



ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DE LA QUALITE DES BATTERIES VENDUES AU BURKINA FASO

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

Présenté et soutenu publiquement le 22/01/2024 par

Afsatou OUEDRAOGO (2020 0072)

Maître de stage : M. Arouna DARGA, fondateur de DARGATECH-SARL, Maitre de conférences de Sorbonne-Université au Laboratoire GeePs Centrale Supélec

Encadrant 2iE : Justin BASSOLE, Enseignant au département Génie Electrique et Energétique et Industriel (GEEI)

Structure d'accueil du stage : DARGATECH-SARL

Jury d'évaluation du stage :

Président : Pr Moussa SORO

Membres et correcteurs : Dr Daniel YAMEGUEU
Dr Gaëlle Kafira KO

Promotion [2020/2023]

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à ma famille :

Mon père bien aimé qui a toujours fait de l'éducation de ses enfants sa première priorité et a toujours fournis les plus grands efforts pour leur encadrement ;

Ma mère, ma source d'inspiration qui m'a toujours offert le soutien moral et émotionnel pour l'accomplissement de mes projets ;

Mon cousin Raphaël, qui a toujours été un soutien indéfectible me guide sur mes pas tout en m'injectant le goût du travail bien fait ;

Mes frères et sœurs, surtout grande sœur Mariam qui a été et continue d'être pour moi une bouffée d'oxygène

Mes proches et amis qui m'ont accompagné de près ou de loin dans la réalisation de ce projet d'étude.

CITATIONS

« Quand on veut une chose, tout l'Univers conspire à nous permettre de réaliser notre rêve. »

Paulo COELHO

« Nous sommes ce que nous répétons chaque jour. L'excellence n'est alors plus un acte, mais une habitude. »

Aristote

REMERCIEMENT

Mes premiers remerciements vont à l'endroit de Dr Arouna DARGA, fondateur de DARGATECH-SARL qui a été la première personne à m'avoir fait confiance dans cette aventure et m'a apporté son aide et expertise dans la réalisation des expérimentations et dans les discussions autour des problématiques techniques et scientifiques.

C'est avec un grand honneur que je tiens à remercier mon encadrant, Monsieur BASSOLE, enseignant à 2iE pour m'avoir accompagnée et guidée durant ces travaux. Je le remercie également pour les conseils et pour le temps consacré à la lecture attentive et les corrections de ce document.

J'adresse de chaleureux remerciements à toutes les personnes, amis et camarades avec qui j'ai eu un grand plaisir à discuter sur des sujets scientifiques et économiques.

Je remercie également les personnes avec qui j'ai travaillé et qui m'ont apporté toute leur aide.

RESUME

Au Burkina Faso, 43,2% des ménages ont accès à l'électricité d'après une enquête menée en 2018 par l'INSD, alors 28,4% des ménages utilise l'énergie solaire pour l'électrification[1]. Les **batteries d'accumulateurs**, principal facteur de la cherté des installations solaires photovoltaïques sont constituées de composants chimiques rendant difficile le contrôle de leur qualité. De 2018 à 2019, 26 000 tonnes de batteries, en majorité de qualité douteuse furent importées au Burkina. Nous avons quantifié ce constat à travers des enquêtes de terrain dans plusieurs quincailleries proches des zones non-électrifiées. Dans ces zones, on retrouve les batteries de mauvaise qualité se caractérisant par une étiquette portant de mauvaises informations et ayant une faible masse relativement aux indications. En plus de ces points de vente, les observations ont été portées sur les entreprises telles que Nelson Solar et 2ES où les étiquettes et la masse sont conformes.

L'inaccessibilité des tests de qualité des batteries se justifie par leur coût élevé en temps et argent. Pour pallier à cette difficulté, nous avons conçu un **banc de test** faisant la charge et la décharge des batteries. D'un point de vue étude technique, les tests ont alors permis de vérifier la **capacité** et la **résistance interne** en plus de l'inspection visuelle. Une batterie indiquant 12 V 120 W sur son étiquette a une capacité de 2,017 Ah et une autre marquée 12 V 180 sans unité a une capacité de 8,024 Ah pour un courant de décharge de 5 A et une résistance interne excédant la limite normale de 50 mΩ. Par contre, une ayant une étiquette informative a une capacité mesurée proche de celle indiquée, pour 18 Ah spécifiée, on mesure 12 Ah. L'analyse économique estime que le coût du Wh d'énergie stockée revient 140-479 FCFA pour les batteries de mauvaise qualité et pour les batteries de meilleure qualité à 100-108 FCFA. La **régénération**, maintenance préventive sur les batteries est économique à partir d'une capacité de plus de 150 Ah car améliorant la durée de vie.

Mots Clés :

-
- 1 - Batteries d'accumulateurs**
 - 2 - Banc de test**
 - 3 - Capacité**
 - 4 - Résistance interne**
 - 5 – Régénération**

ABSTRACT

In Burkina Faso, 43.2% of households have access to electricity according to a survey conducted in 2018 by the INSD, while 28.4% of households use solar energy for electrification. **Accumulator batteries**, the main factor in the cost of photovoltaic solar installations, are made up of chemical components making it difficult to control their quality. From 2018 to 2019, 26,000 tonnes of batteries, mostly of questionable quality, were imported. We quantified this observation through field surveys in several hardware stores close to non-electrified areas. In these areas, we find poor quality batteries characterized by a label bearing poor information and a low mass relative to the indications. In addition to these outlets, observations have been made of companies such as Nelson Solar and 2ES where labels and mass are compliant.

Due to the high cost in time and money and the inaccessibility of battery quality tests, we designed a **test bench** for charging and discharging batteries. From a technical study point of view, the tests then made it possible to verify the **capacity** and **internal resistance** in addition to the visual inspection. A battery marked 12 V 120 W on its label has a capacity of 2.017 Ah and another marked 12 V 180 has a capacity of 8.024 Ah for a discharge current of 5 A and an internal resistance exceeding the normal limit of 50 mΩ. On the other hand, one with an informative label has a measured capacity close to that indicated, for 18 Ah specified, we measure 12 Ah. The economic analysis shows that the cost of Wh of stored energy comes to 140-479 FCFA for poor quality batteries and for better quality batteries to 100-108 FCFA. **Regeneration**, preventive maintenance on batteries is economical from a capacity of more than 150 Ah because it improves the lifespan.

Key words:

1 – Accumulator batteries

2 – Test bench

3 - Capacity

4 – Internal resistance

5 – Regeneration

LISTE DES ABBREVIATIONS

2iE:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement
AC	Courant alternatif
ANEREE :	Agence Nationale des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique
DC:	Courant continue
FCFA :	Franc des Colonies Françaises d'Afrique
IEC :	Commission Electrotechnique Internationale
INSD :	Institut Nationale de la Statistique et de la Démographie
IRSAT	Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies
OCV:	Open Circuit Voltage
ODD :	Objectif de Développement durable
NF :	Norme française
VAN :	Valeur actuelle nette
SONABEL:	Société Nationale d'Electricité du Burkina Faso

SOMMAIRE

DEDICACES	i
CITATIONS.....	ii
REMERCIEMENT	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABBREVIATIONS	vi
SOMMAIRE	1
LISTE DES TABLEAUX.....	3
LISTE DES FIGURES.....	4
I. Introduction	5
I.1 Contexte de l'étude.....	5
I.2 Problématique.....	5
I.3 Questions de recherche.....	6
I.4 Présentation de la structure d'accueil.....	7
II. Objectifs du travail et hypothèses	7
II.1 Objectifs du travail	7
II.2 Hypothèses du travail	8
III. Synthèse bibliographique	9
III.1 Généralités : Batteries Acide-Plomb	9
III.2 Caractérisation de la batterie	10
III.3 Vieillessement des batteries Acide-Plomb.....	11
IV. Méthodologie de conception	12
IV.1 Présentation de la zone d'étude	12
IV.2 Matériels.....	12
IV.3 Méthodes	16

IV.3.1	Présentation du dispositif	17
IV.3.2	Fonctionnement du dispositif	18
IV.3.3	Methode d’experimentation du dispositif conçu	21
IV.3.4	Analyse et traitement des données	22
V.	Résultats et résolutions	23
V.1	Résultats de l’enquête.....	23
V.2	Etude technique	24
V.3	Etude économique	29
VI.	Discussion et analyses	32
VI.1	Analyse technique	32
VI.2	Analyse économique	33
VI.3	Régénération.....	34
VII.	Reflexion sur la mise en place d’une structure de recyclage	35
VII.1	Etat des lieux	35
VII.2	Realisation d’une structure de recyclage.....	36
VIII.	Conclusion.....	37
IX.	Recommandations – Perspectives	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Paramètres caractéristiques d'une batterie[5].....	9
Tableau II: Résultats de l'étude de prix	24
Tableau III : Récapitulatif des prix des batteries dans les quincailleries	24
Tableau IV : Capacités mesurées des batteries	26
Tableau V: Evolution de la résistance interne des cellules	29
Tableau VI : Comparaison des coût des deux types de batteries (Tableau III et Tableau II) .	30
Tableau VII: Coût des batteries de stockage en plomb	30
Tableau VIII: VAN du stockage en Acide Plomb des deux qualités	31
Tableau IX: VAN de la batterie de mauvaise qualité.....	31
Tableau X: Rapport entre les coût d'achat des batteries des deux groupes	31
Tableau XI: Analyse économique de la régénération des batteries	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Batterie neuve ouverte contenant du verre et du ciment.....	6
Figure 2: Schéma illustrative d'un générateur	10
Figure 3: Modélisation électrique d'un accumulateur	11
Figure 4: Schéma de montage de l'onduleur	14
Figure 5: Onduleur hybride	14
Figure 6 : Schéma de montage de la charge électronique	15
Figure 7: Charge électronique (DL24P).....	15
Figure 8 : Schéma synoptique du dispositif de test.....	18
Figure 9 : Banc de test réalisé	19
Figure 10: Mode de charge : priorité au réseau.....	19
Figure 11 : Mode de charge : priorité au générateur PV	20
Figure 12: Interface graphique du suivi de la charge	20
Figure 13: Interface graphique de l'application de la décharge.....	21
Figure 14: Schéma du dispositif de mesure de la résistance	22
Figure 15: Batterie avec etiquette non conforme	25
Figure 16: Batterie avec etiquette informative	25
Figure 17: Graphe de la tension des batteries 1 et 3 lors d'une décharge.....	26
Figure 18: Graphes de la tension des batteries 2 et 4 pendant une décharge	26
Figure 19 : Variation de la tension en fonction du temps de la batterie 3.....	27
Figure 20: Variation de la tension de la batterie 4	28
Figure 21: Variation de la résistance interne pour batterie 3 et 4 en fin de décharge	28
Figure 22: Variation de la résistance interne mesurée pour Batterie 1 et batterie 3	29
Figure 23: Batterie de mauvaise qualité	32
Figure 24: Différence des couuts d'achat des deux types de qualité	34
Figure 25 : Batteries Acide-plomb usées[21].....	36
Figure 26: Processus de recyclage des batteries Acide-Plomb[23].....	37

I. INTRODUCTION

I.1 Contexte de l'étude

Selon l'enquête réalisée par l'Institut Nationale de la Statistique et de la Démographie (INSD) en 2018, il ressort qu'au Burkina Faso, 43,2% des ménages ont accès à l'électricité. Soit un taux d'électrification urbain de 74.7% et un taux d'électrification rural de 32.2% et un taux de couverture de 38.56% en 2018[1]. Cette disparité entre milieu rural et urbain s'explique par l'incapacité de la Société Nationale d'Electricité SONABEL de produire suffisamment mais aussi par le non-lotissement de certaines localités. En effet, une zone doit être lotie par les services d'urbanisation afin que le réseau électrique y soit étendu.

Selon la logique de l'Objectif de Développement durable (ODD 7) qui concerne l'accès de tous aux services énergétiques durables et fiables à un cout accessible, l'énergie solaire se présente comme la meilleure option vu le potentiel énergétique solaire élevé du Burkina Faso. Les populations vivant dans les zones non-électrifiées ont donc recours au système solaire photovoltaïque pour l'électrification de leurs habitats et leurs activités socio-économiques. Cependant, les équipements solaires photovoltaïques de qualité reconnus ont des couts élevés, supérieurs au pouvoir d'achat des habitants des zones non loties et des villages. La cherté relative des équipements durables les emmène à s'intéresser à un marché déjà inondé d'équipements de qualité douteuse. Il est constaté un engouement dans les points de vente destinés aux populations démunies autour des batteries importées de qualité douteuse. D'après une étude réalisée en 2019 par l'ANEREE[2] l'utilisation des équipements solaires a pris une proportion importante, de 2010 à 2018, 83 440 tonnes de panneaux solaire et 26 000 tonnes de batteries ont été importées, généralement d'une durée de vie limitée et de qualité douteuse. La présente étude porte sur les systèmes de stockage pour les installations solaires photovoltaïques à savoir les batteries de type acide-plomb étanches de qualité douteuse vendues sur le marché burkinabé.

I.2 Problématique

La batterie, moyen de stockage privilégié de l'énergie solaire photovoltaïque est l'élément le plus vulnérable dans une installation solaire autonome, justifiant l'importance d'assurer leur qualité depuis la production.

En effet, les fabricants effectuent une caractérisation initiale puis des tests de vieillissement suivant des normes. La procédure d'essai de cycle suivant la norme IEC 61427 ou la norme NF C 58--510, la procédure de test d'efficacité suivant la norme IEC 62093[3] . La réalisation

de ces tests est coûteuse en temps et en ressources financières mais aussi les résultats ne sont souvent disponibles qu'après plusieurs mois[3]. Par exemple, le test de cyclage suivant la norme NF C 58-510 a une durée totale allant de 3 mois à 2 ans et celui suivant la norme IEC a une durée de 5 mois à plus d'un an. Les fabricants des batteries répandues sur les marchés de notre zone d'étude ne respectent pas les tests de qualité suivant les normes au vu de leurs faibles durées de vie, d'où l'intérêt de réaliser les tests de performances. La batterie ci-dessous a été retrouvée sur un marché de la ville de Ouagadougou (voir Figure 1), c'est une batterie Acide-plomb de 12V n'ayant pas d'indication de la capacité, un exemple de la multitude de batterie de qualité douteuse retrouvées sur nos points de vente.



Figure 1: Batterie neuve ouverte contenant du verre et du ciment

I.3 Questions de recherche

Au vu de la submersion du marché par les batteries de faible qualité, du coût élevé de la réalisation des tests de performances dans les laboratoires normalisés de contrôle de la qualité pour l'importateur et l'utilisateur, il a semblé nécessaire de répondre aux questions suivantes :

- A quels prix sont vendues les batteries (qualité douteuse et bonne) ?
- Quels sont les critères de qualité permettant la qualification par inspection visuelle et par des mesures d'une batterie Acide-Plomb ?
- Comment procéder à l'établissement d'un banc de test par mesure pour les batteries ?
- Comment évoluent la perte de capacité et de la résistance interne de ces batteries ?

Il a d'abord été question de réaliser un parcours sur les études menées sur la technologie Acide-Plomb et Lithium Fer Phosphate ainsi que les différentes méthodologies de test de qualité pour la consolidation de la base d'étude. Ensuite, il a été réalisé une enquête sur le marché afin de

s'enquérir des informations relatives à la vente des batteries de basse qualité puis grâce à des outils bien adaptés, d'élaborer une méthodologie pour obtenir des résultats. Enfin, ces données après traitement et analyses permettront de répondre à la problématique du sujet.

I.4 Présentation de la structure d'accueil

DARGATECH-SARL est une entreprise d'économie sociale et solidaire, fondée par des experts en énergie renouvelable. Spécialisée dans la conception, l'ingénierie et l'installation de systèmes de pompage et de production d'électricité utilisant les sources d'énergie renouvelable, ses clients principaux sont les populations du Burkina Faso et du Sénégal. Avec un savoir-faire reconnu et acquis sur le terrain, DARGATECH accompagne les institutions, organisations non gouvernementales, associations, coopératives villageoises et bureau d'études dans toutes les étapes de réflexion et de déploiement de projets d'accès à l'électricité et à l'eau. L'approche de DARGATECH est de construire sur l'optimisation de la performance, la qualité, l'innovation technologique et la digitalisation. De ce fait, elle exerce dans les domaines suivants :

- Efficacité énergétique
- Systèmes solaires photovoltaïques
- Sécurisation d'alimentation électrique
- Mini-réseaux intelligents
- Pompage solaire
- Eclairage public
- Electrification rurale

En ce qui concerne les offres, DARGATECH réalise :

- Installation, maintenance et suivi d'unités de production d'eau et d'électricité
- Etudes de planification
- Ingénierie technico-économique
- Formations professionnelles
- Benchmarks d'équipements : tests de conformité

II. OBJECTIFS DU TRAVAIL ET HYPOTHESES

II.1 Objectifs du travail

L'objectif principal visé par cette étude est de contribuer au développement d'outils, low-cost ou à coût soutenable, de contrôle de la qualité des batteries disponibles sur le marché afin d'orienter les clients. Il s'agit également de mener une étude technico-économique sur la qualité

des batteries vendues au Burkina Faso.

De façon spécifique, il s'agira d'atteindre les objectifs suivants :

- Réaliser des enquêtes terrains dans les points de vente de la ville de Ouagadougou pour identifier les types de batteries Acide-plomb avec les caractéristiques et les prix par marque
- Identifier les critères de qualification d'une batterie
- Concevoir une plateforme de test de batterie pouvant servir à la mesure de la capacité et la résistance interne
- Analyser la rentabilité de la régénération des batteries de type Acide-plomb

II.2 Hypothèses du travail

Les procédures de test en cyclage des batteries utilisées dans des systèmes autonomes ont pour but d'évaluer la durée de vie de la batterie exprimée en perte de capacité au cours du test, qui est reproduit suivant une utilisation typique sur le terrain. Les cycles provoquent un vieillissement de la batterie en accélérant le processus de dégradation tel que la sulfatation, la stratification, la corrosion et le ramollissement au niveau de la grille de la batterie et de la matière active[4]. Des études menées par l'Agence Internationale de l'Energie montrent que la plupart des procédures de test conduisent à une sulfatation significative de la batterie mais pas de phénomène de corrosion[3]. Les batteries solaires à plaques planes sont sensibles à tous les types de dégradation d'où l'intérêt de chercher des moyens pour accélérer les tests en partant d'une étude des paramètres clés.

La présentation physique des batteries de qualité douteuse, objet de notre étude, et la durée de vie en utilisation sur le terrain définissent une capacité plus basse que celle inscrite. Pour évaluer la qualité d'une batterie, les paramètres clés sont :

- La capacité réelle par rapport à la capacité nominale
- L'efficacité énergétique qui est le pourcentage d'énergie délivrée par rapport à l'énergie utilisée
- La résistance interne
- Le taux de réduction de la capacité par rapport au cycle de charge et de décharge
- Le cycle de vie
- Le coût
- La toxicité

De ce qui précède nos hypothèses de travail sont les suivantes :

- La sélection des batteries peut se faire par inspection visuelle notamment basée sur l'étiquette et la masse
- La mesure de la capacité et le suivi de l'évolution la résistance interne permettent d'évaluer le niveau de qualité de la batterie

Le Tableau I fournit les paramètres normalisés qui caractérisent les batterie de type Acide plomb et celle de type lithium fer-Phosphate.

Tableau I : Paramètres caractéristiques d'une batterie[5]

Technologie	Acide plomb ouvert	Acide plomb fermée	LFP
Energie spécifique (Wh/kg)	30	40	90-120
Tension en circuit ouvert (V)	2	2	3,3
Cycle de vie (80% DOD)	1 200	1 000	> 2 000
Efficacité (%)	> 80	> 80	85 - 95
Coût (\$/kWh)	120	65	580
Toxicité	Haute	Haute	Faible

A l'opposée des industries ou des laboratoires de test qui étudient tous ces paramètres, nous n'aborderons que la résistance interne, la capacité et l'aspect économique.

III. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

III.1 Généralités : Batteries Acide-Plomb

Malgré l'émergence et la concurrence de nombreux couples électrochimiques, la technologie la plus utilisée dans l'automobile et dans les application stationnaires est le plomb. La batterie au plomb reste par son prix de revient faible, sa fabrication aisée et sa bonne recyclabilité le moyen de stockage le plus vendu, soit 60% du marché des accumulateurs[6]. Les réactions électrochimiques sur les électrodes permettent de fournir du courant et donc de l'énergie à l'extérieur de celle-ci. La batterie est constituée d'une électrode positive en oxyde de plomb, d'une électrode négative en plomb et d'acide sulfurique comme électrolyte. Lorsque cette batterie alimente un circuit récepteur, le passage du courant entre les électrodes implique les mêmes phénomènes physiques que pour une électrolyse : des réactions électrochimiques qui obéissent à la loi de Faraday et la migration des ions. La Figure 2 illustre le principe décrit précédemment. Du point de vue énergétique, il ne faut pas oublier que le passage du courant s'accompagne d'effets thermiques associés, y compris au niveau des interfaces[7]. La batterie au plomb est la plus ancienne technologie et la plus utilisée dans le monde[8].

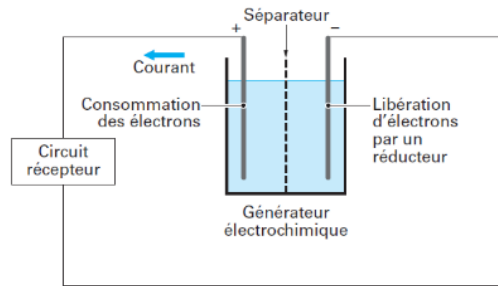
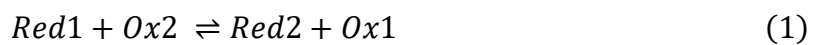


Figure 2: Schéma illustratif d'un générateur

Les accumulateurs électrochimiques exploitent les phénomènes d'oxydo-réduction qui ont lieu aux interfaces électrodes électrolyte[9] et dont une équation chimique est la suivante :



La tension à l'équilibre de l'accumulateur correspond à l'OCV, c'est la différence de potentiel résultant des potentiels d'équilibre. Le potentiel d'une électrode est fonction de la répartition des charges positives et négatives à l'interface électrode électrolyte. En fonctionnement, lorsque l'accumulateur débite un courant, la tension à ses bornes change en fonction du courant et s'écarte de la tension d'équilibre l'OCV.

III.2 Caractérisation de la batterie

L'identification de certaines caractéristiques de l'accumulateur est nécessaire pour la mise au point d'un modèle de comportement, de vieillissement ou pour les deux. Le besoin en mesure est lié au type de modèle choisi, à sa complexité et à la plage de paramètres de modélisation[10]. Les essais réalisés pour le test des batteries en laboratoire ont pour but dans un premier temps de donner les performances instantanées du pack batterie puis dans un second temps, les performances de la batterie au fur et à mesure de son vieillissement dans les conditions d'utilisation variables. Compte tenu de la durée de vie réduite des batteries Acide-Plomb, il faut recourir à des techniques qui ont l'avantage de ne pas trop impacter l'accumulateur. Le protocole d'essai représentatif de l'usage et de ses conditions est utilisé pour la mise en place d'un modèle de batterie. Un type de ce protocole est la caractérisation par mesures temporelles qui s'effectue en ligne sur la batterie est utilisée pour l'identification des paramètres comme la capacité, la résistance ou la courbe OCV. La mesure de capacité se fait en réalisant une décharge à courant constant de la batterie en partant d'un état complètement chargé.

III.3 Vieillessement des batteries Acide-Plomb

Le vieillissement des accumulateurs se traduit par l'augmentation de la résistance interne et la réduction de la capacité. L'augmentation de la résistance interne s'exprime par une diminution de la puissance disponible et ceci implique une réduction de l'énergie stockée[11]. Pour les applications professionnelles, les batteries mises en œuvre disposent généralement de spécifications propres aux applications photovoltaïques à savoir une bonne tenue en cyclage et une résistance accrue aux décharges profondes. Ces batteries sont généralement conçues et mises en œuvre pour des durées de vie de 5 à 15 ans[5].

L'ensemble formé par les électrodes, l'électrolyte, le séparateur et les collecteurs opposent une certaine résistance au passage du courant[12]. Une polarisation se crée entre la tension de la batterie et la tension à vide au niveau des électrodes, se caractérisant alors par le comportement d'une résistance globale qui constitue la résistance interne de la batterie. Les caractéristiques d'une batterie varient considérablement en fonction de sa valeur de la résistance interne[13]. De ce fait, les batteries à faible résistance présentent des caractéristiques favorables. La Figure 3 représente une modélisation électrique simple de la batterie et permettant de calculer sa résistance interne. La force électromotrice E mesurée au repos de la batterie s'écrit (2) où V est la tension à ses bornes et I le courant débité:

$$E = V + I * R_{int} \quad (2)$$

La résistance interne s'écrit selon l'équation suivante :

$$r = \frac{E - V}{I} \quad (3)$$

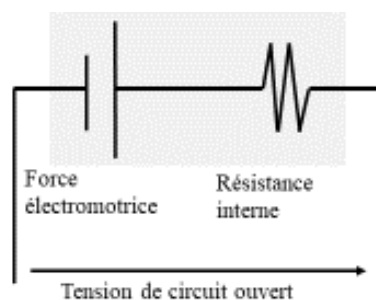


Figure 3: Modélisation électrique d'un accumulateur

La capacité nominale d'une batterie est sa possibilité à débité un courant donné sur un intervalle de temps après une charge complète à un régime de décharge, une tension d'arrêt et une température consignée par le constructeur.

Il existe deux modes de vieillissement des batteries[10]. Le premier type de vieillissement est appelée le vieillissement calendaire, dépendant de la température de stockage et de l'état de

charge de la batterie. Plus la température de stockage est élevée plus le vieillissement calendaire s'accélère et sera plus important pour un état de charge élevé que pour un état de charge bas. Le deuxième type de vieillissement est le vieillissement en usage ou en cyclage qui apparaît lorsque la batterie est utilisée soit en décharge soit en charge. La vitesse de vieillissement est donc dépendante de la température de la batterie en usage, le courant maximal de charge et de décharge, l'amplitude des variations d'état de charge et le courant moyen par intervalle de temps. En ce qui concerne les performances, ces deux modes de vieillissement entraînent une diminution de la réserve d'énergie disponible et de la puissance maximale pouvant être délivrée. Ces types de vieillissement sont caractérisés par une augmentation de la résistance interne et une réduction progressive de la capacité.

IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

IV.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans la région du Centre du Burkina Faso, plus précisément dans la commune de Ouagadougou. Ouagadougou est situé dans la zone soudano-sahélienne avec un climat caractérisé par une saison sèche allant de Novembre à Mai et une saison de pluie allant de Juin à Octobre. Les températures moyennes journalières varient de 27 °C (Décembre-Janvier) et 34 °C (Mars-Avril) avec 43 °C comme température maximale à l'ombre[14].

IV.2 Matériels

Les appareils et outils qui ont été utilisés dans la conception de la plateforme d'essai sont:

- La source de courant SONABEL
- Un module photovoltaïque
- Un onduleur hybride de 1 kVa
- Des appareils de protections électriques (disjoncteurs)
- Une charge variable DL24P
- D'un ordinateur pour la conception des logiciels de communication
- Une résistance ohmique
- Un capteur de température
- Un multimètre
- Câbles DC
- Des batteries testées Acide-plomb type Gel de 12 V réparties en deux lots soit un lot

constitué de batterie 1 et 3, échantillon prélevé dans les quincailleries et le deuxième couple constitué de batterie 2 et 4, échantillon prélevé dans les structures qualifiées.

- **Présentation des principaux éléments**
 - **Onduleur hybride: gestionnaire d'énergie**

L'onduleur (voir Figure 5) est un gestionnaire d'énergie faisant l'intermédiaire entre les sources d'énergie que sont le générateur photovoltaïque, le réseau SONABEL et la charge DC représentée par la batterie. Il dispose de 3 fonctionnalités à savoir la conversion du courant DC en AC, la régulation de la charge des batteries de toutes les technologies et l'alimentation AC des charges. Il permet aussi de charger les batteries avec le réseau SONABEL. Sa fonction régulation permet de charger la batterie avec un courant adapté car disposant de la fonction régulation et les données de la charge sont recueillies par la communication établie avec l'onduleur. L'onduleur utilisé est un onduleur hybride programmable et flexible utilisant différents algorithmes de charge pour optimiser le processus de recharge des batteries et maximiser leur durée de vie. Il est conçu pour prendre en compte les caractéristiques spécifiques des technologies de batteries (batteries au plomb-acide, au lithium-ion, lithium fer phosphate...).

Les performances techniques de l'onduleur hybride sont :

- Puissance 1 kVa/0.8 kW
- Tension 12 V DC
- Tension de charge : $\begin{cases} \text{Batterie ouvert: 14.6 V DC} \\ \text{Batterie AGM et Gel: 14.1 VDC} \end{cases}$
- Courant de charge 10/20 A

La Figure 4 représente le schéma de montage réalisé avec l'onduleur hybride que nous avons utilisé et présenté à la Figure 5. La source de courant est soit le réseau électrique soit le générateur PV et la charge connectée à la sortie est la batterie.

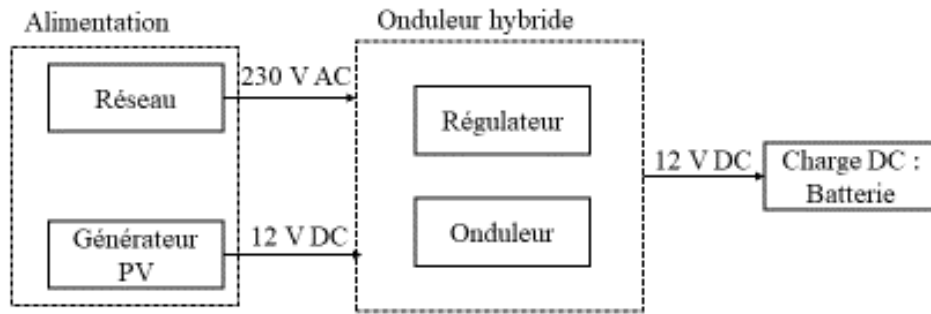


Figure 4: Schéma de montage de l'onduleur



Figure 5: Onduleur hybride

- Charge électronique

Le testeur électronique 180 W DL24P présenté à la Figure 7 permet de réaliser la décharge d'une batterie selon les modèles Courant Constant (CC), Tension Constante (CV), Résistance Constante (CR) et Puissance Constante (CP). Pouvant décharger avec un courant de 15 A maximum pour les batteries de 12 V, il fournit à la fin du test, suivant les paramètres de fin de décharge insérés la quantité d'énergie retirée de la batterie. Ne disposant pas de mémoire de stockage, comme le décrit la Figure 6, la communication établie avec un ordinateur fait la commande

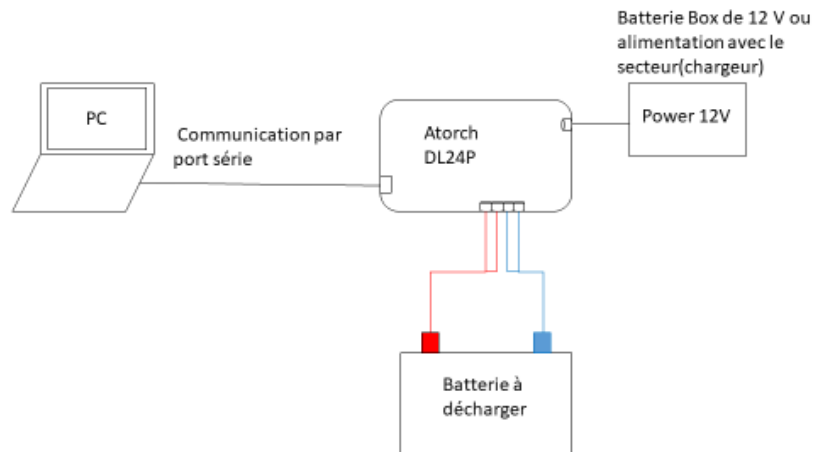


Figure 6 : Schéma de montage de la charge électronique



Figure 7: Charge électronique variable (DL24P)

- **Présentation des composants secondaires**
 - Module solaire photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque monocristallin de 150 W dont la fiche technique est à l'Annexe 4, est utilisé pour le montage du banc d'essai. Ce choix se justifie par le rendement et la disponibilité de ce module au sein de la structure d'accueil. Les paramètres du module solaire sont :

- Puissance maximale
- Tension en circuit ouvert
- Courant de court-circuit
- Courant de puissance maximale
- Tension de puissance maximale

- Disjoncteurs

Afin de protéger le banc et répondre aux normes de sécurité, les différents circuits électriques sont protégés par des équipements de protection électriques rangés dans un coffret électrique. Le choix des disjoncteurs tous DC s'effectue en fonction de la température de référence et du courant assigné suivant l'Annexe 5:

- Le module PV : Disjoncteur DC de calibre 10 A
- Batterie à recharger : Disjoncteur DC de calibre 25 A
- Batterie à décharger : Disjoncteur DC de calibre 16 A

- Câbles

La section de câble appropriée est calculée avec l'équation suivante :

$$S = \frac{2\rho LI}{\Delta V(\%) * U} \quad (4)$$

Le maximum de chute de tension est 3% de la tension nominale dans la partie DC conformément au guide UTE C15-712. Sur les différentes sections, on a les sections ci-dessous. Module Photovoltaïque-Onduleur hybride : nous utiliserons un câble de section $S = 1.5 \text{ mm}^2$ car l'intensité maximale que peut fournir le module est 8.24 A conformément à la fiche technique du fabricant.

Onduleur hybride-Batterie : Nous utiliserons un câble de section $S = 2.5 \text{ mm}^2$ étant donné que le courant maximal de sortie DC de l'onduleur hybride est de 20 A conformément à la fiche technique.

Charge électronique-batterie : un câble de section $S = 2.5 \text{ mm}^2$ puisque le courant de décharge maximal est de 10 A.

Réseau électrique (Prise électrique 2P+T) - onduleur : A ce niveau, il est utilisé un câble spécifique à l'onduleur.

IV.3 Méthodes

IV.3.1 Réalisation des enquêtes

- **Les quincailleries**

Les enquêtes ont été réalisées dans la zone de Kamboinsin précisément la zone d'habitation spontanée non raccordée au réseau électrique national où nous avons échangés avec les gérants avec une feuille d'enquête à l'appui sur les prix des batteries et leurs connaissances sur le sujet de distinction de mauvaises batteries. Sur les feuilles d'enquête imprimées, nous notions les réponses, les informations étaient ensuite réintroduites sur l'application Epicollect pour être traités par la suite.

- **Les entreprises**

Les entreprises visitées sont principalement Nelson Solar et 2ES avec la feuille de collecte de données réalisée sur Epicollect. Ces derniers mettent sur le marché des batteries dotées de fiches techniques complètes et répondant favorablement aux critères d'inspection visuelle. En effet ; ces derniers soumettent leurs batteries aux structures de certification de la qualité en effectuant notamment le contrôle de la capacité et du poids. C'est notamment le cas de Nelson Solar qui effectuent les tests de contrôle qualité au Laboratoire LASERE du département d'énergie de l'IRSAT avec des résultats conformes aux avis techniques du fabricant [15].

- **Structure de régénération Delta Energy**

Delta Energy est une entreprise réalisant la régénération préventive et curative des batteries. Cela concerne tant les batteries utilisées dans les installations solaires que dans les applications mobiles et particulièrement à la technologie plomb. Le processus consiste à réaliser la charge de la batterie d'accumulateurs récupérée puis effectuer une décharge qui constitue le test de la capacité[16].

IV.3.2 Présentation du dispositif

- **Cahier de charge**

Avant de procéder à la réalisation de notre dispositif, il est important de bien identifier les exigences techniques et les conditions environnementales. Le dispositif que nous concevons se caractérise par son accessibilité et sa gestion automatique. Les paramètres à mesurer sont :

- La tension en décharge : l'évolution de la tension de la batterie pendant la décharge
- La capacité :
- L'énergie : la quantité d'énergie fournie à la décharge
- La tension à la charge
- La résistance interne :

La résistance interne se calcule avec des données mesurées conformément à la modélisation de la Figure 3. Le montage est réalisé avec une résistance de 6.2 Ohms et la batterie, connectées

sur une platine.

- **Conception du logiciel**

En effet, la communication avec la charge électronique DL24P et l'onduleur hybride est réalisée par ordinateur avec un logiciel conçu et programmé avec le langage de programmation Python. Il a une interface graphique permettant de recueillir tous les paramètres de charge et de décharge de la batterie étant donné que le module DL24P ne dispose pas de mémoire de stockage de données de même que l'onduleur. Le logiciel enregistre les informations dans une base de données et permet la visualisation sur des graphes ainsi que l'exportation sous formats exploitables (CSV ; TXT). L'interface graphique dispose d'une partie commande et une partie graphique où l'on visualise les graphes d'évolution de la tension et la capacité, l'état de charge et le courant de charge de la batterie.

En somme, avec les composants décrits le banc de test expérimental répond au schéma synoptique de la Figure 8.

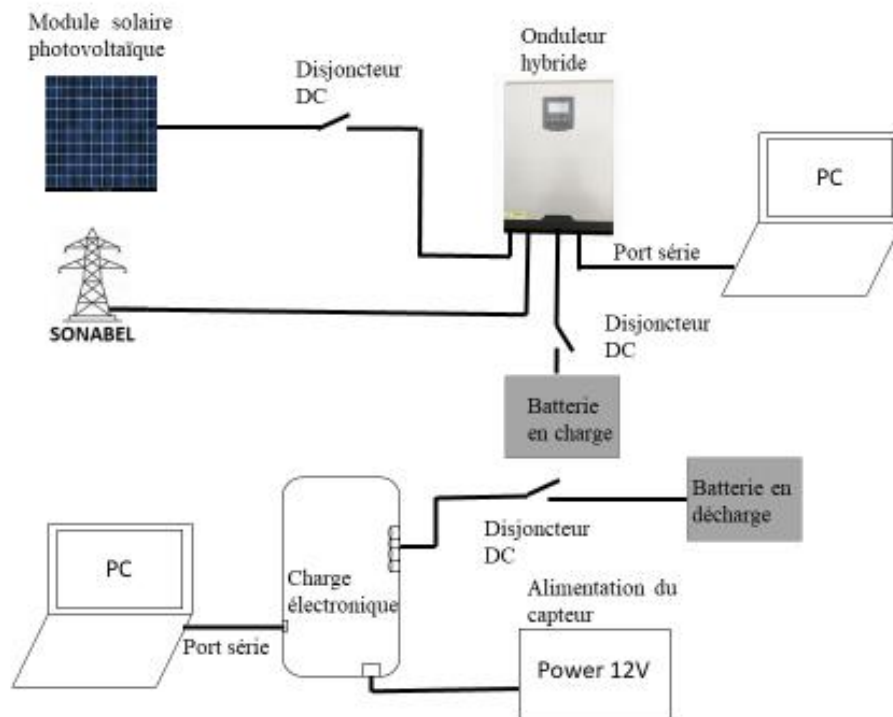
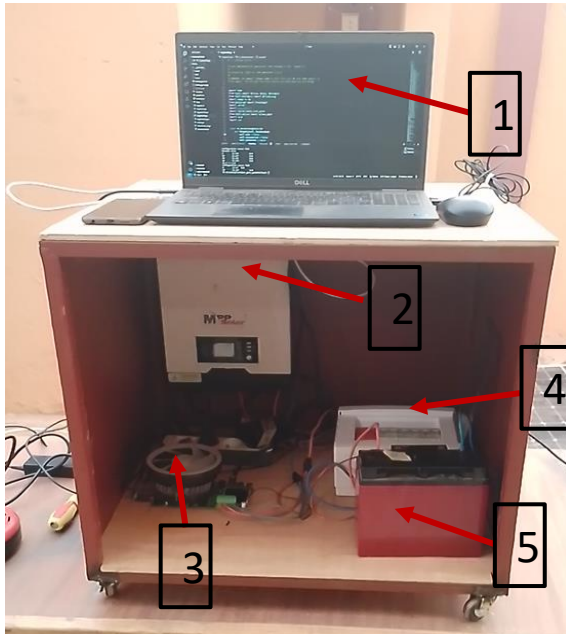


Figure 8 : Schéma synoptique du dispositif de test

IV.3.3 Fonctionnement du dispositif

Le dispositif est constitué de composants électriques et électroniques montés sur une maquette utilisant le réseau de la SONABEL ou le solaire photovoltaïque comme sources d'énergie. Afin de sécuriser le système et l'utilisateur, chaque composant est protégé par un disjoncteur. Le

dispositif est par ailleurs mobile et autonome permettant de le déplacer dans divers endroits pour tester des batteries. La Figure 9 représente le banc de test qui a été mis en place avec les



- 1- Interface de commande
- 2- Onduleur hybride
- 3- DL24P (module de décharge)
- 4- Coffret électrique
- 5- Batterie à tester

Figure 9 : Banc de test réalisé

composantes décrites ci-haut.

- **La charge**

Suivant la disponibilité de la source d'énergie qui est relatif au temps, le mode de chargement est choisi.

Lorsque le PV est non disponible, nous réalisons la charge de la batterie avec le réseau. C'est le mode de charge de la Figure 10.

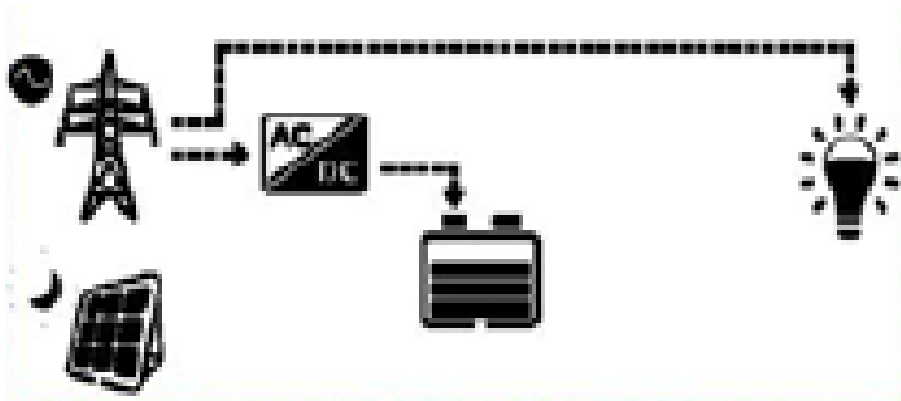


Figure 10: Mode de charge : priorité au réseau

Lorsque le PV est disponible, la charge de la batterie est effectuée avec cette source peu importe la disponibilité du réseau, mode de charge de la Figure 11. Ceci dans l'objectif de faire des économies d'énergie et rendre le système autonome (énergie solaire).

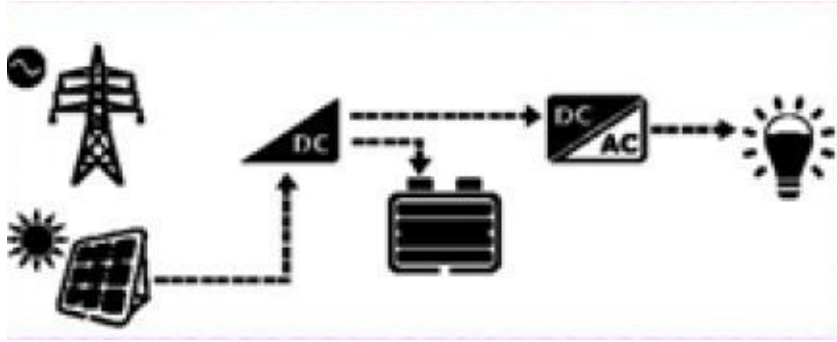


Figure 11 : Mode de charge : priorité au générateur PV

Le suivi de la charge est alors effectué par ordinateur. En effet, on obtient à travers le logiciel (voir Figure 12) les paramètres tels que l'état de charge, le courant de charge suivant le temps. Une fois la communication port série établie, on demande à l'utilisateur de choisir le type de sa batterie à charger dans une liste. En rappel, l'onduleur reconnaît les batteries Acide-plomb AGM, Gel et le lithium fer phosphate. Une fois ce paramètre défini, la variation de l'état de charge s'affiche ainsi que le courant de charge.

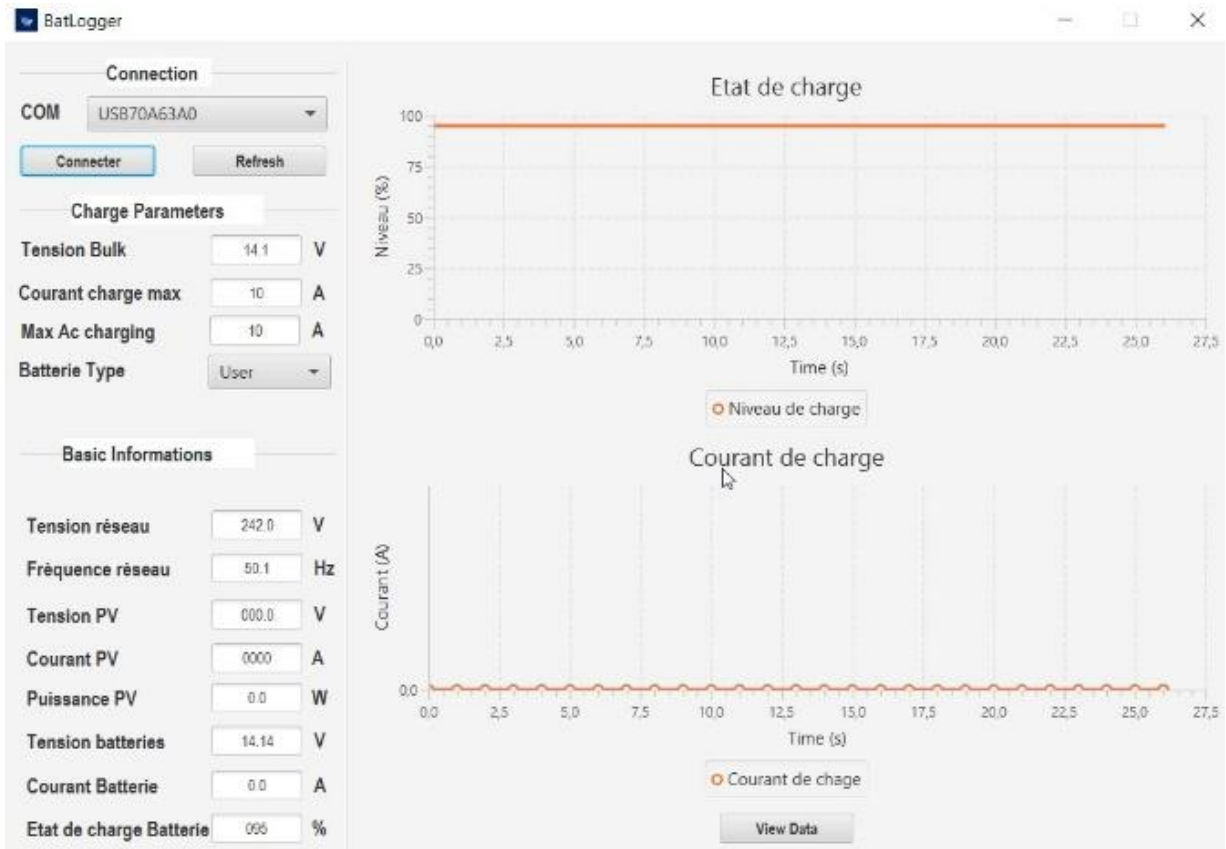


Figure 12: Interface graphique du suivi de la charge

- La décharge

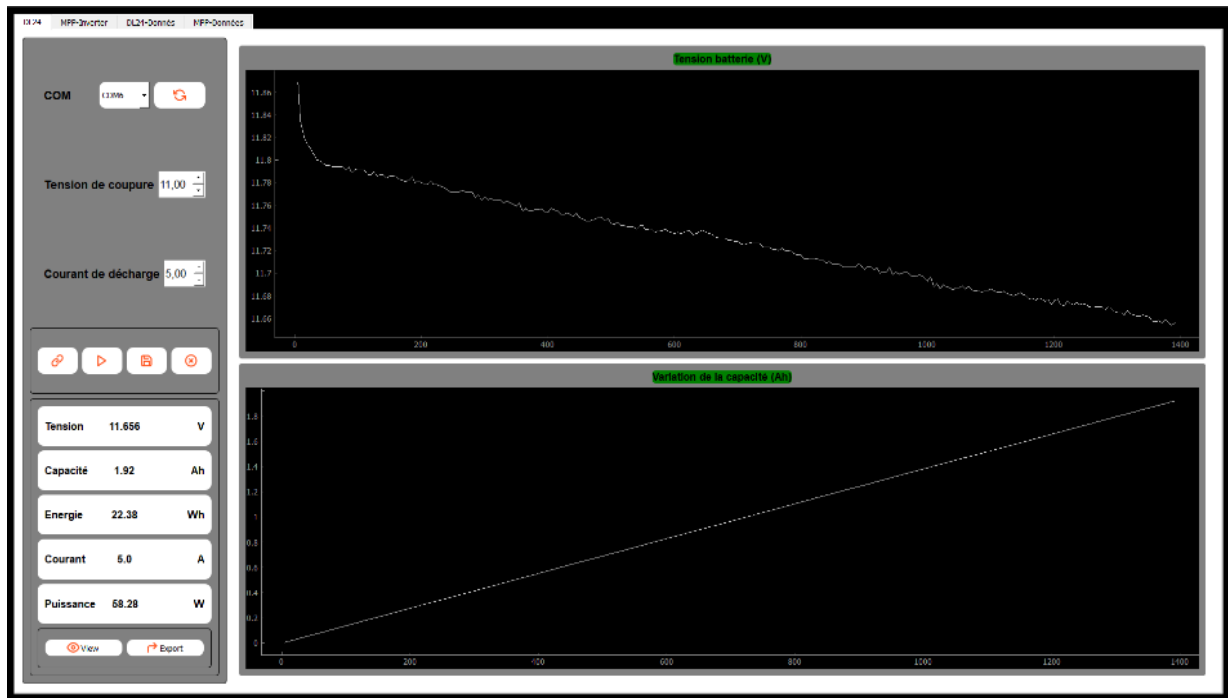


Figure 13: Interface graphique de l'application de la décharge

Après avoir câblé la batterie à tester avec la charge électronique et établi la communication par port série avec l'ordinateur, on procède à la définition des paramètres de décharge.

La décharge dans notre contexte s'effectue à courant constant et les paramètres à définir sont la tension de coupure et le courant de décharge. La tension de coupure est standard car respectant la tension de décharge maximale d'une cellule acide-plomb[5]. Sur la Figure 13, on peut observer la partie commande où l'on réalise les paramétrages et la partie graphique qui présente la variation de la tension et la capacité.

IV.3.4 Protocole d'expérimentation du dispositif conçu

En ce qui concerne l'expérimentation, elle a porté sur un échantillon de batterie au nombre de quatre. Les tests s'effectuent sur le banc de test de charge/décharge puis la collecte de données se fait à partir du logiciel programmé sur ordinateur pour la communication avec le système. Les principaux paramètres à analyser étant la capacité totale déchargée, la capacité totale chargée et la résistance interne, ils seront récupérés à partir du programme pour être stockés sur une base de données.

Les différents branchements du matériel utilisé ont été réalisés avec le matériel cité précédemment pour la détermination de la capacité, de la résistance interne et l'OCV. Pour éviter une dégradation ou une défaillance soudaine ou complète, les grandeurs telles que la température, la tension et le courant ont des valeurs limites à ne pas dépasser.

- Etape de charge

La charge se réalise à tension constante avec une valeur de tension cible. Pour une batterie de 12 V, la tension de fin de charge d'une cellule Acide-Plomb étant de 2.35 V [5], la tension cible en charge est de 14.1 V puisqu'une batterie de 12 V est constituée de 6 cellules montées en série.

- Etape d'attente

Cela consiste à laisser baisser la température de la batterie avant de réaliser la décharge. Ce temps pouvant varier dans l'intervalle de 5 à 15 minutes.

- Etape de décharge

La décharge s'effectue à courant constant jusqu'à l'obtention de la tension de fin de décharge. La tension de fin de décharge d'une cellule Acide-Plomb est de 1.75 V. Alors pour une batterie de 12 V, la tension cible est 10.5 V et un courant de décharge de 5 A.

- Calcul de la résistance interne

La première étape consiste à mesurer la tension en circuit ouvert (OCV) de la batterie avec un multimètre puis la connecter avec la résistance ohmique de 10 W sur une platine et mesurer le courant débité I et la tension V aux bornes de la batterie. La résistance est calculée à partir de la valeur du courant de décharge et la chute de tension [13]. Ainsi, la résistance interne de la batterie s'obtient par application de l'équation ci-dessous:

$$R_{int} = \frac{OCV - V}{I} \quad (5)$$

La Figure 14 représente le montage qui a été réalisé pour la mesure de la résistance interne des batteries.

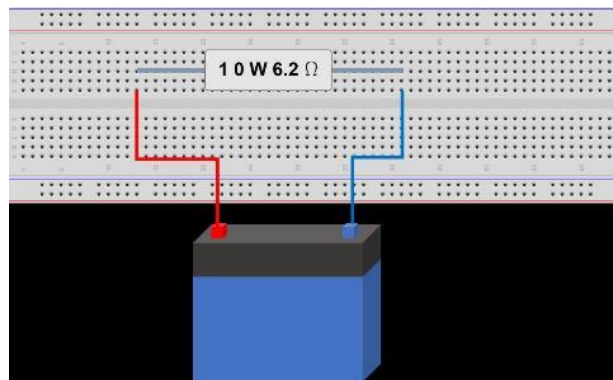


Figure 14: Schéma du dispositif de mesure de la résistance

IV.3.5 Analyse et traitement des données

Le logiciel conçu pour la communication avec le banc de décharge donne la courbe de l'évolution de la tension et de la capacité. Les données de la décharge et la charge sont enregistrées dans une base de données sous forme de fichiers exploitables. Pour ce qui concerne

la détermination de la résistance, les mesures sont effectuées avec un multimètre puis remplis sur une feuille Excel pour traitement.

V. RESULTATS ET RESOLUTIONS

V.1 Résultats de l'enquête

Ayant situé l'étude à la ville de Ouagadougou, la zone ciblée par l'enquête a été la zone non lotie de Kamboinsin ou nous avons réalisé nos enquêtes sur des quincailleries avec l'outil de collecte des données Epicollect. Les enquêtes ont été menées auprès de sept quincailleries pour lesquelles les coordonnées GPS sont regroupés sur une carte réalisée avec Google Earth Pro à l'Annexe 2 puis auprès des entreprises évoluant dans le domaine des énergies renouvelables afin de réaliser une comparaison sur la qualité et le prix des batteries vendues sur le marché burkinabé.

A chaque visite, il s'agissait de répertorier les batteries suivant la capacité, le poids ou la taille, et le prix avec des photos à l'appui.

- **A L'ANEREE**

Dans cette société d'Etat, le contrôle de la qualité des batteries se fait par demande des entreprises. Le contrôle de la qualité des batteries n'est donc pas obligatoire sur l'étendue du territoire. Cela s'est justifié par l'inexistence des textes permettant de réaliser le contrôle systématique. Les paramètres mesurés sont la capacité et la résistance interne avec des appareils spécifiques, la mesure de la capacité consistant à effectuer une charge complète puis une décharge à courant constant jusqu'à l'atteinte de la tension de décharge cible en fonction du type de la batterie. L'appréciation de la résistance interne suit la norme IEC d'où la valeur limite est de 50 m Ω . En ce qui concerne la tarification des tests, elle est effectuée par lot, l'échantillon prélevé varie entre 5 à 10 %. Par exemple, pour un lot de 1 000 batteries importées, 50 à 100 batteries sont testées à hauteur de 5 000 000 FCFA soit 5 000 FCFA par batteries (1 000 batteries)[17].

- **Pour les entreprises**

Les enquêtes effectuées auprès des entreprises reconnues de notre zone d'étude permettent de faire un récapitulatif des prix de ventes des batteries consigné dans le Tableau II.

Tableau II: Résultats de l'étude de prix

Désignation	Technologies	Descriptif	Prix ordinaire (FCFA)
Nelson Solar	Tubular gel	12V-200Ah	340 000
		12V-160Ah	240 000
		12V-100Ah	175 000
	Pur Gel	12V-200Ah	240 000
		12V-150Ah	180 000
		12V-100Ah	130 000
	AGM	12V-200Ah	220 000
		12V-150Ah	170 000
		12V-100Ah	120 000
		12V-80Ah	80 000
		12V-55Ah	60 000
		12V-40Ah	42 500
		12V-24Ah	27 500
		12V-18Ah	22 500
12V-8Ah	12 500		
LFP	12V-40Ah	120 000	
2ES	Pur Gel	12V-200Ah	235 000
		12V-150Ah	165 000

La différence de prix sur les batteries de même capacité s'explique par leur différence en terme de cyclage et de la résistance interne. Plus le cyclage est élevé, plus le coût est élevé.

- **Pour les quincailleries**

Les enquêtes effectuées auprès des entreprises reconnues de notre zone d'étude permettent de faire un récapitulatif des prix de ventes des batteries consigné dans le Tableau III.

Tableau III : Récapitulatif des prix des batteries dans les quincailleries

Marque	Capacité	Prix (F CFA)
Olandia	200 'Ah'-12 V	23 500
Kysun	200 'Ah'- 12 V	18 000
	150 'Ah' - 12 V	12 500
	40 'Ah' - 12 V	10 000
SunAfrica	180 'Ah' - 12 V	12 500
HighPower	100 'Ah' - 12 V	12 000
Sun Power	200 'Ah' - 12 V	20 000
	150 'Ah' - 12 V	11 500
	300 'Ah' -12 V	25 000

Nous définissons Ah entre griffes car il n'y a pas le marquage Ah caractérisant la capacité d'une batterie sur l'étiquette.

V.2 Etude technique

Avant de procéder au test de l'échantillon avec le banc de test que nous avons conçu, une

attention particulière a été prêtée sur l'étiquette et le poids ou la forme de la batterie. En effet les informations sur l'emballage sont non seulement différentes de celles inscrites sur la batterie et peu fiables.

- **Etiquette**

Les batteries sont différentes de par la présentation de l'étiquette. Les batteries vendues par les grandes structures (Figure 16) sont différentes de celles retrouvées dans les quincailleries (Figure 15) situées dans les zones non-raccordées au réseau électrique. L'étiquette doit donner les informations principales issues de la fiche technique. Les paramètres principaux sont la technologie, la tension, la capacité, le courant maximal de charge, la plage de température de fonctionnement.

- **Capacité**

La capacité d'une batterie est la somme des capacités de ses cellules ou chaînes de cellules montées en dérivation. Elle est donc limitée par la cellule ayant la plus petite capacité. Partant du lien entre la capacité et le poids de la batterie à Acide-Plomb, la densité énergétique permet de déduire le poids approximatif d'une batterie d'accumulateurs. Retrouver alors des batteries ne faisant pas le poids de la capacité inscrite sur l'étiquette établit le doute sur la qualité de celles-ci. La densité énergétique exprimée en (Wh/kg) représente le rapport de l'énergie que peut fournir le générateur électrochimique à sa masse.



Figure 16: Batterie avec étiquette non conforme



Figure 15: Batterie avec une étiquette informative

La série de tests réalisée sur les différentes batteries collectées donnent les valeurs de la capacité inscrites dans le Tableau III. La variation de la tension pendant la décharge pour les batteries de qualité douteuse sont présentées par la Figure 17 et celles des batteries de qualité non douteuse par la Figure 18 :

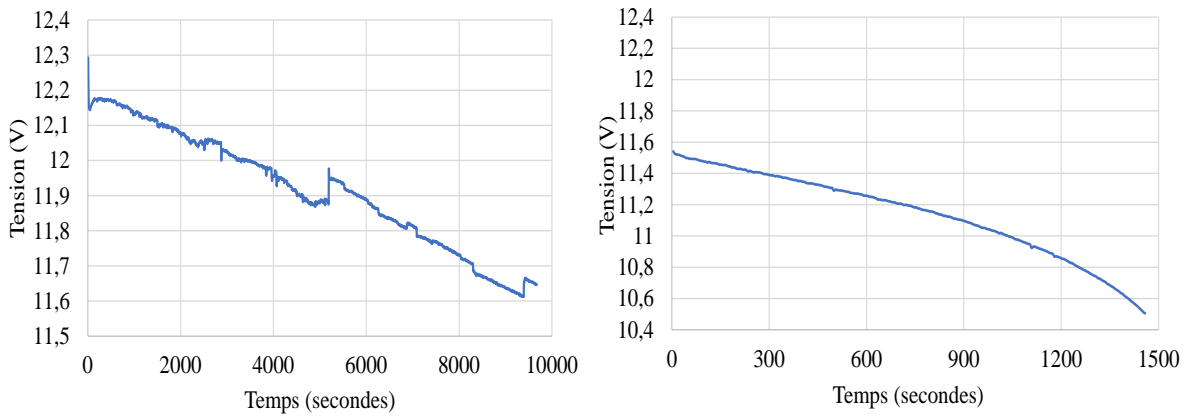


Figure 17: Graphe de la tension des batteries 1 et 3 lors d'une décharge

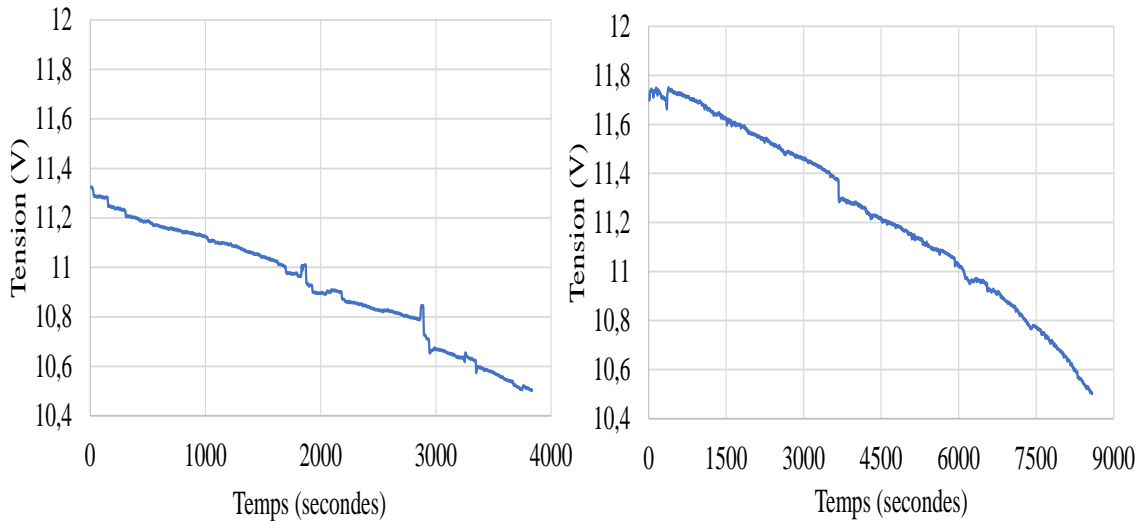


Figure 18: Graphes de la tension des batteries 2 et 4 pendant une décharge

Tableau IV : Capacités mesurées des batteries

Cellule	Capacité inscrite	Tension de début (V)	Capacité mesurée (Ah)	Temps de mesure
Batterie 1	180 ' '	12	8,024	2h 41mn
Batterie 2	18 Ah en 20h	12	12,051	2h50
Batterie 3	120 'W'	12	2 ,017	24 mn
Batterie 4	18Ah en 20h	12	11,87	2h 23mn

Nous marquons la capacité de la batterie 1 et 3 respectivement sans unité conformément à ce qui est inscrit sur l'étiquette. La batterie 1 de la marque SunAfrica a une spécification sur l'étiquette de 12V 180 sans unité et la batterie 3 de la même marque a une indication de 12V 180 W. La batterie 2 et la batterie 4, revendues par l'entreprise 2ES sont de type gel avec pour caractéristiques 12V 18 Ah. La décharge s'effectuant après avoir réalisé une charge complète de la batterie si toutefois, elle ne l'était pas. Pour les raisons de tests de charge, nous prenons une batterie par provenance (qualité douteuse et qualité reconnue) soit la batterie 3 et la batterie 4.

Nous pouvons suivre l'évolution de la tension lors de la charge effectuée sur la batterie 3 (Figure 19) et la batterie 4 (Figure 20). On observe une évolution de la tension par palier pour la batterie de qualité douteuse jusqu'à une stabilisation à partir de 12.7 V. Ce qui n'est pas le cas pour la batterie 4 qui après évolution se stabilise à 12 V.

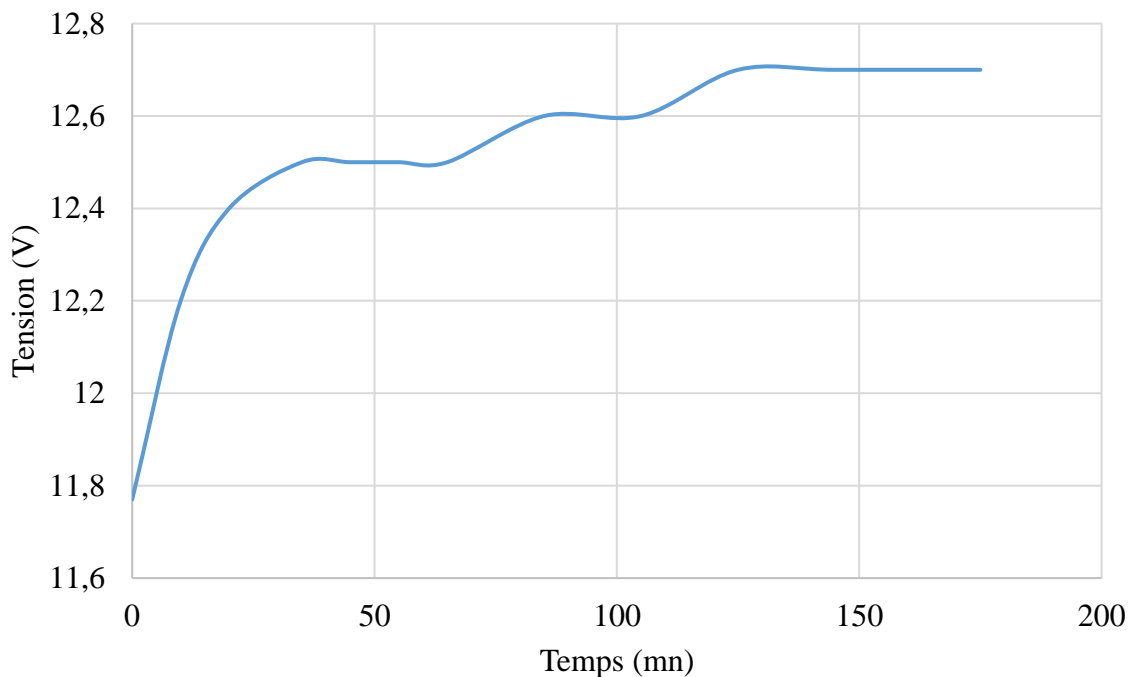


Figure 19 : Variation de la tension en fonction du temps de la batterie 3

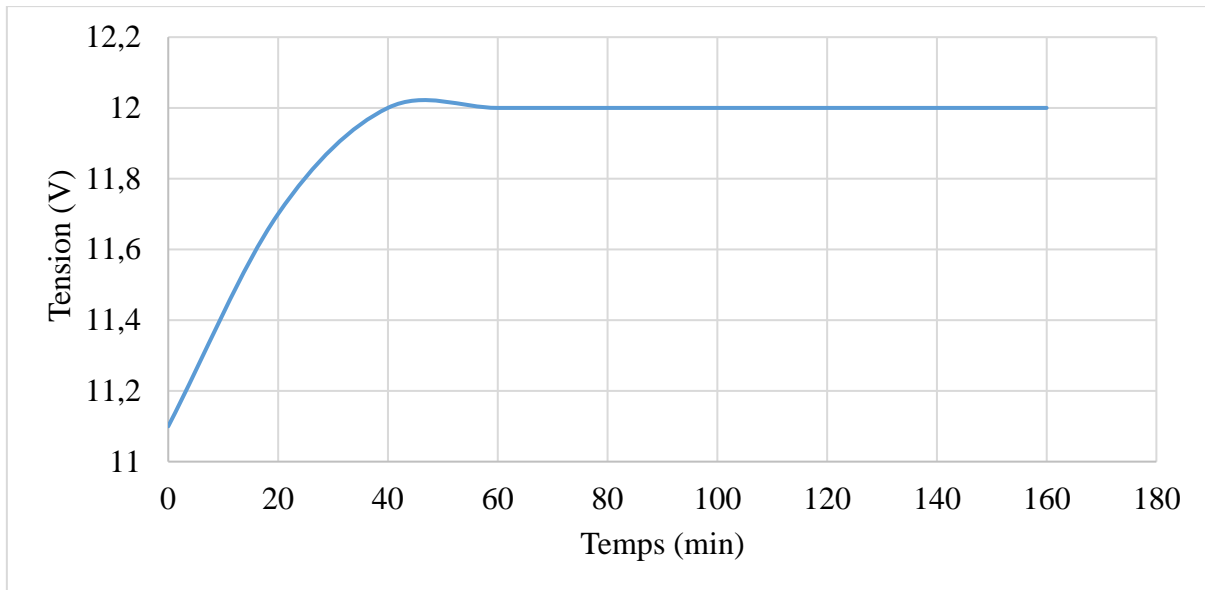


Figure 20: Variation de la tension de la batterie 4

- **Résistance interne**

La résistance interne est un paramètre qui évolue avec la température et la capacité, plus elles sont importantes, plus elle est faible. Les mesures de la résistance interne ont porté sur les batteries de test à des intervalles de temps de 10 secondes sur une minute. On constate que la résistance interne croît pendant la décharge pour toutes les batteries. La Figure 21 illustre la variation de la résistance interne mesurée pour la batterie 3 et la batterie 4 après que celles-ci étaient déjà dans un état de décharge complète. Elle montre la différence de résistance entre les batteries de qualité douteuses et celles non douteuses. Pour la batterie 4 déchargée, la résistance interne croît plus considérablement que pour la batterie 3 déchargée.

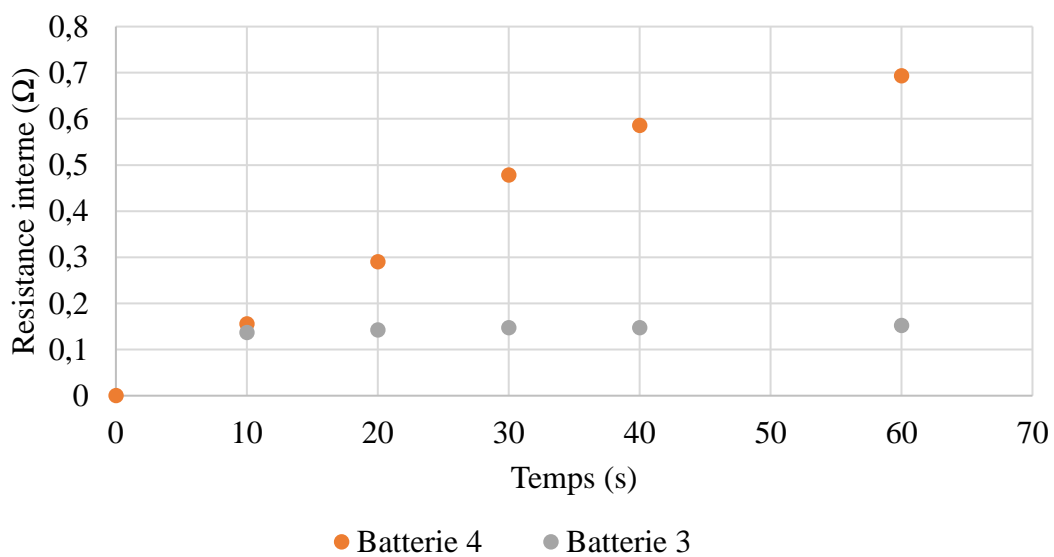


Figure 21: Variation de la résistance interne pour batterie 3 et 4 en fin de décharge

La Figure 22 illustre l'évolution de la résistance interne pour chacune des batteries de qualité

douteuse soit batterie 1 et 3.

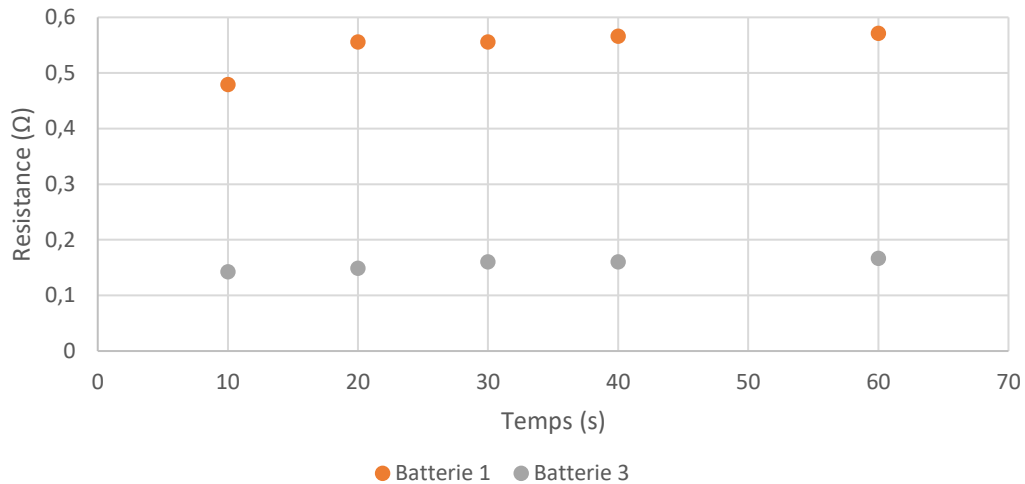


Figure 22: Variation de la résistance interne mesurée pour Batterie 1 et batterie 3

Nous avons mesuré la résistance interne avant et après la décharge pour un deuxième essai, les résultats sont disposés dans le Tableau V. On remarque une diminution de la résistance interne des batteries dans un état déchargé comparativement à lorsqu'elle est dans un état chargé.

Tableau V: Evolution de la résistance interne des cellules

Cellule	Résistance interne avant décharge (mΩ)	Résistance interne après décharge (mΩ)
Batterie 1	190	108
Batterie 2	152	87.5
Batterie 3	184	155
Batterie 4	231	123

V.3 Etude économique

- Calcul économique du stockage Acide-Plomb

L'étude des coûts de stockage sur le cycle de vie constitue un sujet sensible pour lequel le travail de caractérisation est des plus délicats[18]. Le stockage génère un certain nombre de dépenses qui sont d'une part le coût d'investissement C_{inv} comprenant l'achat du matériel, la construction et la mise en service de l'installation. Les différentes valeurs de coût d'investissement sont établies à l'aide des devis fournis par les entreprises Nelson Solar, 2ES et les 07 (sept) quincailleries pour être utilisées dans le calcul de la Valeur Actuelle Nette VAN. La VAN est un indicateur de la rentabilité d'un investissement et c'est ce paramètre qui permettra d'analyser l'impact économique des batteries de mauvaise qualité dans une installation. Lorsqu'il est

positif, le projet est rentable et non rentable lorsqu'il est négatif.

Du coût standard du kWh d'énergie stockée, réalisons une comparaison sur les prix des batteries de chacun des catégories rassemblés dans le Tableau VI.

Tableau VI : Comparaison des coût des deux types de batteries (Tableau III et Tableau II)

Capacités des Batteries	Coût normalisé de la technologie[5] (F CFA)	Coût batterie douteuse (F CFA)	Coût batterie meilleure qualité (F CFA)
200 Ah 12 V	102 240	20 000	220 000
150 Ah 12 V	76 680	11 500	180 000
100 Ah 12 V	51 120	9 000	130 000

D'autre part, les coûts d'exploitation relevant de la maintenance. Le Tableau VII présente ces différents coûts pour les deux catégories de batteries puis la valeur de la VAN est présenté au Tableau VIII.

Pour les projets d'énergie renouvelables, le taux d'actualisation r est de 8%, la valeur actuelle nette se calcule avec l'équation (7).

$$VAN = C_{inv} + \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} * C_{ren} + \frac{R}{(1+r)^n} \quad (7)$$

Tableau VII: Coût des batteries de stockage en plomb

	Jeu d'hypothèse	
	Meilleure qualité	Moindre qualité
Investissement (FCFA/kWh)	100 000	7 400
Maintenance (F CFA / kWh)	-	-

- Le coût d'investissement C_{inv} comprend l'achat du matériel et la mise en service dont la valeur est établie à l'aide de devis collectés lors des enquêtes sur les points de vente se trouvant au
- Le coût rentabilisé C_{ren} représente le coût équivalent à la quantité d'énergie étant stockée puis fournie par la batterie sur une année. Le calcul est effectué avec le coût du kWh électrique vendu au Burkina.
- n est la durée de vie de la batterie que nous estimons à 5 ans.

Une batterie en fin de de vie a une valeur résiduelle R considérée comme la valeur d'achat par les centres de collecte pour le recyclage. Par rapport au coût d'achat, elle peut être négligeable.

Tableau VIII: VAN du stockage en Acide Plomb des deux qualités

	Jeu d'hypothèse	
	Qualité reconnue	Qualité douteuse
VAN (F CFA / kWh)	45 734	138 233

Les résultats du Tableau VIII montre que d'un point de vue économique, les batteries contrefaites n'ont pas d'impacts. Ce qui n'est pas acceptable alors nous reprenons le calcul de ce paramètre avec le montant du kWh estimé avec la vraie capacité de ces dernières (Les capacités obtenues après tests) et le Tableau IX montre l'ampleur avec une VAN négative.

Tableau IX: VAN de la batterie de mauvaise qualité

	Jeu d'hypothèse	
	Investissement (FCFA/kWh)	VAN (FCFA/kWh)
Batterie de moindre qualité	375 000	-229 266

La valeur actuelle nette (VAN) permet de visualiser les dommages économiques d'un investissement sur les batteries truquées. En plus, nous réalisons un calcul comparatif sur la durée de vie de chacun des types.

Une batterie Acide-Plomb Pur Gel certifiée de 100 Ah est au prix de 130 000 FCFA alors que celle non certifiée de la même capacité apparente mais testée avec une capacité de 4 Ah est vendu à 18 000 FCFA. Le Tableau X permet de faire une comparaison sur l'investissement pour la meilleure qualité à la mauvaise qualité.

Tableau X: Rapport entre les coût d'achat des batteries des deux groupes

Temps (ans)	100 Ah Lot 1 (FCFA)	Batterie équivalente (FCFA)
1	18 000	12 500
2	36 000	
3	54 000	
4	72 000	
5	90 000	

S'approprier d'une batterie de bonne qualité avec une capacité correspondant à la vraie capacité de la fausse batterie coute 12 500 FCFA et ce pour une durée de vie de 5 ans, ce qui constitue 14% d'un investissement sur une mauvaise batterie de 100 Ah qui testée est de 4 Ah.

VI. DISCUSSION ET ANALYSES

VI.1 Analyse technique

Les batteries les plus souvent retrouvées dans les quincailleries (batterie 1 et batterie 3) sont de mauvaise qualité car ayant des capacités différentes de celles prévues ainsi que les résistances internes, la tension varie à une plus grande allure comparativement aux batteries 2 et 4. Avec les données de mesure recueillies à l'aide du logiciel conçu, nous avons observé une différence sur les caractéristiques inscrites et celles réelles. En effet, les batteries de mauvaise qualité sont reconnaissables de par leurs étiquettes. Les caractéristiques importantes d'une batterie ne s'y trouvent pas et la masse est très faible.



Figure 23: Batterie de mauvaise qualité

La Figure 23 est une batterie d'une capacité de 2.017 Ah pour un courant constant débité de 5 A : La substitution du verre au niveau des électrodes à la place du plomb au niveau de l'électrode négative et le dioxyde de plomb au niveau de l'électrode positive détermine l'incapacité de la batterie à fournir une plus grande énergie . C'est alors une batterie de mauvaise qualité et c'est le cas pour la batterie 1 et batterie 3 d'après la mesure de la capacité. Les batteries ayant par contre des étiquettes plus précises et identiques ont des capacités après test différentes. Ce sont des batteries de 18 Ah en C20 fournissant une des capacités différentes en débitant un courant constant de 5 A. Par contre la variation de la tension est presque identique. Cela se justifie par la sensibilité des batteries à la température ambiante. Les batteries 2 et 4 sont sensibles à la température qui influent sur la quantité d'énergie rendue.

En ce qui concerne les mesures de la résistance interne, toutes les batteries ont des valeurs excédant la limite de la norme de 50 mΩ avant ou après la décharge. Pour des mesures faites en une minute, la résistance de batterie 3 de qualité douteuse croit moins rapidement de 130 mΩ

à 152 mΩ et celle de la batterie 4 évolue plus rapidement de 155 mΩ à 600 mΩ. Ces valeurs de résistance interne élevées provoquent une perte d'énergie accrue, ce qui entrainerait une dégradation des performances de la batterie. De plus la génération de chaleur dans la batterie pendant l'utilisation accélère le processus de décharge[13]. Ainsi, en fin de charge, la valeur élevée de la résistance interne pourrait être liée à une taille plus grande des cristaux de sulfate de plomb et donc une augmentation de la sulfatation[6]. Ce que confirme les résultats obtenus dans le Tableau V montrant la diminution de la résistance interne après la décharge. En effet, la valeur de la résistance de la batterie est plus élevée dans un état chargé que dans l'état déchargé et ce fait pour toutes les batteries testées. Lorsque la température ambiante baisse, la température interne de la batterie est inférieure à celle lorsque la température ambiante est plus grande. Les performances deviennent moindres à faible température par la baisse de la conductivité ionique d'où l'élévation de la résistance interne. Les tests menés ont permis alors d'établir une liste de techniques permettant de détecter physiquement ou visuellement. Les batteries n'ayant pas de capacité conforme sont truquées aussi bien sur la composition que sur l'étiquette.

VI.2 Analyse économique

D'un point de vue économique, nous notons que les batteries rencontrées au Burkina Faso peuvent être classées en deux lots. Celles relativement moins coûteuses par rapport au coût standard du kWh d'énergie stockée par la technologie Acide-plomb et celles plus coûteuses qui ont de meilleure performance.

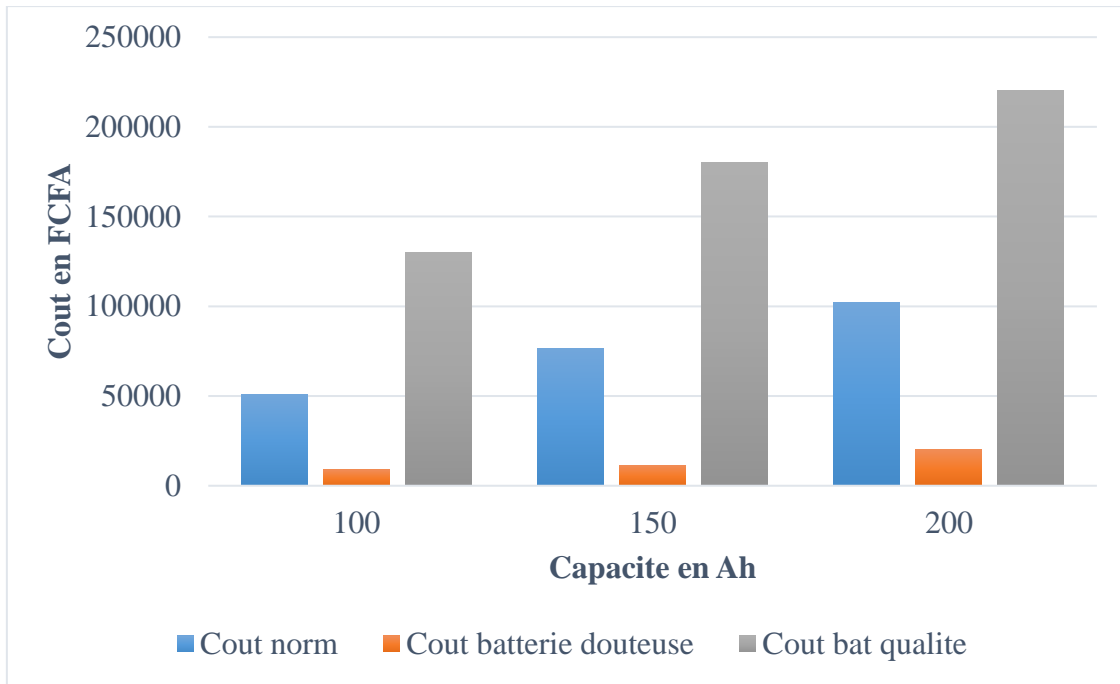


Figure 24: Différence des coûts d'achat des deux types de qualité

La Figure 24 permet de faire une comparaison du coût d'achat des batteries de même caractéristiques et de provenance différentes (qualité douteuse et meilleure qualité). Les batteries de mauvaise qualité sont plus coûteuses sur le marché après analyse de la vraie capacité obtenue par mesure. En effet, pour ce type de batteries, on estime le Wh d'énergie stockée à 140-419 FCFA. Pour les batteries de meilleure qualité, le coût demeure plus élevé que le standard et plus bas que celui des batteries de qualité douteuse soit 100-108 FCFA le Wh d'énergie stockée. La cherté du prix relativement aux performances conformes se justifie par l'application des coûts d'investissement pour la certification par les structures de contrôle existantes telles que l'ANEREE ou l'IRSAT[15] et d'autres frais. Pour une installation, les batteries bon marché constituent un mauvais investissement car la durée de vie est moindre et les performances faibles contrairement aux batteries au coût plus élevé qui offrent de meilleures performances. Cette analyse permet de confirmer que le coût détermine la qualité du produit batterie d'accumulateurs électrochimiques au Burkina.

VI.3 Régénération

La régénération des batteries permet de donner une durée de vie plus longue à la batterie. Une entreprise réalisant la régénération des batteries après nos enquêtes est Delta Energy situé dans un quartier de la ville de Ouagadougou. A partir de leurs tarifs de régénération, nous réalisons un calcul économique pour vérifier si cette solution est rentable. Leur système permet d'aller à une durée de vie de 4 à 5 ans pour une batterie d'une durée de vie prévue à 3 ans lorsque la

maintenance préventive est effectuée annuellement[16]. Le Tableau XI fait le récapitulatif des analyses économiques réalisées sur une plage de capacité des batteries.

Tableau XI: Analyse économique de la régénération des batteries

Capacité de la batterie	100 Ah	150 Ah	200 Ah
Prix d'achat de la batterie	120 000 FCFA	170 000 FCFA	220 000 FCFA
Tarif de régénération[16]	20 000 FCFA	25 000 FCFA	30 000 FCFA
Coût des batteries régénérées pour 5 ans	200 000 FCFA	270 000 FCFA	340 000 FCFA
Coût des batteries régénérées pour 15 ans	600 000 FCFA	810 000 FCFA	1 020 000 FCFA
Coût des batteries non régénérées sur 15 ans	600 000 FCFA	850 000 FCFA	1 100 000 FCFA

D'après les résultats de l'analyse économique, la régénération est économiquement rentable pour les batteries de grandes capacités car elle permet de faire des bénéfices sur les batteries de 150 Ah et 200 Ah. Pour ce qui est de la capacité 100 Ah, il n'y a aucun intérêt économique. La régénération, en plus de sa rentabilité est aussi favorable à la préservation de l'environnement. En effet, on renouvelle plus de fois le banc de batteries sans régénération que si elle se faisait sur une période donnée.

VII. REFLEXION SUR LA MISE EN PLACE D'UNE STRUCTURE DE RECYCLAGE

Le plomb est un des métaux les plus recyclés[19]. Selon une étude menée en 2019 par l'ANEREE, c'est une quantité de 26 698 tonnes de batteries qui sont importées dans la période de 2010 à 2018[2]. Son recyclage ou régénération sont tant un avantage pour la disponibilité de la ressource mais également un acte de protection de l'environnement et la santé de l'homme.

VII.1 Etat des lieux

Les batteries à acide plomb sont une source d'intoxication de l'environnement mais aussi de l'environnement. Ce phénomène est accentué pour le cas du Burkina Faso où il y a une affluence pour les batteries de mauvaise qualité. A l'échelle mondiale, l'explosion du marché des batteries se multiplie par 10 en 10 ans[20]. Il est possible de recycler la quasi-totalité des composants d'une batterie au plomb.

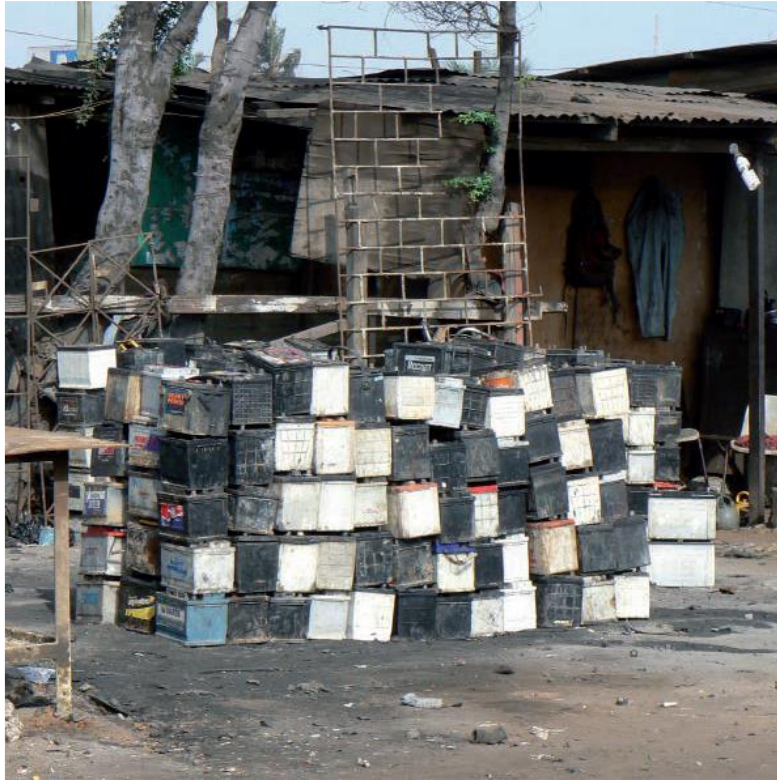


Figure 25 : Batteries Acide-plomb usées[21]

Le recyclage va consister à utiliser chacune des parties de la batterie usée pour une autre utilisation. Après avoir collecter (Figure 25) et transporter les batteries usées vers une usine de recyclage, cette première étape va consister à séparer les différents composants. Le tri se fait suivant une étude permettant d’avoir la tension en circuit ouvert, la résistance interne et la capacité. Le tri nécessite des tests faisant intervenir des appareils adaptés. Le dispositif que nous avons conçu dans le cadre de test de batterie peut répondre à ce besoin. On peut distinguer les composants en plomb qui seront soumis à la fusion et l’affinage puis les composantes plastiques qui peuvent être concassées pour la fabrication de nouveaux produits.

Le Burkina Faso ne disposant de structure réalisant le recyclage des batteries, nous proposons les mesures à suivre en vue de rendre des solutions durables aux structures de collecte. En effet, les batteries après tri sont collectées pour être convoyé vers le Nigeria qui par la suite seront acheminées vers l’Europe pour le recyclage. Cette limite s’explique par la dangerosité du plomb pour la santé humaine et l’environnement[22] mais aussi par le manque de compétences techniques et matériels.

VII.2 Réalisation d’une structure de recyclage

Recycler les batteries ; c’est préserver l’environnement et créer des emplois. Suivant la quantité de batteries importées sur la période de 2018 à 2019, c’est environ plus de 27 000 tonnes de

batteries à recycler. Le processus de recyclage dans une unité est la suivante [23]:

- Cassage et séparation : les batteries collectées sont tout d'abord broyées. Les matières plombées, les matières oxydées et les parties métalliques sont envoyées en fonderie. L'électrolyte des batteries est reconstitué et les matières plastiques des boîtiers sont recyclées.
- La fonderie : toutes les matières plombées sont traitées et fondues à plus de 1000°C pour obtenir du plomb d'œuvre.
- Le recyclage du plastique : les matières plastiques sont triées, broyées, séparées et lavées. La matière est travaillée pour être revendue à des secteurs tels que l'industrie plastique, l'automobile, le bâtiment.
- Le raffinage : les matières fondues sont raffinées, épurées et valorisées sous forme de lingots de plomb. Le plomb recyclé est principalement racheté par les fabricants de batteries. Le plomb repart ainsi pour un nouveau cycle.

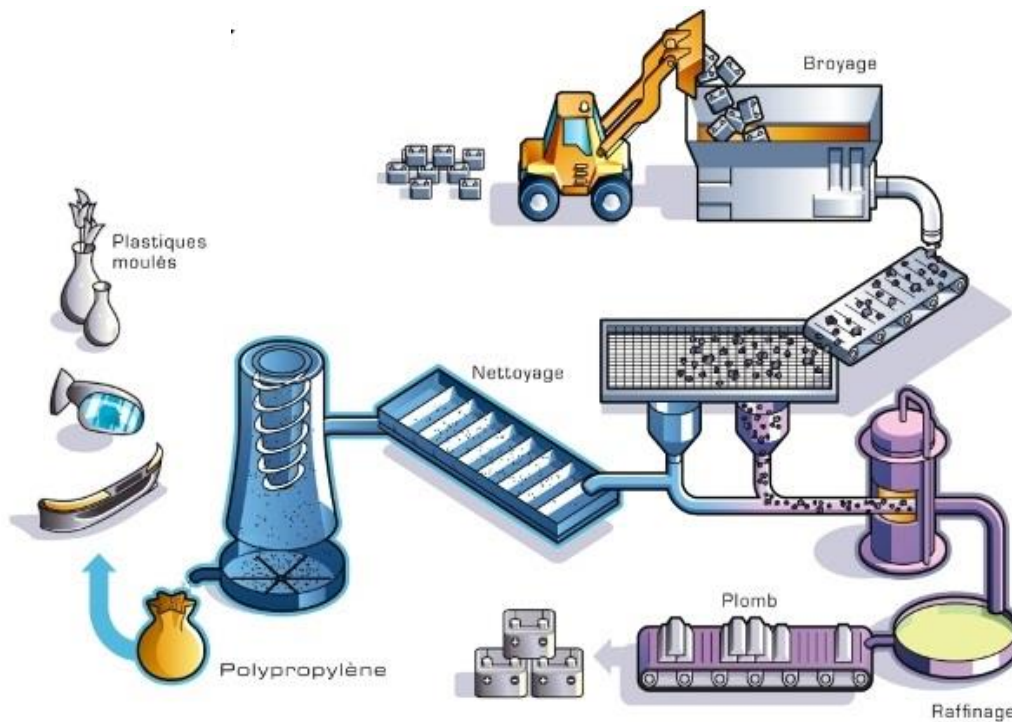


Figure 26: Processus de recyclage des batteries Acide-Plomb[23]

La Figure 26 illustre les différentes phases dans le traitement des batteries usées pour l'obtention du plomb ou des matières plastiques .

VIII. CONCLUSION

Cette étude a consisté à réaliser un état de lieux sur les types de batteries en fonction de la qualité qui se retrouvent sur le marché burkinabè où est exposé en majorité les batteries en acide-plomb dans un contexte de crise économique. Les quincailleries des zones non connectées au réseau électrique de la SONABEL sont le centre de ravitaillement d'une frange partie de la population. Ces résultats permettent de distinguer les mauvaises batteries des batteries de

qualité avec des méthodes basées sur l'inspection visuelle et sur des mesures électriques. Les batteries qui y ont été retrouvées ont été testé avec un banc de test que nous avons conçu avec des outils bas coût pour la mesure de la capacité et de la résistance interne. Afin de réaliser une comparaison tant au niveau technique qu'économique, deux types de batteries ont été pris pour effectuer les tests dans des conditions identiques. En s'appuyant sur les résultats de test obtenus, le dispositif mis en place est fonctionnel et a pour avantage la fourniture d'informations déterminantes avec des délais réglables caractérisant une batterie.

IX. RECOMMANDATIONS – PERSPECTIVES

En termes de perspective, suivant les résultats obtenus, nous recommandons l'exploration des points suivants :

- Suivre des aménagements où des installations de batteries sont faites pour le comportement au fil du temps et des conditions climatiques la capacité et la résistance interne
- Effectuer les tests sur tous les types de batteries vendues au Burkina Faso avec le prototype conçu
- Réaliser des mesures de capacité et de résistance interne sur une année pour une modélisation précise
- Etudier l'impact de la mauvaise qualité des batteries sur le rendement du recyclage

BIBLIOGRAPHIE

- [1] « rapport_arse_2019.pdf ». Consulté le: 15 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.arse.bf/IMG/pdf/rapport_arse_2019.pdf
- [2] « 2022-03-10-Rapport-atelier-dechets-solaires-Afrique-de-IOuest-VFrancaise2.pdf ». Consulté le: 25 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lagazel.com/wp-content/uploads/2022/03/2022-03-10-Rapport-atelier-dechets-solaires-Afrique-de-IOuest-VFrancaise2.pdf>
- [3] Agence Internationale de l'énergie, « Test des batteries utilisées dans les systèmes d'alimentation PV autonomes », AIE PVPS, Rapport technique, oct. 2002.
- [4] « Secondary cells and batteries for photovoltaic energy systems (PVES). General requirements and methods of test », BSI British Standards. doi: 10.3403/30075944.
- [5] Gérard MOINE, *L'électrification solaire photovoltaïque, systèmes autonomes, systèmes hybrides, miniréseaux*, Observ'ER. 2016.
- [6] Fathia KAROUI, « Optimisation de strategies de gestion des batteries au plomb utilisées dans les systèmes photovoltaïques », Institut National Polytechnique de Grenoble, 2007.
- [7] A. Darchen, « Électrochimie appliquée - Caractérisations des systèmes électrochimiques », *Caractérisation et propriétés de la matière*, mai 2010, doi: 10.51257/a-v2-k800.
- [8] E. Korsaga, Z. Koalaga, D. Bonkougou, F. Zougmore, « Comparaison et détermination des dispositifs de stockage appropriés pour un système photovoltaïque autonome en zone sahélienne », ISSN: 2428-8500, 2018. [En ligne]. Disponible sur: <http://dx.doi.org/10.18145/jitipee.v4i1.161>
- [9] Serge PELISSIER, Ali SARI, Pascal VENET, « Batteries électriques pour applications portables et embarquées Fondamentaux ». *Électronique - Photonique | Électronique*, 10 mars 2018. Consulté le: 5 mai 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/res/pdf/encyclopedia/42283210-e2140.pdf>
- [10] Charles DELACOURT, Claude ADES, et Quentin BADEY, « Vieillesse des accumulateurs lithium-ion dans l'automobile ». *Ingénierie des transports | Véhicule et mobilité du futur*, Juillet 2014. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/res/pdf/encyclopedia/42565210-re231.pdf>
- [11] « 12974-developpement-dun-systeme-de-caracterisation-de-batterie-ensps.pdf ». Consulté le: 5 mai 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/12974/12974-developpement-dun-systeme-de-caracterisation-de-batterie-ensps.pdf>
- [12] David ALLART, « Gestion et modelisation electrothermique des batteries Lithium-ion », Université de Caen Normandie, Laboratoire LUSAC, 2019. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2017NORMC261.pdf>
- [13] HIOKI E.E. CORPORATION, « Electrical measurement of Lithium-Ion Batteries ». 26 février 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.hioki.com/en/>
- [14] « Relevés météo en temps réel à Ouagadougou - Burkina Faso | Real-time weather records in Ouagadougou - Infoclimat ». Consulté le: 2 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/ouagadougou/65503.html>
- [15] « RAPPOTRT-TECHNIQUE-DE-CONTROLE-QUALITE-DES-BATTERIES-SOLAIRES-NELSON-SOLAR.pdf.pdf.pdf ». Consulté le: 30 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.nelsonsolar.com/wp-content/uploads/2021/05/RAPPOTRT-TECHNIQUE-DE-CONTROLE-QUALITE-DES-BATTERIES-SOLAIRES-NELSON-SOLAR.pdf.pdf.pdf>
- [16] M. SAMA, Technicien a Delta Energy, « Régénération des batteries », 30 mai 2023.
- [17] M. Eric POUYA, Directeur de controle de la qualité de l'ANEREE, « Controle de la qualité des batteries par l'ANEREE », 29 mai 2023.

- [18] Gauthier Marc Aimé Delille, « Contribution du stockage à la gestion avancée des systèmes électriques: approches organisationnelles et technico-économiques dans les réseaux de distribution », Ecole Centrale de Lille, Laboratoire L2EP, EA2697, Ecole Doctorale SPI 072, 2010. [En ligne]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00586088>
- [19] P. Blazy et E.-A. Jdid, « Métallurgie du Plomb - Procédés modernes et sources secondaires », *Élaboration et recyclage des métaux*, sept. 2011, doi: 10.51257/a-v2-m2265.
- [20] Fabien PERDU, « Développement à grande échelle des batteries : quels impacts climatiques et matières premières? » CEA, 13 octobre 2023.
- [21] Andreas Manhart (Oeko-Institut e.V.), Tadesse Amara (PAN-Ethiopia), Gilbert Kuepouo (CREPD- Cameroon), Diana Mathai (CJGEA-Kenya), Silvani Mng'anya (AGENDA-Tanzania), Tobias Schleicher (Oeko-Institut e.V), « The deadly business - Findings from the Lead Recycling Africa Project », *Oeko-Institut e.V, Merzhauser Str.173,79100 Freiburg, Germany.May 2016*, [En ligne]. Disponible sur: <http://www.econet.international/index.php?id=3>
- [22] « 2022-03-10-Rapport-atelier-dechets-solaires-Afrique-de-lOuest-VFrancaise2.pdf ». Consulté le: 25 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lagazel.com/wp-content/uploads/2022/03/2022-03-10-Rapport-atelier-dechets-solaires-Afrique-de-lOuest-VFrancaise2.pdf>
- [23] Intermines, « Collecte et recyclage des piles et accumulateurs ». Consulté le: 12 octobre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inter-mines.org/fr/revue/article/collecte-et-recyclage-des-piles-et-accumulateurs/1151>

ANNEXES

Annexe 1 : Feuille de collecte des données des points de vente de batterie	43
Annexe 2 : Cartographie des points visités (quincailleries) dans la zone non-lotie de Kamboinsin (Ouagadougou)	44
Annexe 3 : Fiche technique de l'onduleur hybride	45
Annexe 4 : Fiche technique du module solaire photovoltaïque	46
Annexe 5 : Tableau de courant servant à la détermination de la protection	47

Annexe 1 : Feuille de collecte des données des points de vente de batterie

Explication du bien-fondé de l'enquête au gestionnaire de la quincaillerie ou de l'entreprise

Bonjour,

Je vous rends visite (En mooré, langue locale) afin d'avoir une idée sur les types de batteries que vous vendez. Ceci pour avoir tant les différents prix mais aussi votre avis sur la qualité de ces dernières. Je suis étudiante à l'Institut 2iE et aimerais avoir votre accord pour mener l'enquête.

Etes-vous d'accord pour cette enquête ?

- Oui
- Non

Merci !

21/03/2023 10:49 Epiocollect5 - Enquete sur les batteries - FormBuilder

Enquete sur les batteries

Etats des lieux de batteries

Données techniques

Localisation GPS

Date

Accordez vous votre accord ecrit ou oral pour que j'y realise mes enquetes?

Oui

Non

Quel est le prix pour chaque batterie Acide-Plomb suivant la capacite?

Prise de photos de chaque batterie dont le prix a été noté.

En soulevant, quel est le poids estimé?

Informations socio-économiques pour les quincailleries

<https://five.epiocollect.net/myprojects/enquete-sur-les-batteries/formbuilder#>

1/2

21/03/2023 10:49 Epiocollect5 - Enquete sur les batteries - FormBuilder

Niveau d'étude

Primaire

Secondaire

Superieur

Niveau de connaissance sur les batteries

Faible

Moyen

Bon

Niveau de connaissances sur les systèmes solaires

Faible

Moyen

Bon

Comment faites-vous pour reconnitre une bonne batterie d'une maauvaise?

<https://five.epiocollect.net/myprojects/enquete-sur-les-batteries/formbuilder#>

2/2

Annexe 2 : Cartographie des points visités (quincailleries) dans la zone commerciale de Kamboinsin (Ouagadougou)



Annexe 3 : Fiche technique de l'onduleur hybride

MODÈLE INVERTER	1KVA 12V	1KVA 24V 2KVA 24V 3KVA 24V 2KVA plus	1KVA 48V 3KVA 48V 2KVA 48V plus 3KVA 48V plus	4KVA 5KVA
Puissance de sortie	1KVA / 0.8KW	1KVA / 0.8KW 2KVA / 1.6kw 3KVA / 2.4kW	1KVA / 1KW 2KVA / 1.6kw 3KVA / 2.4kW	4KVA / 3.2KW 5KVA / 4KW
La tension de sortie de forme d'onde	Onde sinusoïdale pure			
Régulation de la tension de sortie	110 / 120VAC ± 5% * ou 230Vac ± 5%			
Fréquence de sortie	60Hz ou 50Hz			
efficacité de pointe	90%			
Protection de surcharge	5 s @ charge ≥ 150% de: 10s @ 110% - 150% de charge			
Capacité de montée subite	2 * puissance nominale pendant 5 secondes			
Nominale CC de tension d'entrée	12VDC	24VDC	48VDC	
Froide tension de démarrage	11.5Vdc	23.0Vdc	46.0Vdc	
Basse tension DC Avertissement				
@ Charge <20%	11.0Vdc	22.0Vdc	44.0Vdc	
@ 20% si charge <50%	10.7Vdc	21.4Vdc	42.8Vdc	
@ Charge ≥ 50%	10.1Vdc	20.2Vdc	40.4Vdc	
Basse tension DC Avertissement de retour				
@ Charge <20%	11.5Vdc	23.0Vdc	46.0Vdc	
@ 20% si charge <50%	11.2Vdc	22.4Vdc	44.8Vdc	
@ Charge ≥ 50%	10.6Vdc	21.2Vdc	42.4Vdc	
DC à faible coupure de tension				
@ Charge <20%	10.5Vdc	21.0Vdc	42.0Vdc	
@ 20% si charge <50%	10.2Vdc	20.4Vdc	40.8Vdc	
@ Charge ≥ 50%	9.8Vdc	19.2Vdc	38.4Vdc	
Tension de récupération élevée DC	14.5Vdc	29Vdc	58Vdc	58Vdc ou 62Vdc
DC haute tension de coupure	15.5Vdc	31Vdc	62Vdc	60VDC ou 66Vdc
Ausone consommation d'énergie de charge	<15W	<25W		<50W
Mode d'économie Consommation d'énergie	<5W	<10W		<15W

Utilitaire mode de charge						
MODÈLE INVERTER	1KVA 12V	1KVA 24V 2KVA 24V plus 120Vca	2KVA 24V 3KVA 24V 2KVA 24V plus 3KVA 24V plus	2KVA 48V De plus 120Vca	1KVA 48V 3KVA 48V 2KVA 48V plus 3KVA 48V Plus	4KVA 5KVA
Courant de charge (UPS) @ Tension d'entrée nominale	10 / 20A		20 / 30A	5 / 10A	10 / 15A	2 / 10A / 20 / 30A / 40/50 / 60A
Masse tension de charge	Batterie inondé	14.6	29.2	58.4		
	AGM / Gel batterie	14.1	28.2	56.4		
Tension de charge flottante 13.5Vdc		27 Vcc	54VDC	54VDC	54VDC ou 64Vdc	
protection contre les surcharges	15.5Vdvc	31Vdc	60VDC	60VDC	66Vdc	
algorithme de charge	3-Step					
courbe de charge						

Annexe 4 : Fiche technique du module solaire photovoltaïque


2es Sarl
Eco-Electrical Service

Model: 2es-150M-36 Made In China

Electrical Ratings

At STC(1000w/m² , AM1.5 spectrum, cell temperature 25 °C)
All values are nominal unless designated as tested

Maximum Power(Pmax): 150Wp
Max.Power Voltage(Vmp) : 18.21V
Max.Power Current(Imp): 8.24A
Open Circuit Voltage(Voc): 22.32V
Short Circuit Current(ISC): 8.96A
Max.System Voltage: 1000V
Nominal Operating Cell Temperature(NOCT):47±2°C







 **WARNING**

This module produces electricity when exposed to light
Following all applicable electrical safety precautions.

- Only qualified personnel should install or perform maintenance work on these modules
- BE AWARE of dangerous high DC voltage when connecting modules.
- DO NOT damage or scratch the rear surface of the modules.
- Follow the battery manufacturer's recommendation if batteries are used with modules.

Refer to the instruction manual for more information

Module Application: Class A

Annexe 5 : Tableau de courant servant à la détermination de la protection

Calibre (A)	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
1	1,05	1,02	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85
2	2,08	2,04	2,00	1,96	1,92	1,88	1,84	1,80	1,74
3	3,18	3,09	3,00	2,91	2,82	2,70	2,61	2,49	2,37
4	4,24	4,12	4,00	3,88	3,76	3,64	3,52	3,36	3,24
6	6,24	6,12	6,00	5,88	5,76	5,64	5,52	5,40	5,30
10	10,6	10,3	10,0	9,70	9,30	9,00	8,60	8,20	7,80
16	16,8	16,5	16,0	15,5	15,2	14,7	14,2	13,8	13,5
20	21,0	20,6	20,0	19,4	19,0	18,4	17,8	17,4	16,8
25	26,2	25,7	25,0	24,2	23,7	23,0	22,2	21,5	20,7
32	33,5	32,9	32,0	31,4	30,4	29,8	28,4	28,2	27,5
40	42,0	41,2	40,0	38,8	38,0	36,8	35,6	34,4	33,2
50	52,5	51,5	50,0	48,5	47,4	45,5	44,0	42,5	40,5
63	66,2	64,9	63,0	61,1	58,0	56,7	54,2	51,7	49,2