



ETUDE DU SYSTEME DE COMPTAGE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE CONSOMMEE PAR LE SYSTEME DE CABLE DE GARDE ISOLE

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER SPECIALISE EN GENIE ELECTRIQUE
ENERGETIQUE ET ENERGIE RENOUVELABLE**

OPTION : PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'ELECTRICITE

Présenté par:

Larba DIPAMA

Travaux dirigés par : **Bapio BAYALA**

Enseignant, Chercheur 2iE.

Alassane TIEMTORE

Directeur technique de ARSE

JURY D'EVALUATION DU STAGE :

Membres et correcteurs :

-Henri KOTTIN

- Ulrich COMPAORE

Promotion 2011/2012



DEDICACE

A

- Dieu le tout puissant, pour son immense bonté, sa miséricorde et sa grâce infinie qui se renouvelle chaque matin pour nous,
- Mes défunts parents pour leurs bénédictions,
- Mon épouse DIPAMA/SANOUE Jacqueline pour tout son amour, son soutien et sa patience durant toutes ces années; que DIEU te comble de sa grâce infinie.
- Mes enfants : Wend Toing Grâce Rebecca, Wend So Jonathan, Delwendé Ruth, Wenddata Elischeba pour leur amour et leur soutien.

*QUE DIEU VOUS COMBLE ABONDAMMENT DE SES RICHES
BENEDICTIONS.*

Larba DIPAMA

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre gratitude à toutes les personnes qui nous ont apporté des appuis multiformes pour la réalisation définitive du présent document. Nos remerciements vont à l'endroit de :

- **Monsieur Bapio BAYALA**, notre professeur de suivi,
- **Monsieur Alassane TIEMTORE**, Directeur Technique de l'Autorité de Régulation du Secteur de l'Electricité (ARSE),
- **Monsieur Raouda OUEDRAOGO**, Directeur Régional du Nord SONABEL, pour sa directive et longue séance d'encadrement,
- **Monsieur Dieudonné BANHORO**, pour sa disponibilité et son aide précieuse sans laquelle ce mémoire n'aurait jamais été,
- **Madame OUEDRAOGO née KIENOU** pour sa grande disponibilité et son dévouement à la cause de la formation à distance,
- **Madame OUEDRAOGO née DRABO Carine** pour son soutien,

Enfin, nous disons merci à tous nos camarades de classe avec qui nous avons eu des bons moments de travail intense.

RESUME

L'alimentation électrique par le système de fil de garde est un concept nouvellement expérimenté pour la première fois au Burkina Faso. Cela permet d'électrifier les localités situées sur le long du parcours de la ligne d'interconnexion électrique entre les villes de Ouagadougou et de Bobo - Dioulasso; sans construction de poste de transformation HTB/HTA et HTA/BTA qui s'avère très onéreux.

Au Burkina Faso, ce type d'électrification (Electrification rurale) est pris en charge par la Société Nationale d'électricité du Burkina (SONABEL) et par le Fonds de Développement de l'Electricité (FDE), qui organisent les populations bénéficiaires en Coopérative d'Electricité (COOPEL) .Les COOPEL achètent l'énergie avec la SONABEL et la revend à sa clientèle, et cette énergie est enregistrée avec un compteur SL 7000 dans le cas du réseau triphasé. Avec le système de fil de garde, le comptage classique par le compteur SL 7000 ne peut pas enregistrer l'énergie consommée, compte tenu du retour à la terre du troisième conducteur.

Notre travail a consisté à une recherche de comptage qui sied pour le comptage d'énergie livrée à la COOPEL. Après avoir décrit brièvement le fonctionnement du système de fil de garde et le comptage classique actuel, nous proposerons un autre système de comptage qui permettra d'appréhender l'énergie transitée.

Mots clés :

-
1. COOPEL
 2. FDE
 3. HTB
 4. HTA
 5. BTA
 6. SL 7000

ABSTRACT

The electric feed by the lightning conductor system of villages that are located on the Ouagadougou- Bobo-Dioulasso interconnexion network is a concept that has been experimented for the first time in Burkina Faso.

This enables the electrification of the areas that are located all along the high tension 225 KV ; it does not necessitate the building of high tension or low tension transforming substation which is costly. In Burkina Faso, this type of electrification (electrification of rural areas) is sponsored by the National Electricity Company (SONABEL) and the fund for the Development of Electricity (FDE). They help the populations who benefit by it to create Electricity Cooperatives (Elco). These cooperatives buy energy from SONABEL and sell it their clients ; and this energy is recorded on a SL 7000 meter in the case of the three-phase network with the lightning conductor system, the ordinary counting by the SL 7000 meter can not record the energy that is consumed because of the third earth-wire .

Our task consists in finding the appropriate counting for the energy supplied to the various Electricity Cooperatives that are located all along the Ouagadougou - Bobo Dioulasso inter connected network.

After a short description of the functioning of the lightning conductor system and of the current ordinary counting, we will propose a new counting system which will enable the record of the energy supplied.

Key words :

-
1. COOPEL
 2. FDE
 3. HTB
 4. HTA
 5. HTA
 - 6 . SL 7000

LISTE DES ABREVIATIONS

COOPEL :	<i>Coopérative d'électricité</i>
SCDGI :	<i>Système de Câble de Garde Isolé</i>
HTA :	<i>Haute Tension de catégorie A</i>
SONABEL :	<i>Société Nationale d'Electricité du Burkina</i>
FDE :	<i>Fond de Développement de l'Electricité</i>
LPDE :	<i>Lettre de Politique de Développement de l'Energie</i>
PASE :	<i>Projet d'Appui aux Services Energétiques</i>
TP :	<i>Transformateur de Potentiel</i>
TC :	<i>Transformateur de Courant</i>
MB SLAVE :	<i>Esclave</i>
MB MASTER :	<i>Maître</i>

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX	9
INTRODUCTION	11
OBJECTIF DU TRAVAIL.....	13
II.1. ELECTRIFICATION PAR SYSTEME DE CABLE DE GARDE ISOLE	14
II.1.1 ROLE DU CABLE DE GARDE.....	14
II.1.2 BUT VISE PAR L'UTILISATION DU SYSTEME DE CABLE DE GARDE ISOLE.....	14
II.1.3 CONCEPTION DU SYSTEME DE CABLE DE GARDE ISOLE.....	14
II.2 DESCRIPTION DU SCDGI DE LA LIGNE D'INTERCONNEXION ELECTRIQUE OUAGADOUGOU . BOBO DIOULASSO	15
III. MATERIELS ET METHODES	16
III.1 METHODE CLASSIQUE DE COMPTAGE	16
III.1.1 DESCRIPTIONS DES METHODES CLASSIQUES DE COMPTAGES.....	16
III.1.2 LES COMPTEURS ELECTROMECHANIQUES	18
III.1.3 LES COMPTEURS NUMERIQUES.....	22
III.1.3.1. LE COMPTEUR SL7000.....	22
III.2 COMPTAGE PAR CENTRALE DE MESURE	23
III.2.1 CARACTERISTIQUE TECHNIQUE DE LA CENTRALE DE MESURE.....	24
III.2.1.1 LE NOMBRE DE VALEURS MESUREES.....	24
III.2.1.2 LA MEMOIRE INTERNE.....	24
III.2.1.3 LES ENTREES ANALOGIQUES.....	24
III.2.1.4 LA PRECISION.....	24
III.3 INTERFACES ET PROTOCOLES.....	24
III. 4 ARCHITECTURE DU SYSTEME	25
III.5 DESCRIPTION DES ELEMENTS DE LA CENTRALE DE MESURE.....	26
III.5.1 L'AUTOMATE PROGRAMMABLE S7 1200.....	27
III.5.1.1 MODE DE FONCTIONNEMENT	28
III.5.1.2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES	29
III.5.2 LE COMPTEUR MONOPHASE PAC 615.....	30
III.5.3 LES TRANSFORMATEURS DE COURANT ET DE TENSION	30
III.5.3.1 LE TRANSFORMATEUR DE COURANT (T.C).....	30

III.5.3.2 LE TRANSFORMATEUR DE TENSION (T.P).....	31
III.5.4 AFFICHEUR NUMERIQUE MONOCHROME KTP 400.....	32
III.5.4.1 DESCRIPTION.....	32
III.5.4.2 MODES DE FONCTIONNEMENT.....	33
III.5.4.2.1 MODE DE FONCTIONNEMENT "HORS LIGNE"	33
III.5.4.2.2 MODE DE FONCTIONNEMENT "EN LIGNE"	33
III.5.4.2.3 MODE DE FONCTIONNEMENT "TRANSFERT".....	34
III.5.4.3 CARACTERISTIQUE TECHNIQUE	34
IV. RESULTATS	35
V. DISCUSSIONS ET ANALYSES	38
VI RECOMMANDATIONS.....	40
VII. EVALUTION FINANCIERE DU PROJET	41
1. EVALUATION FINANCIERE DU COMPTAGE ACTUEL.....	41
VIII CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Cadre de devis estimatif du comptage double tarif basse tensioní í í í í í í í 41

Tableau 2 : Cadre de comptage double tarif haute tensioní í í í í í í í í í í í í í í í .42

Tableau 3 : Instruction de paramétrage de l'automate S7 1200í í í í í í í í í í í í í í í ..47

Tableau 4 : Instruction des esclavesí .48

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Electrification par SCDGI le long de la ligne d'interconnexion électrique 225kV Bobo-Dioulasso . Ouagadougou	15
Figure.2: Disposition typique des circuits de distribution du SCDGI triphasé dans les villages, montrant la mise-à-terre indépendante des réseaux MT et BT.	16
Figure.3 : Compteur Triphasé.....	18
Figure 4 : Schéma de branchement d'un compteur triphasé	20
Figure 5 : Schéma de branchement d'un compteur BT avec un transformateur de courant.	21
Figure 6 : Schéma de branchement d'un compteur HTA avec un transformateur de courant..... et de potentiel	21
Figure 7 : Compteur électronique SL7000	22
Figure 8 : Schéma simplifié de montage d'une centrale de mesure.....	27
Figure 9 : Automate programmable S7 1200	28
Figure 10: Vue du compteur PAC615.....	30
Figure 11: Transformateur de courant	31
Figure 12: Transformateur de Potentiel	32
Figure 13: Afficheur Numérique.....	32
Figure 14: Mesure de la tension	35
Figure 15: Mesure de la fréquence.....	36
Figure 16: Schémas de montage.....	36
Figure 17: Mesure de la puissance active.....	37
Figure 18: Mode de sélection du module de communication.....	46
Figure 19: Paramètre de configuration de l'automate.....	47
Figure20: Configuration des esclaves.....	48
Figure21:Graffct 1.....	49
Figure 22: Etape de transition de l'automate.....	50
Figure 23: Circuit de commande de la centrale de mesure	51
Figure 24: Circuit de commande des compteurs, de l'automate et de l'afficheur numérique	52
Figure 25: Circuit de puissance	53
Figure 26: Capture d'écran de l'afficheur numérique.....	54
Figure 27: Transformateur 100kva sur le réseau de Sabou	54
Figure 28: Comptage triphasé basse tension réseau de Sabou	55
Figure 29: TC et TP pour le comptage coté HTA réseau de Sabou.....	55
Figure 30: Montage pratique en laboratoire	56
Figure 31: Système de comptage autre fois utilisée en chine.....	57
Figure 32: Valise d'injection de courants déséquilibrés	58
Figure 33 : Transformateur 5 MVA alimentant le système au poste de SONABEL Kodené de Bobo Dioulasso	59

INTRODUCTION

Alors que l'électricité est actuellement une condition incontournable pour l'amélioration de la qualité de vie des populations dans le cadre du développement humain durable, au Burkina Faso plus de dix millions de personnes n'ont pas encore accès à l'électricité¹. Ces personnes résident principalement en zone rurale². L'énergie est une clef du développement socio-économique de tout pays. Aussi, l'accès du plus grand nombre à l'électricité est-il devenu un défi majeur pour l'Etat burkinabé.

Le Gouvernement a fait du secteur de l'énergie une priorité dans sa politique globale et cela a conduit à l'élaboration d'une Lettre de Politique de Développement de l'Énergie (LPDE) adoptée en Conseil des Ministres en décembre 2000.

La LPDE a donc proposé une profonde réforme du secteur que le Gouvernement a décidé de mettre en œuvre.

Elle résume la politique du secteur de l'énergie qui vise principalement trois (03) points que sont :

- Doper la croissance économique et réduire la pauvreté grâce à un approvisionnement régulier de la population en produits énergétiques à moindre coût ;
- Libéraliser le secteur et jouer un rôle de régulateur à travers une autorité de régulation du secteur ;
- Développer l'électrification rurale afin de réduire la pauvreté par un développement socio-économique et social des zones rurales, améliorer la qualité de vie en milieu rural et freiner l'exode rural.

Pour le dernier point à savoir l'électrification rurale, la stratégie adoptée se fixe comme objectif, de contribuer à la transformation du monde rural par l'amélioration des conditions de vie, de l'augmentation de la productivité des entreprises et activités rurales.

Pour atteindre cet objectif, la stratégie d'électrification rurale s'appuie et s'attache à développer les points suivants :

- Situer l'électrification rurale dans une perspective de développement économique et social durable par une exigence de reproductibilité, de viabilité technique, économique et financière dans le montage des opérations et par la recherche de synergies avec les autres services marchands et sociaux ;
- Impliquer le secteur privé, le secteur associatif et les collectivités territoriales en position d'acteurs moteurs de l'électrification rurale ;

¹ *Document sur la politique énergétique du BF*

² *Vision 2020 de l'accès aux services énergétiques modernes*

- Promouvoir les solutions techniques à moindre coût adaptées aux besoins et conditions locales.

Les principaux acteurs chargés de la mise en œuvre de l'électrification au Burkina Faso, sont la Société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL) et le Fonds de Développement de l'Électrification (FDE). La SONABEL est l'opérateur principal ayant au niveau national, le monopole de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique dans les centres urbains. Le second acteur, le FDE créé en 2003 par le Ministère en charge des Mines, des Carrières et de l'Énergie a pour rôle essentiel la mise en œuvre de la politique en matière d'électrification rurale.

Dans la politique d'électrification rurale par le FDE, l'approvisionnement des localités en électricité se fait soit par groupe électrogène, soit par raccordement avec le réseau national de la SONABEL entre autre.

Dans le souci d'accroître la productivité à travers l'électrification et la gestion rationnelle de l'énergie, il s'agira de fournir de l'énergie à bas coût du réseau interconnecté de la SONABEL aux localités situées le long du parcours des lignes. C'est ainsi que la SONABEL a adopté l'électrification par Système de Câble de Garde Isolé (SCDGI) à partir de la ligne d'interconnexion électrique HTB en 225 kV reliant les villes de Bobo-Dioulasso et Ouagadougou. Du fait de l'achat de l'énergie électrique par la COOPEL, la SONABEL installe un système de comptage sur le réseau HTA afin de facturer la consommation totale. Pour ce qui est du SCDGI, le système de comptage connaît quelques difficultés d'où une solution onéreuse est adoptée en ce moment dans la localité de Sabou.

Dans l'optique donc de proposer au FDE, un système de comptage qui sied avec le SCDGI, de trouver le système de comptage qui prendra en compte la consommation réelle du système, nous avons souhaité nous pencher sur le thème « **Etude du Système de comptage de l'énergie électrique consommée à partir du câble de garde isolé (SCDGI) à Sabou** ».

OBJECTIF DU TRAVAIL

Le Burkina Faso vise à travers le PASE (Projet d'Appui aux Services Energétiques), l'amélioration des services énergétiques modernes en zones rurales, péri urbaines et urbaines, en vue d'accroître la productivité à travers l'électrification et la gestion rationnelle entre autres.

Ainsi, il s'agira de fournir de l'énergie à bas coût du réseau interconnecté de la SONABEL aux villages, petites villes le long du parcours des lignes. Les projets d'électrification rurale ne pouvant pas être justifiés économiquement par des solutions conventionnelles, car au départ il nécessite des investissements très lourds difficiles à rentabiliser. C'est pourquoi, sans subvention publique, l'électrification rurale n'est pas économiquement viable. Consciente de cet état de fait, la SONABEL a adopté l'électrification par Système de Câble de Garde Isolé (SCDGI) à partir d'une ligne HTB 225kV reliant les villes de Bobo-Dioulasso et Ouagadougou. Ce qui a permis l'électrification d'une localité KOUMBIA située à une soixantaine de kilomètres de Bobo-Dioulasso par la SONABEL et une autre SABOU à moins d'une centaine de kilomètres de Ouagadougou en une tension de 34,5 kV par le FDE.

Le FDE conformément à sa politique d'électrification rurale organise les populations bénéficiaires en coopérative d'électricité (COOPEL) qui achète l'énergie électrique avec la SONABEL pour la revendre à leurs membres pour les systèmes raccordés au réseau national; car possédant une concession de vente d'électricité délivrée par le Ministère en Charge de l'énergie.

Cet achat de l'énergie nécessite une relation contractuelle entre la SONABEL et la COOPEL qui se traduit par une quantification de l'énergie consommée d'où la mise en place d'un système de comptage.

Or à travers le Système d'alimentation par le Câble De Garde Isolé (SCDGI), le concepteur n'avait pas prévu l'installation d'un système de comptage. Ce contexte nous amène à réfléchir sur l'analyse du système de comptage actuel (usuel) de sorte à garantir un comptage efficace et approprié au SCDGI.

L'objet de ce présent projet est donc l'étude du système de comptage de l'énergie consommée à travers le système de câble de garde isolé afin de permettre :

- l'adaptation du SCDGI à notre contexte d'électrification rurale par interconnexion au réseau national par une structure autre que la SONABEL ;
- la mise en œuvre d'un système de comptage de l'énergie consommée sur le réseau HTA ;
- éventuellement l'appui à une gestion efficace et rationnelle de l'énergie consommée.

II.1. ELECTRIFICATION PAR SYSTEME DE CABLE DE GARDE ISOLE

II.1.1 ROLE DU CABLE DE GARDE

Les câbles de garde ne transportent pas le courant, ils sont situés au-dessus des conducteurs. Ils jouent un rôle de paratonnerre au-dessus de la ligne, en attirant les coups de foudre pour éviter une éventuelle surtension au niveau des conducteurs. Ils sont en général réalisés en alu-méc-acier. Au centre du câble de garde on place parfois un câble en fibre optique qui sert à la communication de l'exploitant et au transfert de données.

La section des câbles de garde varie selon le niveau de tension. Lorsqu'ils servent de protection contre les surtensions et les coups de foudre, ils sont posés tendu sur des ferrures conçues à cet effet mais lorsqu'ils sont utilisés dans le transport de l'énergie électrique, ils sont isolés par rapport aux ferrures à l'aide d'un isolateur classique appelé éléments de chaînes ou capots tiges.

Avec l'évolution de la technologie d'autres concepts ont été créés autour du câble de garde telle que le transport et la distribution de l'énergie électrique. Ce nouvel concept appelé Système d'Alimentation par Câble de Garde Isolé (S.C.D.G.I) est appliqué dans plusieurs pays en voie de développement tels que le Ghana, le Liberia, etc. Le Burkina Faso est en phase d'expérimenter ce nouveau système.

II.1.2 BUT VISE PAR L'UTILISATION DU SYSTEME DE CABLE DE GARDE ISOLE

Le Système de Câble De Garde Isolé est intéressant pour les projets d'électrification rurale qui ne peuvent pas être justifiés économiquement par des solutions conventionnelles (postes HT/MT ou longues lignes MT avec tracé parallèle aux lignes HT). A titre d'exemple une ligne moyenne tension conventionnelle coûterait pour un niveau de tension de 33kV environ 17 millions. Plus les villes sont éloignées des points de raccordement plus le coût de raccordement est élevé.

II.1.3 CONCEPTION DU SYSTEME DE CABLE DE GARDE ISOLE

Les Systèmes de Câble De Garde Isolé consistent à:

- Isoler pour l'exploitation en HTA le(s) câble(s) de garde dans les pylônes de la ligne HTB à l'aide d'éléments appropriés tels que les isolateurs capots tiges,
- Alimenter le(s) câble(s) de garde isolé(s) en HTA (34.5kV) à partir du poste de transformation HTB/HTA à une extrémité de la ligne HTB,
- Utiliser le retour du courant par la terre dans tous les cas,

- Alimenter les charges au moyen des transformateurs de distribution HTA/BTA branchés entre le(s) câble(s) de garde isolé(s) et la terre. Des condensateurs de re-phasage non symétriques (C_{w1-0} , C_{w2-0} , C_{w1-w2} ,) équilibrent aussi les courants capacitifs dans les câbles de garde isolés.

II.2 DESCRIPTION DU SCDGI DE LA LIGNE D'INTERCONNEXION ELECTRIQUE OUAGADOUGOU ó BOBO DIOULASSO

Une ligne d'interconnexion électrique entre les villes de Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso a été réalisée en une tension HTB de 225 kV. Elle a pour vocation d'acheminer l'énergie électrique depuis la ville de Ferkéssédougou en République de Côte D'Ivoire jusqu'à Ouagadougou au Burkina Faso. Pour optimiser l'exploitation de la ligne, il a été jugé utile d'alimenter les localités traversées par cette ligne à moindre coût par la technique de l'électrification par SCDGI. Cette électrification est réalisée aussi bien par la SONABEL que par le FDE dans le cadre de l'électrification rurale.

Le schéma ci-contre donne une idée du schéma d'alimentation prévue le long de la ligne d'interconnexion électrique 225 kV.

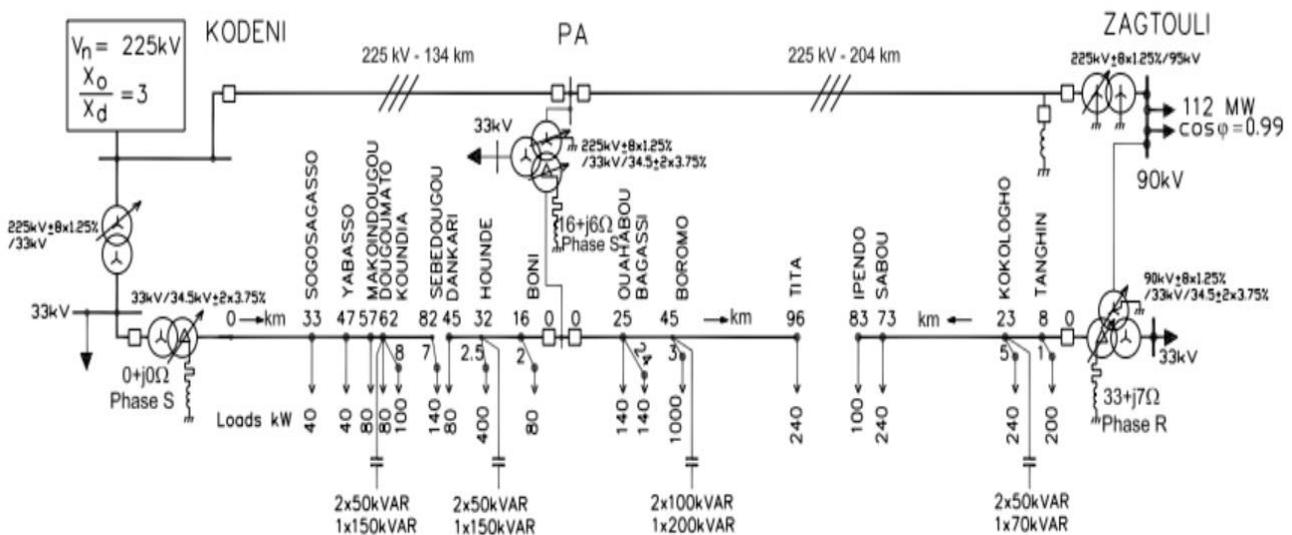


Figure 1 : Electrification par SCDGI le long de la ligne d'interconnexion électrique 225kV Bobo-Dioulasso ó Ouagadougou

La ligne dispose de trois (03) postes sources (225kV/33kV) situés à Kodéni (à Bobo-Dioulasso), à Pâ (entre Bobo-Dioulasso et Ouagadougou) et à Zagtouli (à Ouagadougou). Des transformateurs (33kV/34,5kV/5MVA) installés dans les postes serviront de source de raccordement à ces différentes localités. La tension 33kV passe par le transformateur de puissance 5 MVA et remonte

par les deux fils de garde pour desservir les différentes localités tout le parcours de la ligne. Chaque transformateur ne peut couvrir qu'une longueur totale de 100 km.

Ainsi le transformateur de Kodeni situé dans la localité de : Bobo-Dioulasso couvrira les localités de Sogosagasso, Yabasso, Makoyadougou, Dougoumato, Koumbia, Sébédougou sur une longueur totale de 82 km.

Le transformateur de Pa couvrira les localités de: Dankari, Houndé, Boni, Ouahabou, Bagassi, Boromo, Tita, Soune soit une longueur totale de 96 km.

Le transformateur de Zagtoui couvrira les localités de: Ipendo, Sabou, Kokologo, Tanghin-Dassouri soit une longueur totale de 83 km. Parmi les localités desservies, certaines sont gérées par des coopératives d'électricité. C'est le cas de Sabou, n'étant pas sous la tutelle de SONABEL, la coopérative achète l'énergie avec la SONABEL et la revend aux populations rurales. Ce qui nécessite la pose d'un comptage sur la moyenne tension afin de comptabiliser l'énergie livrée.

La SONABEL rencontre un problème de comptage avec le système d'électrification de la localité du côté moyenne tension, et a ainsi procédé au comptage du côté basse tension. Cette situation présente un comptage onéreux du fait que chaque transformateur HT/BT nécessite un compteur.

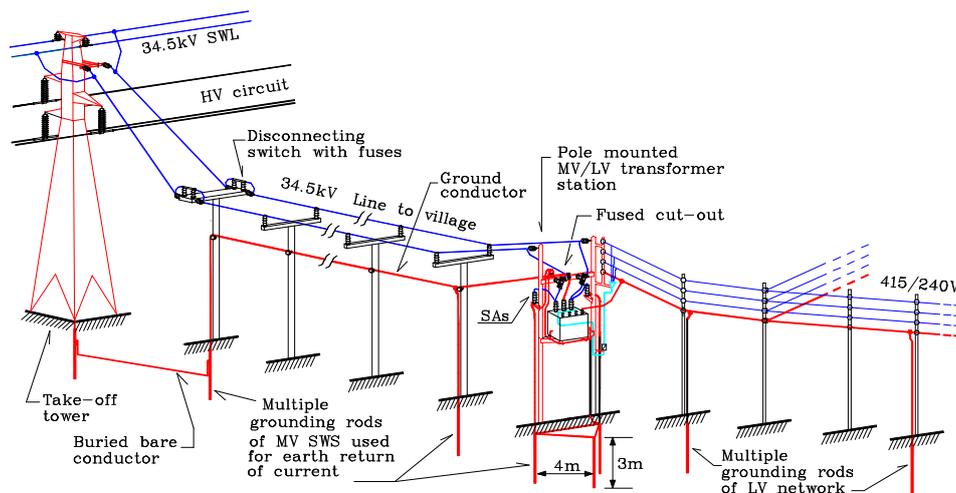


Figure.2: Disposition typique des circuits de distribution du SCDGI triphasé dans les villages, montrant la mise-à-terre indépendante des réseaux MT et BT.

III. MATERIELS ET METHODES

III.1 METHODE CLASSIQUE DE COMPTAGE

III.1.1 DESCRIPTIONS DES METHODES CLASSIQUES DE COMPTAGES

L'énergie produite par la SONABEL est transmise aux clients par l'intermédiaire de compteurs qui enregistrent les consommations de ces derniers pour ensuite être facturées. Ils existent trois (03) types de comptage à la SONABEL que sont :

- le comptage BTA (Basse tension) ;
- le comptage HTA/BTA (Haute tension / Basse tension) ;
- le comptage HTA (Haute tension).

LES COMPTAGES BASSE TENSION (BTA)

Ils se subdivisent en deux groupes :

- Les comptages simple tarif dont l'énergie consommée est enregistrée par des compteurs ordinaires pour des intensités comprises entre 3 et 30 A en monophasé et en triphasé,
- Les comptages double tarif dont l'intensité est supérieure à 30A.

Pour ce cas de figure le client alimenté, est situé à quelques mètres du poste de distribution public et que la puissance demandée n'excède pas quelques kilowatts.

LES COMPTAGES (HTA/BTA)

Ce type de comptage est généralement utilisé pour les clients privés dont l'alimentation en énergie électrique nécessite la construction d'une ligne moyenne tension et d'un poste de transformation. Ils peuvent être près d'un réseau électrique ou même très éloigné.

Ces deux (02) types de comptages sont autorisés lorsque la puissance installée n'excède pas 1250 KVA, au delà de cette puissance il faut nécessairement faire un autre type de comptage du coté HTA.

LES COMPTAGES HTA (HAUTE TENSION)

Lorsque la puissance installée est supérieure à 1250 KVA, le comptage est réalisé du coté HTA avec des équipements spéciaux tels que les cellules de comptages. Ce type de comptage est utilisé en industrie dont les besoins en puissance est supérieure à plusieurs KVA. Cette possibilité donne la latitude aux clients d'installer plusieurs transformateurs selon ses besoins avec un seul compteur d'énergie placé au poste de livraison.

Les compteurs utilisés pour ces trois (03) types de comptages sont :

- les compteurs électromécaniques monophasés;
- les compteurs électromécaniques triphasés ;
- les compteurs numériques.

III.1.2 LES COMPTEURS ELECTROMECHANIQUES

LES COMPTEURS TRIPHASES

CONSTITUTION

Les compteurs utilisés sont du type monophasé ou triphasé. Pour les triphasés, ils sont constitués des mêmes éléments que les compteurs monophasés, mais à la différence de ceux-ci, ils comportent deux (02) ou trois (03) bobines tension et intensité. Leur équipement mobile est constitué soit d'un disque, soit de deux ou trois disques solidaires.

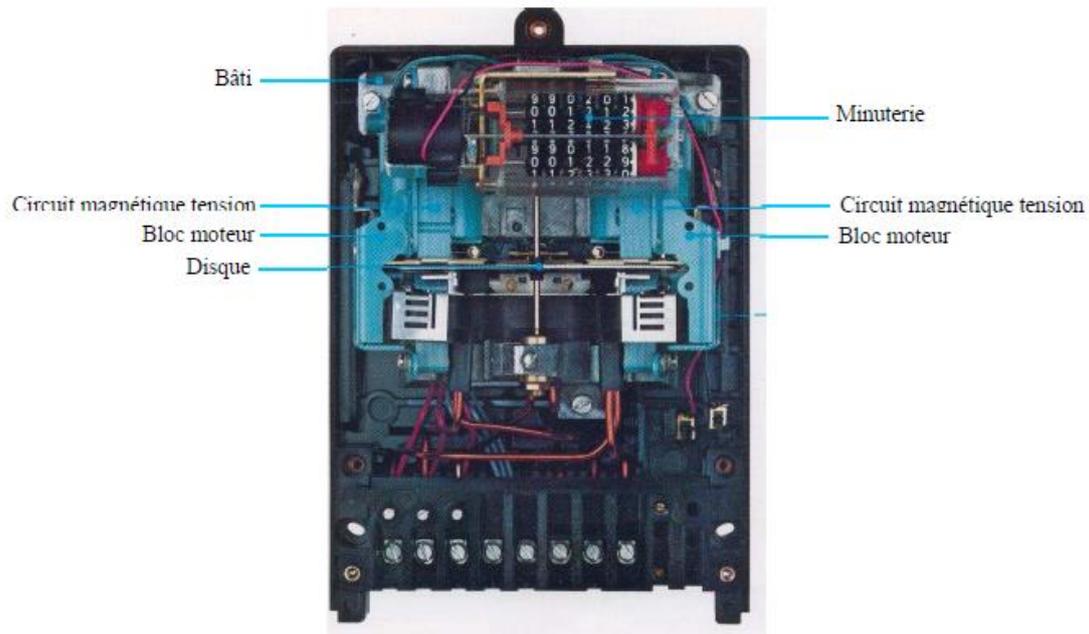


Figure.3 : Compteur Triphasé

Pour mesurer l'énergie active sur un réseau triphasé, on peut utiliser :

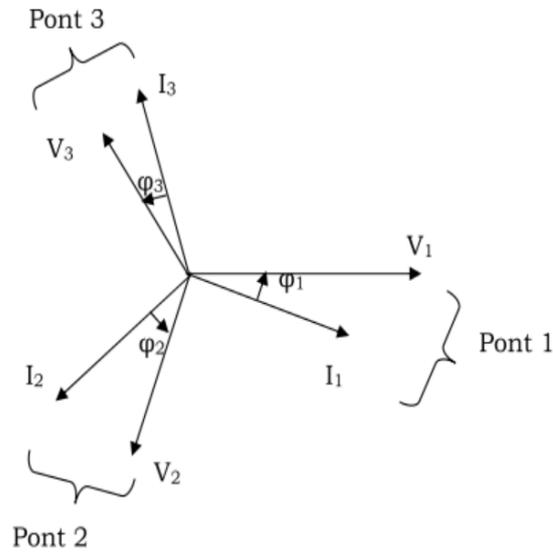
- un compteur monophasé et multiplier la valeur par trois si le réseau est équilibré ;
- trois (03) compteurs monophasés et faire la somme des valeurs enregistrées (solution peu pratique et onéreuse) ;
- un appareil regroupant les trois (03) compteurs monophasés dans un même boîtier : le compteur triphasé quatre (04) fils. (Figure ci-dessus) ;

Il est composé de trois (03) éléments watt métriques montés dans un même boîtier agissant sur un (01), deux (02) ou trois (03) disques. Chaque élément est appelé pont de mesure. Ils sont alimentés :

Pont 1: $V_{1.I1}$

Pont 2: $V_{2.I2}$

Pont 3: $V_{3.I3}$



L'ensemble mobile est composé soit de :

- un (01) disque monté sur un axe ;
- deux (02) ou trois (03) disques montés sur un axe.

Il entraîne la minuterie sur laquelle s'enregistre la consommation. Sa rotation est fonction de la somme des couples donnés par les ponts de mesure.

Pour la mesure de l'énergie dans un réseau triphasé trois fils, on peut également utiliser un compteur triphasé trois fils à deux éléments watt métriques dont le principe est le suivant :

le premier élément watt métrique mesure $P_1 = (V_1 - V_2) I_1 \cos(\varphi_1)$ et le second wattmètre mesure $P_2 = (V_3 - V_2) I_3 \cos(\varphi_3)$.

La puissance mesurée est : $P = (V_1 - V_2) I_1 \cos(\varphi_1) + (V_3 - V_2) I_3 \cos(\varphi_3)$

En triphasé, la puissance active est : $P = V_1 I_1 \cos \varphi_1 + V_2 I_2 \cos \varphi_2 + V_3 I_3 \cos \varphi_3$

V_1, V_2, V_3 étant les tensions simples d'un montage étoile,

I_1, I_2, I_3 les courants dans chaque branche de l'étoile,

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ les angles de déphasage des intensités par rapport à leurs tensions respectives.

En grandeur complexes $P = V_1 I_1 + V_2 I_2 + V_3 I_3$

En triphasé trois fils, la somme vectorielle des courants est nulle, donc :

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \text{ d'où } I_2 = - (I_1 + I_3)$$

En remplaçant I_2 par son expression dans la formule de la puissance on obtient :

$P = (V_1 - V_2) I_1 + (V_3 - V_2) I_3$ ou encore $P = (V_1 - V_2) I_1 \cos(\varphi_1) + (V_3 - V_2) I_3 \cos(\varphi_3)$. La puissance mesurée par les deux wattmètres correspond bien à la puissance triphasée.

La proximité dans un même boîtier des divers éléments watt métriques donne lieu à des interactions de l'un sur l'autre dues à des flux de fuite. Certains constructeurs équipent leurs compteurs polyphasés de bobines tension à deux enroulements. L'un est l'enroulement normal, l'autre de peu

de spires est en série avec l'enroulement normal du pont voisin. Son branchement et son action ont pour effet d'annuler les interactions ou de les atténuer.

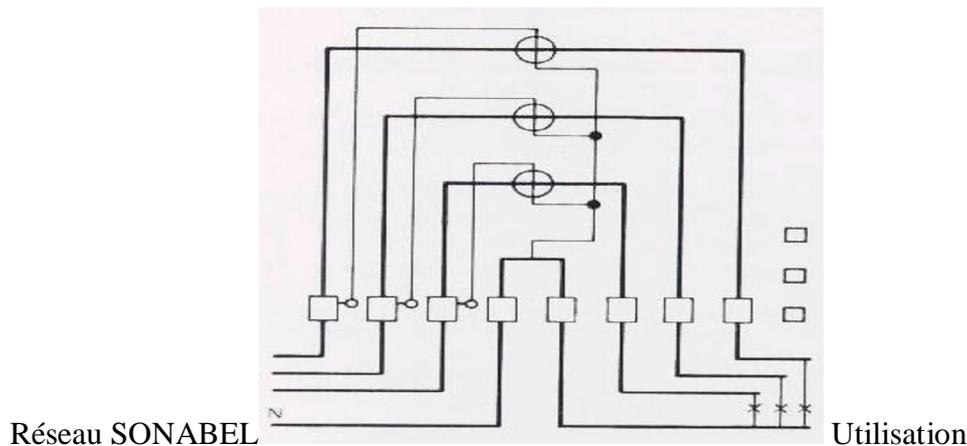


Figure 4 : Schéma de branchement d'un compteur triphasé

Pour des intensités élevées, il y a quelques difficultés à réaliser des compteurs à branchement direct. L'enroulement parcouru par la totalité du courant doit être de grosse section et la boîte à bornes doit être largement dimensionnée. De plus l'enroulement peut être réduit à une seule spire pour avoir un flux intensité suffisant.

Dans ces conditions, la partie des conducteurs reliant la boîte à bornes aux enroulements crée elle-même un champ à l'intérieur du boîtier, ce qui augmente d'autant les interactions entre éléments watt métriques. Ajoutons enfin que ces compteurs directs, de calibre élevé, nécessitent un matériel d'étalonnage spécial et lourd et que leur étalonnage sur site est dangereux en raison de la violence des courts-circuits.

Pour ce faire, on utilise donc des transformateurs de courant ou réducteurs d'intensité. Le compteur mesure en effet l'énergie livrée comme si elle était réduite dans une proportion donnée.

Le calibre secondaire du transformateur de courant est le plus souvent de 5A. Le calibre primaire est adapté à l'intensité maximum à mesurer.

Par exemple pour un compteur branché sur un TC de calibre primaire 200A et de calibre secondaire 5A, le rapport de ce TC est : $200/5 = 40$.

On pourrait dire que l'énergie livrée est comme divisée en 40 parties égales dont une seule est mesurée par le compteur. De ce fait, les indications de la minuterie sont à multiplier par 40.

Toutefois, par un choix convenable des engrenages, les constructeurs ont mis au point des minuterie qui effectuent elles-mêmes cette opération. On dit alors que la minuterie est au rapport.

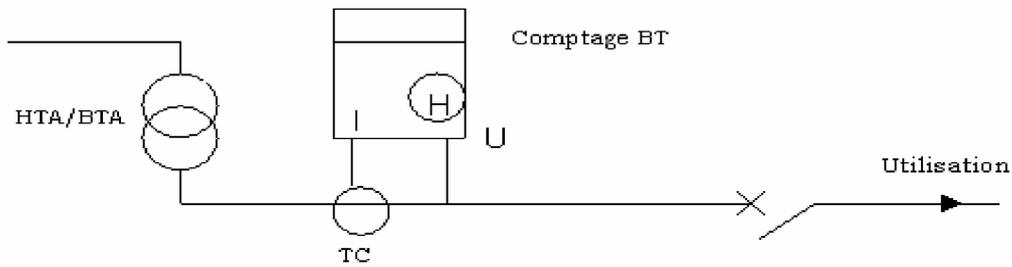


Figure 5 : Schéma de branchement d'un compteur BT avec un transformateur de courant.

Nous avons indiqué plus haut les difficultés de mise en œuvre et les dangers que présente un compteur à branchement direct lorsque le courant est élevé. Il en est de même lorsque la tension est élevée. Il aurait fallu mettre au point des compteurs avec des proportions très importantes.

Pour les compteurs haute tension, la tension est elle aussi réduite par l'intermédiaire de transformateurs de potentiel.

Dans ce cas aussi, le compteur n'enregistre qu'une partie de l'énergie livrée. Pour avoir la valeur exacte de cette énergie, il faut multiplier les indications de minuterie par le produit des rapports des deux (02) transformateurs (le transformateur de courant et le transformateur de tension).

Cependant, la minuterie peut être conçue pour réaliser cette opération elle-même.

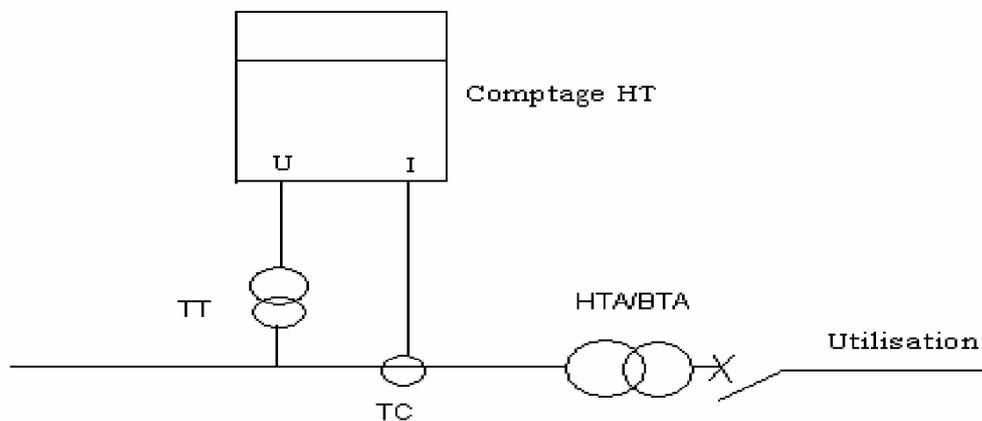


Figure 6 : Schéma de branchement d'un compteur HTA avec un transformateur de courant et de potentiel

Les compteurs qui sont utilisés pour le comptage HT à la SONABEL sont du type SL 7000 entièrement électronique. Les compteurs électromécaniques sont progressivement abandonnés

III.1.3 LES COMPTEURS NUMERIQUES

III.1.3.1. LE COMPTEUR SL7000

Le compteur SL7000 est un compteur triphasé multifonctions raccordé sur transformateur de mesure et entièrement statique. Il mesure et affiche l'énergie active et réactive par phase dans chacun des quatre (04) quadrants. Il permet le relevé et la programmation aussi bien en local qu'à distance.

Le contenu de ses index peut être affiché sur un écran à cristaux liquides. Le contenu de ses courbes de charges peut être transféré sur un autre équipement pour un traitement ultérieur.



Figure 7 : Compteur électronique SL7000

Le compteur SL7000 dispose d'une alimentation triphasée à calibrage automatique totalement redondante.

Le même compteur fonctionne entre 3 x 54 V et 3 x 240/415 V dans n'importe quelle des situations suivantes :

- absence d'une (01) ou de deux (02) phases (compteurs quatre (04) fils) ;
- absence d'une (01) phase (compteurs trois (03) fils) ;
- absence du neutre ou du neutre et d'une (01) phase (compteurs quatre (04) fils) ;
- inversion d'une (01) phase avec le neutre (compteurs quatre (04) fils).

Les données calculées ainsi que les paramètres programmés sont enregistrés sur une mémoire non-volatile permettant leur sauvegarde en cas de coupure d'alimentation. Le compteur permet

L'affichage de plus de 100 données parmi une liste disponible de plusieurs centaines. Le choix des données à afficher est programmable par l'utilisateur.

Le compteur numérique SL7000 nous offre plusieurs possibilités de raccordements selon les types de réseau d'alimentation (réseau conventionnel).

Le comptage qui était utilisé à Sabou et qui fait l'objet de la présente étude était du type HTA/BTA avec un compteur numérique SL7000.

Ce type de compteur est conçu de telle sorte que pour sa propre alimentation, il doit être placé sur un réseau triphasé conventionnel.

Cependant, le SCDGI comporte deux (02) phases normales avec un troisième conducteur servant de retour par la terre, utilisé comme une phase.

Ce concept sous tend que le compteur SL7000 n'est pas bien alimenté et par conséquent ne fonctionne pas correctement sur un tel réseau.

Cela a emmené la SONABEL à installer des compteurs sur le réseau basse tension pour chaque transformateur.

III.2 COMPTAGE PAR CENTRALE DE MESURE

Le système de comptage classique du côté HTA ne donnant pas satisfaction et que celui effectué du côté basse tension est onéreux du fait que chaque transformateur doit être équipé d'un comptage, nous avons orienté notre étude vers une centrale de mesure.

L'objectif du dispositif est de mesurer la quantité totale d'énergie fournie par un réseau électrique par fil de garde isolé, les méthodes classiques de mesure par compteur triphasé compact n'étant pas satisfaisante. En effet lors d'essais réalisés en laboratoire par simulation de ce réseau, la mesure par compteur triphasé type SL7000 n'a pas donné les mêmes résultats qu'avec trois (03) wattmètres monophasés montés sur chaque phase. Les grandeurs mesurées par le compteur SL7000 sont inférieures à celles données par les trois (03) wattmètres.

A la recherche d'une solution nous avons pensé à la réalisation d'un système de comptage d'énergie basé sur une centrale de mesure.

Une **centrale de mesure** est un organe électrotechnique servant à mesurer et à analyser un réseau électrique. Elle concentre les fonctions de plus d'une dizaine d'outils électriques tels que les wattmètres, ampèremètres, etc... Elle permet aussi la gestion de l'énergie, principalement dans le secteur de l'industrie.

III.2.1 CARACTERISTIQUE TECHNIQUE DE LA CENTRALE DE MESURE

III.2.1.1 LE NOMBRE DE VALEURS MESUREES

Le nombre de valeurs mesurées dépend du niveau de précision de la centrale de mesure. Des informations de base telles que : la tension, l'intensité, les puissances actives et réactives peuvent être obtenues. Une centrale de mesure peut relever des mesures très perfectionnées telles que le taux de distorsion harmonique, les harmoniques jusqu'au rang 63, les courbes de charge.

III.2.1.2 LA MEMOIRE INTERNE

La plupart des centrales de mesure possèdent une mémoire interne qui permet de conserver en mémoire les valeurs maximales et minimales des grandeurs mesurées sur le réseau électrique. Cependant, certaines centrales de mesure possèdent une mémoire interne (de 512 k à 256 MB) ce qui permet de stocker toutes les données mesurées. Pour éviter que sa mémoire interne ne se sature, il faut la synchroniser régulièrement avec un ordinateur. Cela permet d'exporter et d'analyser les données en libérant sa mémoire interne.

III.2.1.3 LES ENTREES ANALOGIQUES

Les entrées analogiques (0 à 20 mA ou 4 à 20 mA) permettent à la centrale de mesure de collecter les données de presque toutes les valeurs possibles.

Certaines centrales de mesure sont aussi équipées d'une entrée de température.

III.2.1.4 LA PRECISION

Selon les centrales de mesure, la précision dans les mesures peut varier. En règle générale, il existe quatre (04) classes de précision : 1 %, 0,5 %, 0,2 % et 0,1 %.

III.3 INTERFACES ET PROTOCOLES

Les centrales de mesure sont des appareils de mesure communicants. Elles permettent de mettre en place un système de gestion de l'énergie avec la possibilité de traiter les données sur ordinateur. Afin que ceci soit possible, elles utilisent de nombreuses interfaces. Parmi ces interfaces et protocole nous citerons quelques exemples :

- **RS232**

Répondant aux standards définis par la norme ISO 2110, le RS232 ou "port série" il permet à des centrales de mesure, automates ou ordinateurs par exemple de communiquer entre eux sur une distance maximale de 30 mètres.

- **RS485**

Le RS485 est une des interfaces de communication les plus répandues. Largement utilisé dans l'industrie, le RS485 permet à un maximum de 32 centrales de mesures de communiquer sur une distance totale de 1 200 mètres pour un débit de 38,4kbit

- **Ethernet**

L'interface Ethernet est la solution optimale pour la communication des données entre plusieurs centrales de mesure. Répondant à la norme ISO et câblé en RJ45, le câble Ethernet permet de relier directement la centrale de mesure à un ordinateur ou au réseau Ethernet de l'entreprise par un Switch. La particularité de cette solution est la possibilité de consulter les données de votre centrale de mesure directement sur Internet si elle possède sa propre adresse IP.

- **USB**

Présent sur certaines centrales de mesure, le port USB sert la plupart du temps à connecter la centrale de mesure à un ordinateur uniquement pour la phase de configuration.

- **ModBus RTU**

Utilisé principalement par les interfaces RS232 et RS485, il est très présent dans l'automatisme et dans l'industrie avec les centrales de mesure. Fonctionnant de manière cyclique, il garantit une fiabilité de réseau de communication.

III. 4 ARCHITECTURE DU SYSTEME

La fonction mesure sera assurée par trois (03) centrales de mesure type PAC 615.

Ces centrales mesureront les grandeurs électriques sur chaque phase et communiqueront chacune, ces valeurs à un automate programmable raccordé à un pupitre opérateur. Le pupitre opérateur permettra de visualiser les grandeurs électriques mesurées par les centrales de mesure.

Le protocole de communication utilisé par les centrales PAC 615 étant le Modbus, l'automate choisi devrait être compatible avec celui-ci.

Le Modbus est un protocole de communication série maître/esclave. En effet dans une architecture Modbus, il y a un maître auxquels sont raccordés un certain nombre d'esclaves. Le maître, pour recueillir des informations, scrute de façon cyclique l'ensemble des esclaves et lit des registres

(Tension, Intensité, Puissance, Fréquence etc.) dans lesquels se trouvent les données à lire ou à écrire.

C'est l'automate programmable qui assurera la fonction de maître. Les centrales de mesures seront donc les esclaves.

Notre choix s'est porté sur l'automate S7 1200 de Siemens qui intègre le protocole Modbus par défaut. Une carte de communication série RS485 est cependant nécessaire pour assurer la compatibilité des signaux issus des centrales de mesure équipés de port série RS485.

Pour l'affichage des grandeurs mesurées et calculées par l'automate, nous allons utiliser un pupitre opérateur graphique type KTP 400. C'est une interface homme-machine-graphique permettant l'affichage et la saisie de données. Dans notre étude ce pupitre permettra de lire l'ensemble des grandeurs électriques calculées par l'automate.

III.5 DESCRIPTION DES ELEMENTS DE LA CENTRALE DE MESURE

La centrale est composée de :

- trois (03) transformateurs de courant qui seront connectés sur chaque phase ;
- trois (03) transformateurs de potentiel ;
- trois (03) compteurs monophasés connectés sur chaque phase pour enregistrer l'énergie consommée par phase ;
- un (01) automate programmable S7 1200 ;
- un (01) afficheur numérique qui affichera les grandeurs électriques mesurées.

Bus RS485 (Protocole Modbus ou Profibus)



Figure 8 : Schéma simplifié de montage d'une centrale de mesure

III.5.1 L'AUTOMATE PROGRAMMABLE S7 1200

Le S7 1200 est un Automate Programmable Industriel (API). Il est utilisé pour la commande d'une large gamme d'appareils afin de répondre aux besoins en matière d'automatisation. Il est de forme compact. Il combine un microprocesseur, une alimentation intégrée, des entrées et sorties (E/S) rapide de commande de mouvement, ainsi que des entrées analogiques intégrées dans un boîtier compact en vue de créer un contrôleur puissant. L'automate peut communiquer avec d'autres appareils intelligents grâce à des modules supplémentaires disponibles tels que RS485 RS232 et Ethernet.

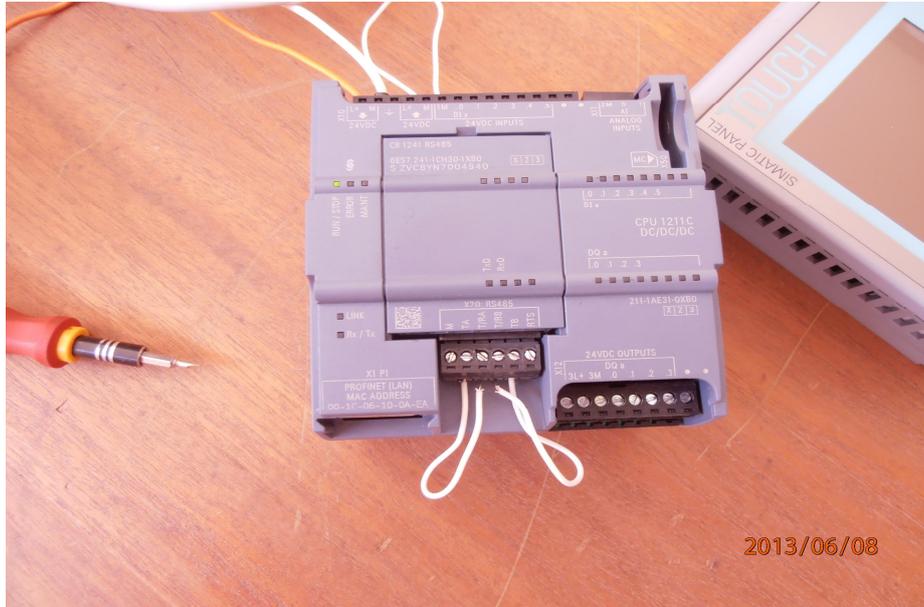


Figure 9 : Automate programmable S7 1200

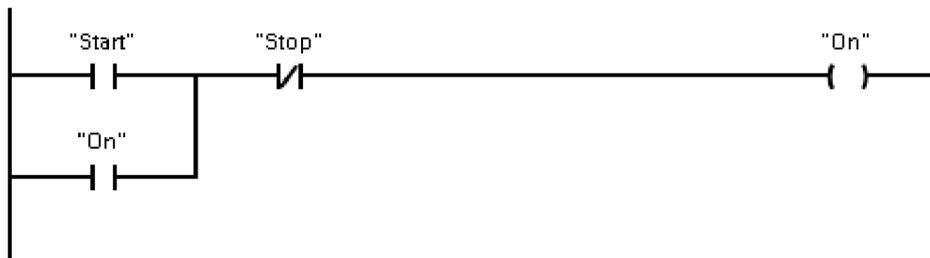
III.5.1.1 MODE DE FONCTIONNEMENT

Le S7-1200 combine un microprocesseur. C'est lui qui relie toutes les fonctions logiques ET, OU, les fonctions de temporisation, de comptage, de calcul à partir d'un programme contenu dans sa mémoire. Il est connecté aux éléments (mémoire et interface E/S) par des liaisons parallèles appelées BUS qui véhiculent les informations sous forme binaire. La programmation du S7-1200 se fait à partir du logiciel STEP 7 TIA PORTAL qui offre trois (03) grands langages :

- le langage schéma à contacts (CONT) ;
- le langage logigramme (LOG) ;
- le langage structuré (SCL).

Le langage schéma à contacts (CONT)

C'est un langage de programmation graphique. Sa représentation se base sur les schémas de circuit. Les éléments d'un schéma de circuit, contacts à ouverture et à fermeture et bobines par exemple, sont reliés pour former des réseaux.

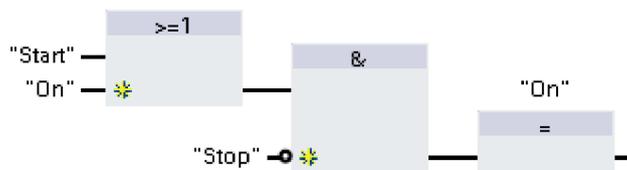


Langage logigramme LOG

C'est un langage de programmation graphique. La représentation de la logique repose sur les symboles logiques graphiques utilisés en algèbre booléenne logique.

Pour créer la logique pour des opérations complexes, on insère des branches parallèles.

Les fonctions mathématiques et autres fonctions complexes peuvent être représentées directement avec des boîtes logiques. Pour créer la logique pour des opérations complexes, insérez des branches parallèles entre les boîtes.



Le langage structuré (SCL)

Le langage SCL (Structured Control Language) est un langage de programmation évolué du style PASCAL pour les automates SIMATIC S7. Le langage structuré prend en charge la structure de bloc de STEP 7. On peut également inclure des blocs de programme écrits dans le SCL avec des blocs de programme écrits dans le langage à contact ou le langage logigramme .

Les opérations SCL utilisent des instructions de programmation standards, comme par exemple pour l'attribution (:=), les fonctions mathématiques (+) pour l'addition, (-) pour la soustraction, (*) pour la multiplication et (/) pour la division. Le langage utilise des opérations de contrôle de programme standard, telles que IF-THEN-ELSE, CASE, REPEATUNTIL, GOTO et RETURN. Parmi les autres opérations pour le langage structuré, comme les temporisations et les compteurs, un grand nombre correspond aux opérations CONT et LOG. parce que le langage SCL offre des structures de traitement conditionnel, de mise en boucle et de contrôle d'emboîtement. On peut exécuter des algorithmes complexes dans le langage SCL plus facilement que dans le langage CONT ou le langage LOG.

III.5.1.2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Le système d'automatisation S7-1200 satisfait aux exigences et objectifs en matière de sécurité des directives CE énumérées ci-dessous et est conforme aux normes européennes ; harmonisées (EN) pour les automates programmables énumérées dans les Journaux officiels de l'Union Européenne.

Vous trouverez en annexe les principales caractéristiques de l'automate S7 1200.

III.5.2 LE COMPTEUR MONOPHASE PAC 615

Il s'agit d'un compteur intelligent capable de communiquer ou de dialoguer avec d'autres organes intelligents. Il est conçu pour le suivi et l'affichage des paramètres électriques suivants : la tension, le courant, la puissance active, la puissance réactive, le facteur de puissance et la fréquence.

Il est muni d'un port de communication RS485 qui lui permet d'être connecté à un système intelligent.

Sa classe de précision est de :

- 0,2 % pour la tension ;
- 0,2% pour le courant ;
- 0,5% pour la puissance.

Sa consommation interne est inférieure à 3 VA. Sa tension d'alimentation est de 220V et le courant d'entrée peut être de 5A ou 1A.



Figure 10: Vue du compteur PAC615

III.5.3 LES TRANSFORMATEURS DE COURANT ET DE TENSION

III.5.3.1 LE TRANSFORMATEUR DE COURANT (T.C)

Le Transformateur de Courant (ou d'intensité) permet d'une part d'abaisser l'intensité du courant en vue de sa mesure et d'autre part d'isoler les appareils de mesure de la haute tension HTA.

L'enroulement primaire de ces transformateurs est en série dans le circuit dont on veut connaître l'intensité. L'enroulement secondaire est fermé sur les appareils de mesure branchés en série.

Le Transformateur de Courant est utilisé pour fournir un courant secondaire proportionnel au courant primaire tout en limitant la tension secondaire à un niveau relativement peu élevé avec un transfert de puissance limité³.



Figure 11: Transformateur de courant

III.5.3.2 LE TRANSFORMATEUR DE TENSION (T.P)

Les transformateurs de tension ont pour rôle d'abaisser la tension en vue de sa mesure. Ils permettent également d'isoler les appareils de mesure de la haute tension HT.

Le enroulement primaire (N1) de ces transformateurs est branché entre les bornes de la tension à mesurer (U1).

Le enroulement secondaire (N2) alimente en dérivation les appareils de mesure prise sur les bornes du secondaire (U2). Le fonctionnement d'un transformateur se résume à la formule suivante :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

La tension secondaire est normalisée à 100V.

³ Cours d'Electrotechnique



Figure 12: Transformateur de Potentiel



Figure 13: Afficheur Numérique

III.5.4 AFFICHEUR NUMERIQUE MONOCHROME KTP 400

III.5.4.1 DESCRIPTION

D'une taille de 43 pouces, le pupitre SIMATIC HMI basic panel KTP 400 est doté d'un écran tactile pour une commande intuitive. Le recours à des écrans entièrement graphiques ouvre de nouvelles perspectives pour la visualisation : les graphiques vectoriels, la représentation de courbes, de bargraphes, de texte de bitmaps et des champs d'entrée sorties autorisant un affichage clair et

donc convivial des vues de commandes. Outre la commande tactile, le pupitre de 4", 6" et 10" dispose de touches de fonctions programmables. Autrement dit, selon la vue sélectionnée, il est possible de définir des fonctions personnalisées pour la commande. De plus, ces touches offrent un retour d'information tactile pour un confort d'utilisation accru et une sécurité de commande supplémentaire. Les pupitres SIMATIC HMI Basic Panels sont aisément configurables avec SIMATIC WinCC Basic qui fait partie intégrante du système d'ingénierie SIMATIC STEP 7 Basic. Il comporte de nombreuses solutions embarquées telles que : le système d'alarme, gestion des recettes, traçage de courbes et changement de langue. L'utilisateur profite ainsi des avantages de la visualisation ainsi que d'une qualité de process accrue même pour des applications simples. Il est muni de bouton de défilement qui permet de connaître les résultats par défilement, et d'un port de communication RS485 ce qui permet de communiquer avec l'automate aisément.

III.5.4.2 MODES DE FONCTIONNEMENT

Le pupitre opérateur peut se trouver dans les modes de fonctionnement suivants :

- hors ligne ;
- en ligne ;
- transfert.

On peut paramétrer les modes de fonctionnement "hors ligne" et "en ligne" aussi bien à partir du PC de configuration que du pupitre opérateur. Sur le pupitre opérateur, on utilise pour cela un objet de commande dans le projet.

Changement de mode de fonctionnement

Pour changer de mode sur le pupitre opérateur pendant le fonctionnement, le concepteur doit avoir configuré les objets de commande correspondants.

III.5.4.2.1 MODE DE FONCTIONNEMENT "HORS LIGNE"

Dans ce mode de fonctionnement, aucune liaison de communication n'est établie entre le pupitre opérateur et l'automate. Vous pouvez commander le pupitre opérateur, cependant aucune donnée n'est transmise vers l'automate ou reçue depuis ce dernier.

III.5.4.2.2 MODE DE FONCTIONNEMENT "EN LIGNE"

Dans ce mode de fonctionnement, une liaison de communication est établie entre le pupitre opérateur et l'automate. On peut commander l'installation avec le pupitre opérateur conformément à la configuration.

III.5.4.2.3 MODE DE FONCTIONNEMENT "TRANSFERT"

Dans ce mode de fonctionnement, on peut par exemple transférer un projet depuis le PC de configuration vers le pupitre opérateur ou sauvegarder et restaurer des données du pupitre opérateur.

III.5.4.3 CARACTERISTIQUE TECHNIQUE

L'afficheur est conforme aux normes et spécifications techniques en vigueur.

Les tensions d'utilisations sont les suivantes :

Tension nominale Tolérance

24 V- 19,2 V- à 28,8 V- (-20%+20%)

L'intensité du courant permanent est de 350 mA.

IV. RESULTATS

Après l'élaboration d'un petit programme informatique, nous avons pu tester le montage sur une source monophasée au laboratoire. Les valeurs suivantes ont été relevées :

- la tension que délivrait la source ;
- l'intensité transitée par le compteur ;
- la puissance consommée ;
- la fréquence du réseau.

En outre ces valeurs obtenues, le compteur après paramétrage permet de lire le cosinus phi, la puissance réactive et quelques valeurs autres que celles citées ci-dessus. Ces valeurs nous ont confirmé la fiabilité du système. Le montage au laboratoire à été réalisé en basse tension monophasée 220V ce qui explique l'absence des TP et TC, mais pour le montage sur le terrain la présence de ces deux équipements sont obligatoires

Le programme élaboré permet d'obtenir les valeurs que sont :

- LA TENSION



Figure 14: Mesure de la tension

- LA FREQUENCE



Figure 15: Mesure de la fréquence

- VUE DU MONTAGE

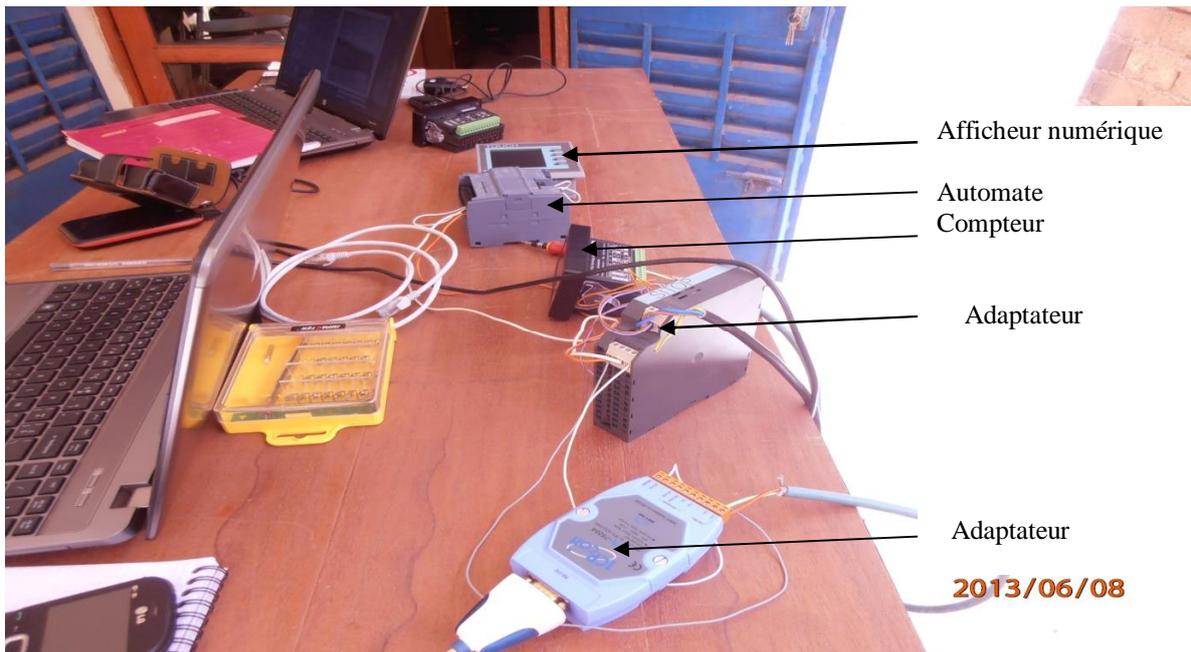


Figure 16: Schémas de montage

LA PUISSANCE



Figure 17: Mesure de la puissance active

Pour le cas pratique sur le terrain : la centrale de mesure sera montée dans un coffret étanche et sera fixée sur le support sur lequel sont fixés les PT et TC, c'est le support avant le support du transformateur. Elle sera raccordée du côté HTA et va enregistrer toutes les consommations de la ligne y compris tous les transformateurs. Cependant, une source de tension est nécessaire pour le fonctionnement de celle-ci, et un extracteur d'air sera installé à l'intérieure pour le refroidissement des équipements.

V. DISCUSSIONS ET ANALYSES

Le comptage de la localité de Sabou avant notre étude, était du type HTA réalisé à l'aide d'un compteur SL7000. Compte tenu de la particularité du réseau, le compteur enregistrait des valeurs erronées du fait du troisième conducteur qui est relié à la terre. Pour résoudre ce problème, la SONABEL a décidé d'installer un comptage basse tension double tarif en aval de chaque transformateur de distribution, ce qui est très onéreux pour la SONABEL.

La centrale de mesure que nous proposons vient résoudre les problèmes de multiples comptages. Les transformateurs de puissance sont alimentés à partir d'une tension de 34.5 KV triphasé avec la particularité que la troisième phase est récupérée à partir du sol dans la localité. Les 3 TC sont parcourus par les courants et les TP les tensions primaires HTA. A la mise sous tension de la centrale de mesure les compteurs étant alimentés par la tension primaire et le courant, va enregistrer toute l'énergie que transite la charge totale en aval.

Le transformateur triphasé est caractérisé par les tensions et courants d'entrée et les tensions et courants de sortie.

La puissance $P = U \cdot I$ et l'énergie consommée pendant un temps t donné est égale au produit de la puissance par le temps de passage du courant.

$W = P \cdot T$. Dans le cas de notre exposé, nous avons un conducteur qui est relié à la terre depuis le poste source et qui est récupéré dans la localité pour servir de troisième conducteur. Entre les trois (03) conducteurs, il existe une différence de potentiel de 34,5KV.

Le transformateur en fonctionnement normal restitue l'énergie reçue du primaire, au secondaire. Si au secondaire nous avons la présence des trois (03) courants c'est qu'au primaire nous avons la présence de trois (03) courants.

Notre centrale de mesure que nous avons testé en basse tension et qui nous a donné satisfaction quant aux résultats obtenus peut bien s'adapter à la ligne dans le SCDGI.

Compte tenu du niveau de tension 34,5KV nous sommes obligés de brancher les compteurs avec des TC et des TP et pour ce faire, il faut tenir compte des rapports des ces derniers en les intégrant dans le programme pour l'enregistrement des consommations d'énergies. Les compteurs étant branchés sur les trois phases, sont traversés par les tensions et courants primaires. Le compteur C1

comptabilisera l'énergie consommée sur la première phase ; le compteur C2 l'énergie consommée sur la deuxième phase et le compteur C3 l'énergie consommée sur la troisième phase.

Ainsi donc, nous pouvons avoir l'énergie consommée pour chaque phase y compris les pertes des transformateurs. L'automate fera la somme des énergies consommées et affichera la valeur sur l'afficheur numérique. Au regard des résultats obtenus lors des essais réalisés en laboratoire nous pouvons dire que le système conçu est viable.

VI. RECOMMANDATIONS

Notre étude qui a porté sur l'étude du système de comptage de l'énergie électrique consommée par le SCDGI nous a permis d'obtenir des résultats probants avec la centrale de mesure. C'est un système qui permet de disposer des consommations réelles d'énergies. Pour ce faire, nous formulons les recommandations suivantes :

- la mise en place d'un comptage unique HTA avec la centrale de mesures ;
- disposer du matériel adéquat,

Ce système de comptage permettra:

- d'aplanir les divergences nées entre la SONABEL et le FDE sur la quantité d'énergie consommée par rapport l'ancien comptage ;
- d'avoir un seul comptage pour toute la localité au lieu d'en avoir plusieurs car le système actuel à chaque transformateur son comptage ;
- de mesurer l'énergie de la localité de Sabou et de tous les villages qui sont situés le long du parcours de la ligne d'interconnexion Ouagadougou Bobo ó Dioulasso.

VII. EVALUATION FINANCIERE DU PROJET

VII.1 EVALUATION FINANCIERE DU COMPTAGE ACTUEL

La localité de Sabou est actuellement alimentée par deux (02) transformateurs de distribution. Chaque transformateur a une puissance de 100 kVA et dispose d'un compteur d'énergie. Ces comptages sont réalisés en double tarif basse tension. L'intensité maximale que débite un transformateur est de 143A.

Les TC et les disjoncteurs doivent être calibrés à cet effet d'où le choix du rapport du TC et du calibre du disjoncteur. Ainsi le TC aura un calibre de 150/5 et le disjoncteur sera de 125A.

Les tableaux ci-dessous donnent une idée de l'évaluation financière des deux types comptages :

- **Comptage basse tension BTA double tarif pour un transformateur de distribution**

Poste	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNI	PRIX TOTAL
I	Compteur SL7000	U	1	650000	650000
II	TC 150/5	U	1	409284	409284
III	Disjoncteur compact 125A	U	1	352066	352066
IV	Câble vultyprène 4x50mm ²	ENS	1	250520	250520
V	Transtacteurs 2	U	4	3088	12352
VI	Cadre de comptage	U	1	12158	12158
				TOTAL HT	1686380
				TVA 18%	303548,4
				TOTAL TTC	1989928,4

- **Tableau 1: Cadre de devis estimatif du comptage double tarif basse tension**

– Comptage HTA par centrale de mesure

Poste	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNI	PRIX TOTAL
I	TP MT	ENS	3	1016209	3048627
II	TC MT	ENS	3	612573	1837719
III	Compteur	U	3	75650	226950
IV	Afficheur numérique + S7 1 200	U	1	727618	727618
V	Coffret étanche	U	1	75000	75000
VI	Câble de raccordement	M	30	1549	46470
VII	Transformateur abaisseur 220/24V	U	1	22500	22500
VIII	Extracteur d'air	U	1	156149	156149
				TOTAL	
				HT	6141033
				TVA 18%	1105385,9
				TOTAL	
				TTC	7246418,9

Tableau 1: Cadre de devis estimatif du comptage double tarif haute tension

Nous remarquons que le coût de revient d'un comptage basse tension double tarif est inférieur au prix du comptage HTA par centrale de mesures. Cela est simplement dû au fait qu'en basse tension nous n'avons pas besoin d'un transformateur de potentiel (TP). Avec l'évolution de la charge, l'installation d'autres transformateurs peut s'avérer nécessaire et chacun doit être muni de comptage. Le comptage HTA est cher à l'investissement mais à la longue est plus rentable car il est définitif.

VIII. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons effectué notre projet sur l'étude du comptage électrique de la ville de Sabou. Cette localité vient d'être électrifiée par un système de technologie nouvelle à savoir l'alimentation par système de fil de garde isolé (SGDI).

L'étude consistait à trouver un comptage qui sied à cette nouvelle technologie. Pour aboutir aux résultats ci-dessus décrits, nous avons passé en revue les différentes sortes de comptage utilisé à la SONABEL actuellement et nous avons constaté qu'aucun de ces comptages ne pouvaient enregistrer convenablement l'énergie consommée par les clients de la localité.

La solution que nous avons développée qui combine l'automatisme et l'électricité est une solution innovante qui permet de résoudre le problème de comptage.

Les résultats obtenus lors des essais permettent de dire que le système peut bel et bien fonctionner sur le système de fil de garde isolé. Cependant d'autres investigations plus approfondies seraient nécessaires pour vérifier les éventuelles limites du système.

VII BIBLIOGRAPHIE

- 1) Cours d'électrotechnique 2iE
- 2) Vision 2020 de l'accès aux services énergétiques modernes
- 3) Electrification Rurale Décentralisée
- 4) Mémoire de ZONGO Abdoulaye
- 5) Energie en Afrique vision 2050
- 6) Document sur la politique énergétique au Burkina Faso
- 7) Etude sur l'agence Régionale pour l'accès de l'énergie
- 8) Accès à l'énergie et lutte contre la pauvreté
- 9) Livre blanc régional
- 10) Guide du compteur SL 7000

SITES WEB

- Wikipédia
- <http://www.riaed.net>
- <http://insd.bf>

IX ANNEXES

COMMUNICATION MODE BUS

DESCRIPTION

Le SIMATIC S7-1200 dispose de modules de communication CM 1241 RS485 et CM 1241 RS232 pour réaliser une communication point à point. On peut ajouter jusqu'à trois (03) modules de communication dans chaque automate S7-1200. En utilisant la bibliothèque Modbus intégrée dans STEP 7 (TIA Portal) V11, il nous est possible de définir pour chaque module de communication une liaison Modbus maître ou esclave. Si on sélectionne une liaison Modbus maître, on peut communiquer :

- Avec seulement un esclave en utilisant le CM 1241 RS232 (limitation physique).
- Avec 32 esclaves au maximum les uns après les autres en utilisant le CM 1241 RS485.

Nous allons prendre un projet exemple (centrale de mesure) pour décrire la procédure de configuration, dans STEP 7 (TIA Portal) V11, d'une communication avec plusieurs esclaves (ici les esclaves sont les compteurs PAC615) sur un module CM1241 RS485.

INSTRUCTIONS

Nous avons pris l'exemple d'une communication Modbus entre un maître (automate S7 1200 et un esclave (compteur PAC 615). Alternativement, on écrit dans les registres de maintien de l'esclave (code fonction 16) et on peut aussi lire dans les registres de maintien de l'esclave (code fonction 3). Etant donné qu'une interface RS485 ne dispose que d'une interface à deux (02) fils (half-duplex), les demandes de lecture et d'écriture doivent se faire l'une après l'autre. Selon ce même principe de requêtes consécutives, il est possible de modifier l'adresse de l'esclave entre chaque demande (d'écriture et de lecture), et de réaliser ainsi l'échange de données avec plusieurs esclaves.

Dans notre cas ici nous allons lire simplement dans le registre de maintien de l'esclave qui est ici notre compteur.

Les modules de communication CM 1241 RS485 sont liés l'un à l'autre en utilisant un câble PROFIBUS. Vous pouvez, en utilisant ce câble PROFIBUS, poursuivre le raccordement jusqu'à 31 compteurs Modbus avec l'automate. Cette configuration a été réalisée avec STEP 7 Basic V10.5 SP2STEP 7 (TIA Portal) V11 et le programme est transféré aux contrôleurs via le switch CSM 1277.

MB_COMM_LOAD

Pour réaliser une communication Modbus, il est nécessaire d'utiliser dans chaque partenaire (côté automate comme côté compteur) le bloc de configuration MB_COMM_LOAD.

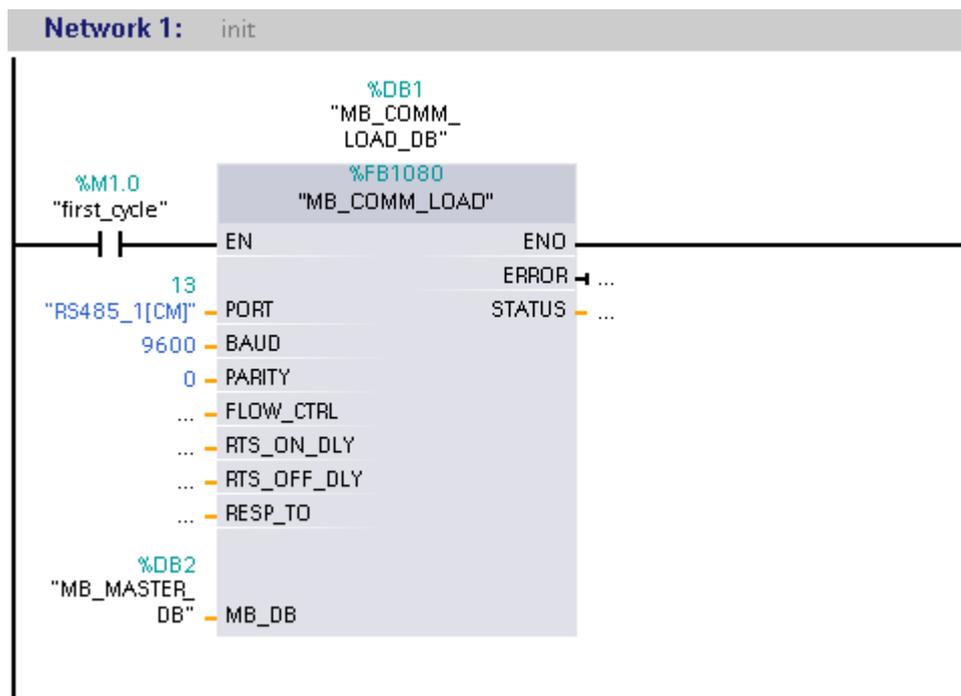


Figure 18: Mode de sélection du module de communication

Le bloc MB_COMM_LOAD est utilisé pour sélectionner le module de communication, configurer les paramètres de communication et définir les paramétrages de l'automate ou du compteur Modbus. Ce bloc MB_COMM_LOAD doit être appelé dans le premier cycle du programme (activation via le bit système M1.0 défini dans la configuration matérielle ou via un appel dans le bloc de démarrage OB100).

Après avoir inséré le module de communication dans la configuration matérielle, il est possible de sélectionner le nom symbolique du module de communication au niveau du connecteur PORT du bloc. Les paramètres de communication BAUD (vitesse de transmission) et PARITY (Parité) doivent être identiques pour l'ensemble des partenaires.

La configuration du port RS485 affichée dans la configuration matérielle du STEP 7 (TIA Portal) V11 n'est pas pertinente pour notre cas. Le bloc de données d'instance de l'automate ou le bloc

compteur est transféré au connecteur MB_DB, qui définit ainsi le module de communication (connecteur PORT) en tant que maître ou esclave MODBUS.

MB_MASTER

Il faut utiliser le bloc MB_MASTER pour définir le module de communication sélectionné avec le bloc de configuration MB_COMM_LOAD comme maître MODBUS.

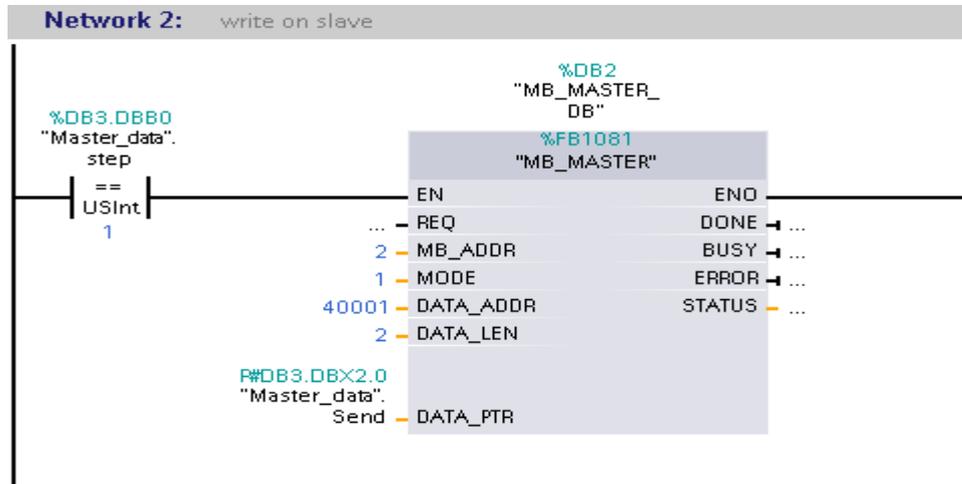


Figure 19: Paramètre de configuration de l'automate

Le bloc MB_MASTER est utilisé pour sélectionner le ou les compteurs MODBUS à adresser, sélectionner le code fonction et définir la zone de stockage de données locales. Le tableau ci-dessous explique les paramètres :

PARAMETRE	DESCRIPTION
REQ	Permet la communication
MB_ADDR	Adresse de la station MODBUS-RTU
MODE	Sélectionne la direction de transmission ("0" = lecture, "1" = écriture ou fonction de diagnostics complémentaires)
DATA_ADDR	Spécifie l'adresse MODBUS de démarrage
DATA_LEN	Spécifie la longueur des données MODBUS
DATA_PTR	Définit les zones de données envoyées et reçues de l'automate. Le connecteur DATA_PTR doit se référer à un bloc de données globales créé avec l'option "Accès symbolique seulement" ("Symbolic access only") désactivée.

Tableau 3: Instruction de paramétrage de l'automate S7 1200

Le bloc "MB_MASTER" doit être appelé dans le premier cycle du programme :

- Par activation via le bit système M1.0 défini dans la configuration matérielle
- ou par un appel dans le bloc de démarrage OB 100.

MB_SLAVE

Il faut utiliser le bloc MB_SLAVE pour définir le module de communication sélectionné avec le bloc de configuration MB_COMM_LOAD comme esclave MODBUS.

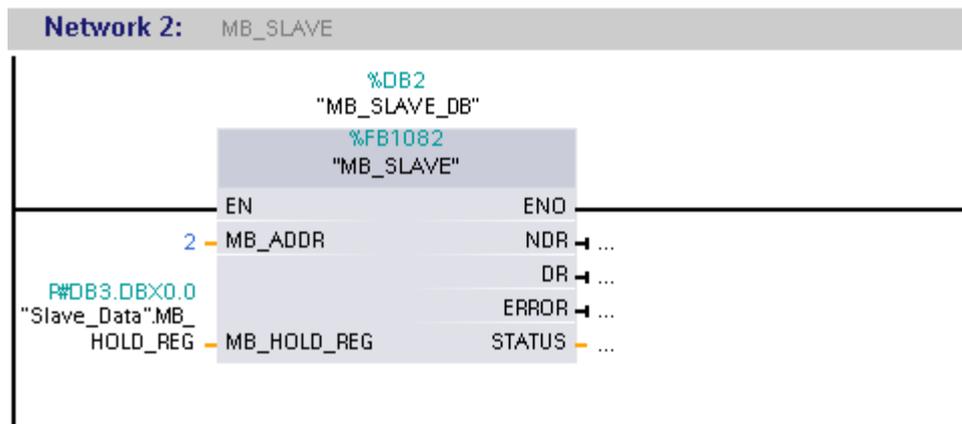


Figure20: Configuration des esclaves

Le bloc MB_SLAVE est utilisé pour sélectionner l'adresse de la station MODBUS-RTU et définir la zone de stockage de données locales pour le transfert des données du registre de maintien.

PARAMETRE	DESCRIPTION
MB_ADDR	Transfère l'adresse de la station MODBUS-RTU
MB_HOLD_REG	Registre de maintien de l'esclave. Le paramètre MB_HOLD_REG doit se référer à un bloc de données globales créé avec l'option "Accès symbolique seulement" ("Symbolic access only") désactivée

Tableau 4: Instruction des esclaves

Lorsque plusieurs éléments doivent être transférés (mots), il convient d'affecter au connecteur "MB_HOLD_REG" le nom symbolique du tableau ou de la structure qui couvre cette zone de stockage des données du maître (DATA_ADDR et DATA_PTR). Le premier mot du tableau ou de la structure correspond à l'adresse de début 40001 du registre de maintien Modbus.

Les paramètres peuvent être fournis au moyen des entrées et sorties des blocs ou par accès au bloc de données de l'instance concernée.

Exemple :

Dans le projet de l'automate, un séquenceur génère l'alternance des requêtes de lecture puis d'écriture des registres de maintien du compteur.

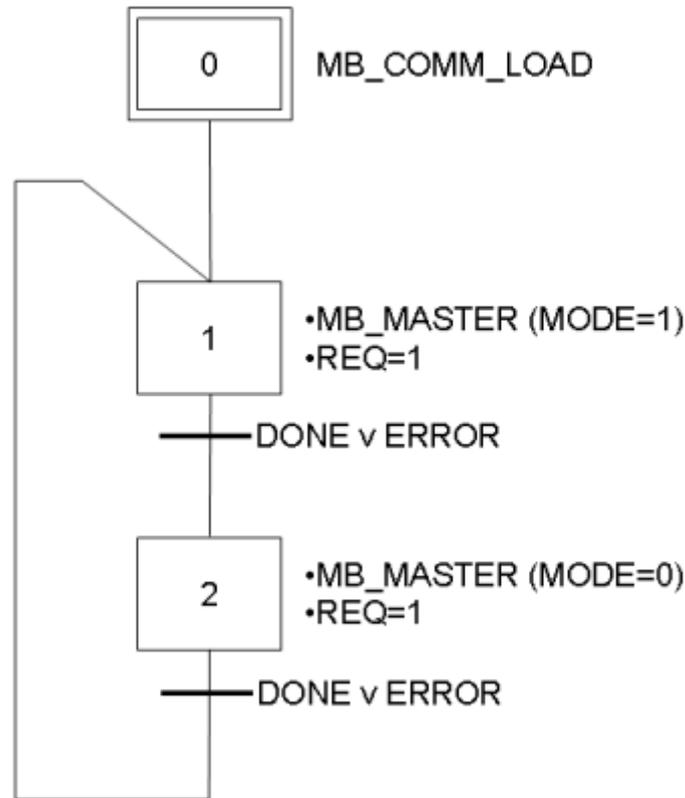


Figure 21: Grafcet 1

- Le bloc de configuration MB_COMM_LOAD est appelé à l'étape initiale 0.
- A l'étape 1, une demande d'écriture (MODE = 1) du compteur est faite via les paramètres de communication du bloc MB_MASTER puis exécutée en positionnant le paramètre REQ à "1".
- Le passage à l'étape 2 s'effectue lorsque le bloc MB_MASTER a confirmé la réception positive (DONE) ou négative (ERROR) des données provenant du compteur.
- Cette transition remet à zéro (REQ = 0) l'exécution du bloc MB_MASTER.
- A l'étape 2, une demande de lecture (MODE = 0) du compteur est faite via les paramètres de communication du bloc MB_MASTER et en utilisant la même table de données d'instance que celle utilisée dans l'étape 1 (paramètre MB_DB du bloc MB_COMM_LOAD).
- L'exécution et la transition sont identiques à ceux de l'étape 1.

La figure ci-dessous présente une étape (réseaux 6 et 7) avec sa transition (réseau 8) :

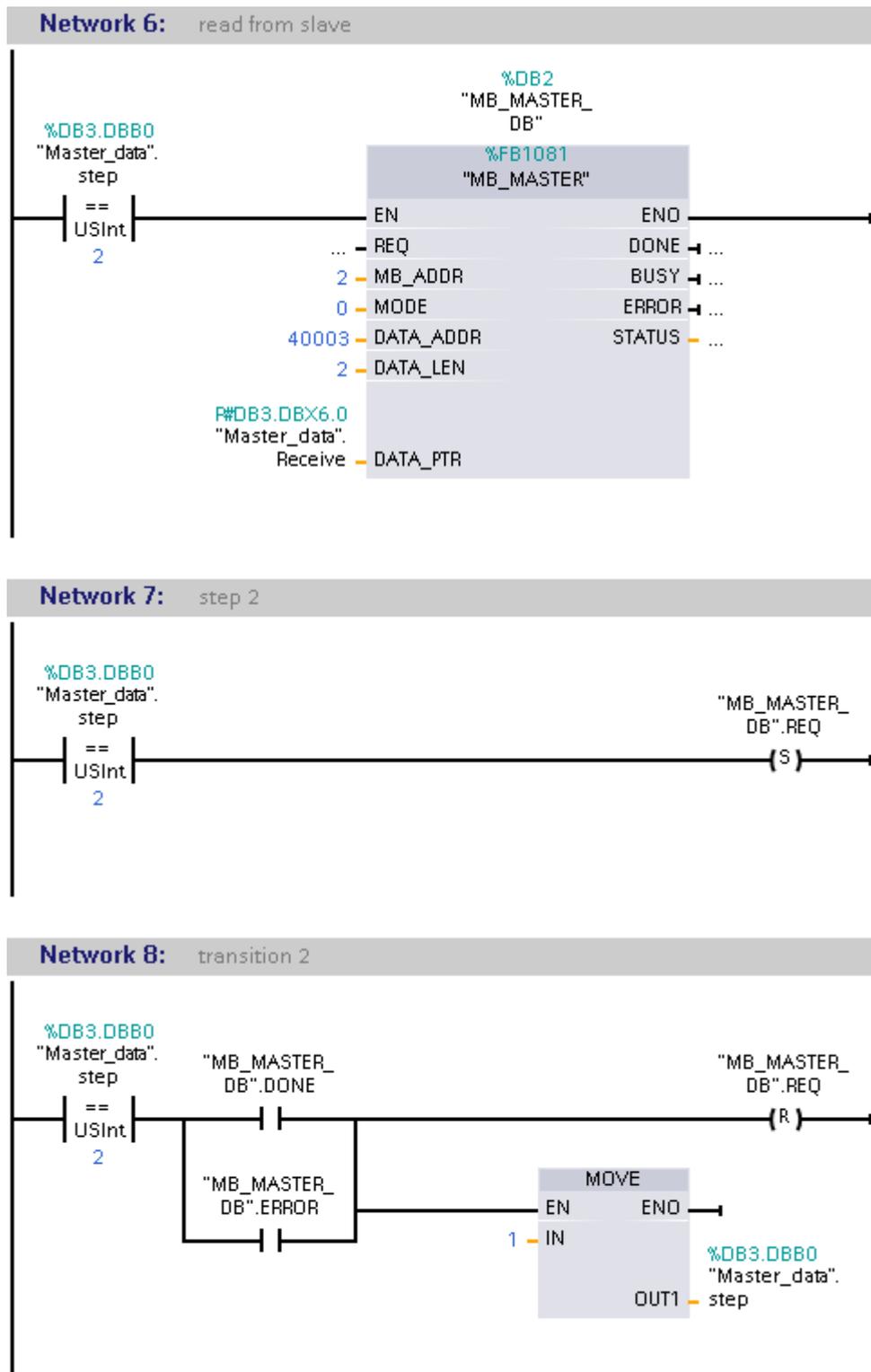


Figure 22: Etape de transition de l'automate

Dans chaque étape, il est possible d'utiliser le paramètre MB_ADDR (voir le réseau 6) pour modifier l'adresse de l'esclave à interroger. Cela permet ainsi d'échanger des données avec jusqu'à 32 compteurs.

SCHEMA DE MONTAGE DU COMPTAGE SUR LE RESEAU 34,5KV

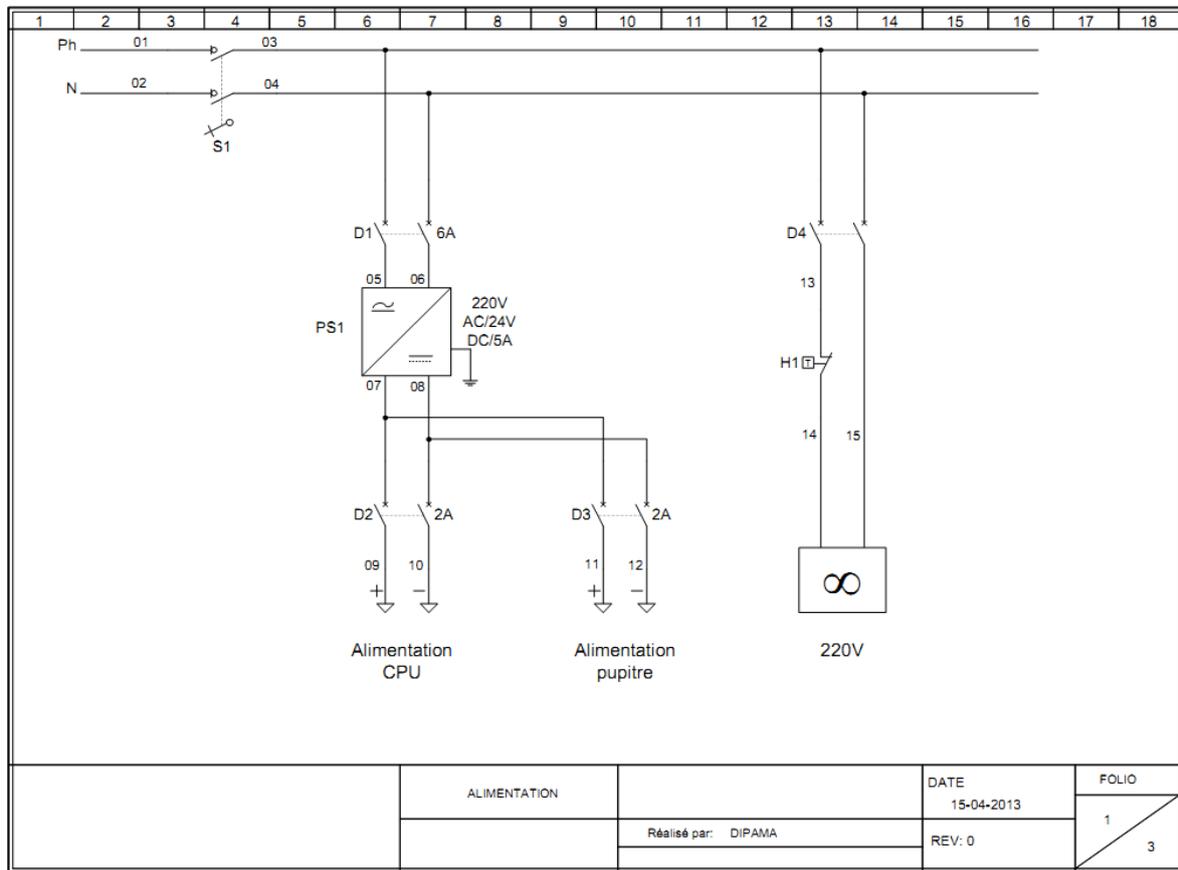


Figure 23: Circuit de commande de la centrale de mesure

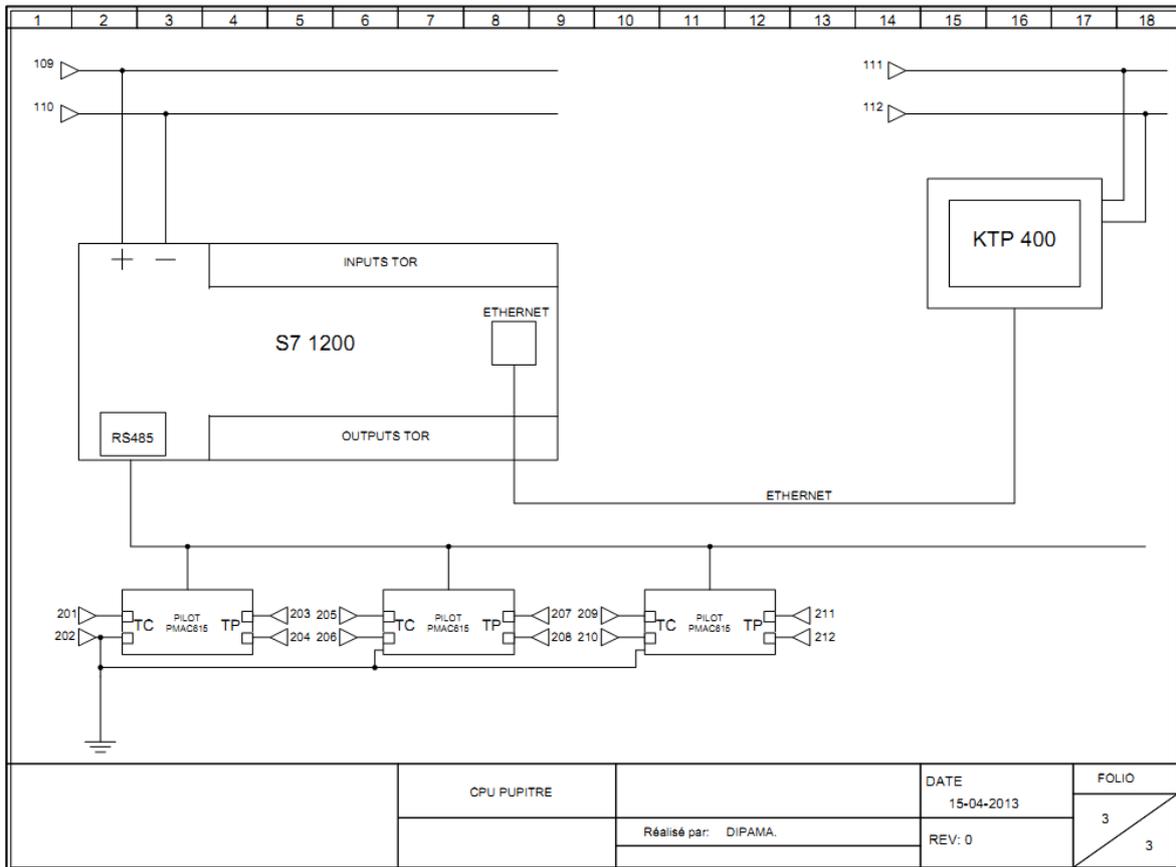


Figure 24: Circuit de commande des compteurs, de l'automate et de l'afficheur numérique

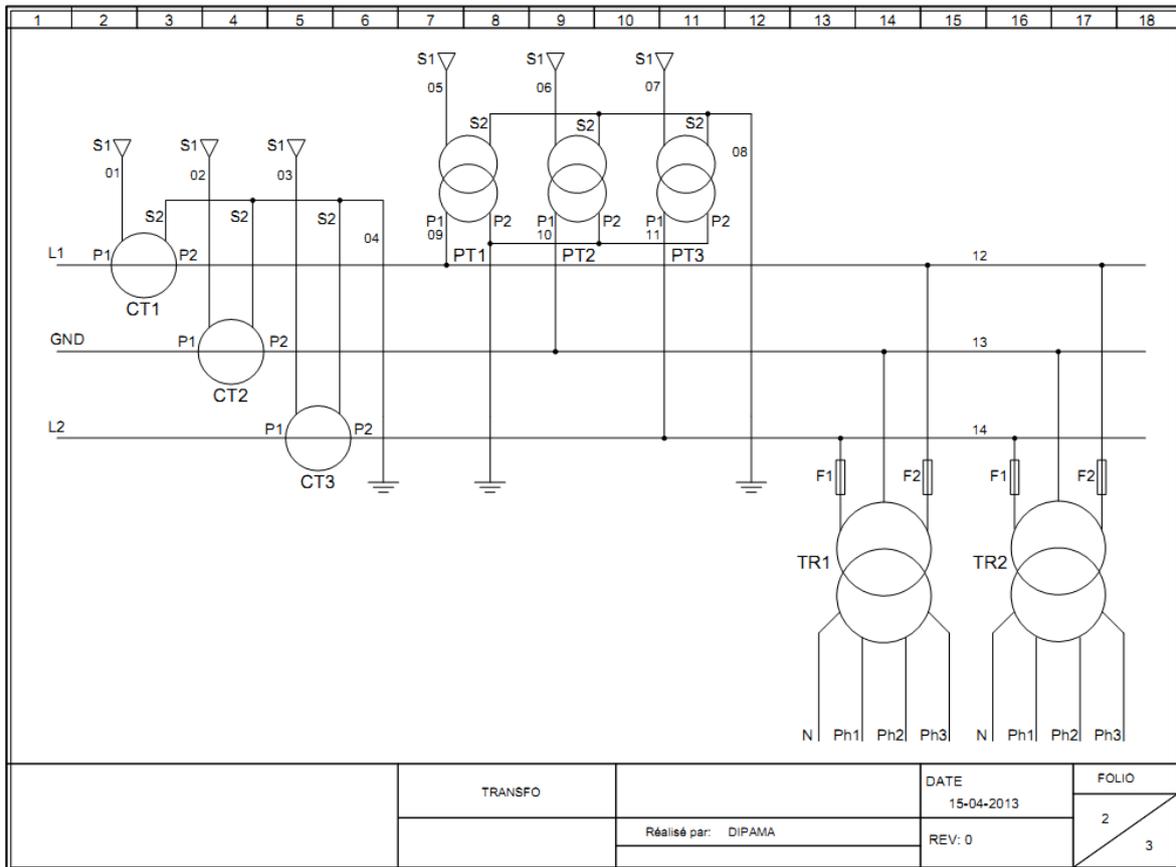


Figure 25: Circuit de puissance

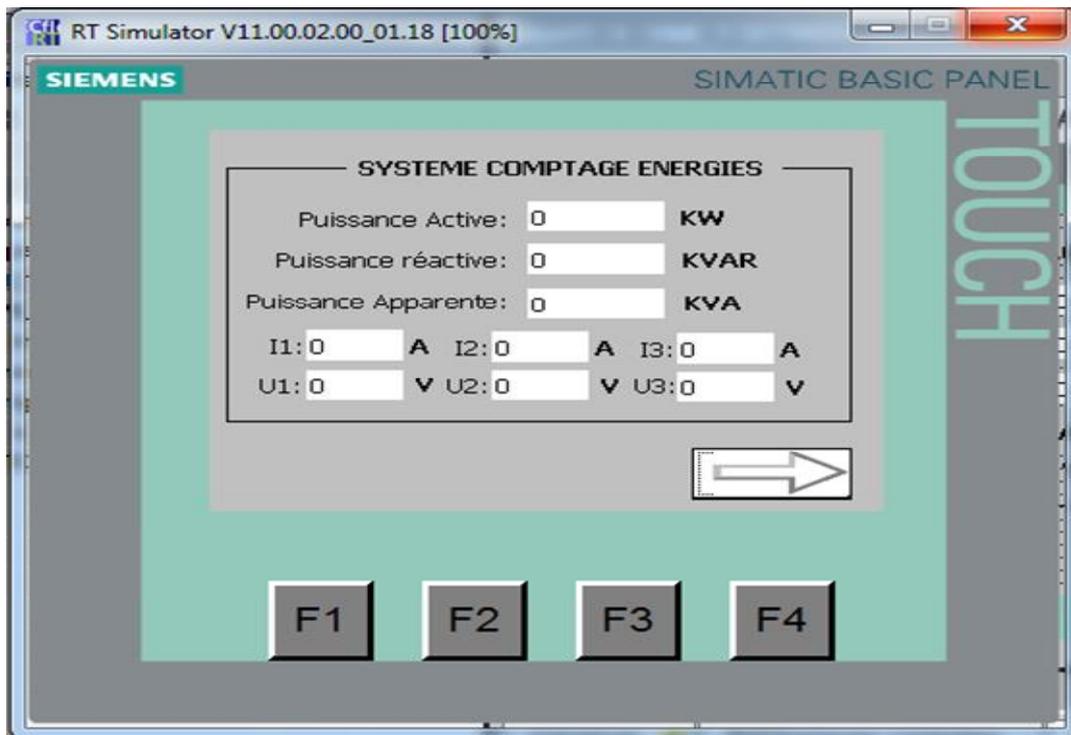


Figure 26: Capture d'écran de l'afficheur numérique



Figure 27: Transformateur 100kva sur le réseau de Sabou

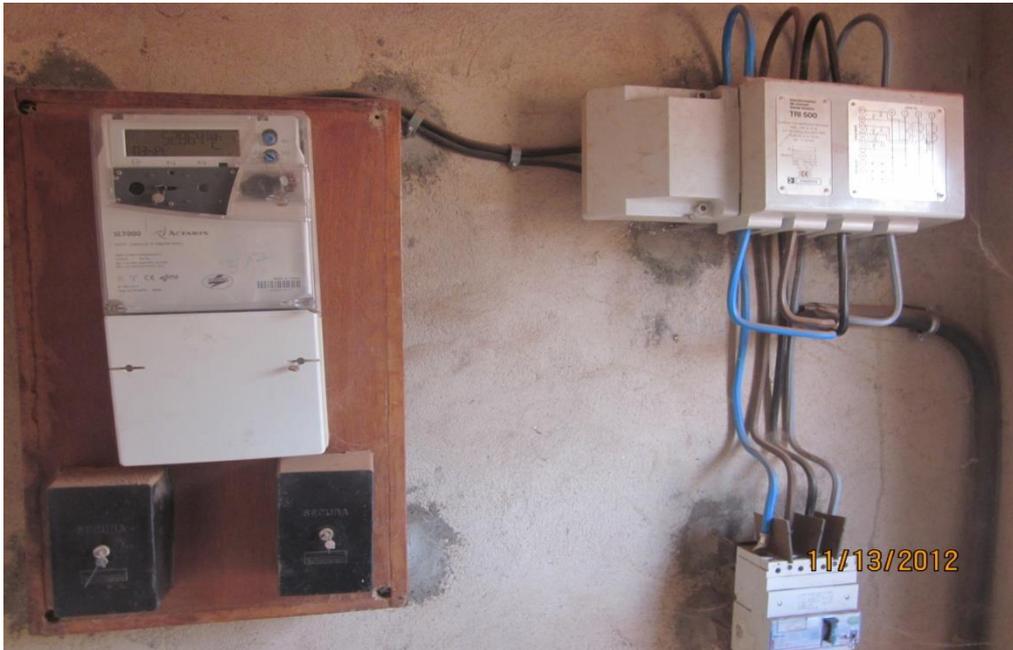


Figure 28: Comptage triphasé basse tension réseau de Sabou



Figure 29: TC et TP pour le comptage coté HTA réseau de Sabou



Figure 30: Montage pratique en laboratoire

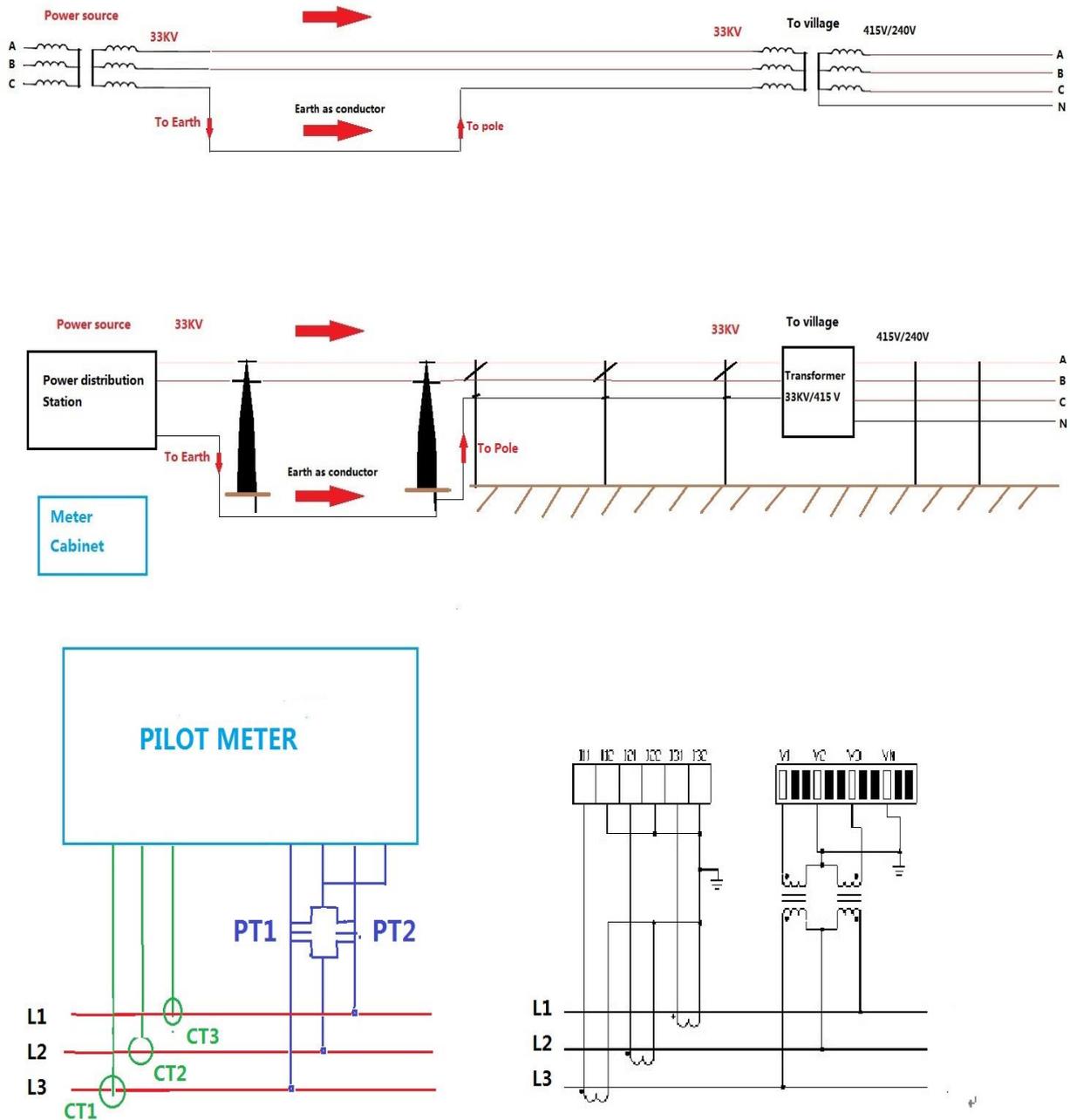


Figure 31: Système de comptage autre fois utilisée en chine



Figure 32: Valise d'injection de courants déséquilibrés



Figure 33 : Transformateur 5 MVA alimentant le système au poste de SONABEL Kodeni de Bobo Dioulasso