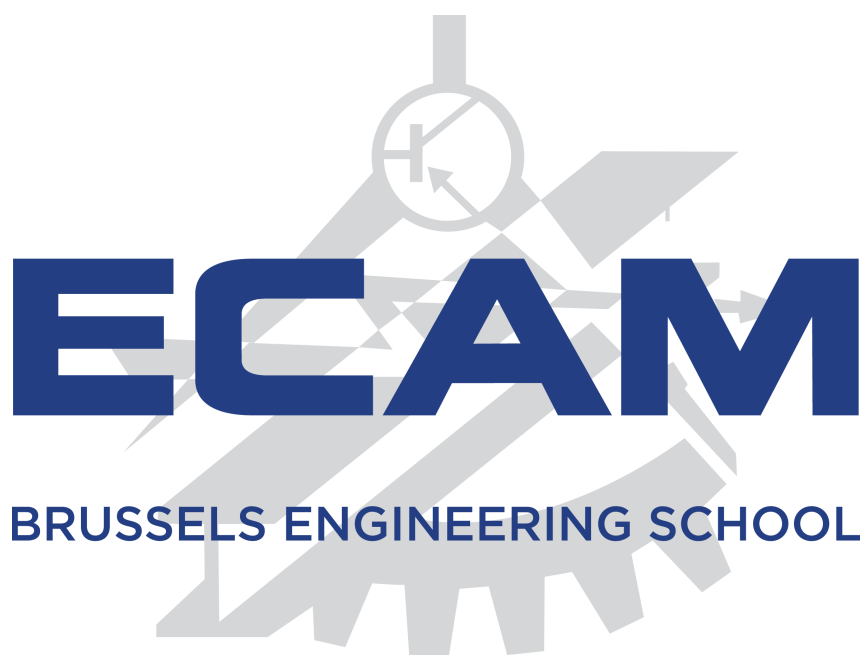


Rapport de stage 3BM

REGIDESO



ECAM BRUXELLES

Auteur : Elisée NZORUBARA

Tuteur : J. CHAMASSI

Maître de stage : Françoise N.

Année académique 2025-2026

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce rapport de stage.

Mes premiers remerciements s'adressent au **Directeur Général, Dr. Ir. Lieutenant-Colonel Jean Albert Manigomba**, sans qui ce stage n'aurait jamais eu lieu. Il m'a fait confiance et ouvert les portes de cette entreprise, qui m'a permis de vivre une expérience épanouissante et enrichissante.

Je souhaiterais remercier tout particulièrement **Françoise N.** ma maître de stage, qui m'a épaulée et conseillée et qui m'a fait découvrir le domaine de l'ingénierie au Burundi. Ainsi que son équipe maintenance et tous les autres chefs de service.

Enfin, je remercie également les membres du corps enseignant de l'ECAM Bruxelles : **A. Aifa, D. Rouchard, E. Van Vaerenbergh** et mon tuteur de stage **J. Chamassi** pour avoir accepté de répondre à mes questions dans le cadre de ce stage. Leurs retours ont enrichi ce travail et m'ont permis de questionner et de réorienter le corps de ce rapport.

Résumé

Ce rapport vise à être la production finale, de l'unité d'enseignement du stage de 3^{ème} Bachelier de l'École centrale des arts et métiers de Bruxelles (ECAM), attendu pour l'obtention du diplôme d'ingénieur industriel.

Ce stage de 6 semaines se déroule à la Régie de Production et de Distribution d'Eau et d'Électricité du Burundi, la REGIDESO. Il y comporte des visites à tous les sites principaux de la société. Comme les centrales hydroélectriques, les postes de distribution, le dispatching national, l'atelier de réparation des transformateurs et de nombreuse mission su terrain.

Durant le stage, l'étudiant a eu l'occasion de participer à ces visites et travaux sur terrain et en a fait un rapport apportant un résumé des activités de la REGIDESO et sa réflexion personnelle sur ses observations.

Le stage s'est bien déroulé, mais le contexte opérationnel n'a pas permis la concrétisation d'un projet de conception pur. Les solutions proposées se portent principalement sur la gestion et l'organisation de l'entreprise ainsi que la digitalisation.

Sommaire

1	Introduction	7
1.1	Tout d'abord une remise en contexte	7
1.2	Rappel des objectifs du stage	8
2	Production	8
2.1	Introduction à la production électrique au Burundi	8
2.2	Visite de la centrale de Ruzibazi	9
2.2.1	Puissance disponible et utilisée	10
2.2.2	Les 3 zones du poste	10
2.2.3	Le poste central	11
2.3	Conclusion, observation et interprétation	13
3	Ligne HT/MT	13
3.1	Conclusion, observation et interprétation	13
4	Dispatching national	14
4.1	Topographie et fonctionnement	14
4.1.1	Le délestage fréquence-métrique	15
4.1.2	Bouclage 30 KV	15
4.1.3	Parenthèse gestion de Rusumo	15
4.2	Conclusion, observation et interprétation	16
5	Poste de distribution	16
5.1	Les postes de distribution, où se trouve-t-il ?	16
5.2	Fonction d'un poste de distribution	17
5.3	Comment s'organise un poste de distribution ?	17
5.3.1	Arrivée des lignes HT/MT	18
5.3.2	Sectionneur	18
5.3.3	Le disjoncteur HT extérieur	18
5.3.4	Transformateur de puissance	18
5.3.5	Jeux de barre	18
5.3.6	Cellule disjoncteur	19
5.3.7	Auxiliaires	19
5.3.8	En résumé	19

5.4	Un Zoom sur le dispatching national	19
5.5	Un zoom sur le poste du SNEL	20
5.6	Un zoom sur le poste Ozone	21
5.7	Un zoom sur le poste Nord	22
5.8	Conclusion, observation et interprétation	23
6	Parenthèse sur l'atelier des transformateurs	24
6.1	Description d'une méthode spéciale et un système particulier	24
6.1.1	Cheminement d'une information dans l'entreprise	24
6.1.2	Test de continuité	25
6.1.3	Test d'isolement	25
6.1.4	Régénération de l'huile	26
6.1.5	Test du rapport K	26
6.2	Conclusion, observation et interprétation	26
7	Ligne de distribution MT/BT	27
7.1	Qui électrifié ? et relevé topographique	27
7.2	Prolongement d'une ligne de distribution	27
7.2.1	Types de poteaux	27
7.2.2	Câble	28
7.2.3	Armement	29
7.3	Sur le terrain, tirage d'une ligne BT avec poteau en ciment et en bois . . .	29
7.4	Conclusion, observation et interprétation	30
8	Sur le terrain, détection de défaut d'un câble MT sous-terrain	30
8.1	Conclusion, observation et interprétation	31
9	Agencement et organisation de différents acteurs dans un projet et place de l'ingénieur	32
9.1	Conclusion, observation et interprétation	32
10	Jusqu'aux abonnés	33
10.1	Conclusion, observation et interprétation	33
11	Conclusion	33
12	Bibliographie	34

13 Annexes

35

1 Introduction

Dans le cadre de la formation d'ingénieur industriel à l'ECAM Bruxelles, la fin du cycle de bachelier se termine par un stage d'une durée de 6 semaines. Il se déroule dans une entreprise au choix de l'étudiant et doit lui permettre de découvrir la vie en entreprise, se familiariser avec le quotidien de l'ingénieur et s'insérer par la participation à un ou plusieurs projets. Le présent rapport a pour objectif d'informer un regard étranger sur le fonctionnement du réseau électrique dans un pays comme le Burundi. Il vise également à apporter des solutions et un avis sur les différents problèmes observés. Cela se fait par des visites dans tous les secteurs principaux de l'entreprise, la discussion avec les ingénieurs présents sur le terrain et un travail de recherche personnel.

Ce rapport est structuré et écrit afin de permettre une lecture simple aux personnes ayant une connaissance sur les réseaux de distribution et aux appareillages HT. Il décrit, l'ensemble du réseau burundais, de sa production à l'arrivée jusqu'aux abonnés. **À la fin de chaque section se trouve une conclusion**, une observation, une interprétation et des solutions au problème rencontré. **Ce sont ces paragraphes qui doivent porter votre attention**, car c'est à l'intérieur que se trouve mon expérience personnelle et des idées prêtes à être critiquées.

L'objectif méthodologique de ce travail était de préserver un exercice d'écriture strictement personnel et humain, reflétant fidèlement mon profil d'étudiant ingénieur forgé au cours de mon parcours à l'ECAM. Le manuscrit initial ayant été entièrement rédigé à la main à partir de mes notes de terrain au Burundi, l'intervention de l'intelligence artificielle s'est cantonnée à un rôle de compagnon technique et structurel. L'IA a été exploitée pour :

- 1. La programmation LaTeX sous VSCode : Automatiser la gestion des citations dynamiques en bas de page via biblatex (moteur Biber) et structurer des environnements de figures avancés (images côte à côte et rotations).
- 2. L'audit macroscopique du document : Analyser le premier jet épuré de ses images pour valider l'adéquation avec les exigences de l'école (esprit critique, conclusions analytiques) tout en pointant les vulnérabilités structurelles (placeholders "XX", fautes de nomenclature)
- 3. La révision orthographique, syntaxique et grammaticale de ce manuscrit : il a été fait usage de l'outil LanguageTool via l'extension LTeX+ au sein de l'environnement VS Code.

1.1 Tout d'abord une remise en contexte

Pour resituer le contexte général, voici une introduction brève de la REGIDESO¹ (WIKIPEDIA, 2024). La REGIDESO est une société publique du Burundi ayant pour but la gestion et la distribution de l'eau ainsi que la production, le transport, la distribution de l'électricité dans le pays (électricité produite par des centrales hydroélectriques

1. WIKIPEDIA. *REGIDESO (Burundi)*. Vérification de la date de fondation (1962) et de l'historique. 2024. URL : [https://fr.wikipedia.org/wiki/REGIDESO_\(Burundi\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/REGIDESO_(Burundi)).

uniquement). Cette société fondée en 1962 par l'administration coloniale belge. Elle a maintenant pour siège principal la capitale Bujumbura à Avenue de la Révolution (B.P : 660 Bujumbura)

À sa tête, le Directeur Général **Dr. Ir. Lieutenant-Colonel Jean Albert Manigomba** (représentant de l'entreprise) dirige cette organisation depuis 2022. Sous ses ordres les 5 directions *Ressources Humaines, Commercial, Administratif et Financière, Eau, Électricité*. Cette dernière est divisée en service *Exploitation, Équipement, Production, Maintenance*. C'est dans ce dernier que **N. François** (maître de stage) chef de service maintenance travaille. Le service Maintenance est composée de 4 cellules : *cellule de maintenance ligne HT et poste HT/MT, cellule de maintenance ligne MT et poste MT/BT, cellule de maintenance des centrales et génie civile et cellule de la réparation des transformateurs*.

Ce stage s'est déroulé aussi dans le service Équipement électricité sous la supervision de N. François et de chacune de ses cellules. Le projet quant à lui est réalisé sous la supervision d'un encadreur de service Équipement électricité dans son service.

1.2 Rappel des objectifs du stage

Ce stage a pour objectif, comme spécifié dans **la note d'activité**, la découverte de l'entreprise par ses différents secteurs d'activités, postes (départ et arrivée HT/MT), centrales hydroélectriques, atelier de réparation des transformateurs. Mais également la rencontre avec les ingénieurs et techniciens de ces secteurs et leur accompagnement dans leur travail quotidien. Enfin le stage s'est terminé par la participation à un projet dans le service Équipement électricité qui comprend la réalisation d'un devis du matériel nécessaire pour l'électrification d'une nouvelle localité.

2 Production

2.1 Introduction à la production électrique au Burundi

La production est le cœur d'un réseau électrique. C'est sur cela que l'on base tous les différentes ramifications. Que ce soit des postes, les lignes de transport ou la distribution. Les centrales doivent être avancées technologiquement, fiable, robuste, suffisantes et bien positionnées afin de pouvoir servir efficacement la fonction de producteur d'énergie. Le Burundi est un des pays de la région des grands lacs et possède beaucoup de sources d'eau, de rivières et de lac à bon débit, c'est pourquoi il compte 8 à 10 centrales hydroélectriques, pour une puissance totale implantée de plus de 178 MW soit 80 % de la production totale d'énergie. Les centrales les plus importantes sont Jiji 32.5 MW, Mulembwe 17 MW, Rwegura 18MW, Kabu 16 20MW et Ruzibazi 15 MW. Les centrales thermiques 5 MW et 30 MW sont hors service, elle compte également quelques centrales solaires. Ces centrales solaires sont installées à Mubuga (province Gitega) qu'on injecte au poste Zege (dans la province de Gitega). Cela veut dire que le pays est presque exclusivement alimenté par de

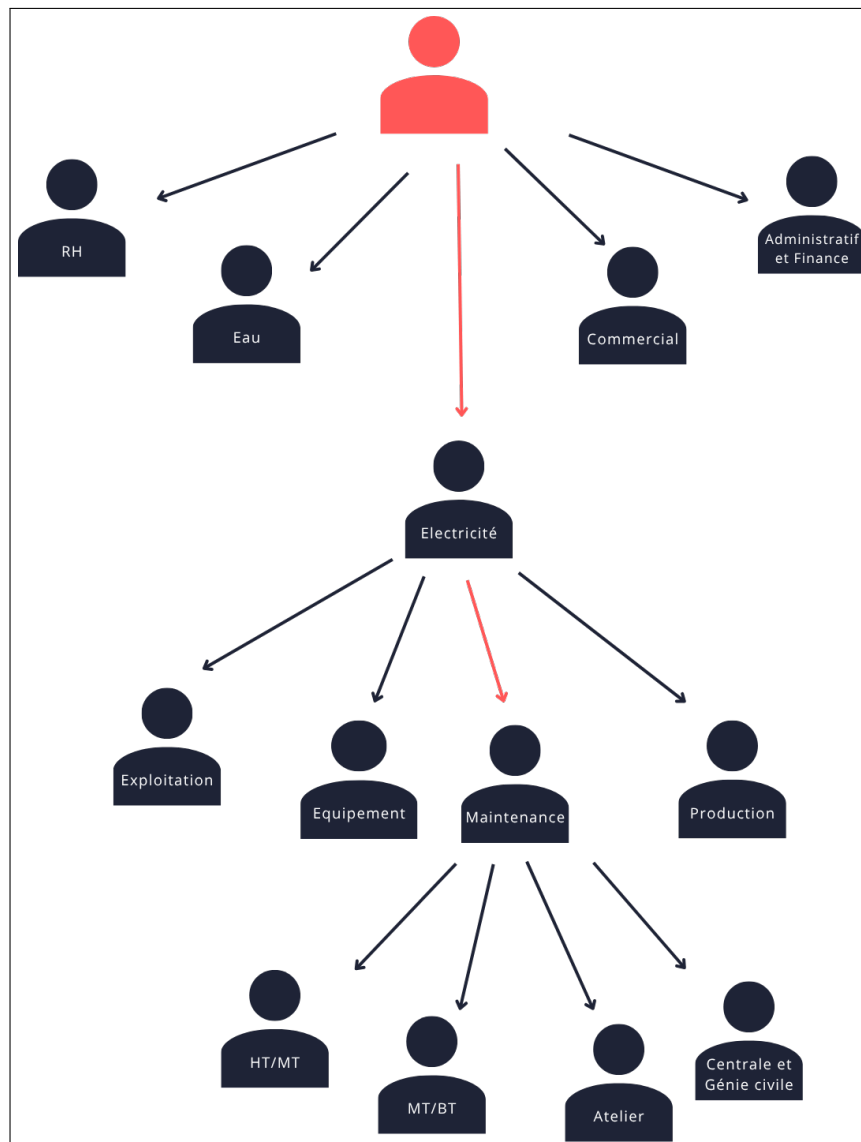


FIGURE 1 – L'Organigramme de la REGIDESO

l'énergie renouvelable. La production exclusive par de l'énergie renouvelable est un grand défi, car sa disponibilité diffère des autres moyens de production, elle influence comment la gestion doit être pensée.

2.2 Visite de la centrale de Ruzibazi

Durant ce stage, une visite à la centrale hydroélectrique de *Ruzibazi* a été organisée. Cette visite a permis d'avoir une vision globale sur la production de l'énergie électrique dans le pays. Cette visite a été faite avec l'accompagnement de **N. François** (Maître de stage) **Irivuzumwami C.**, **Mabondo C.** et le chef de la centrale de Ruzibazi.

La centrale de *Ruzibazi* située dans la commune de Rumonge vers la côte au sud du pays est une des nombreuses centrales hydroélectriques que compte ce pays. La construction a débuter en 2018 par le maître d'ouvrage JWHC (Sinohydro) qui fini la construction

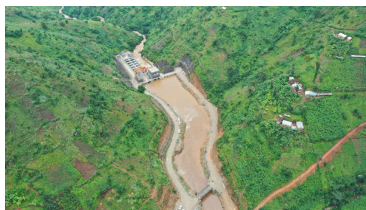
en 2022 et est aujourd'hui toujours en service. Cette centrale sert de base de charge à la production burundaise, avec des 3 alternateurs de chacun 5 MW, elle peut produire une puissance de 15 MW. Le lac de retenue est issu d'une rivière appelée *Ruzibazi*, situé à 2km de la centrale. Pour ce genre de centrale, une maintenance ou vérification doit être fait tous les 50 ans. Du fait de sa position, la centrale de *Ruzibazi* envoie sa puissance directement à Bujumbura, la capitale, en 110 KV et aux alentours, comme Bugarama, en 30 KV.

2.2.1 Puissance disponible et utilisée

Afin de préserver la rivière et assurer que le débit sortant ne dépasse pas la capacité de récupération, la centrale hydroélectrique n'utilise que 2 de ces 3 alternateurs. De plus les alternateurs ne fonctionnent pas à leur régime nominal de 5 MW, mais à 80 % de leur puissance maximale pour pouvoir s'assurer d'une bonne durée de vie. Par exemple à midi, au moment de la consommation bas/moyen, 2 alternateurs étaient en marche et produisaient tous deux 4.7 MW (sur les 5.3 MW possibles). On voit bien que pour une centrale hydroélectrique en *base de charge* la puissance annoncée n'est pas réellement celle disponible. À partir du nombre d'alternateurs, on peut trouver approximativement la puissance concrètement utilisée en temps normale.

2.2.2 Les 3 zones du poste

Cette centrale a un fonctionnement normal. Malheureusement, nous ne pouvons pas nous attarder sur chaque élément technique, mais l'on peut se concentrer sur quelques éléments intéressants à l'automatisation et l'électrotechnique. La centrale est séparée en trois zones différentes : le bâtiment inférieur avec les alternateurs et salle de commande, le bâtiment supérieur² (SASAC, 2022) avec le lac de retenue et la vanne de commande et la zone de transformation pour le transport.



(a) Vue aérienne 2.2.2 (SASAC, 2022)



(b) poste de transformation (illustration pour usage publique) (Unsplash @janilson_oficial)



(c) poste principal

FIGURE 2

Cette dernière zone de transformation est typique et semblable à un poste classique. Les éléments s'y trouvant sont expliqués en détail dans la **section (Postes de distribution)**

2. SASAC. *A bird's-eye view of the Ruzibazi hydropower station in Burundi*. Consulté le 15 mai 2026. 2022. URL : http://en.sasac.gov.cn/2022/06/17/c_13806.htm.

. On peut tout de même noter qu'il possède un transformateur 6.3/110 KV et un transformateur à 3 enroulements 6.3/110/30 KV pour alimenter les zones proches en 30 KV. Cela permet d'éviter le gaspillage et les surcharges. Il y a un régime TT, la terre étant formée par une grille de terre. Il y a un Jeu de barres aérien de 110 KV reliant les 2 transformateurs. Les appareils de mesure classique comme TP et TI sont présents et reliés à la salle de commande.

Le bâtiment supérieur, quant à lui, est en réalité un auxiliaire. Il y a une permanence du personnel, mais les deux postes sont reliés électriquement. L'on y trouve le lac de retenue, les éléments de secours comme les commandes manuelles des vannes.

Le bâtiment inférieur est la zone la plus importante. C'est ici qu'on contrôle tous les éléments des différentes zones. Elle comprend notamment la salle de commande générale, la conduite à descente forcée, les vannes sphériques, les auxiliaires, l'alimentation de secours, et les alternateurs.

2.2.3 Le poste central

Le poste central contient beaucoup de technique intéressante. Premièrement, on doit utiliser plusieurs technologies de communication et d'information pour la redondance. Alors, il n'y a pas uniquement le SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) utilisant les protocoles TCP/IP (104)³ (IEC, 2006) mais également la télécommunication ancienne via la norme **CEI 60870-5-101 (101)**⁴ (IEC, 2003).

À des fins de sécurité toutes les centrales ou postes sont équipés d'alimentations de secours. Il est constitué d'un groupe électrogène, de batteries mises en série jusqu'à 220 V DC, d'un redresseur/onduleur et d'un UPS (Uninterruptible Power Supply) pour pouvoir alimenter les éléments auxiliaires pendant au moins une journée.

Pour le refroidissement des alternateurs, l'on utilise plusieurs systèmes de petite taille. La carcasse extérieure est refroidie par l'air via convection forcée, les éléments mobiles comme les paliers ont un système de refroidissement par huile, l'eau est aussi utilisée pour le refroidissement des paliers ou autres via des échangeurs de chaleur.

La vanne sphérique est un élément central, car c'est elle qui met en route et arrêté l'installation. Elle se trouve juste après la conduite forcée après les 3 déviations. Ici un débit nominal de $1.64m^3/s$ et une pression égale en amont et en aval de $3.55 - 3.6MPa$ est nécessaire au bon fonctionnement, de l'ouverture et la fermeture, de l'installation.

3. IEC. *IEC 60870-5-104 : Telecontrol equipment and systems - Part 5-104 : Transmission protocols - Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles*. Utilisé pour le système SCADA via TCP/IP. International Electrotechnical Commission. 2006.

4. IEC. *IEC 60870-5-101 : Telecontrol equipment and systems - Part 5-101 : Transmission protocols - Companion standard for basic telecontrol tasks*. Norme de télécommunication citée pour la redondance au dispatching. International Electrotechnical Commission. 2003.

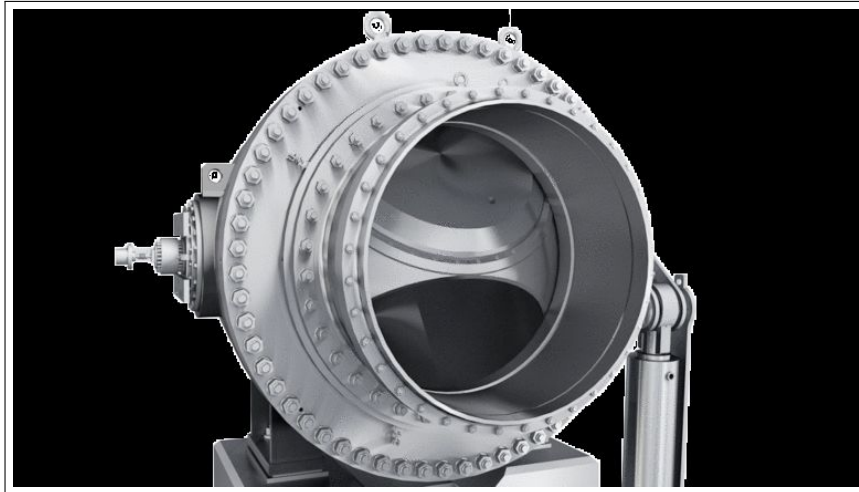


FIGURE 3 – Vanne sphérique (illustration pour usage publique) source : adams-armaturen

Un élément très intéressant pour ce qui est de l'automatisation est le régulateur de vitesse. En effet, pour gérer la vitesse de rotation de l'alternateur, le régulateur de vitesse utilise des commandes **électriques**, **mécaniques** et **hydrauliques (huile)**. Il peut donc gérer la vitesse de rotation via la vanne supérieure et inférieure. La rotation de l'alternateur est directement reliée à la fréquence du réseau, c'est cette vitesse que le régulateur doit contrôler.

Il y a également de la redondance côté producteur, il y a deux jeux de barres de 6.3 KV différents où les alternateurs sont répartis, deux transformateurs d'excitations et les transformateurs élévateurs sont répartis sur les deux jeux de barres mais ils peuvent être couplés si besoin.



FIGURE 4 – Schéma unifilaire de la centrale Ruzibazi (illustration pour usage publique) (Unsplash *DmitrijsSafrans*(@dimanazzz))

2.3 Conclusion, observation et interprétation

On peut remarquer que dans tous les sites critiques, comme les centrales ou les postes, il y a toujours de la redondance. On peut la catégoriser de deux manières différentes. La première de mettre des éléments de remplacement déjà présent sur le site. Par exemple une cellule de disjoncteur non assignée si l'une venait à casser. Des éléments de mesure supplémentaire de remplacement prêt à être utilisé. La deuxième serait d'avoir la redondance en superposant différentes technologies. Prenons pour exemple, la mesure de pression au niveau de la vanne sphérique. La mesure est faite de manière moderne via un instrument de mesure industrielle avec cellule piézorésistive type *Endress+Hauser* envoyant du 4-20 mA. Mais il y a également des lignes d'impulsion allant vers un autre capteur, utilisant une autre technologie capacitive par exemple et un système de mesure qui doit lui aussi être traité par le PLC, enfin un manomètre analogique avec cadran pour les opérations manuelles. Cette situation montre bien que dans un système industriel, il faut être capable de gérer la rétrocompatibilité et gérer les informations de sources différentes pour assurer la sécurité et la justesse de la mesure.

L'automatisation et la régulation se trouvant dans le régulateur de vitesse sont assez avancé. Elle ne se contente pas d'avoir un régulateur *PID*, *Boucle Fermé*, *MIMO* sachant gérer un système hydraulique à forte inertie, mais doit aussi communiquer et anticiper l'action d'autres centrales. Par exemple, si le réseau est à 49.7 Hz, la consigne n'est pas de stabiliser seul à 50 Hz, car d'autres centrales travaillent et influence cette fréquence. L'action proportionnelle est vue à la baisse, parce que l'on doit prévoir que ce n'est pas cette centrale uniquement qui va s'occuper de la stabilité du réseau, sachant qu'il y a des centrales en suivi de charge.

Le Burundi compte électrifier 1520 localités d'ici 2040. Contrairement à la maintenance des installations MT ou BT qui sont curatives à la REGIDESO, les centrales électriques doivent prédire l'évolution de la consommation dans les années futures. Ces localités vont augmenter la charge, mais les profils des consommateurs vont également évoluer lorsque le niveau de vie augmentera. Les centrales hydroélectriques prennent du temps à se construire c'est pourquoi pour la charge sur les centrales actuelles est plus importante.

3 Ligne HT/MT

N'ayant pas eu l'occasion de parcourir les lignes HT ce passage sera bref. Au Burundi les lignes HT sont en 110 KV. Néanmoins, il y a des lignes 70 KV venant de la RDC. Les lignes HT sont très semblables aux lignes MT à câble sans isolant. Cependant, la section, les Pylônes et chaîne d'isolateurs sont les différences majeures.

3.1 Conclusion, observation et interprétation

Le Burundi n'a pas de carte précise de la position de ses pylônes HT dans le pays. Il est donc difficile de pouvoir les cartographier et travailler efficacement. De plus, lorsque qu'un Défaut intervient sur une ligne et que le relais de protection ne donne pas une donnée

exacte sur la position du défaut, par exemple un arbre qui touche la ligne. En effet, Le terrain est montagneux ce qui complique le déplacement. Il faut de nombreuses heures de marche pour trouver le problème. Une solution serait de pouvoir trouver plus efficacement le défaut à l'aide de drones qui en plus cartographieront la ligne, comme le fait déjà Engie en Europe.

4 Dispatching national

Le dispatching national plus communément appelé *RN1* se trouve vers le centre de la capitale, dans le quartier de *Kamenge*. De l'extérieur, on pourrait croire à un poste de distribution comme les autres. Si les centrales sont le cœur du réseau, le dispatching national en est le cerveau. C'est ici que l'on regroupe toutes les informations recueillies dans toutes les centrales et postes de distribution. C'est ici que l'on retrouve des éléments les plus avancés en électrotechnique, communication et automation.

4.1 Topographie et fonctionnement

Le dispatching national est situé au centre de la ville. permettant donc de finalisé le bouclage du réseau. Le site est séparé en plusieurs zones, le poste de transformation et de transport, à l'intérieur du bâtiment : le côté administratif et bureau, la salle des départs et arrivées, la salle de relayage et la salle de commande. La partie poste de transformation est expliquée dans la **section (Postes de distribution)**.

Dans la salle de relayage, on trouve les éléments nécessaires à la communication et la protection. Tout comme les centrales, il y a une redondance sur les moyens de communication. La fibre passe par le fils de garde et le circuit bouchon est un système de secours. Il y a aussi un serveur téléphonique *Motorola*. C'est ici que se trouve le centre de la télécommunication. Le SCADA (104)⁵ et la télécom (101)⁶ travaillent en parallèle. Ils sont ensuite acheminés dans la salle de commande. Chaque ligne et chaque transformateur sont protégés par des relais de protection BCU ou RTU. Ils sont mis en groupe, chaque relais s'occupe d'un ou plusieurs types de défaut. Cette salle est la deuxième manière d'activer les éléments manuellement, mais distant via des *HMI* (Human Machine Interface) avec boutons poussoir et commutateur.

La salle de commande est le centre de ce poste. C'est le troisième moyen d'activer et gérer les éléments de protection du site. Dans cette salle l'on retrouve une permanence de technicien, des écrans de monitoring des installations du pays, les ordinateurs et interface SCADA via *Zenon*⁷ (COPA-DATA, 2026). C'est ici que l'on suit et coordonne le réseau. On peut manipuler et voir l'état des actionneurs des différents postes. Un des travaux

5. IEC, *IEC 60870-5-104 : Telecontrol equipment and systems - Part 5-104 : Transmission protocols - Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles*.

6. IEC, *IEC 60870-5-101 : Telecontrol equipment and systems - Part 5-101 : Transmission protocols - Companion standard for basic telecontrol tasks*.

7. COPA-DATA. *Zenon Software Platform*. Logiciel de monitoring et contrôle-commande utilisé par la REGIDESO. 2026. URL : <https://www.copadata.com>.

typiques du dispatching national est de coordonner les opérations sur terrain. Si un poste ou une centrale envisage d'effectuer des travaux sur leur site, il faut prévenir la salle de commande qui pourra se prémunir et vérifier à distance.

C'est au même endroit que l'on gère les déclenchements. Si un jour la tension venait à dépasser le seuil de $[105 - 120]KV$ pour ce réseau de 110 KV alors, il y aurait un déclenchement général. De même si la fréquence sort de l'intervalle $[49.5 - 50.5]Hz$ il y aurait aussi un déclenchement général. Pour éviter cette dernière, c'est ici que l'on pratique l'opération de délestage⁸ (Barnabé POTEL, 2020).

4.1.1 Le délestage fréquence-métrique

Cette opération dite de délestage sert à maintenir un équilibre entre la production et la consommation. Si par exemple Il y a une forte demande qui dépasse la production, Le réseau va varier en fréquence, 49.8,49.7... Hz. Si $P_{Production} \neq P_{Demande}$ alors, il y a un déclenchement général. Pour empêcher le *Black Out* total, des paliers sont mis en place pour déconnecter certains départs. Certains quartiers vont être privés de courant pour maintenir ce rapport $P_{Production} = P_{Demande}$. Le temps que la capacité de production soit augmentée, il faut faire des tournantes entre les différents quartiers.

4.1.2 Bouclage 30 KV

Le bouclage participe à la "*continuité de service*" ou continuité d'alimentation en électricité. Cette redondance entre les circuits permet, lors de l'apparition d'un défaut ou d'une maintenance, d'assurer la distribution d'électricité avec ou sans coupure aux abonnés.

Le bouclage et le délestage servent à assurer une "continuité de service", quand bien même il y a un *Black Out* totale, c'est ici que l'on gère l'opération de remise en tension en allumant progressivement chaque centrale avec une charge équivalent petit à petit à l'aide des synchronoscopes automatique.

4.1.3 Parenthèse gestion de Rusumo

La centrale de *Rusumo*⁹ (NELSAP-CU, 2023) injecte au Burundi une énergie de 27 MW qui arrive au poste de Zege en province de Gitega. Elle se trouve entre le Burundi, le Rwanda et la Tanzanie et est donc géré différemment chacun de ces pays reçoit une énergie de 27 MW. Depuis le dispatching national, il y a une vue unifilaire avec les positions des sectionneurs et disjoncteurs en temps réel ainsi que les valeurs à surveiller.

8. Barnabé POTEL. « Evolution du mécanisme de délestage fréquence-métrique ». Thèse de doctorat. Grenoble, France : Université Grenoble Alpes, 2020. URL : <https://theses.hal.science/tel-03045641>.

9. NELSAP-CU. *Regional Rusumo Falls Hydroelectric Project (RRFHP)*. Rapp. tech. Nile Equatorial Lakes Subsidiary Action Program, 2023. URL : <https://rusumoproject.org>.

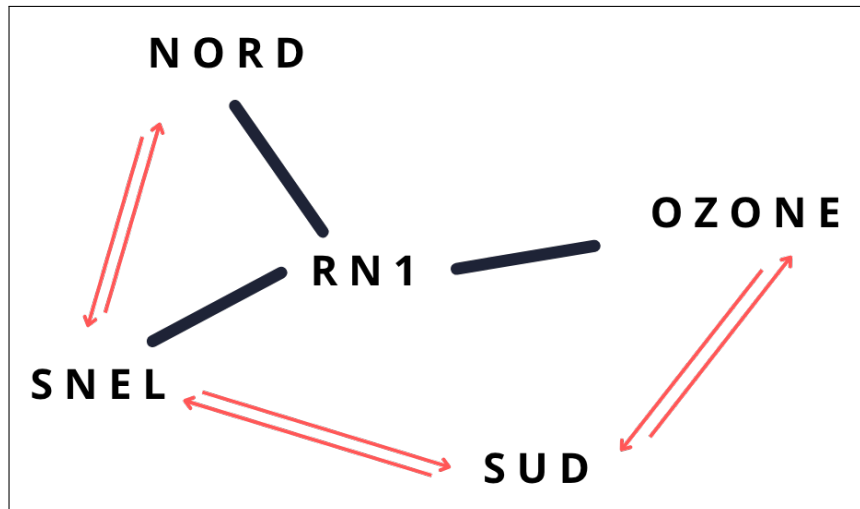


FIGURE 5 – Schéma du bouclage de la ville de Bujumbura

4.2 Conclusion, observation et interprétation

Le dispatching national est un endroit technologique et avancé. Il est prêt à évoluer pour des futurs projets de modernisation. Cependant, il pourrait être revu. Le poste ne dispose de gradins de condensateur. Il est un des seuls à utiliser activement le SCADA.

Le problème de l'instabilité du réseau burundais est l'une des problématiques majeurs. Le dispatching national n'a pour l'instant pas les informations pour pouvoir prédire et anticiper les actions à prendre. Malheureusement, elle entraîne des conséquences économiques. À la différence d'autres pays occidentaux, si des coupures, surviennent ou une faible qualité de l'énergie est présente, une perte économique directe n'est pas ressentie dans un pays comme le Burundi. Cependant, une incapacité à assurer une sécurité d'approvisionnement à des conséquences sur le long terme. Le pays devient moins attractif aux grandes et petites entreprises pour s'installer, car demanderait à chacun d'avoir un système de secours onéreux pour leurs activités. Rétablir et assurer cette confiance entre la REGIDESO et les abonnés est important pour le développement de la société publique et du pays tout entier. C'est un des défis de taille à relever, cette *base* est peut-être la mission la plus importante a relevé avant d'électrifier le pays tout entier.

La REGIDESO a de moins en moins besoin de faire appel à des sous-traitants pour réaliser des opérations de maintenance complexe et faire des formations aux cadres et techniciens. C'est une évolution dans son organisation et sont futurs.

5 Poste de distribution

5.1 Les postes de distribution, où se trouve-t-il ?

La deuxième semaine de ce stage était consacrée à la visite des postes de distribution de la capitale. À Bujumbura il y a 6 postes de distributions principales : *Poste Nord*, *Poste*

Sud(Kanyosha), Poste Ozone(Kiriri), Poste SNEL (quartier industriel). Ils sont disposés respectivement : Au nord, sud, est, ouest. Leurs positions sont choisies pour répartir les charges entre les différentes zones de la capitale, encerclé pour mieux répartir les départs et arrivés des lignes HT et permettre le bouclage avec le dispatching. Les 2 derniers sont : *Poste RN1 (Kamenge), Poste Rubirizi*. En cas de panne de l'un des postes les abonnés continue à être alimenté par d'autres postes.

5.2 Fonction d'un poste de distribution

Tout d'abord, à quoi sert concrètement ces postes de distribution. Après l'arrivée des lignes HT, il est nécessaire de baisser la tension de transport pour permettre l'installation d'infrastructure plus simple en ville. Ces postes ont aussi la fonction de sectionner et protéger les différentes lignes en cas de défaut ou de maintenance. Ces postes sont interconnecté et sont les nœuds du circuit de bouclage. Avec les ordres du dispatching national, ces postes peuvent communiquer entre eux et avec les centrales pour notamment gérer le "délestage"¹⁰, si par exemple, ils ne sont pas encore connectés au SCADA.



FIGURE 6 – Arrivée dans un poste (illustration pour usage publique) (Unsplash @janilson_oficial)

5.3 Comment s'organise un poste de distribution ?

L'organisation d'un poste de distribution dépend de ses fonctions, ses arrivées et départs, sa situation géographique etc... Mais ils possèdent chacun des éléments en commun. L'organisation principale est la suivante.

10. POTEL, « Evolution du mécanisme de délestage fréquence-métrique ».

5.3.1 Arrivée des lignes HT/MT

À l'entrée du site se trouvent les arrivées des câbles des lignes HT ou ligne MT. Ils peuvent être aériens ou aéro-souterrains. Il faut évidemment respecter les distances de sécurité entre les lignes, le sol et les équipements. On y trouve des isolants en céramique, verre ou polymère. Sur site se trouve des paratonnerres de rayon 500 m ou 1 Km.

5.3.2 Sectionneur

Le prochain élément est le sectionneur, il donne une indication visuelle de la séparation galvanique entre les différents circuits. Ce qui permet de travailler sur le circuit isolé en toute sécurité, en ayant préalablement ouvert le disjoncteur. Il y a généralement un deuxième circuit en parallèle après le premier sectionneur pour la redondance. chaque autre circuit doit pouvoir être sectionner. Le sectionneur doit toujours être manœuvré à vide.

5.3.3 Le disjoncteur HT extérieur

Après, on trouve le disjoncteur HT extérieur, il est la protection en amont du transformateur. Certains postes disposent également d'un jeu de barres coté primaire. Chaque transformateur doit être protégé en amont et en aval par un disjoncteur. Si l'on souhaite effectuer une maintenance alors l'on ouvre le disjoncteur puis le sectionneur afin de pouvoir être protégé. Ils utilisent le gaz SF6 et le niveau doit être vérifié. Le disjoncteur est toujours manœuvré en charge.

5.3.4 Transformateur de puissance

L'élément central est le transformateur de puissance abaisseur. Ayant habituellement une puissance apparente supérieure à 10 MVA. En fonction de sa commutation, il abaisse la tension par exemple 110/30 KV 30/6.6 KV (il existe bien d'autre configuration). Parmi les transformateurs,

- on trouve des transformateurs élévateurs $0.4/30$ KV, $6.6/110$ KV, $6.6/0.4$ KV, $6.3/110$ KV,
- ainsi que les transformateurs $30/0.4$ KV, $10/0.4$ KV, $6.6/0.4$ KV, $30/10$ KV.
- On a aussi les transformateurs abaisseurs plus communément appelés les transformateurs commutables $30/6.6/0.4$ KV. Ils peuvent fonctionner soit sur un réseau de 30 KV soit sur un réseau de 6.6 KV coté primaire.

5.3.5 Jeux de barre

Côté secondaire du transformateur ces lignes se connecte aux jeux de barres. Dans le bâtiment du poste, il y a les jeux de barres et les cellules disjoncteurs qui servent aussi de protection en aval du transformateur. Sur les jeux de barres coté primaire ou secondaire, on peut retrouver les lignes de bouclage, un couplage de transformateur, d'autres départs et arrivées. Par définition un jeu de barre, c'est une barre métallique en cuivre où sont

connectés les câbles de sorti du transformateur et aussi où on connecte les câbles de différent départ vers les quartiers.

5.3.6 Cellule disjoncteur

Les cellules disjoncteur présentes à l'intérieur du poste sont un élément central de la régulation. Tous départs et arrivées passent par ces cellules. Elles servent de protection contre les surintensités et d'interrupteur si une maintenance est nécessaire ou si un autre défaut est détecté par les capteurs, par exemple un défaut de masse. Ces cellules n'utilisent pas le gaz SF6 mais sont à vide et sont dotées de capteurs renseignant les puissances active, réactive, apparente, tension et courant de chaque phase. Lors de la présence d'un défaut, il peut également indiquer sa position. Attention cette option est rarement correcte. L'opérateur note dans un carnet les informations affichées par l'écran souvent en panne à cause de la chaleur.

5.3.7 Auxiliaires

Un des premiers éléments se trouvant en parallèle de la ligne est le parafoudre, parfois avec un éclateur côté transformateur. Leurs rôles sont de rediriger les surintensités ou les courant de défaut à la terre. Ensuite, le circuit bouchon, dispositif permettant la communication entre les autres circuits bouchon des postes et centrale. Certains sont remplacés par un logiciel SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). En plus de la communication ce logiciel permet le monitoring et le contrôle à distance des différents éléments se trouvant dans les postes mis à part la mise à la terre qui doit être faite manuellement. À côté du circuit bouchon, il y a un TP et un TI pour le monitoring. Dans ces postes se trouve un transformateur auxiliaire. Il sert à l'alimentation de la zone du poste. Il y a aussi un redresseur utile pour l'alimentation des appareillages petits tels que les relais ou contacteurs. En dehors de ces redresseurs, on a aussi des batteries d'accumulateurs qui sont reliées au redresseur qui fait le secours des équipements cités ci-dessus en cas de coupure électrique.

5.3.8 En résumé

On alimente les différents équipements notamment le disjoncteur et transformateur. À la sortie du transformateur, on alimente le disjoncteur et a la sortie du disjoncteur, on alimente le jeu de barre, c'est à ce jeu de barre que l'ont aliment les lignes MT de 10 KV pour alimenter les différents quartiers en y insérant des petits transformateurs de 10/0.4 KV.

5.4 Un Zoom sur le dispatching national

Comme expliqué dans la **section dispatching national**, il y a poste de distribution très similaire aux autres. Les lignes d'arrivée sont en 110 KV, le bouclage en 30 KV. les 4 transformateurs de 110/30 KV sont couplés en Étoile-Triangle (Yd) et ont une bobine de point neutre en Zigzag (Zn) directement relié à la terre. C'est donc un régime TT. Le site comprend un groupe électrogène de secours et 2 autres transformateurs auxiliaires 30/.04

KV de secours. Les éléments comme les sectionneurs, TI..., sauf la mise à la terre, sont contrôlables depuis la salle de commande. Il y a également un jeu de barres extérieur de 110 KV.

5.5 Un zoom sur le poste du SNEL

Le poste de distribution qui se trouve dans le quartier industriel est les SNEL, qui signifie **Société Nationale d'Électricité** de la RDC. Ce poste appartient officiellement à la République Démocratique du Congo, mais dû au conflit géopolitique à compter de la date d'écriture de ce document, la maintenance et l'occupation a été prêté à la REGIDESO Burundi. Ce poste est intéressant, car c'est la seule arrivée en ligne HT de 70 KV du pays. Il fait partie des postes datant d'avant l'indépendance. On peut y retrouver de vieux appareils comme des cellules disjoncteur de 1958 qui ne sont plus en état de fonctionnement.



FIGURE 7 – Ancienne installation du poste SNEL



FIGURE 8 – Transformateur pour le renforcement du neutre

Accident survenu sur ce poste SNEL

Lors de la visite, cette centrale tournait à l'envers. Généralement la RDC ou République Démocratique du Congo fournit le Burundi en électricité via ces lignes. Ici les transformateurs de puissance, qui jouent normalement le rôle d'abaisseur, étaient cette fois-ci alimentée au secondaire par l'énergie produite du pays. Plus tôt un accident est survenu faisant tomber des poteaux des lignes HT. Les équipements de protection ont détecté le défaut et ont activé les disjoncteurs des 2 postes. Le jour précédent mon arrivée les paratonnerres ont joué leur rôle de protection. Il faut donc vérifier son bon fonctionnement et effectuer une maintenance si nécessaire.

En plus du transformateur auxiliaire habituel, se trouve un autre transformateur de distribution (50 à 160 KVA) qui servait de renforcement du neutre. Avec un couplage Étoile-Triangle (Yd) ou Zigzag (Zn), Il offre au côté HT du transformateur abaisseur une solution pour se connecter à la terre.

5.6 Un zoom sur le poste Ozone

La particularité du poste ozone sont les 2 transformateurs de puissance présents sur le site. Ce poste d'Ozone reçoit de l'énergie en provenance de la centrale de Mugere sur le jeu de barres 30/6.6. KV et une autre énergie en provenance du poste RN1 sur son jeu de barres 30/6.6 KV.

Comment se passe ce couplage ?

Les deux transformateurs du site possèdent chacun leurs propres éléments communs d'un poste classique. Un jeu de barres à 6.6 KV est présent côté secondaire des transformateurs derrière un disjoncteur. Ce couplage est à boucle fermée, c'est-à-dire que les deux sont constamment connectés. Le jeu de barres possède dans ce cas-ci un sectionneur de jeux de barres permettant d'isoler les deux arrivées des centrales en cas de problème.

5.7 Un zoom sur le poste Nord

Le poste nord est d'une grande importance dans l'économie du pays. Il distribue notamment de l'électricité au quartier industriel et à l'aéroport international. C'est un poste qui alimente beaucoup d'usines de production dans le quartier industriel. Il a donc un traitement particulier pour les opérations de délestage et présente un bon nombre de bouclages afin d'assurer une continuité de service.

Comment faire si une nouvelle industrie souhaite s'implanter ?

Si une nouvelle industrie souhaite s'implanter dans le quartier industriel et bénéficier d'un départ dans le poste de distribution, elle doit communiquer son envie à la REGIDESO. Elle s'occupe de l'audit et du choix du matériel nécessaire pour son installation. En effet, il faut s'occuper de dimensionner : les cellules disjoncteurs, le transformateur abaisseur à l'entrée de l'entreprise, une ligne 30 KV ou 10 KV etc... (je n'ai pas participé à ce genre d'opération).

2 Jeux de barres et bouclage

Ce poste possède également 2 jeux de barres. Le premier à 30 KV où l'on fait le bouclage avec le dispatching national, un centre hydroélectrique et le poste SNEL. Il y a des départs vers des industries en 30 KV et le transformateur de puissance abaisseur du site 30/10 KV. Sur le deuxième jeu de barres à 10 KV, il y a le transformateur auxiliaire, les départs vers les différentes localités, le départ de l'aéroport et d'autres départs d'entreprise à 10 KV.

Situation d'urgence

[Note : Ce paragraphe a été modifié par l'IA pour des raisons de confidentialité avant publication]. Lors de mon arrivée il y a eu un défaut sur l'un des disjoncteurs du poste. Ce qui oblige donc au ingénieur de pouvoir mettre en place des solutions d'urgence. Un disjoncteur assigné à un départ secondaire a été réquisitionné pour pouvoir servir aussi de protection à une infrastructure critique. Le problème de cette situation temporaire est que si un défaut survient sur la ligne secondaire, l'infrastructure prioritaire subira une coupure de courant. Pour pallier à ce problème, les circuits sont théoriquement montés en parallèle avec des sectionneurs pour isoler le défaut. Cependant, j'ai pu observer comment les équipes s'adaptent lorsque des contraintes matérielles ou l'indisponibilité temporaire

d'un équipement de coupure rendent ces manœuvres standards complexes à réaliser instantanément.

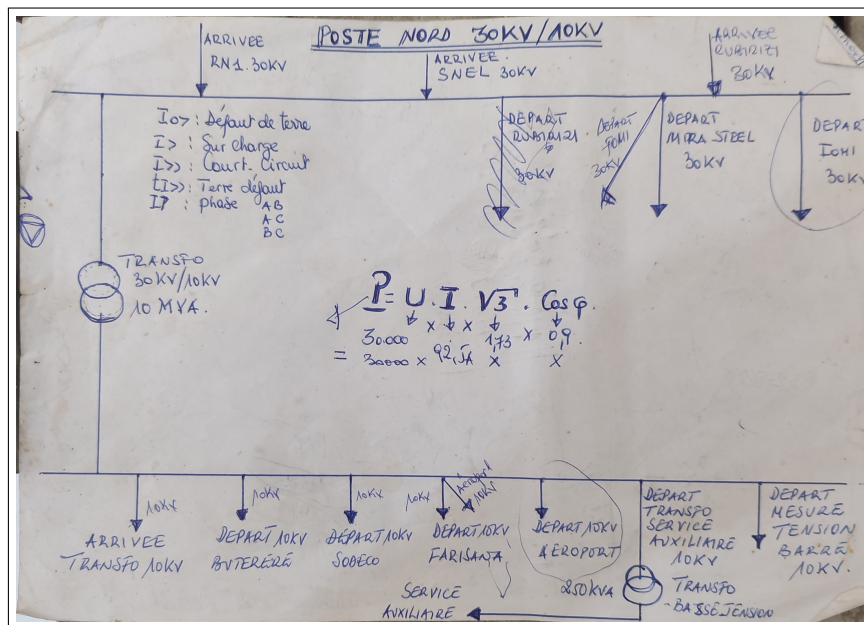


FIGURE 9 – Photo du cahier du responsable du poste Nord

5.8 Conclusion, observation et interprétation

Les postes de distributions sont une grande source d'information sur le travail de l'ingénieur et l'organisation du réseau. Il permet de mettre en perspective certain élément appris lors du stage. Prenons tout d'abord, la situation d'urgence du poste Nord. C'est un exemple qui montre à quel point l'ingénieur est une personne cruciale dans ce genre de situation. Il doit trouver une solution au problème, tout en veillant à la sécurité du personnel et des installations en s'assurant du bon dimensionnement pour le changement de circuit. S'assurer de trouver une solution rapide à mettre en place, économique et qui garde une continuité de service. Au-delà des connaissances techniques requises sur l'ensemble des éléments du poste et de la consommation habituelle, il y a un aspect industriel et concret, qui dépasse les simples compétences académiques afin de pouvoir gérer au mieux ces situations. C'est cette différence qui sépare un *simple* ingénieur, d'un ingénieur *compétent* dans le contexte. Savoir trouver une solution qui prend en compte des paramètres plus pousser.

Un des problèmes cruciaux de la REGIDESO est l'ancienneté des installations et le manque d'équipement. Les postes n'utilisent, pour la plupart, pas le SCADA. Ils doivent se contenter des anciens moyens de communication tels que les circuits bouchons et la téléphonie via *WhatsApp* ou *Motorola*. Les relevés des erreurs des relais ou les informations sur la consommation quotidienne sont encore notées sur papier. De plus, il n'y pas assez d'équipement de rechange. Lorsqu'une panne survient, la maintenance est curative. S'il n'y a pas d'équipement de rechange sur site ou au magasin, dans la majorité des cas, l'on doit attendre la commande de la pièce de rechange. Cependant, un projet visant

moderniser les installations de la capitale est prévue pour 2027 et encore d'autres projets prévus pour les années suivantes. Mais est-ce vraiment la solution ?

Tout dépend de la façon dont la situation est comprise par les différents acteurs. Après mes observations sur le terrain, contrairement à ce que les chiffres montrent, la REGIDESO travaille en réalité à flux tendu. Le manque de financement, d'équipement, de personnel qualifié se fait ressentir. Cela cause des vrais problèmes de service au quotidien. Devant cette montagne de travail à surmonter, il est difficile de se projeter. Dans le futur, il ne suffira pas de simplement changer et moderniser les installations, mais la philosophie de la REGIDESO en elle-même. Cela doit commencer aujourd'hui par l'habilitation du personnel aux technologies de l'information avancées. Que se passe-t-il si rien ne change ?

La REGIDESO risque de tomber dans ces travers du passé. Il y aura un gouffre entre la technologie et les équipements installés et le personnel habilité sur place. La remise à niveau prendrait du temps, et on pourrait voir une tendance à préférer les méthodes anciennes en dépit des nouvelles mises en place. Cela favoriserait la dépendance du pays, à la sous-traitance, généralement étrangère, coûteuse.

Le problème de l'instabilité du réseau est, comme dit précédemment dans les sections sur le dispatching national, une des priorités actuelles de la REGIDESO.

6 Parenthèse sur l'atelier des transformateurs

La première semaine de ce stage, s'est déroulée dans l'atelier des transformateurs. La REGIDESO possède plusieurs sites d'atelier, stockage, magasin. Le site dans lequel se déroule le stage est situé à coté du garage dans la zone industrielle et est l'un des sites principaux de la REGIDESO. L'on y trouve un magasin, une réserve de postes de transformation compacte, une centrale thermique de 5MW fonctionnant à l'aide de moteurs à combustion et l'atelier de réparation des transformateurs.

Gordien est le responsable de cet atelier, c'est avec lui que nous découvrons le travail quotidien à l'atelier pour les techniciens, les problèmes auxquels, ils font face et les relations avec les ingénieurs de la REGIDESO. Dans cet atelier, ont fait la répartition des transformateurs endommagés sur le terrain.

6.1 Description d'une méthode spéciale et un système particulier

6.1.1 Cheminement d'une information dans l'entreprise

Chronologiquement tout commence par une réunion entre chef de service *Equipment et Maintenance et autres* où une demande de transformateur 160 KVA est faite à la maître de stage. Celle-ci transmet à Gordien la recherche de ce matériel. L'on privilégie la réparation avant de prendre du matériel au magasin. L'on commence par rechercher parmi les transformateurs défectueux se trouvant sur le site ceux qui remplissent les conditions.

Prenons l'exemple d'un transformateur de puissance de 160 KVA 30/0.4 KV. À partir de la plaque signalétique l'on trouve plusieurs transformateurs remplissant les conditions, il faut faire des tests pour trouver le meilleur candidat.

6.1.2 Test de continuité

Pour commencer le **test de continuité**, à l'aide du mégohmmètre ou Megger type¹¹ (MEGGER, 2021) l'on mesure la continuité entre tous les enroulements. Dans cet essai l'appareil doit afficher la valeur *Low Ω* . Si plus de 2 enroulements présentent un défaut alors ce transformateur est mis de côté. Si un seul enroulement MT/BT (càd un enroulement MT et/ou son homologue BT deux enroulements serait plus approprié ici) présente un défaut l'on juge si une opération de réparation (si le défaut est visible) ou de remplacement de la bobine est envisageable (Je n'ai pas assisté à cette opération). Grâce au grand nombre de transformateurs présents sur le site si un enroulement MT/BT possède des caractéristiques similaires, dimension, KVA d'origine, rapport K..., alors par une opération complexe l'on peut essayer de remplacer la bobine défectueuse.

6.1.3 Test d'isolement

Ensuite, il faut effectuer un **test d'isolement**. Encore à l'aide du mégohmmètre l'on mesure l'isolement entre les phases MT ou BT et la terre/carcasse et l'isolement entre les phases MT et BT. l'appareil simule le résultat pour une tension de respectivement 2.5 KV et 5 KV pour les 2 essais. Une valeur de plus de 400M Ω est préférable (valeur typique 1400M Ω). Si celle-ci n'est pas atteinte une valeur plus basse est acceptable (200M Ω) si les valeurs sont proches entre elles. Dans le cas contraire, on retire donc le noyau du transformateur pour le faire passer au four à environ 100°C. Attention pour cette opération, il faut bien retirer tous les éléments en plastique présent sur le noyau. Cette étape permet de s'assurer que les autres problèmes d'isolement dû aux huiles sont bien éliminés, une nouvelle mesure de l'isolement est faite. Si l'appareil affiche *Low Ω* cela veut dire que l'isolement est très mauvais.



FIGURE 10 – Illustration des tests effectués avec le mégohmmètre

11. MEGGER. *MIT515, MIT525, MIT1025, MIT1525 : 5 kV, 10 kV and 15 kV DC Insulation Resistance Testers*. Manuel d'utilisation technique pour les tests d'isolement. Megger Group Limited. 2021.

6.1.4 Régénération de l'huile

S'ensuit une opération de **régénération de l'huile** pour augmenter sa capacité diélectrique à l'aide du régénérateur. Avec le stock d'huile présent dans l'atelier et celui présent dans le transformateur, on la fait circuler en boucle dans cette machine pendant des heures. À savoir qu'une machine qui mesure la constante diélectrique de l'huile est présente, mais n'a pas encore été installée. Si l'huile est en mauvais état, on doit le régénérer par un équipement électrique appelé le régénérateur.

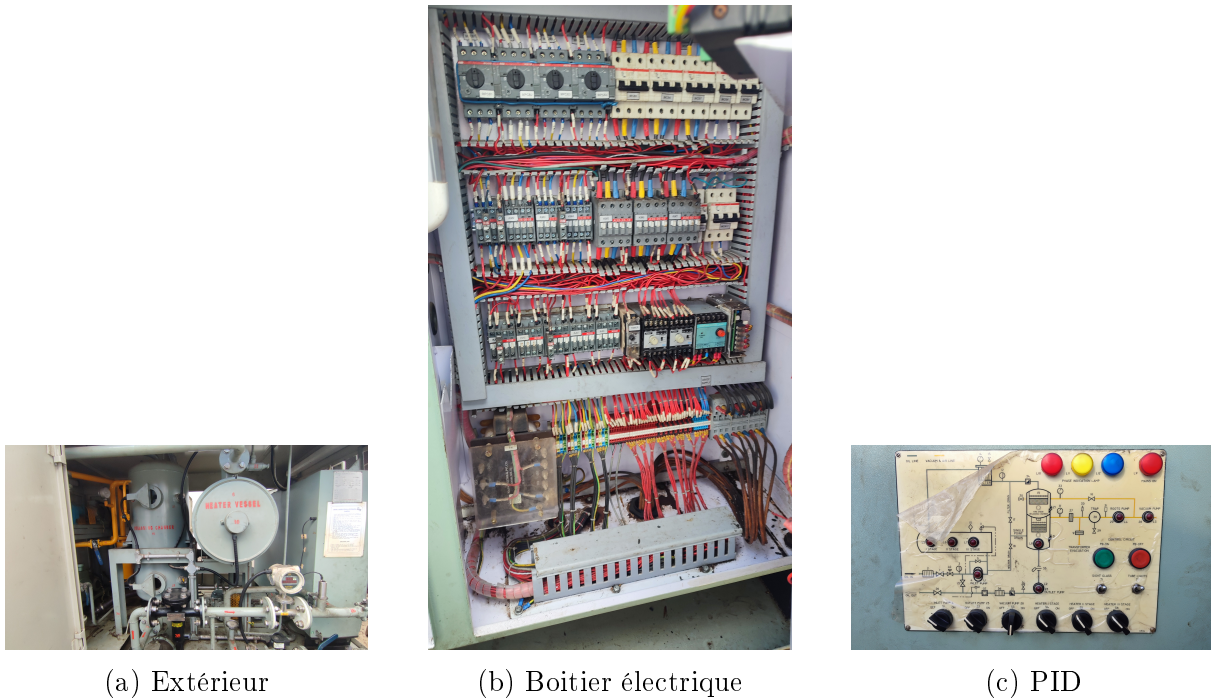


FIGURE 11 – Régénérateur d'huile

6.1.5 Test du rapport K

Enfin, on effectue un **test du rapport K** en alimentant au primaire par du 0.4 KV l'on doit retrouver quelque volt constant entre les trois phases au secondaire. Avant d'envoyer les transformateurs sur le terrain on note une dernière fois les résultats d'isolement et de continuité dans un carnet. Gordien et une équipe d'autres techniciens partent aller installer les transformateurs sur le terrain. La réparation d'un seul transformateur peut prendre jusqu'à 2 jours, il faut faire généralement des réparations préventives.

6.2 Conclusion, observation et interprétation

Cet exemple donne une bonne idée du travail quotidien des techniciens et l'organisation avec les ingénieurs. Une chose très importante sont les problèmes rencontrés par les techniciens. Malgré le système D mis en place « le manque de matériels ce fait sentir », nous dit Jules technicien à l'atelier. Le treuillage se fait entièrement à la main, ils voudraient de meilleurs équipements comme un nouveau mégohmmètre ou l'accès à une tension de 30 KV sur site pour permettre le test du rapport K plus précis. Il faudrait du matériel

permettant la réparation d'équipements plus technologiques. Le manque de place se fait également sentir dans l'entrepôt. Un site réaménagé permettrait un travail plus fluide et offrirait plus de place à l'amélioration.

7 Ligne de distribution MT/BT

La troisième semaine de ce stage a eu pour objectif la découverte du service *Équipement*. C'est l'un des services les plus importantes dans la direction *Électricité*. Elle s'occupe de la réalisation de nouvelles lignes, de la mise en place de nouveaux équipements et gère leur utilisation. Le service équipement est composée de 3 cellules : *Planification et Ingénierie Civile* qui, à la manière d'un bureau d'études établit des devis ou des études sur des projets, la cellule *Support Technique et Normalisation* et enfin la cellule *Travaux* qui mettent en œuvre leur propre devis et projet ou ceux de la cellule *Planification et Ingénierie Civile*.

Le Burundi est en pleine démarche d'électrification massive de localité d'ici 2040¹² (Banque MONDIALE, 2020). C'est pourquoi le service *Équipement/Travaux* est d'une grande importance dans le développement du pays. Les travaux de tirage de ligne s'intensifient. Cette semaine, c'est passer sous la supervision de Ir Nestor cadre de la cellule travaux.

7.1 Qui électrifié ? et relevé topographique

Le choix de distribution d'une localité se fait sur base de rentabilité, si la localité présente un grand nombre d'abonnés potentiels alors un prolongement de ligne est envisageable. Avant de commencer un réalisé le devis des matériaux et équipement nécessaire a la réalisation du projet, il faut se baser sur un relevé topographique. Ce document regroupe l'ensemble des installations déjà présentes et à venir.

7.2 Prolongement d'une ligne de distribution

Dans les zones d'habitation différents niveaux de tension peuvent être présents : 0.4, 6.6, 10 ou 30 KV. Ces lignes peuvent être souterraines, mais pour la majorité sont aériennes. La mise en place de ligne MT et BT est un peu différente, mais possède les mêmes étapes.

7.2.1 Types de poteaux

Pour les lignes MT et BT les poteaux peuvent être en bois, ciment ou métal. Chaque matériau a ses avantages et le matériel d'intervention peut changer en fonction de ceux-ci. Pour l'instant dans le pays les poteaux en bois sont prédominants, mais on remarque une tendance à prolonger les lignes par des poteaux en ciment ou en métal. Si l'on se concentre

12. Banque MONDIALE. *Burundi : Projet d'Énergie Solaire dans les Communautés Locales (SOLEIL)*. Objectif d'accès universel à l'électricité à l'horizon 2040 au Burundi. World Bank Group, 2020. URL : <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P164438>.

sur la mise en place de poteaux en bois, en MT il y a des poteaux d'*angle*, d'*alignement* et *arrêt*. En BT, on trouve des poteaux *Jambé ou jumelé*, *simple*, *ancrage*.

Le poteau d'*ancrage* ou d'*arrêt* sert à donner une stabilité à la chaîne, tous les 8 à 10 poteaux, il faut en rajouter. Ils servent également un la fin d'une ligne pour pouvoir tirer et tendre la corde. C'est aussi sur ceux-ci que l'on place les transformateurs de distributions.

Le poteau d'*angle* sert quant à lui à éviter les obstacles et changer de direction. Ils doivent posséder des appuis solides dus aux efforts composés.

Le poteau *simple* ou d'*alignement* est utilisé pour pouvoir prolonger une ligne sans changement de direction. En BT, il s'apparente à un simple poteau en bois de 11m enfoui à 2m dans la terre, ils doivent être distants de 50m. En MT ces poteaux doivent être distants de 100m, toutefois 80m ou 95m est acceptable.

Les poteaux *Jambé ou jumelé* sont utilisés lors de contraintes d'espace, par exemple une route ou des caniveaux. Ils permettent d'assurer une stabilité à la place des poteaux d'*ancrage*.

La *fouille* est le trou creusé avant l'installation d'un poteau. Ces dimensions dépendent de la hauteur de celui-ci, mais est généralement la même.

7.2.2 Câble

Le câble électrique est le cœur de la distribution et du transport de l'énergie. Il doit être choisi dans le but de pouvoir résister à la charge maximale en fonction des abonnés à desservir. Il est dimensionné afin de pouvoir toujours être utilisé lorsque des extensions sont envisagées. Il doit également pouvoir résister au déséquilibre entre les phases et harmonique. Ses conditions de pose ont de l'influence sur sa résistance à l'environnement et aux intempéries.

En BT les câbles utilisés sont des pré-assemblés. Avant l'on utilisait des câbles nus, mais à cause de nombreux accidents, des câbles avec isolant sont préférés. Ces conducteurs en alliage d'aluminium sont chacun entouré d'un isolant et possèdent différentes sections.

$$— 3 \times 35 + 1 \times 54.6 + 1 \times 16mm^2$$

$$— 3 \times 50 + 1 \times 54.6 + 1 \times 16mm^2$$

$$— 3 \times 70 + 1 \times 54.6 + 1 \times 16mm^2$$

Ces dimensions sont normalisées, le choix dépend de la charge en KVA a supporté ou de la chute de tension si le câble est très long. Les 3 câbles de sections identiques sont les conducteurs de phase, le câble de $54.6mm^2$ est le conducteur du neutre. Il possède une telle dimension, car respecte la norme *NF C 33-209*. Cette section permet d'assurer une résistance mécanique pour maintenir l'ensemble des câbles du pré-assemblé et de limiter l'échauffement si le câble est traversé par un courant dû au déséquilibre et aux harmoniques. En fin le câble de $16mm^2$ est dédié à l'éclairage public.

En MT des câbles nus sont utilisés. Au total 3 ou 4 câbles, le 4^{ème} étant le fil de garde contre la foudre.

7.2.3 Armement

Le terme armement dans ce cas-ci peut désigner tous les éléments que l'on peut retrouver sur un poteau électrique. Par exemple des équipements de protection ou des isolateurs.

Tous les 400m doit se trouver une mise à la terre. La résistance doit être d'une valeur de 5 et 10 Ω afin de rediriger au mieux les courants de défaut. L'emplacement de ces mises à la terre se trouve sur le plan du relevé topographique.

Tous les poteaux doivent être équipés d'une chaîne d'isolateurs. Dans le but d'assurer une bonne isolation entre les phases câble et le poteau et entre les câbles entre eux dans le cas de câbles nus. Une distance de 2.1m entre les câbles de 30 KV et 1.3 – 1.5m pour les câbles de 10 KV. Une chaîne d'isolateurs est composée de :

- *œillet*
- de 2 *assiettes* si la ligne est $< 10KV$ ou 3 si $< 30KV$
- *ball socket*
- pince d'*ancrage*, d'*arrêt*, d'*angle*, ou d'*alignement*.

7.3 Sur le terrain, tirage d'une ligne BT avec poteau en ciment et en bois

Durant la 3^{ème} semaine se déroulait notamment le tirage d'un câble BT, avec comme guide Ir. Siméon. Cette mission a pour but de prolonger la ligne BT pour desservir de nouvelles habitations se trouvant dans le quartier nord de la capitale. L'installation précédente était en bois, mais l'extension est composée de poteaux en ciment. La topographie est ordinaire, pas de dénivelé ni d'obstacle. Tout le matériel est sur site, les poteaux en ciment et le câble ci-trouve, il suffit de procéder à l'opération de tirage.

La première étape est de dérouler le câble, au sol, tout le long de son futur chemin. Ce câble à récupérer se trouve chez un riverain. Ce câble est un pré-assemblé $3 \times 35 + 1 \times 54.6 + 1 \times 16mm^2$. Une longueur d'une dizaine de mètres supplémentaire est nécessaire pour une extension d'une centaine de mètres. En effet, il faut prévoir une distance supplémentaire pour le mou entre chaque poteau.

La deuxième étape est d'installer les armements qui permettront le tirage du câble. Il s'agit de poulies pour tous les poteaux sauf le premier (celui encore en bois) où l'on met une pince d'ancrage. Pour monter sur des poteaux en ciment l'on utilise une échelle et pour des poteaux en bois l'opérateur possède un baudrier avec une corde pour pouvoir relâcher ses bras, une corde de service et des grimpettes.

La troisième étape est d'installer la corde et la tendre. On monte la corde sur les poulies via la corde de service ou la force des bras en haut des poteaux. Une fois que le câble est installé partout, l'on tend le câble avec le brin mou restant à la force des bras. La tension du câble n'est vérifiée que par l'expérience d'un opérateur.

La dernière étape est de sécuriser la corde en la fixant. Dans le bout du circuit (dernier poteau en ciment) on installe une pince d'ancrage. Sur le premier poteau (celui encore en bois) on y met une *pince de raccordement à perforation d'isolant*. Cet outil est crucial, car assure le contact électrique entre l'ancien et le nouvel câble BT. les autres poulies sont remplacées par des crochets.

7.4 Conclusion, observation et interprétation

On peut constater que ce genre d'opération fait partie du travail quotidien de la cellule *Travaux/Électricité* et vont s'intensifier à cause de cette tendance à électrifier de plus en plus de localité. Ce sont des opérateurs qualifiés et expérimentés qui s'occupent de ce genre d'opération bien connue. Néanmoins l'on peut constater quelques problèmes vis-à-vis de ce cas. Tout d'abord cette opération demande un grand nombre d'opérateurs, mobilisé plus de 5 techniciens et un ingénieur n'est pas très efficace. De plus cette opération a pris une journée entière de travail pour un petit tronçon. Il y a également un manque de coordination entre les techniciens de la société civile qui mettent ce rallongement et les techniciens qui s'occupent du raccordement entre le poteau et le compteur électrique de l'abonné menant à un déséquilibre entre les phases et menant notamment à une casse prématurée d'un transformateur.

8 Sur le terrain, détection de défaut d'un câble MT sous-terrain

[Note : Les détails spécifiques de cette section ont été généralisés par l'IA pour la publication publique]. Pendant la 4^{ième} semaine un défaut a surgi dans le réseau électrique MT. Cette situation est un bon exemple des différents problèmes que peut rencontrer la REGIDESO, de la manière dont ils y font face et peut servir d'une source d'inspiration pour l'amélioration des services de l'entreprise.

Durant la semaine, une interruption est survenue dans une zone prioritaire de la capitale à cause d'un défaut dans le câble de transport. Grâce à la redondance et le bouclage (*boucle ouverte*), le secteur est toujours alimenté via une ligne de secours. Même si le courant est rétabli sans manipulation excessive, cette autre ligne de transport risque d'être surchargée. C'est pourquoi l'on doit remettre en service le câble. Dans les paragraphes ci-dessous, il sera présenté la manière normale envisagée pour ce type de problème.

La première étape est de protéger l'installation ou les personnes et de détecter le défaut. Dans le cas d'un défaut qui surviendrait dans un câble de transport, le courant doit être interrompu dans le tronçon concerné. En effet, via la sélectivité, seuls les postes compris

entre le défaut doivent déclencher simultanément leur disjoncteur, en cas de surintensités ou de courant de fuite par exemple. On sait déjà que la source du défaut est le câble via les informations récoltées via les postes de distribution intermédiaire. Les relais de protection donnent des informations sur le type et la position du défaut sur le tronçon. Ici, prenons pour exemple, une surintensité due à un défaut sur un câble souterrain MT.

S'ensuit l'intervention, à l'aide du véhicule *Megger* habilité à la détection de défaut pour câble souterrain. À l'aide de la position préalablement calculée, le véhicule détecte précisément la position du défaut. Avant de creuser, il faut ouvrir les disjoncteurs concernés, les mettre à la terre et ouvrir le sectionneur s'il y en a un. On creuse ensuite la section concernée pour pouvoir s'assurer de la bonne position du défaut.

Enfin l'on entame la remise en service en coupant une section à l'aide d'une scie puis en reconnectant les deux bouts en ajoutant un câble et en le connectant via des manchons et isolants.

8.1 Conclusion, observation et interprétation

Malheureusement, dans la réalité, les choses ne se passent pas toujours comme prévu. J'ai pu observer une situation où les informations des relais de protection manquaient de précision, et où l'équipement de diagnostic lourd (type véhicule *Megger*) était temporairement indisponible pour maintenance. L'option restante est de se répartir à des endroits susceptibles d'avoir un problème d'"entendre" le défaut en faisant des essais de remise en tension. S'il y a une suspicion de bruit, on creuse la section, coupe un tronçon et reconnecte les deux bouts à l'aide d'un fil conducteur, puis on réalise d'autres tests. Si l'opération échoue, on recommence les différentes étapes. Ce qui peut être une source défaut futur.

Le Burundi compte entreprendre des projets de restructuration dans les années prochaines. L'autre problème est que cette modernisation n'est qu'une solution temporaire à la stabilité du réseau. En effet, les nouveaux équipements et méthodes sont et seront présents dans le pays, mais s'il y a négligence, dans l'installation, la maintenance et l'éducation sur ces équipements, le problème de l'instabilité du réseau risque de réapparaître quelques années après les restructurations. Ici, c'est un bon exemple, les relais de protection sont présents, le véhicule *Megger* aussi, mais les problèmes sont plus complexes que simplement le manque de matériel. Ils nécessitent des solutions ingénieuses et adaptées.

9 Agencement et organisation de différents acteurs dans un projet et place de l'ingénieur

Lors de la 3^{ième} semaine, dans le cadre du projet routier¹³ (Agence de PROMOTION DES INVESTISSEMENTS (API), 2022) qui vise à réhabiliter un ancien chemin routier en une autoroute pour relier les différents pays. Il y avait une "réunion" sur le terrain avec beaucoup de différents acteurs de travaux civil et de différentes branches de l'ingénierie. Le voyage s'est effectué avec un ingénieur de la *PRT* et un ingénieur de la REGIDESO, Ir. Nestor.

Le projet consiste à transformer une route déjà présente à deux voies en une autoroute entourant le *lac Tanganyika* pour relier les grandes villes des différents pays. Ce projet étant en grande partie sous-traité, cela demande de faire appel à différentes techniques spéciales de plein de secteurs différents. Tout d'abord, les agents de la *PRT* ou *Projet pour la résilience des transports* sont les coordinateurs du projet qui prend place au Burundi. L'ingénieur civil de la *PRT* nous explique que le projet est réalisé par étapes avant d'entamer de grands travaux. Par exemple, le déplacement des canalisations et des puits à proximité de la route est réalisé par eux. Le groupe de consultance chinois *CFHEC* pour les travaux de construction civile vient vérifier la faisabilité du projet tout en mettant en place un plan d'action, il s'occupe notamment des relevés topographiques utilisés par tous les différents acteurs. On y trouve également la *BBS* ou *Burundi Backbone System*, qui s'occupe du déplacement et le renouvellement de la fibre optique le long de la route. La REGIDESO, quant à elle, s'occupe du déplacement des poteaux électriques déjà présents à proximité de la voirie.

Cette réunion a été mise en place, car un problème a été relevé. Le choix du repère de la voie a été modifier, par exemple les mesures prises pour l'emplacement des poteaux est erroné. En effet, pour ce genre de travaux les topographes choisissent un point de repère, comme le côté ouest de l'ancienne route pour ensuite les communiqués au autre service.

9.1 Conclusion, observation et interprétation

Passer cette journée avec les différents acteurs nécessaire a la réalisation d'un projet de grande ampleur ma permis de découvrir une organisation différente de celle du quotidien du stage. Les différents acteurs présents ont chacun un objectif dans ce projet et doivent s'organiser afin de travailler efficacement. Les ingénieurs ont également leur rôle à jouer, pour une bonne communication, ils doivent se mettre d'accord sur des standards de communication, être polyvalent pour comprendre les enjeux électrique/électrotechnique, le réseau informatique, la construction, les conduites hydrauliques/domaine civile même si ce n'est pas leur domaine d'étude. Il faut ainsi savoir déléguer les tâches qui seront un mixte de différent ingénieur et jongler entre les différentes étapes et acteurs. La réalité

13. Agence de PROMOTION DES INVESTISSEMENTS (API). *Infrastructures de transport : Réhabilitation de la Route Nationale 3 (RN3) Bujumbura-Rumonge*. Document officiel du Gouvernement du Burundi. Projet de modernisation de la route longeant le lac Tanganyika. 2022.

du terrain est savoir s'adapter à différente situation comme différent environnement ou ingénieur qui apporte parfois de nouveau problème

10 Jusqu'aux abonnés

Au Burundi, chaque quartier possède son compteur et sa protection à proximité du transformateur de distribution BT. Chaque abonné possède son compteur électrique et la recharge peut se faire par téléphone mobile ou dans les points de vente. C'est une branche différente qui s'occupe du raccordement jusqu'aux abonnés. Pour ce qui est des installations électriques, elles sont réalisées par un électricien au choix et vérifiées par après. Pour les entreprises, comme expliqué dans la sous-section **poste Nord** la REGIDESO s'occupe de l'étude de faisabilité du projet et de l'adaptation des installations déjà présentes.

10.1 Conclusion, observation et interprétation

Dans le cadre du stage, il n'y a pas eu de visite de l'installation d'un abonné, mais un problème majeur a été partagé. Lors du raccordement d'un nouvel abonné, il n'y a pas de vérification sur l'équilibre entre les phases. Ce qui est l'une des raisons principales de la casse des transformateurs de distribution. Régler ce problème est d'une grande complexité. À ce jour, il n'y a pas de solution mise en place et il n'y en aura probablement pas encore si le SCADA compte être installé premièrement sur les installations HT/MT.

11 Conclusion

En conclusion, ce stage de 6 semaines à l'étranger dans la société publique de la REGIDESO m'a beaucoup appris. Il a largement contribué à mon apprentissage de la vie en entreprise. J'ai été immergé dans le travail d'une dizaine d'ingénieurs compétents et ouverts au partage. Il m'a montré l'organisation d'une société publique et les problématiques de ce statut, ainsi que la gestion dans un secteur aussi critique. J'ai pu observer le travail d'ingénieur de plein de secteurs différents dans leur quotidien et leur relation avec d'autres travailleurs. Cela a nourri mon inspiration pour futur en tant qu'ingénieur.

Le contexte opérationnel n'a pas permis la concrétisation d'un projet de conception pur, mais mon immersion a permis de réaliser un audit critique des infrastructures et des processus de maintenance. Cependant j'ai pu voir des travaux typiques et j'en ai tiré des leçons.

Chaque réseau et chaque pays ont leurs défis à relever. Ce rapport a décrit de manière simple le fonctionnement à chaque étape et proposé différentes solutions aux problèmes observés. À compter de l'écriture de ce document, nous sommes à un moment clé de l'évolution du réseau burundais. Le but de ce rapport est de faire un bon état des lieux, les problématiques auxquelles la REGIDESO fait face sont nombreuses, mais j'espère que ce condensé d'observations et de conclusions a pu faire justice à la réalité du terrain.

12 Bibliographie

Références

- COPA-DATA. *Zenon Software Platform*. Logiciel de monitoring et contrôle-commande utilisé par la REGIDESO. 2026. URL : <https://www.copadata.com>.
- IEC. *IEC 60870-5-101 : Telecontrol equipment and systems - Part 5-101 : Transmission protocols - Companion standard for basic telecontrol tasks*. Norme de télécommunication citée pour la redondance au dispatching. International Electrotechnical Commission. 2003.
- *IEC 60870-5-104 : Telecontrol equipment and systems - Part 5-104 : Transmission protocols - Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles*. Utilisé pour le système SCADA via TCP/IP. International Electrotechnical Commission. 2006.
- MEGGER. *MIT515, MIT525, MIT1025, MIT1525 : 5 kV, 10 kV and 15 kV DC Insulation Resistance Testers*. Manuel d'utilisation technique pour les tests d'isolement. Megger Group Limited. 2021.
- MONDIALE, Banque. *Burundi : Projet d'Énergie Solaire dans les Communautés Locales (SOLEIL)*. Objectif d'accès universel à l'électricité à l'horizon 2040 au Burundi. World Bank Group, 2020. URL : <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P164438>.
- NELSAP-CU. *Regional Rusumo Falls Hydroelectric Project (RRFHP)*. Rapp. tech. Nile Equatorial Lakes Subsidiary Action Program, 2023. URL : <https://rusumoproject.org>.
- POTEL, Barnabé. « Evolution du mécanisme de délestage fréquence-métrique ». Thèse de doctorat. Grenoble, France : Université Grenoble Alpes, 2020. URL : <https://theses.hal.science/tel-03045641>.
- PROMOTION DES INVESTISSEMENTS (API), Agence de. *Infrastructures de transport : Réhabilitation de la Route Nationale 3 (RN3) Bujumbura-Rumonge*. Document officiel du Gouvernement du Burundi. Projet de modernisation de la route longeant le lac Tanganyika. 2022.
- SASAC. *A bird's-eye view of the Ruzibazi hydropower station in Burundi*. Consulté le 15 mai 2026. 2022. URL : http://en.sasac.gov.cn/2022/06/17/c_13806.htm.
- WIKIPEDIA. *REGIDESO (Burundi)*. Vérification de la date de fondation (1962) et de l'historique. 2024. URL : [https://fr.wikipedia.org/wiki/REGIDESO_\(Burundi\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/REGIDESO_(Burundi)).

13 Annexes

Maître de stage : Niyonzima Françoise [REDACTED] Date: 24/04/26
Tuteur/Tutrice : Joseph Désiré CHAMASSI TOWO [REDACTED]
Etudiant: Nzorubara Elisée [REDACTED]
Adresse : Avenue de la Révolution B.P 1 660 BUJUMBURA(Burundi) Entreprise : REGIDESO
Période de stage : du 7/04/2026 au 15/05/2026

Note d'activités

Objectif général	Objectifs spécifiques
Découverte de l'entreprise	Présentation et découverte de la REGIDESO - Production, transport, distribution de l'énergie et distribution de l'eau - Visite des différents sites (poste, central, atelier) - Rencontre avec les différents membres du personnel
Découverte du métier d'ingénieur	Rencontre avec les ingénieurs qui conçoivent et étudient les projets jusqu'à leur réalisation - exemple : Atelier, poste HT/MT, Centrale
Participation à des projets	Participation à la réalisation d'un devis pour l'électrification d'une localité avec l'équipe "Équipement".

Signature de l'étudiant-e [REDACTED]
Signature du/de la maître de stage [REDACTED]

FIGURE 12 – Note d'activité



Déclaration sur l'honneur sur le respect des règles de référencement et sur l'usage des IA génératives dans le cadre du stage

Je soussigné(e), Nzorubara Elisée, étudiant en 3e Bachelier en Sciences de l'Ingénieur Industriel à l'ECAM, déclare sur l'honneur que toutes les sources utilisées dans le cadre de mon rapport de stage respectent les règles de référencement telles que prévues dans les articles 95 et 96 du règlement des études de la Haute École ICHEC-ECAM-ISFSC et explicitées dans le guide de rédaction TFE.

Extraits de l'article 95 et 96 du règlement des études de la HE ICHEC-ECAM-ISFSC :

« Dans tous les cas, l'usage d'un logiciel tel que ChatGPT ou de tout autre logiciel d'intelligence artificielle ne peut aboutir à une substitution complète ou partielle de la production personnelle de l'étudiante ou de l'étudiant, sous peine d'une sanction académique.

Dans tous les cas, l'étudiante ou l'étudiant devra obligatoirement mentionner le recours à toute forme d'intelligence artificielle dans le cadre d'un travail et préciser l'usage qu'elle ou il en a fait, sous peine de s'exposer aux sanctions prévues à l'article suivant. L'étudiante ou l'étudiant devra également fournir les prompts (requêtes) utilisés, afin de garantir la transparence du processus de production et de permettre une évaluation éclairée du travail rendu. »

« Chaque travail produit par l'étudiante ou l'étudiant de manière individuelle ou en groupe devra donc respecter les règles de référencement En cas de non-respect de celles-ci, l'étudiante ou l'étudiant sera poursuivi pour plagiat, qui pourra ... donner lieu aux sanctions prévues dans ce cadre »

Extrait du guide de rédaction TFE :

« **Utilisation de l'IA générative comme outil de génération de texte** : Cette utilisation de l'IAGen doit être référencée dans le texte et dans la bibliographie »

Les outils d'intelligence artificielle générative ont été utilisés de manière éthique et responsable pour les finalités suivantes :

Type d'utilisation de l'IA générative		Case à cocher
Aucun recours à l'IA		
Recherche d'information	Utilisation comme outil de recherche afin d'explorer une thématique et de repérer des sources et contenus pertinents	
Assistance à la révision du texte	Utilisation d'un outil IA pour corriger l'orthographe, la grammaire, et/ou la syntaxe du texte	X
	Reformulation d'un texte personnel au moyen d'une IA	X
Aide à la génération de texte	Génération d'un contenu avec une IA, retravaillé de manière personnelle par la suite	
	Génération complète d'une partie de texte avec une IA, sans contribution personnelle	
Aide à la traduction de texte	Utilisation de l'IA pour la traduction d'un texte qui n'est pas inclus dans le travail	
	Utilisation de l'IA pour traduire un texte intégré dans le travail	
Assistance à la réalisation de visuels	Utilisation de l'IA afin d'élaborer des visuels, graphiques ou images	
Autres usages : Assistance technique au codage (LaTeX)	Génération de macros de liens (\visibleref), résolution de conflits de packages, et mise en page d'environnements d'images complexes (subfigure, angle=90).	X

FIGURE 13 – déclaration sur l'honneur décrivant l'utilisation de l'IA générative



Les outils d'IA utilisés dans le cadre de ce travail sont les suivants (à compléter) :

- Modèle étendu Gemini (Google) / OpenAI.
- LanguageTool (Logiciel de correction orthographique et grammaticale open-source). LTeX+ (Extension VS Code d'intégration de LanguageTool pour les fichiers LaTeX).

Je m'engage à respecter ces déclarations et à fournir toute information supplémentaire requise concernant l'utilisation des IA dans ce travail :

- J'ai mis en annexe les questions types posées à l'IA.
- Je constitue un dossier reprenant l'ensemble des questions et réponses obtenues de l'IA et j'insère le lien de partage dans mon rapport de stage.
- Je peux expliquer quel type d'assistance j'ai utilisé et dans quel but.

Fait à Bujumbura (Burundi), le 17 mai 2026

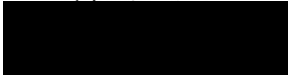
Signature : 

FIGURE 14 – déclaration sur l'honneur décrivant l'utilisation de l'IA générative