPECTIVES

La digitalisation du poste électrique de Lomé Aflao, en intégrant des technologies avancées telles que le SCADA, l'ELOG et le relais TR42 représente une avancée significative vers une infrastructure énergétique plus efficace et fiable. La revue de la littérature a démontré que la digitalisation des postes électriques offre de nombreux avantages, notamment une meilleure gestion de l'énergie, une réduction des coûts de maintenance et une augmentation de la fiabilité. Les défis associés à cette transformation incluent la nécessité d'une main-d'œuvre qualifiée, une gestion efficace du changement, et des investissements substantiels.

Le poste de Lomé Aflao a été analysé en détail, mettant en lumière les défis actuels tels que l'obsolescence des équipements, les pertes techniques, et les difficultés de surveillance et de maintenance. Les solutions technologiques proposées, à savoir le SCADA pour la supervision, l'ELOG pour la collecte de données, le relais TR4 pour la surveillance des transformateurs ont été évaluées en termes de fiabilité, sécurité, coût, et facilité de déploiement.

Bien que ces technologies puissent fonctionner indépendamment, leur intégration permet une synergie qui améliore la gestion et l'exploitation du réseau électrique. Ensemble, ces systèmes forment un écosystème interopérable, mais chacun conserve la capacité de fonctionner de manière autonome en cas de besoin.

Les perspectives futures de recherche dans le cadre de la numérisation des postes électriques sont prometteuses. Explorer l'utilisation de l'IA et de l'apprentissage automatique pour une analyse plus sophistiquée des données collectées, permettront des prévisions plus précises et une gestion proactive des infrastructures.

Il faudra continuer à développer et à rechercher des mesures de sécurité robustes pour protéger les systèmes numériques contre les cyberattaques, étant donné la criticité des infrastructures énergétiques.

Étudier comment les technologies numériques pourront être optimisées pour gérer efficacement l'intégration des sources d'énergie renouvelables, maximiseront ainsi l'efficacité énergétique et réduiront l'empreinte carbone.

La CEB doit contribuer au développement des normes et réglementations internationales, en s'assurant que les systèmes numériques restent compatibles et conformes aux meilleures pratiques mondiales.

En conclusion, la digitalisation du poste électrique de Lomé Aflao, à travers l'intégration de technologies avancées comme le SCADA, l'ELOG, et le relais TR4, offre des améliorations substantielles en termes d'efficacité, de fiabilité, de sécurité et de réductions de coûts sur le long terme. Les recommandations fournies visent à faciliter une mise en œuvre réussie, tandis que les perspectives futures de recherche offrent des opportunités pour continuer à innover et à optimiser les infrastructures électriques de la CEB.

## RECOMMANDATIONS

Afin d'assurer la réussite de la mise en œuvre de la digitalisation du poste de Lomé Aflao, les recommandations suivantes sont formulées :

- La CEB doit sélectionner des technologies et des fournisseurs réputés pour garantir que la solution choisie offre les fonctionnalités requises et un bon support technique.
- Il faudra veiller à ce que le personnel technique et de maintenance soit correctement formé pour maximiser l'utilisation et l'efficacité des nouveaux systèmes numériques.
- La numérisation du poste doit commencer par une phase pilote pour tester la technologie dans un environnement contrôlé afin d'identifier et de résoudre les problèmes potentiels avant le déploiement complet.
- La direction du poste doit mettre en place un plan de maintenance régulier et prévoir des mises à jour logicielles pour garantir que les systèmes restent performants et sécurisés.

## BIBLIOGRAPHIE

1. La numérisation de l'énergie (3/4) : effets sur la production, notamment l'électricité [Internet]. [cité 4 mai 2024]. Disponible sur: <https://les-smartgrids.fr/numerisation-energie-production-electricite/>
2. Livre-Blanc-Cybersecurite-Smart-Grid-Alstom-Grid-Intel-McAfee-Juin-2013.pdf [Internet]. [cité 14 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.intel.fr/content/dam/www/public/emea/fr/fr/pdf/Livre-Blanc-Cybersecurite-Smart-Grid-Alstom-Grid-Intel-McAfee-Juin-2013.pdf>
3. Algorithms | Free Full-Text | Impact of Digital Transformation on the Energy Sector: A Review [Internet]. [cité 25 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.mdpi.com/1999-4893/16/4/211>
4. IEA [Internet]. 2017 [cité 25 avr 2024]. Digitalization and Energy – Analysis. Disponible sur: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>
5. Digitalization and Energy. 2017;
6. Revue ABB 4-2014\_72dpi.pdf [Internet]. [cité 25 avr 2024]. Disponible sur: [https://library.e.abb.com/public/b4d3b76bde5d1472c1257e0a002dd238/Revue%20ABB%204-2014\\_72dpi.pdf](https://library.e.abb.com/public/b4d3b76bde5d1472c1257e0a002dd238/Revue%20ABB%204-2014_72dpi.pdf)
7. Les bénéfices de la numérisation des réseaux électriques se chiffreraient en milliards d'euros par an - Le Monde de l'Energie [Internet]. [cité 4 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.lemondedelenergie.com/benefices-numerisation-reseaux-electriques/2017/12/26/>
8. Les Smart Grids expliqués : avantages, défis, études de cas [Internet]. 2024 [cité 4 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.energieclimat.net/les-smart-grids/>
9. Weigel P, Fishedick M. Review and Categorization of Digital Applications in the Energy Sector. *Appl Sci.* janv 2019;9(24):5350.
10. Morkovkin DE, Lopatkin DS, Gibadullin AA, Starovoitov VG, Gavrilin AV, Sadriddinov MI. Management of the digital transformation of the electricity sector. *J Phys Conf Ser.* août 2020;1614(1):012024.
11. Światowiec-Szczepańska J, Stępień B. Drivers of Digitalization in the Energy Sector—The Managerial Perspective from the Catching Up Economy. *Energies.* janv 2022;15(4):1437.
12. Vizimax [Internet]. [cité 14 mai 2024]. La norme CEI 61850. Disponible sur: <https://www.vizimax.com/fr/cei-61850/>
13. Base de données d'images de l'industrie V4.23 [Internet]. [cité 29 mai 2024]. Disponible

sur: <https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?multipleObjectTypes=4|70>

14. dc\_eleg\_dl\_906210514\_bd\_1.pdf [Internet]. [cité 29 mai 2024]. Disponible sur: [https://www.chauvin-arnoux-](https://www.chauvin-arnoux-energy.com/sites/default/files/documents/dc_eleg_dl_906210514_bd_1.pdf)

[energy.com/sites/default/files/documents/dc\\_eleg\\_dl\\_906210514\\_bd\\_1.pdf](https://www.chauvin-arnoux-energy.com/sites/default/files/documents/dc_eleg_dl_906210514_bd_1.pdf)

15. HLHBSLZ3.pdf [Internet]. [cité 28 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.chauvin-arnoux-energy.com/sites/default/files/HLHBSLZ3.PDF>

16. TR42 Relais de Protection de Température avec Modbus - Orion Italia [Internet]. [cité 29 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.orionitalia.com/fr/controle-de-temperature/tr42-modbus>

17. TR42 Relais de Protection de Température avec Modbus - Orion Italia [Internet]. [cité 2 août 2024]. Disponible sur: <https://www.orionitalia.com/fr/controle-de-temperature/tr42-modbus>

## ANNEXES

### *Sommaire des annexes*

Annexe 1 Caractéristique de l'Elog Data .....	66
Annexe 2 Caractéristique de la centrale de mesure Enerdis .....	67
Annexe 3 Caractéristiques du relais TR42 Orion Italia.....	68
Annexe 4 Schéma controle commande poste de Lomé Aflao .....	69

## Annexe 1 Caractéristique de l'Elog Data

— *Caractéristiques ELOG DATA LOGGER*

<b>Alimentation auxiliaire</b>	80 à 265 Vac - 10 VA - 42,5 à 69 Hz / 80 à 375 Vdc - 7 W
Réserve de marche	2 ,5 secondes (sous 230 Vac )
<b>Entrées impulsions / TOR</b>	
Nombre	5
Tension admissible	Niveau logique 1 : 12 à 72 Vdc / Niveau logique 0 : 0 à 5 Vdc
Durée d'impulsion	Minimum 30 ms au niveau logique 1 puis 30 ms au niveau logique 0
<b>Ports RS485A et RS485B</b>	
Type	RS485 2 fils — Mode maître - half-duplex — Modbus mode RTU 300 à 115 200 bauds — 2 liaisons RS485 indépendantes et isolées
<b>Port Ethernet</b>	
Type / Vitesse	RJ45 - 8 points / 10 - 100 baseT
Fonctionnement	http en mode esclave - Modbus TCP et Modbus encapsulé TCP/IP en mode maître
Protocole	http, smtp, ftp, JSON/REST, tftp, ntp, ssh
<b>Mémoire</b>	
Périodicité des enregistrements	toutes les : 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 et 60 secondes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 et 60 minutes
Profondeur de l'historique	3 mois sur les données ≥ 1 minute et 3 jours sur les données < 1 minute
Mode de mémorisation	FIFO (First In First Out)
<b>Export fichiers sur serveur FTP</b>	
Format des fichiers	csv, xml
Périodicité des envois	10 , 15, 30 minutes ou 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 heures/jours/semaines/mois
Nombre de tâches automatiques programmables	Type PUSH FTP — 15 max. — Indépendantes — Multiserveur FTP
Serveur FTP local	Capacité 500 Mo max. — Mémoire FIFO — Pour la sauvegarde locale des fichiers
<b>Environnement</b>	
Température	Fonctionnement : -10°C à +55°C — Stockage : -25°C à +70°C
Indice de protection	IP20
<b>Mécanique</b>	
Masse	560 g
Fixation	Montage sur rail DIN
Raccordement	Bornier à vis (6 mm <sup>2</sup> fil monobrin - 4 mm <sup>2</sup> fil multibrin)
Dimensions	120,5 x 120 x 81 mm (PxLxH )
Contraintes électromagnétiques	Conformité CEI 62052-11 (norme comptage électrique)
<b>Conformité</b>	CEI 61000-4-2/3/4/5/6/8/11 - CISPR22
<b>Limites fonctionnelles</b>	
Nombre de drivers Modbus	100 max.
Nombre de variables par driver	40
Nombre de points de mesure	100 max.
Nombre de variables avec enregistrement	Jusqu'à 100 (selon l'architecture et la performance du réseau de communication)



## Annexe 2 Caractéristique de la centrale de mesure Enerdis

## ENERIUM 300

## Centrale de mesure

**Entrées tension (AC)**

TP primaire : 100 V à 650 kV - TP secondaire : 100 V à 480 V  
 Étendue de mesure : 5 à 130 % de  $V_n$  pour  $V_n = 57,7 / 230$  V (ph-N)  
 5 à 130 % de  $U_n$  pour  $U_n = 100 / 400$  V (ph-ph)  
 Surcharge : 130 % de 400 V (permanent) - 800 V (24 heures)

**Entrées courant (AC)**

TC primaire : 1 A à 25 000 A - TC secondaire : 1 A ou 5 A  
 Étendue de mesure : 1 % à 130 % de  $I_n$  pour  $I_n = 5$  A  
 Surcharge : 250 A durant 1 seconde (transitoire) - 6,5 A (permanent)

**Précisions de mesure**

Puissance et énergie active : classe 0,2s (CEI 62053-21) - classe 0,2 (CEI 61557-12)  
 Puissance et énergie réactive : classe 0,2 (CEI 61557-12) - classe xx (CEI 62053-23)  
 Puissance et énergie apparente : 0,5 % (CEI 61557-12)  
 Tension : 0,2 % – Courant : 0,2 % – Fréquence :  $\pm 0,1$  % (CEI 61557-12)  
 Facteur de puissance :  $\pm 0,05$  points (CEI 61557-12)

**Sortie RS485**

Protocole : Modbus mode RTU ou ASCII  
 Vitesse : 2 400...115 200 bauds

**Sortie Ethernet**

Protocole : Modbus TCP

Vitesse (configurable) : compatible avec les réseaux 10, 100 et 1000 base T

**Alimentation auxiliaire**

80... 265 Vac 50/60 Hz - 110... 375 Vdc - 19... 57 Vdc Consommation :  $< 0,1$  VA

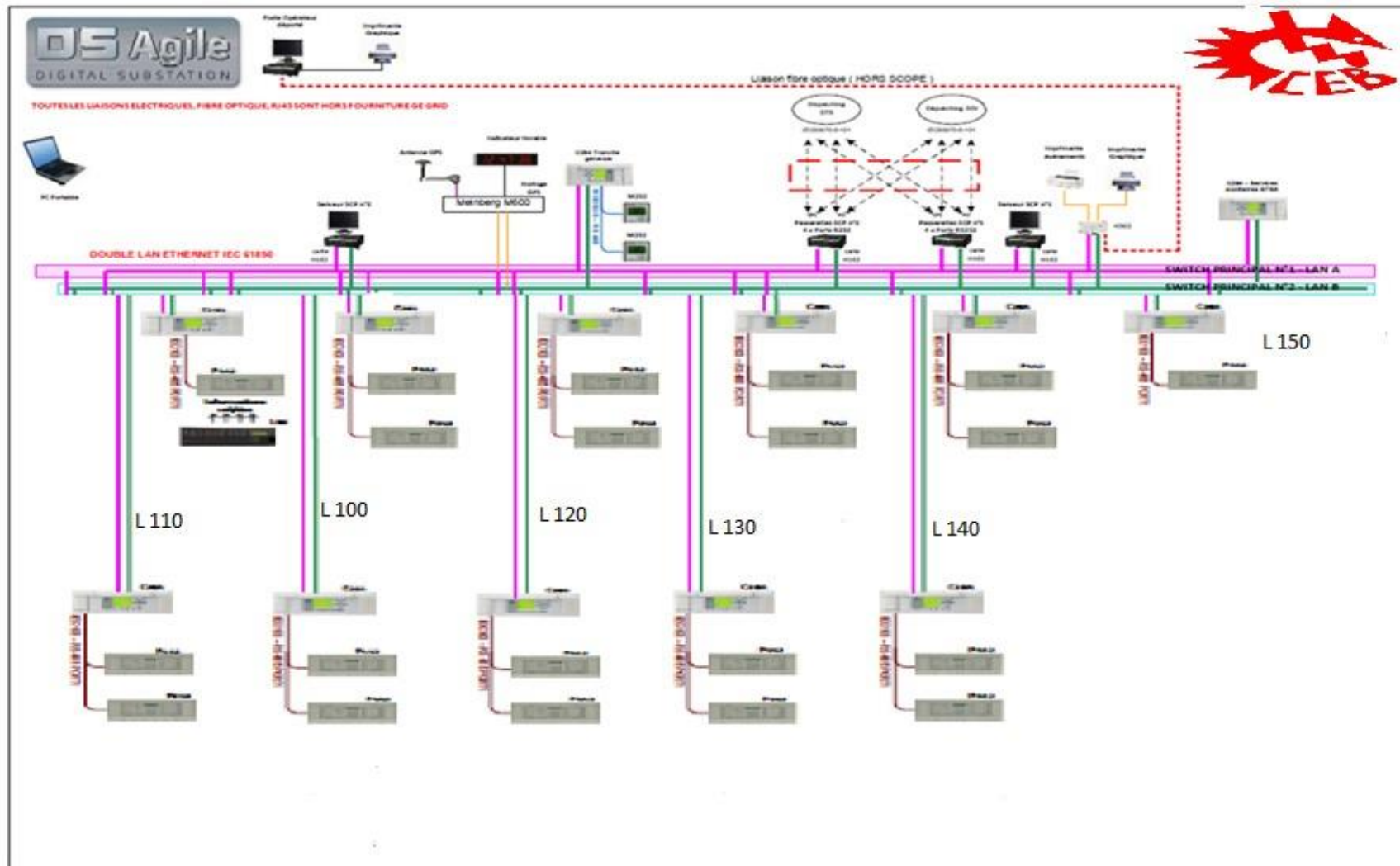
**Environnement**

Température d'utilisation :  $-10$  °C à  $+55$  °C

**Mécanique**

<p><b>Echelle</b> : -10 ÷ +220°C</p> <p><b>Précision</b> : +/-1%F,S, +/-digit</p> <p><b>Configuration</b> : L1, L2, FAN (ventilateur) : 0 ÷ 220°C</p> <p><b>Alimentation</b> : 24-240 Vcc/Vca (50-60Hz), -15%, +10%</p> <p><b>Consommation maximum de puissance</b> : 4VA ou 4W</p> <p><b>Entrées</b> : 4 RTD PT100 en platine avec 3 câbles. Impédance Max. 500 Ohm.</p> <p><b>Sorties</b> FAN: en échange , I<sub>max</sub> 16A 240Vac/24Vdc charge résistive (5A continu) / 1HP 240 Vac L1,L2,FAULT: en échange, 5A(N.O) 3A(N.C) charge résistif 250 Vac</p> <p><b>Température opérationnelle</b> : de 0 ÷ 50°C</p> <p><b>Accumulateur de température</b>: de -20 ÷ 70°C</p> <p><b>Humidité relative</b> : &lt;= 90% (sans condensation)</p> <p><b>Epreuve thermique</b>: 48 heures</p> <p><b>Résistance de voltage diélectrique</b> : 2KV 60 secondes</p> <p><b>Construction</b> : selon les normatives VDE, UL, CEI</p> <p><b>Bloc terminal</b>: terminales extractibles pour câbles de section 4mm<sup>2</sup> (12 AWG)</p> <p><b>Châssis</b> : ABS en auto-extincteur avec protection frontale (IP54)</p> <p><b>Assemblage</b> : mettre dans la structure en le fixant à travers l'étrier avec des vis</p>	<p><b>Dimensions</b>: 96x96x114 mm</p> <p><b>Poids</b>: 500 grammes</p> <p><b>Port de communication</b>: RS-485 isolé, isolement 1500Vac</p> <p><b>Protocol de communication</b>: Modbus RTU, Fonctionnes 03h, 04h, 05h, 06h, 10h</p> <p><b>Tests d'émissions</b> :</p> <p>Emissions radiées: EN 55011; Port: boîtier</p> <p>Emissions conductrices: EN 55011; Port: alimentation CA</p> <p><b>Tests d'immunité</b> :</p> <p><u>Dérangements conducteurs provoqués par un champ RF</u>: EN 61000-4-6; Port: alimentation CA et lignes de signal</p> <p><u>Champs électromagnétiques radiés</u>: EN 61000-4-3; ENV 50204; Port: boîtier</p> <p><u>Décharge électrostatique</u>: EN 61000-4-2; Port: boîtier.</p> <p><u>Rapides transitoires</u>: EN 61000-4-4; Port: alimentation CA, lignes de signal et port de communication</p> <p><u>Suralimentation momentanée</u>: EN 61000-4-5; Port: alimentation CA <u>Impulse de voltage et bref interruptions</u>: EN 61000-4-11; Port: alimentation CA</p>
---	--

### Annexe 3 Caratéristiques du relais TR42 Orion Italia



Annexe 4 Schéma controle commande poste de Lomé Aflao