



**AMELIORATION DE LA FLOTTE DE SYSTEMES SOLAIRES
UPOWA INSTALLEES DANS L'OUEST DU CAMEROUN ET
ETUDE COMPARATIVE AVEC D'AUTRES SYSTEMES PICO
PHOTOVOLTAIQUES**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE**

Présenté et soutenu publiquement le 1^{er} juillet 2016 par
Sophie Blandine NKOUAGA TOMTA

Travaux dirigés par :

Mme Caroline FRONTIGNY
Co-fondateur de upOwa et Manager des équipes

Dr Y. Moussa SORO
Enseignant-chercheur à 2iE

Jury d'évaluation du stage :

Président : M. Moussa Kadri SANI

Membres et correcteurs : Dr Daniel YAMEGUEU
Dr Moussa SORO

Promotion [2014/2015]

Dédicaces

A toi DIEU très Saint !

*A mes parents Mr & Mme WESSILESSIE Alphonse et Madame TOMTA Octavie
pour leur soutien sans faille durant tout ce parcours.*

Remerciements

Mes remerciements vont à l'endroit de tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la mise en œuvre de ce document.

Je tiens à remercier le 2iE, particulièrement toute l'équipe du technopole qui m'a donné cette opportunité de stage de fin d'étude et surtout, a rendu possible cette aventure. Merci pour tout le soutien financier dont j'ai pu bénéficier.

Mes sincères remerciements vont à toute l'équipe upOwa, pour l'environnement convivial et chaleureux dans lequel j'ai pu effectuer mes travaux.

Enorme reconnaissance à Kilien de Renty, Caroline Frontigny et Maxime Forster, mes tuteurs en entreprise, qui m'ont permis de travailler sur ce projet passionnant.

Je remercie mes responsables Loïc Riedi, Jean Pierre Viaut et Guy Noutam. Vous avez été des modèles pour moi. Merci Loïc pour ta disponibilité, tes explications et surtout ta bonne humeur. Merci Jean-Pierre, pour tes enseignements et ton goût pour la science. Je te remercie Guy pour le sens de la responsabilité et la confiance que tu as toujours su m'accorder.

Grand merci à mon encadreur académique Dr Moussa SORO pour sa disponibilité en dépit de ses nombreuses occupations. Et surtout pour avoir fait grandir en moi, l'intérêt pour les énergies solaires à travers ses enseignements.

Je remercie les membres de mon jury et tous mes proches qui ont bien voulu accepté d'examiner ce travail.

Ma profonde gratitude à l'endroit du corps professoral de 2iE pour la formation d'ingénieur de qualité que j'ai reçue.

Je tiens également à remercier tous mes amis et camarades de promotion avec qui j'ai cheminé ces trois dernières années. Votre présence à énormément compter pour moi. Merci pour toutes les qualités humaines dont vous avez fait preuve. Enfin, un merci spécial aux familles WESS, TOMTA, TEPOU et MOUKAM pour leur soutien. Vous avez été une réelle source de motivation.

TABLE DES MATIERES

Dédicaces.....	ii
Remerciements	iii
Liste des abréviations	vi
Liste des tableaux	vii
Liste des figures.....	vii
Liste des annexes	viii
Résumé	ix
Abstract.....	x
Introduction	11
I. Contexte.....	11
II. Objectifs et intérêts de l'étude	12
III. Organisation du travail.....	12
IV. Structure d'accueil upOwa.....	13
Partie 1 : caractérisation et amélioration de la flotte de système upOwa	14
I. Présentation et description du kit solaire upOwa	14
I.1 Fonction de la mOkbox	14
I.2 Composants de la mOkbox	15
I.3 Principe de fonctionnement.....	16
II. Présentation des pannes survenues et des réparations effectuées.....	17
II.1 Défaillance du clavier.....	17
II.2 Décharge profonde des batteries	20
III. Caractérisation technique du système : étude de la décharge des batteries lifepo4 et détermination de la résistance interne.	21
III.1 Méthodologie.....	21
III.2 Résultats et discussions	23
Partie 2 : étude comparative entre le système solaire upOwa et des kits pico pv utilisés à l'ouest du Cameroun.....	29

I.	Zoom sur l'électrification de la région ouest du Cameroun	29
I.1	Présentation de la région Ouest du Cameroun	29
I.2	Diagnostic du secteur de l'électricité	30
II.	Les sources d'éclairage traditionnelles	30
II.1	Le pétrole lampant.....	30
II.2	Les torches à pile.....	31
II.3	La bougie.....	31
II.4	Le groupe électrogène	31
III.	Les systèmes pico pv à l'ouest du Cameroun	32
III.1	Les principaux constituants	32
III.2	Les produits pico PV	34
III.3	Les atouts et limites de chaque modèle	39
III.4	Les besoins et les attentes spécifiques des populations	41
III.5	La situation financière des ménages de l'Ouest Cameroun.....	42
III.6	Positionnement du kit upOwa par rapport aux attentes des ménages de l'Ouest Cameroun.....	43
	Recommandations	45
	Conclusion.....	46
	Bibliographie	47
	Annexes	49

Liste des abréviations

CEO	Chief Executive Officer
COO	Chief Operation Officer
CTO	Chief Technical Officer
CFL	Compact Fluorescent Lamps
DC	Direct Current
ECAM	Enquête Camerounaise auprès des ménages
GIZ	Coopération allemande (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
IEA	International Energy Agency
ISE	Institut Fraunhofer des systèmes énergétiques solaires
LED	Light Emitting Diode
PCB	Printed Circuit Board
PV	Photovoltaïque
RTC	Real Time Clock
SNV	Organisation néerlandaise de Développement
TIC	Technologie d'Information et de Communication

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs de tension seuil limite des batteries pour différents tests	25
Tableau 2 : Valeurs du SSE et R-square des caractéristiques de la résistance interne	27
Tableau 3 : Résistances internes des batteries	27
Tableau 4 : Caractéristiques techniques des différents modèles portables de systèmes pico PV	36
Tableau 5 : Caractéristiques techniques des différents systèmes pico PV ULithium	37
Tableau 6 : Caractéristiques techniques des modèles pico PV fixes pour habitation.....	38
Tableau 7 : Coûts des produits pico PV	39
Tableau 8 : Points forts et faibles des modèles pico PV	40
Tableau 9 : Les besoins énergétiques des populations rurales selon IEA	41
Tableau 10 : Indicateurs de pauvreté monétaire par région d'enquête	43

Liste des figures

Figure 1: Vue de face et aperçu interne de la mOkbox.	14
Figure 2: Schéma synoptique de la mOkbox.....	16
Figure 3 : Clavier matriciel 16 touches	17
Figure 4 : Le programme d'affichage des valeurs du clavier	18
Figure 5 : Le programme digitalWrite ()	19
Figure 6 : Déviation entrée digitale clavier	19
Figure 7 : Montage pour étudier la décharge des batteries, a) Photo du montage, b) schéma électrique montage.....	22
Figure 8: 1 ^{ère} série de test de décharge batterie avec une charge de 15W	24
Figure 9: 2 ^{ème} série de test de décharge batterie avec une charge de 18 W	24
Figure 10: 3 ^{ème} série de test de décharge batterie avec une charge de 6 W	25
Figure 11 : Caractéristiques résistance interne	26
Figure 12 : La carte de la région de l'Ouest du Cameroun.....	29
Figure 13 : Circuits des systèmes pico PV	32
Figure 14 : Les systèmes pico PV portatifs	34
Figure 15 : Les systèmes pico PV fixe pour habitation	35

Liste des annexes

Annexe 1 : Code matlab interpolation décharge batterie.....	49
Annexe 2 : Code matlab pour détermination résistance interne	51
Annexe 3 : Courbe décharge LiFepo4 constructeur	53
Annexe 4 : Fiche technique de la batterie du kit upOwa.....	54
Annexe 5 : Tracé de résidus	56
Annexe 6 : Fiche technique de modèles portables de systèmes pico PV	58
Annexe 7 : Recommandations de la GIZ et du laboratoire de l'Institut Fraunhofer des systèmes énergétiques solaires concernant les caractéristiques des lampes	73
Annexe 8 : Ancienne spécifications techniques de certains produits pico PV	74

Résumé

Au Cameroun, 76,6% des ménages vivent dans des villages isolés qui n'ont pas accès au réseau électrique. Pourtant, l'accès à l'énergie moderne dédiée à des besoins tel que l'éclairage constitue une priorité sociale, économique et environnementale pour ces populations. La start-up française upOwa a ainsi conçu un kit solaire intelligent, pour répondre aux besoins de base des ménages ruraux non raccordés.

Le kit solaire que propose la structure permet d'alimenter au maximum dix lampes LED de 3 W chacune et des téléphones portables. L'énergie électrique produite par un panneau PV de 30 W est stockée dans une batterie de 10 Ah. La commande et la gestion du système sont faites à partir du microcontrôleur arduino. C'est ce dernier qui gère aussi la décharge des batteries. Cependant, on assiste à des arrêts complets du système chez certains utilisateurs, causés par une décharge profonde des batteries. De plus, on relève aussi des défauts de fonctionnement survenus au niveau des claviers.

Après un diagnostic poussé, il ressort que les défaillances de claviers sont dues à des broches défectueuses au niveau de la carte électronique. La réparation a consisté à modifier les différentes entrées digitales. En ce qui concerne les pannes dues à la décharge profonde des batteries, une étude de la décharge, a été effectuée afin de déterminer la tension seuil de fin de décharge, à corriger dans le code de l'arduino. En effet, il avait été considéré dans le code, une valeur de 12 V. Mais l'étude a montré que 12,8 V, est la bonne valeur de tension de fin de décharge à considérer dans le programme.

La seconde partie de ce mémoire a été consacrée à une étude comparative entre le kit solaire upOwa et d'autres systèmes pico PV utilisés dans la région Ouest du Cameroun. Il a été principalement question de présenter les offres techniques et commerciales de ces systèmes y compris le système solaire upOwa et de dégager les atouts et les limites de chacun d'eux par rapport aux attentes des ménages. La technologie solaire upOwa s'est avérée l'une des plus puissante et robuste, adéquate pour les ménages à moyenne et grande concession. Mais elle se présente aussi comme la technologie la plus coûteuse. Cependant, elle s'est fait particulièrement distinguer par son mode de paiement à savoir un remboursement mensuel sur 3 ans. Elle est surtout l'unique à offrir un service de maintenance après-vente. Toutefois, il serait intéressant de proposer plusieurs niveaux de luminosité en fonction des besoins d'éclairage (cuisine, étude, sommeil) afin de réaliser des économies sur l'autonomie de la batterie à l'exemple des produits Omnivoltaic.

Mots clés

Kit solaire intelligent, microcontrôleur arduino, batterie, clavier, systèmes pico PV

Abstract

In Cameroon, 76.6% of households live in remoted villages that have no access to the national electricity network. However access to modern energy dedicated to the needs such as lighting appears as a social, economic and environmental priority for households. Thus the French start-up upOwa has designed an intelligent solar kit to meet the basic needs of rural households not connected.

The solar kit provided by the structure can power a maximum ten LED lamps of 3W and mobile phones. Electrical energy produced by a PV panel of 30 W is stored in a battery of 120 Ah. The control and management of the system are made by Arduino microcontroller. Indeed, it is this last that manages also the discharge of batteries. However, there has been complete system crashes for some users caused by a low battery. In addition, there are also some malfunctions keyboard. After further diagnosis, it appears that keyboards failures are due to faulty broches at the Electronic Card. The repair was to change the various digital inputs. Regarding failures due to deep battery discharge, a characterization of the batteries by a study of their discharges, was conducted to determine the end voltage discharge threshold, to correct in the code of the Arduino. Indeed, it was considered in the code, a value of 12 V. But the study showed 12.8 V as the voltage discharge end for insertion into the program.

The second part of this memory was devoted to a comparative study of the solar kit upOwa and other pico PV systems used in the West Region of Cameroon. It was mainly question to present the technical and commercial bids of these systems including the solar system upOwa and to identify the strengths and limitations of each system against expectations of households. The upOwa solar technology has proven one of the powerful and robust, suitable for households with medium and large concession. But it is also consider as the most expensive technology. However, she is particularly distinguished by her method of payment which a monthly refund over 3 years. And it is especially the only to offer a maintenance service after sales. Yet, it would be interesting to provide several levels of brightness depend on lighting needs (kitchen, study, sleep) to save on the battery.

Key Words

Intelligent solar kit, arduino microcontroller, Battery, Keypad, pico PV systems

Introduction

I. Contexte

Malgré l'important potentiel énergétique du continent, l'accès à l'énergie électrique demeure un problème sévère en Afrique subsaharienne. Le taux moyen d'accès à un service électrique est de 7,5 % en zones rurales [1]. Au Cameroun, 76,6% des ménages ruraux n'ont pas accès à l'électricité [2]. Pourtant, l'électricité est perçue comme une ressource essentielle et vitale pour l'homme [3]. Sans elle, les individus et communautés se voient privés d'un grand nombre de services et confort, considérés comme élémentaires dans le monde développé. Ainsi, l'accès à l'énergie électrique est à ne point douter un facteur clé du développement socioéconomique local.

Une raison essentielle qui justifie la faiblesse du taux d'électrification dans certaines zones du Cameroun est le coût élevé de la mise en œuvre des infrastructures. En effet, les extensions de réseau pour les agglomérations de faible densité de populations (densité d'abonnés potentiels inférieurs à 20 habitants/km) et éloignées des points de distribution (distances supérieures à 10 km), représentent de lourds investissements et ne sont pas rentables pour la compagnie nationale d'électricité ENEO. Ainsi l'alimentation de ces localités est soit inexistante, soit assurée par le biais des groupes électrogènes pour ceux qui sont financièrement aisés, soit par l'utilisation des lampes à pétrole et/ou de bougies comme source principale d'éclairage, pour les populations à faibles revenus. Ces populations dépensent une part importante de leurs revenus mensuels pour la lumière. En effet, 10 à 15% de leurs revenus mensuels servent à l'achat du pétrole lampant [2]. Cette solution s'avère donc coûteuse, dangereuse et polluante.

L'accès à un meilleur éclairage est la première manifestation d'accès à l'électricité. L'éclairage impacte directement les performances dans les domaines de l'éducation, la santé, les activités socio-économiques et culturelles, contribuant ainsi au bien-être de la population et au combat contre la pauvreté. Il est donc indispensable de réfléchir sur de nouvelles technologies d'électrification rurale décentralisées, à moindre coûts, compatibles avec le développement durable. Ceci pour la satisfaction des besoins en lumière des populations rurales, afin qu'elles ne soient plus dépendantes du pétrole lampant. C'est dans cette optique qu'upOwa a développé une solution solaire qui assure l'éclairage et la recharge de téléphones portables pour les ménages ruraux n'ayant pas accès à l'électricité ou comme système palliatif des délestages récurrents que vivent les populations rurales.

La technologie sur laquelle nous avons travaillé est un kit solaire intelligent, conçu par la société upOwa qui permet d'alimenter 5 à 10 points lumineux jusqu'à 150 lumens chacun (équivalent à une ampoule incandescente de 50 W) et un chargeur de téléphone, smartphone ou tablette. La phase pilote est en cours dans la région Ouest du Cameroun et les défis techniques sont nombreux pour permettre le fort potentiel de croissance de la structure.

II. Objectifs et intérêts de l'étude

La présente étude vise deux principaux objectifs. Dans le cadre du déploiement du pilote sur un échantillon de la population de l'Ouest du Cameroun, l'ensemble des travaux consistant en la caractérisation technique, le diagnostic de pannes et les interventions de maintenance ont pour principal objectif d'améliorer le système solaire upOwa. Toutes ces observations de limites de fonctionnement sont importantes pour la conception des prochaines versions du système. D'autre part, cette étude s'intéresse également aux atouts et limites que présente la technologie solaire upOwa par rapport à d'autres technologies pico PV commercialisées. Autrement, il est principalement question pour nous, de déterminer les valeurs ajoutées du système upOwa comparé à d'autres produits utilisés dans les ménages. Mais aussi, une attention particulière est portée sur les diverses offres techniques et commerciales que proposent les différents systèmes pico PV y compris le système upOwa. Ceci, dans le but de savoir s'ils correspondent aux attentes des ménages. Et surtout s'ils sont adéquats pour les ménages ruraux non raccordés, au regard de leurs conditions et niveaux de vie.

III. Organisation du travail

Le présent document est structuré en deux grandes parties :

- ✚ La première partie est consacrée à la présentation des travaux réalisés dans le cadre du stage afin d'améliorer le système solaire upOwa pour la satisfaction des besoins finaux
- ✚ La deuxième partie fait l'objet d'une étude comparative entre le système solaire upOwa et les technologies pico PV commercialisées à l'Ouest du Cameroun. Tout d'abord, un point sur la situation énergétique de l'Ouest Cameroun est fait. Ensuite les différentes sources d'éclairage traditionnelles communément utilisées par les ménages sont présentées. Et enfin, une description détaillée des systèmes pico PV commercialisés dans la région est réalisée, afin de dégager les points forts et faibles de chaque produit. Une analyse des différentes offres par rapport aux attentes des ménages, est faite également afin de déterminer le niveau de satisfaction de la population.

IV. Structure d'accueil upOwa

UpOwa est une startup française innovante avec pour mission de développer des technologies (cleantechs, EnR, TIC, SI) pour offrir une électricité de qualité aux communautés rurales de pays en développement. Elle œuvre dans la conception de systèmes énergétiques innovants adaptés aux zones équatoriales. Elle assure l'installation et la maintenance de ces systèmes in situ, incluant la formation des utilisateurs et le suivi de la qualité du service qui leur est offert. Elle développe également une plateforme logicielle multi-supports permettant le suivi clientèle à distance et le prépaiement des consommations énergétiques.

La structure est dirigée par des ingénieurs français : Kilien de RENTY (CEO & co-founder) Caroline FRONTIGNY (COO & co-founder) et Maxime FORSTER (CTO). Elle est composée d'une équipe dynamique d'ingénieurs et de commerciaux motivés. UpOwa s'entoure également d'étudiants stagiaires compétents. Elle est organisée en 3 branches: Technologie, Coopération et Ventes. Le stage s'est déroulé dans la branche Technologie qui a pour mission de développer des solutions technologiques innovantes (hardware/software) adaptées aux marchés cibles, de concevoir les produits et outils qui composent ces solutions, et d'en améliorer continuellement les performances et la qualité.

UpOwa a lancé une première phase pilote au Cameroun avec l'installation de 30 systèmes solaires autonomes et intelligents. Ces systèmes apporteront l'électricité solaire pour l'éclairage et la charge de téléphone portable dans la région Ouest du pays.

Partie 1 : caractérisation et amélioration de la flotte de système upOwa

I. Présentation et description du kit solaire upOwa

Le système conçu par la structure upOwa est appelé la mOkbox.

La figure 1 montre une vue d'ensemble du système.



Figure 1: Vue de face et aperçu interne de la mOkbox.

I.1 Fonction de la mOkbox

La mOkbox a été conçue pour satisfaire les besoins d'éclairage et de recharge de téléphones uniquement. Elle fournit l'énergie électrique nécessaire pour l'alimentation de 5 à 10 ampoules LED d'une puissance de 3 W et la recharge de téléphone, smartphone ou tablette. Elle répond aux besoins primaires d'électrification et peut également servir de secours aux coupures intempestives du réseau électrique. Sa mise en service se fait à l'aide d'un code d'activation.

I.2 Composants de la mOkbox

La mOkbox est principalement constituée de :

- ✚ Un panneau photovoltaïque de technologie polycristalline, d'une puissance nominale de 30 Wc.
- ✚ Une batterie 12 V/10 Ah, utilisant une technologie innovante au lithium LiFePO4 adaptée aux applications stationnaires de faible puissance dont les critères principaux sont l'auto-décharge, l'autonomie, la durée de vie (nombre de cycles) et la densité énergétique. Les batteries sont constituées de cellules de 3,2V/5Ah de haute qualité. Leur durée de vie estimée est de 7 à 8 ans dans les conditions d'utilisation prévues.
- ✚ Un coffret en acier inoxydable renfermant la batterie et la carte électronique. Sur la face avant se trouve un clavier numérique et des LED. L'interaction avec le client passe par l'usage du clavier numérique. Egalement, le client a connaissance du fonctionnement du système à partir des LED témoins qui y sont associés indiquant le niveau de la batterie, le temps d'utilisation restant, la recharge de la batterie.
- ✚ Les ampoules LED utilisées sont de basse consommation et sont installées dans les pièces à éclairer de l'habitation. Elles ont une puissance de 3W et un flux lumineux de 150 lumens. La durée de vie est estimée à 10 ans.
- ✚ Des interrupteurs sont également prévus lors de l'installation pour la commande des points lumineux.
- ✚ Des câbles électriques de $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$ sont utilisés pour l'alimentation des lampes.
- ✚ Une prise USB est incorporée au boîtier pour la recharge des téléphones. Un chargeur adaptateur multiprises est fourni au client de manière à pouvoir charger toutes les marques et tous les modèles de téléphones utilisés couramment de nos jours.
- ✚ Une carte électronique intelligente assure, la gestion du temps d'utilisation, la gestion de la décharge de la batterie, la protection contre un défaut d'alimentation, la gestion de l'interface utilisateur (clavier, affichage de témoins LED jauges), l'enregistrement des données d'utilisation pour une analyse ultérieure.

I.3. Principe de fonctionnement

Le schéma synoptique de la figure 2, illustre le fonctionnement de la mOkbox.

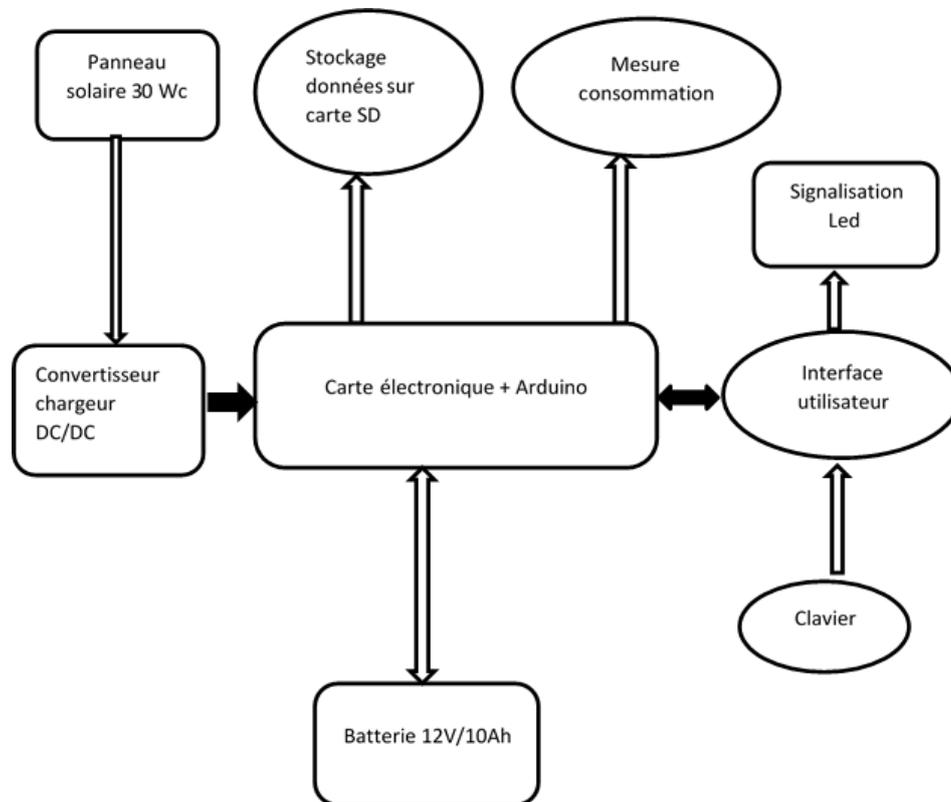


Figure 2: Schéma synoptique de la mOkbox.

- ✚ Le module photovoltaïque capte le rayonnement solaire qu'il convertit en puissance électrique.
- ✚ Le convertisseur chargeur DC/DC a pour rôle d'abaisser la tension nominale du générateur pour l'alimentation du PCB et de la batterie.
- ✚ La batterie stocke l'énergie électrique produite par le module PV pour l'alimentation des récepteurs et de l'arduino en soirée.
- ✚ La carte électronique est l'unité de traitement qui assure le stockage des données dans le module SD à savoir les courants débités, la tension de la batterie, la tension et le courant du panneau. Elle pilote aussi l'interface utilisateur à savoir le clavier et les LED. La commande de l'éclairage et de la décharge de la batterie est également gérée par cette dernière.
- ✚ Un jeu de 4 LED disposées verticalement, indique de manière graduelle le niveau de la batterie et le temps d'utilisation restant. Les deux LED disposées de part et d'autre traduisent le niveau bas, de la batterie et du crédit restant. La LED de couleur jaune indique la recharge de la batterie donc la présence du soleil.

- ✚ Le clavier se trouvant sur la face avant du boîtier permet d'entrer le code numérique pour l'alimentation des récepteurs pour une période donnée. L'interaction avec le clavier permet aussi de déterminer le temps d'utilisation disponible et le niveau de la batterie.

II. Présentation des pannes survenues et des réparations effectuées

Les pannes et défauts récurrents rencontrés au niveau de la mOkbox sont :

- ✚ La défaillance du clavier
- ✚ La décharge profonde des batteries

II.1 Défaillance du clavier

Le keypad ou le clavier matriciel que nous utilisons est un keypad passif. Il est constitué de 16 touches (4*4) dont 10 numériques (0-9) et 6 touches marquées # * A B C D, semblable à un ensemble de poussoirs placés les uns à côté des autres et connectés en lignes et colonnes.



Figure 3 : Clavier matriciel 16 touches

II.1.1 Principe de fonctionnement

Ce clavier matriciel dispose uniquement de 8 broches pour la gestion de ses touches. La matrice est organisée en 4 colonnes et 4 lignes. Les lignes ont un état de repos imposé (ici l'état bas). Il faut balayer les colonnes une à une par un état haut. Ainsi, dès lors qu'une touche est pressée, l'état de la colonne est transmis sur la ligne. Nous pouvons ainsi détecter un état haut. Pour déterminer la touche pressée, il faut se synchroniser avec le signal envoyé sur les colonnes.

II.1.2 Description du problème rencontré

Les différentes pannes rencontrées au niveau du clavier se traduisaient par l'arrêt de fonc-

tionnement des touches d'une même colonne. Les colonnes affectées, étaient la colonne alphabétique et la première colonne de gauche (1 ; 4 ; 7 ; *). Dès lors l'interaction entre le système et l'utilisateur devenait impossible. En effet c'est à partir du clavier que l'on peut déterminer le niveau de charge/décharge de la batterie, du crédit restant, en appuyant respectivement sur les touches B et C. De plus, l'activation du système pour l'alimentation des lampes, se fait à partir d'un code numérique introduit à l'aide du clavier.

II.1.3 Diagnostic établi

Différentes actions ont été entreprises pour la détection de la panne, sa localisation et l'identification de la cause. La détection de la panne clavier consiste à identifier les touches défectueuses. L'identification de ces touches se fait à l'aide du code ci-dessous, écrit sous le langage C++.

```
#include <Keypad.h>

//Keypad characteristics
const byte ROWS = 4; //four rows
const byte COLS = 4; //four columns
//define the symbols on the buttons of the keypads
char Keys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}
};

//----- modifier les pins du clavier si nécessaire-----//
byte rowPins[ROWS] = {33, 35, 37, 39}; //connect to the row pinouts of the keypad
byte colPins[COLS] = {31, 43, 47, 49}; //connect to the column pinouts of the keypad

//initialize an instance of class NewKeypad
Keypad mOkboxKeypad = Keypad( makeKeymap(Keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("fin de setup");
}

void loop() {
  char mOkboxKey = mOkboxKeypad.getKey();

  if (mOkboxKey) {
    Serial.println(mOkboxKey);
  }
}
}
```

Figure 4 : Le programme d'affichage des valeurs du clavier

L'environnement de développement arduino propose un outil pour la communication entre l'ordinateur et la carte : le moniteur série. Ainsi en appuyant sur toutes les touches du clavier de la mOkbox, celles qui sont en bon état devraient s'afficher dans la fenêtre du moniteur série.

Les touches défectueuses sont celles qui n'apparaissent pas sur le moniteur série. Alors on procède à la localisation et à l'identification de la cause. Pour ce faire, la première action consiste à détecter la présence ou non d'un court-circuit au niveau des broches du clavier à l'aide d'un

multimètre. Comme chaque touche se comporte comme un contact, il est ainsi possible de déterminer si la connectique du clavier est défectueuse. La seconde permet de vérifier s'il y a présence d'un défaut sur une broche au niveau du PCB connectée à l'arduino. On procède à la mesure de la tension de la broche à vérifier, en envoyant un signal positif ou nul par le biais d'un programme de vérification que montre la figure 5.

```
int Pin = 13;           // affecter à "Pin" le numéro de la pin à tester

void setup()
{
  pinMode(Pin, OUTPUT); // configure la pin définie comme une sortie.
}

void loop()
{
  digitalWrite(Pin, HIGH); // met la pin à l'état HAUT(5 V)
  delay(5000);
  digitalWrite(Pin, LOW); // met la pin à l'état BAS(0 V)
  delay(5000);
}
```

Figure 5 : Le programme digitalWrite ()

II.1.4 Actions curatives menées

Le diagnostic ayant été établi, la cause du problème connu, il faut à présent trouver des solutions pour y remédier. Les pannes de clavier recensées sont dues à un défaut de broche sur la platine. La solution adoptée, consiste à modifier sur la platine, l'entrée digitale défectueuse. On utilise un fil de déviation de cette entrée clavier vers une autre entrée digitale libre. Par ailleurs, une modification est effectuée dans le programme au niveau de la déclaration des broches afin de faire correspondre la nouvelle entrée digitale avec l'entrée clavier.

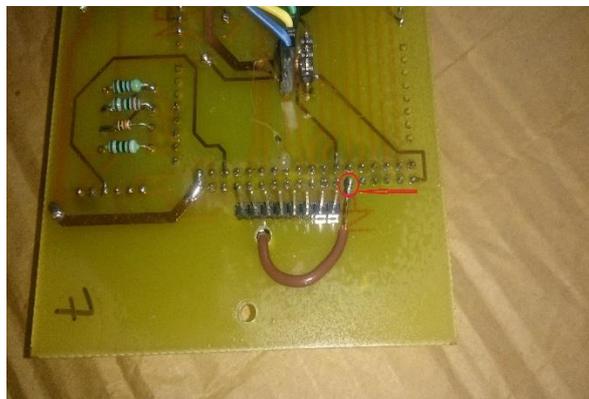


Figure 6 : Déviation entrée digitale clavier

II.2 Décharge profonde des batteries

L'alimentation des lampes et des téléphones se fait directement à partir de la batterie du système. La décharge profonde de celle-ci entraîne l'arrêt complet du système. On a eu à rencontrer des situations chez les utilisateurs où le système était hors d'usage car la batterie était entièrement déchargée. Les spécifications techniques de ces batteries utilisées sont données en *annexe 4*.

La gestion de la décharge de la batterie est assurée par le biais d'un programme introduit dans le microcontrôleur arduino. Dans ce programme, se trouve une tension seuil de fin de décharge de la batterie. A cette tension seuil de batterie, le microcontrôleur coupe toutes les sorties de lampes et les ports USB dédiés à la recharge de téléphone. Pour qu'ainsi, la batterie soit capable de fournir une réserve de 30 Wh pour le fonctionnement de l'arduino en mode veille.

Il est important que l'arduino puisse toujours être alimenté afin que toutes les fonctionnalités du système puissent être assurées. Effectivement, dans le cas où, la batterie se décharge complètement et qu'elle ne peut plus fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'arduino, on assiste à un arrêt complet du système car c'est également l'arduino qui commande la recharge de la batterie.

Il se trouve donc que la valeur seuil de fin de décharge de la batterie, considérée dans le programme n'est pas bonne. Car à cette tension, on assiste à des décharges profondes de la batterie conduisant à l'arrêt complet du système. En effet, à cette tension, il est impossible à la batterie de fournir une réserve de 30 Wh pour le fonctionnement de l'arduino.

Pour déterminer la tension de fin de décharge adéquate à insérer dans le programme, une étude de la décharge des batteries et de détermination de sa résistance interne a été faite. Le point suivant présente la méthodologie adoptée et les résultats obtenus lors de cette étude.

III. Caractérisation technique du système : étude de la décharge des batteries lifepo4 et détermination de la résistance interne.

Les batteries assurent le stockage de l'énergie photovoltaïque dans la journée pour une restitution ultérieure. En général, la gestion de la charge et de la décharge de la batterie dans les installations photovoltaïques, est faite à l'aide d'un régulateur. Cependant, dans la mOkbox, la décharge de la batterie est gérée par un programme introduit dans le microcontrôleur arduino. Dans le code, se trouve la tension seuil de fin de décharge de la batterie. Présentement la tension seuil de décharge se trouvant dans le code est 12 Volt.

Par ailleurs, à 12 V, on assiste à des décharges profondes au niveau de la batterie incapable de fournir l'énergie nécessaire pour le fonctionnement de l'arduino. La gestion de la décharge de la batterie s'avère donc très importante pour le fonctionnement du système. Il est donc principalement question pour nous, de déterminer la tension seuil adéquate de décharge. Ceci afin d'assurer le fonctionnement de l'arduino (faire les enregistrements de données) lorsque la batterie est en fin de capacité et surtout éviter les décharges profondes.

Pour ce faire, nous allons dans un premier temps effectuer des mesures pour obtenir les courbes de décharge des batteries. Grâce à ces courbes, on pourra déterminer à partir de l'énergie fournie, la tension seuil de fin de décharge. Dans un second, nous allons rechercher la résistance interne de la batterie. Cette résistance permettra d'optimiser la gestion de la décharge en adaptant le seuil de la tension en fonction de la consommation. Les méthodes et protocoles de mesure ont été réalisés avec les moyens à disposition sur place.

III.1 Méthodologie

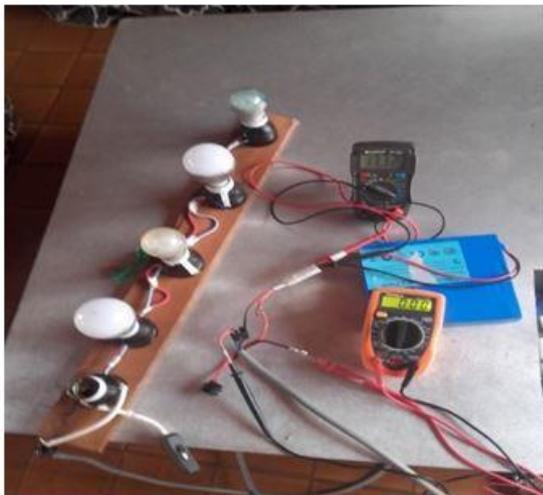
Afin de déterminer la tension seuil de fin de décharge de la batterie adéquate, à insérer dans le programme, les paragraphes suivants décrivent de manière exhaustive, les tests de décharge et de détermination de la résistance interne opérés sur les batteries.

III.1.1 Protocole expérimental pour l'étude de la décharge des batteries

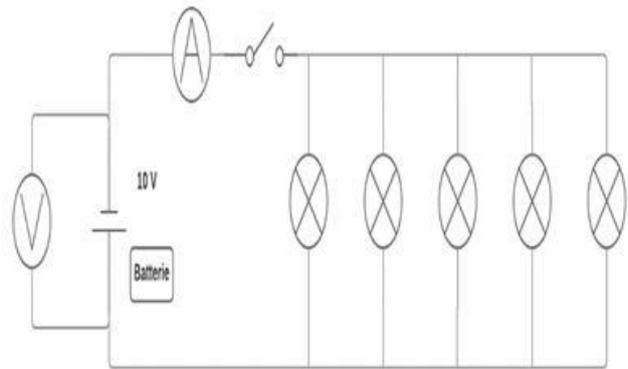
Les paramètres de suivi sont la tension, l'intensité et le temps. Des relevés de tension et de courant doivent être faits au bout d'intervalle de temps défini. Les intervalles de temps sont fixés en fonction du niveau de décharge de la batterie et du nombre de charges qu'elle alimente. A partir des différentes valeurs de tension U , de courant I , au bout d'une durée t , on détermine l'énergie totale fournie qui est égale à la somme cumulée des énergies fournies à chaque intervalle

(Eq.1). On déduit ensuite l'énergie disponible à chaque instant en faisant la différence entre l'énergie totale fournie par la batterie et l'énergie fournie à un instant donné. Les charges utilisées sont des ampoules de 3 et 5 W. Un voltmètre est monté en parallèle aux bornes de la batterie pour effectuer les mesures de tension et un ampèremètre est monté en série entre la batterie et le circuit pour effectuer les mesures de courant confère figure 7.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \frac{(P_{t_i} + P_{t_{i-1}})}{2} \cdot (t_i - t_{i-1}) \\ P_t = U_t \cdot I_t \end{array} \right. \quad (\text{Eq. 1})$$



a)



b)

Figure 7 : Montage pour étudier la décharge des batteries, a) Photo du montage, b) schéma électrique montage

Pour des charges allant de :

- 3 à 9 W : les relevés sont faits toutes les 30 minutes pour une tension batterie au-dessus de 12,9 V, au-dessous de cette tension, les relevés sont effectués toutes les 10 minutes.
- 12 à 25 W, les valeurs sont prises toutes les 15 minutes, et à partir de 12,9 V, les valeurs de tension et d'intensité sont relevées toutes les 10 minutes.

Une fois, les relevés de tension et de courant faits pour différentes batteries, les valeurs seront reportées sous Excel et les graphiques seront tracés en faisant une interpolation des valeurs à l'aide du logiciel Matlab. *En annexe 1* se trouvent les codes utilisés pour la représentation graphique.

III.1.2 Protocole expérimental pour de la détermination de la résistance interne

La littérature suggère plusieurs méthodes pour la détermination de la résistance interne. Angarita Gil (2012) et Fabien Mestrallet (2013) ont recensé quelques méthodes qui sont : les méthodes impulsionnelles, la spectroscopie d'impédance, la mesure de la chaleur dégagée et la réponse fréquentielle à un bruit blanc [5] et [6].

La méthode impulsionnelle consiste à mesurer la réponse temporelle en tension à une impulsion de courant. On déduit la résistance interne à partir de la loi d'Ohm, de la chute de tension et du courant imposé constant.

$$R_i = \frac{\Delta U}{I} \quad (\text{Eq. 2})$$

Pour notre cas pratique, la méthode que nous avons utilisée se rapproche de la méthode impulsionnelle. Expérimentalement, le montage utilisé pour l'estimation de la résistance interne est le même qu'utilisé précédemment pour étudier la décharge de la batterie. Cependant, les mesures de tension et de courant sont faites autrement. Pour différentes charges de 3 W, 6 W, 9 W, 12 W, 15 W, qui reflète les puissances d'utilisation du système chez les clients, il faut débiter en relevant la tension en circuit ouvert aux bornes de la batterie, ensuite relever la tension et le courant pour chaque charge. On pourra ainsi déterminer ΔU qui est à la différence entre la tension en circuit ouvert (V_{co}) et la tension mesurée à un instant donné (V_t).

$$\Delta U = V_{co} - V_t \quad (\text{Eq. 3})$$

La caractéristique intensité-tension (ΔU en fonction de I) sera ensuite tracée à l'aide de Matlab. L'annexe 2 donne le code utilisé. A partir des points du graphe, l'utilisation de la **fonction curve fitting** de matlab permet d'obtenir une droite dont la pente se veut représentative de la résistance interne de la batterie (Eq. 2)

III.2 Résultats et discussions

Après avoir effectué les divers tests de décharge et de détermination de la résistance interne des batteries ; les courbes obtenues seront présentées et commentées afin de déterminer la tension seuil de fin de décharge à insérer dans le code arduino. Elle représente la tension pour laquelle la batterie serait à mesure de fournir une énergie minimale de 30 Wh pour le fonctionnement de l'arduino en mode veille. La résistance interne est aussi déterminée afin d'adapter ce

seuil de tension à la puissance appelée par les récepteurs.

III.2.1 Etude de la décharge des batteries

Trois séries de test ont été effectuées sur quatre batteries neuves avec des charges de 15 W, 18 W et de 6 W. Les charges de 15 et 18 W ont été choisies pour mieux illustrer la décharge de la batterie dans le cas où la sollicitation en énergie serait importante chez les utilisateurs. Et celle de 6 W a été considérée dans le cas où la sollicitation en besoin d'éclairage est moindre. Les figures 8, 9 et 10 présentent les différents graphes de l'étude de la décharge des batteries.

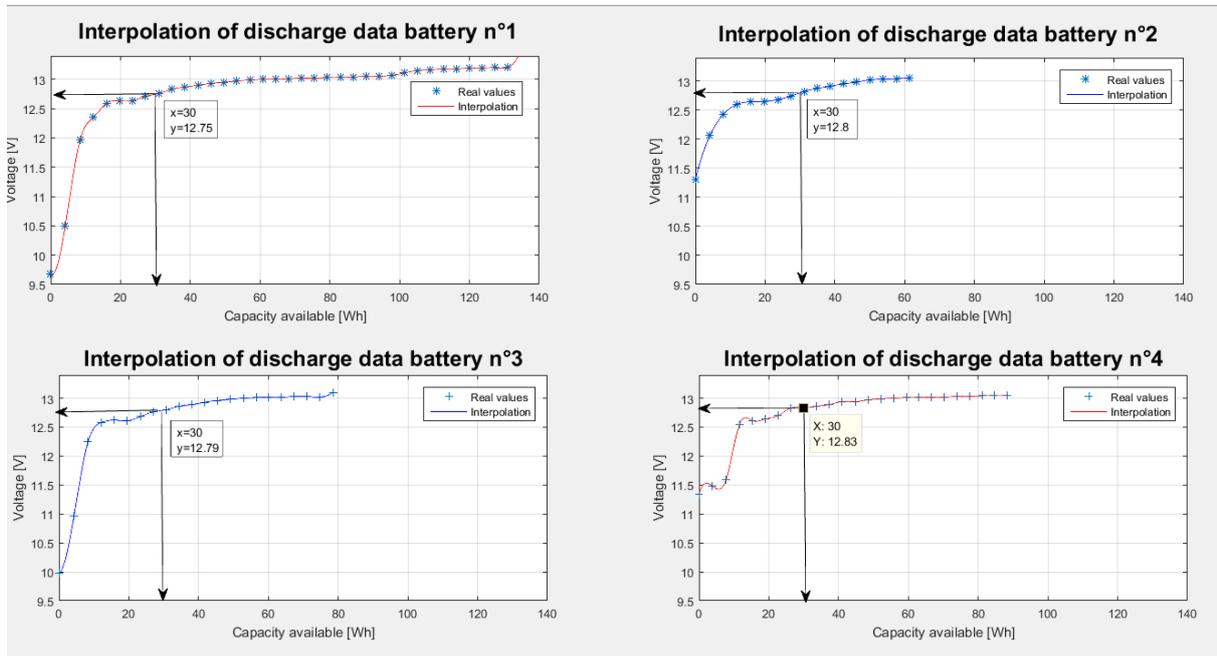


Figure 8: 1^{ère} série de test de décharge batterie avec une charge de 15W

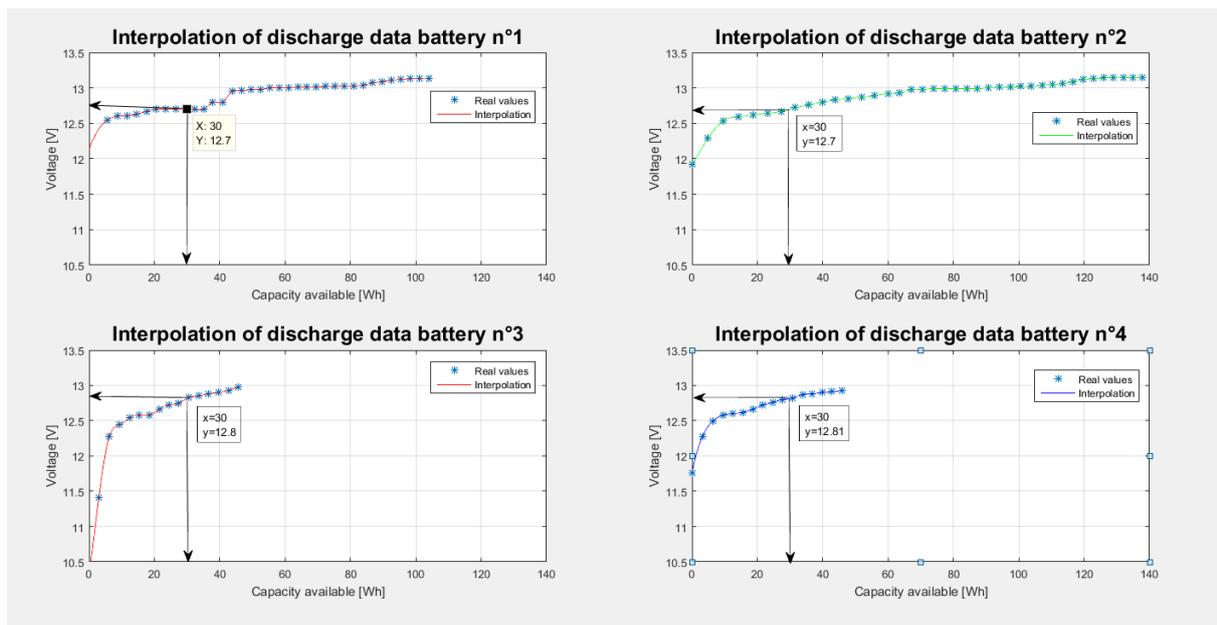


Figure 9: 2^{ème} série de test de décharge batterie avec une charge de 18 W

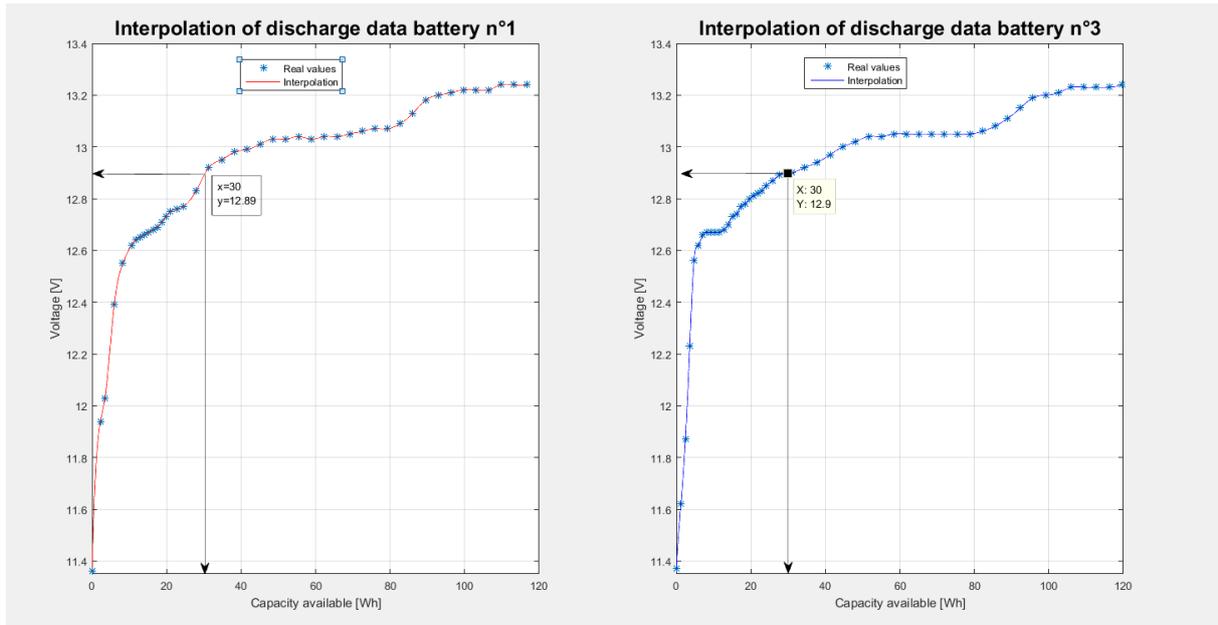


Figure 10: 3^{ème} série de test de décharge batterie avec une charge de 6 W

On remarque que les graphes de décharge de la batterie obtenues lors des tests présentent quelques irrégularités par rapport à celle prévue par le constructeur confère dans l'annexe 3. On note que celles-ci pourraient provenir des conditions de test c'est-à-dire un environnement différent de celui du laboratoire, ou encore d'un déséquilibre au niveau des cellules de la batterie [6]. Rappelons à nouveau, que notre objectif est de déterminer la tension seuil à partir de laquelle la batterie serait en mesure de fournir l'énergie nécessaire à l'arduino en mode veille. A cet effet, une réserve de 30 Wh a été prévue. Autrement, il s'agit de déterminer la tension pour laquelle l'énergie disponible dans la batterie serait de 30 Wh. Pour ce faire, nous avons tracé les courbes caractéristiques de décharge des batteries à l'aide de l'outil d'interpolation du logiciel matlab confère annexe 1. Cette opération mathématique permet le calcul des points intermédiaires entre deux points donnés, apportant ainsi une prédiction de l'allure de la courbe caractéristique. Le tableau 1 présente les valeurs de tensions obtenues en projetant cette énergie sur les différentes caractéristiques.

Tableau 1 : Valeurs de tension seuil limite des batteries pour différents tests

Tension (V) lue à 30 Wh				
Numéro test	Batterie 1	Batterie 2	Batterie 3	Batterie 4
1 ^{ère} série (15 W)	12,75	12,8	12,79	12,83
2 ^{ème} série (18 W)	12,7	12,7	12,8	12,81
3 ^{ème} série (6 W)	12,89		12,9	

On constate ainsi que pour des charges de 15 et 18 W, la tension seuil pour une réserve de 30 Wh se situe entre 12,7 V et 12,8 V. Et pour des charges de 6W, la tension est approximativement de

12,9 V. Il ressort donc que, l'hypothèse faite en considérant une tension de 12 V, pour laquelle on aurait une énergie disponible de 30 Wh de la batterie, n'est pas vérifiée. Effectivement, cette valeur s'avère être nettement inférieure. A 12 V, la batterie entame une décharge profonde. Aussi on remarque que, la tension seuil à déterminer dépend de la charge. On se propose ainsi de trouver la résistance interne de la batterie, afin d'adapter le seuil de la tension à la consommation.

III.2.2 Détermination de la résistance interne

Afin d'estimer la résistance interne, des tests ont été effectués sur quatre batteries différentes. Les tests ont été réalisés avec des charges de 3 à 15 W. La figure 11 présente les caractéristiques de la résistance interne.

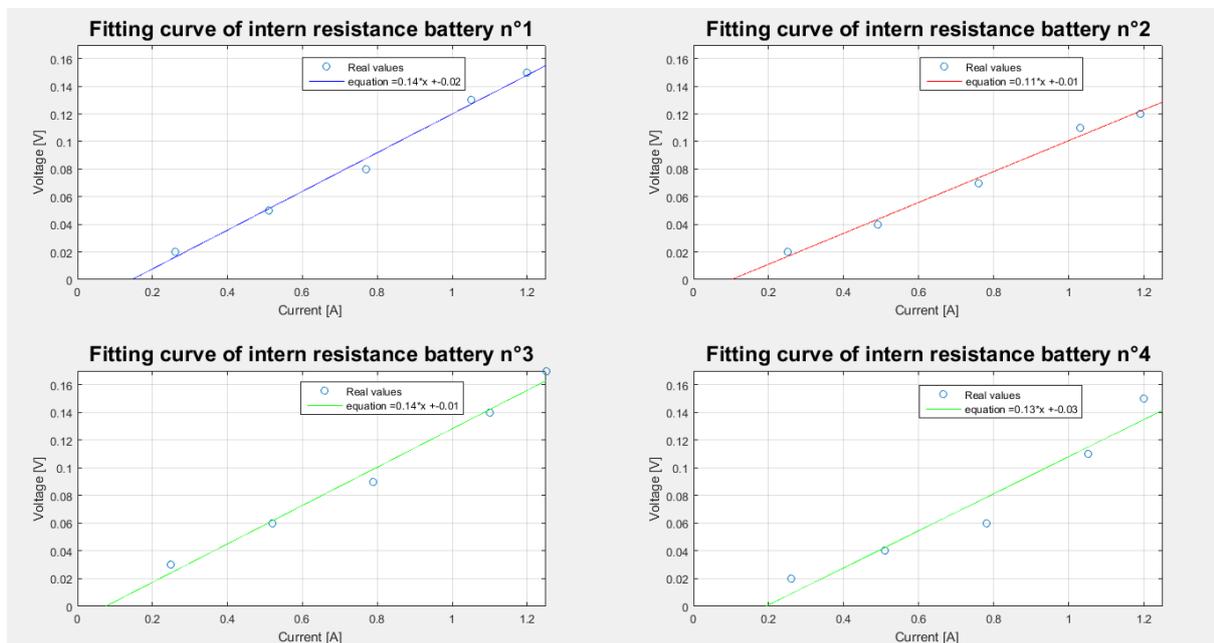


Figure 11 : Caractéristiques résistance interne

La relation entre la tension et le courant de la batterie à différentes charges a été établie par le modèle de régression linéaire. Ce modèle a pu être représenté à l'aide de l'outil curve fitting sur matlab. L'analyse graphique des résidus et l'analyse numérique des paramètres statistiques, confirment que la fonction polynomiale de degré 1, est l'ajustement de courbe qui "suit" le mieux, les données expérimentales, entachées ou non d'erreurs de mesure.

En effet, les résidus représentent la différence entre les valeurs réelles et les valeurs que le modèle prédit. Ainsi un modèle est approprié pour des données lorsque les résidus se rapprochent des erreurs aléatoires indépendantes. Autrement dit la distribution des résidus ne devraient pas présenter une tendance perceptible [4]. Les tracés de résidus obtenus pour les différents tests montrent que le modèle utilisé est approprié pour notre étude confère *annexe 5*.

De plus, l'évaluation de la qualité de l'ajustement passe aussi par l'interprétation des valeurs des paramètres statistiques, présentés dans le tableau 2, qui sont :

- The Sum of Squares due to Error (SSE) qui est une erreur statistique qui mesure la déviation totale des valeurs de réponses de l'ajustement (fit) par rapport aux valeurs de réponses. Plus la valeur est proche de zéro, plus l'ajustement est bon.
- R-square : Cette statistique mesure la capacité de l'ajustement à traduire la variation des données. R-square peut prendre une valeur comprise entre 0 et 1, avec une valeur proche de 1 indiquant un meilleur ajustement.

Tableau 2 : Valeurs du SSE et R-square des caractéristiques de la résistance interne.

Numéro Batterie	SSE	R-square
1	$8,861 \cdot 10^{-5}$	0,9924
2	$9,868 \cdot 10^{-4}$	0,9896
3	$1,736 \cdot 10^{-4}$	0,9867
4	$7,260 \cdot 10^{-4}$	0,9359

On remarque qu'effectivement les valeurs du SSE sont très proches de zéro et que les valeurs du R-square se rapprochent de un. On déduit ainsi que le modèle utilisé reflète le phénomène physique mis en œuvre. Surtout, il nous permet d'extraire le coefficient, la pente, représentant la résistance interne de nos batteries.

Le tableau 3 donne les pentes obtenues à partir du modèle, pour nos différentes batteries.

Tableau 3 : Résistances internes des batteries

Numéro batterie	Equation de droite	Pente/résistance interne (mΩ)
1	$0,14 \cdot x + 0,02$	140
3	$0,14 \cdot x + 0,01$	140
2	$0,11 \cdot x + 0,01$	110
4	$0,13 \cdot x + 0,03$	130

On constate que les batteries 1 et 3, présentent la même pente **0,14**, contrairement aux batteries 2 et 4 qui ont des pentes de **0,11** et **0,13**. Les batteries n'ont pas en effet, toute la même pente. Ainsi, on effectue une moyenne des pentes pour déterminer la valeur de la résistance interne

(R_{int}) moyenne. On obtient donc :

$$R_{int} = \frac{\Sigma \text{pente}}{\text{nombre}_{\text{batterie}}} = 0,13 \Omega = 130 \text{ m}\Omega$$

La valeur de la résistance interne obtenue est nettement supérieure à celle donnée par les fabricants de batterie LiFePo4. En général, cette valeur est comprise entre 10 à 50 $\text{m}\Omega$. [5]. Une étude ultérieure pourrait être réalisée afin de déterminer les paramètres influençant la résistance interne des batteries

En définitive, l'étude des courbes de décharge des batteries révèle que, le seuil de tension recherchée pour des charges de 15 et 18 W, est entre 12,7 V et 12,8 V. Et pour celles de 6W, la tension est de 12,9 V. On s'aperçoit que cette tension dépend de la puissance appelée par les récepteurs. Dans le souci qu'elle puisse être adaptable à la consommation, nous avons déterminé la résistance interne. Des tests de mesure de tension en fonction du courant débité, à différentes charges ont été réalisés sur quatre batteries neuves. Ceci nous a permis de représenter le modèle décrivant le mieux le phénomène physique mis en évidence : la régression linéaire simple. De là, nous avons pu extraire le coefficient donné par la fonction polynomiale de degré 1. Ce coefficient qui est la pente, représente ainsi la résistance interne de la batterie. La valeur obtenue est de l'ordre de 130 $\text{m}\Omega$ qui est largement supérieure aux valeurs données par les fabricants

Il est aussi important de souligner que nos travaux, nous ont permis de mettre en évidence une anomalie au niveau du cycle de décharge. L'origine pourrait être un déséquilibre au niveau des cellules de la batterie. Une étude ultérieure pourrait ainsi être faite pour vérifier cette hypothèse. De plus, toujours dans le souci d'assurer le fonctionnement permanent de notre système, il serait judicieux de prévoir le vieillissement des batteries en réalisant une étude sur l'augmentation de la résistance interne avec le temps.

Partie 2 : étude comparative entre le système solaire upOwa et des kits pico pv utilisés à l'ouest du Cameroun.

Il a été montré que la technologie solaire upOwa, de par les services qu'elle offre, peut être considérée comme une solution viable pour les besoins de base des ménages non raccordés. Toutefois, il serait intéressant de connaître les atouts, la valeur ajoutée, qu'apportent la technologie solaire upOwa, par rapport à d'autres technologies pico PV commercialisées.

Dans cette partie, un aperçu de la situation énergétique de l'Ouest du Cameroun sera tout d'abord présenté. Ensuite, il sera question de donner les différentes offres techniques et économiques des systèmes pico PV commercialisés y compris le système upOwa. Et enfin une analyse de ces offres sera réalisée sur la base des attentes des ménages non raccordés.

I. Zoom sur l'électrification de la région ouest du Cameroun

L'Ouest du Cameroun est la première et présentement la seule région ciblée par l'entreprise upOwa pour l'installation de ces kits solaires. Les paragraphes suivants présentent donc géographiquement la région et donnent également un bref aperçu de sa situation énergétique.

I.1 Présentation de la région Ouest du Cameroun

Sa superficie représente 3% de l'ensemble du territoire national soit 13 892 km². Son climat est de type tropical humide et comprend deux grandes saisons : une saison sèche qui dure cinq mois et va de fin octobre à mars, et une saison de pluie qui va de fin mars à octobre. Le relief de la région est montagneux avec des plaines et de nombreux plateaux, dont les plus hauts varient entre 1000 et 1500 mètres d'altitude [7].



Figure 12 : La carte de la région de l'Ouest du Cameroun

I.2 Diagnostic du secteur de l'électricité

La région de l'Ouest du Cameroun est alimentée par une ligne de 90 kV connectant Ba-foussam et Bamenda. Toutefois, la mauvaise qualité du réseau réduit la disponibilité de l'énergie électrique [11]. Les principales causes sont la difficulté d'accès à certaines localités dû à leur enclavement. On note aussi le coût exorbitant du transport de l'énergie des centres de distribution aux points de consommation. Egalement la vétusté, la saturation et la faible disponibilité des équipements de production, de transport et de distribution d'électricité, entraînent des interruptions fréquentes et le plus souvent longues de la fourniture d'électricité dans les villages. Sans oublier les limites de certaines institutions étatiques telles que le MINEE (Ministère de l'Eau et Energie), ARSEL (Agence de Régulation du Secteur de l'Electricité), AER (Agence d'Electrification Rurale) en termes de compétences techniques et de ressources financières pour la mise en œuvre des projets d'électrification à partir de technologies décentralisées. Ainsi il devient primordial d'envisager d'autres solutions.

Les technologies pico PV sont des solutions dites de « pré-électrification » fournissant les services d'électricité de base pour la satisfaction des besoins primaires tels que l'éclairage et la recharge des téléphones des populations rurales. Elles sont considérées comme une bonne alternative par rapport à l'usage des sources d'éclairage traditionnelles.

II. Les sources d'éclairage traditionnelles

Cette partie présente les différents moyens d'éclairage traditionnels, utilisés au Cameroun en particulier à l'Ouest du pays.

II.1 Le pétrole lampant

C'est la source d'énergie la plus utilisée pour l'éclairage, par plus de deux tiers des populations rurales et 10 % de la population urbaine au Cameroun [12]. A l'Ouest, l'usage des lampes à kérosène reste fort présent dans les ménages non raccordés au réseau électrique. Le pétrole lampant couvre ainsi près de 88% des dépenses liées à l'éclairage [13].

Ces lampes à pétrole relativement moins chères, sont responsables d'une émission de 190 millions de tonnes de CO₂ par an selon une publication parue dans le Journal Scientifique américain 'Science' publié en 2005, ainsi que de d'autres émissions qui sont dangereuses pour la santé. Elles peuvent aussi occasionner des incendies.

II.2 Les torches à pile

Les piles pour torche sont utilisées par 19,1 % des ménages non raccordés à l'Ouest Cameroun. Les petites lampes torches retrouvées dans les commerces, sont utilisées le plus souvent pour se déplacer à l'extérieur dans la nuit. Il existe aussi des lampes torches à piles de taille et puissance plus importantes pouvant éclairer toute une pièce. Elles servent également de relai dans les foyers en cas de rupture de combustible pour les lampes à kérosène.

II.3 La bougie

Les bougies sont faiblement utilisées comme moyen d'éclairage dans les ménages n'ayant pas accès à l'électricité. Elles ont un faible pouvoir éclairant et il faudrait une quantité assez importante pour suffisamment éclairer une pièce. Peu appréciées, uniquement 3,9% des ménages non raccordés se servent des bougies comme solution alternative en substitution aux lampes à pétrole, lorsqu'ils sont à court de combustibles. Toutefois, on relève un usage plus poussé des bougies chez les ménages raccordés. Effectivement 20,5% des ménages électrifiés à l'Ouest du Cameroun ont recourt aux bougies [13]. Car les bougies servent de secours en cas de délestage ou d'indisponibilité occasionnelle d'électricité.

II.4 Le groupe électrogène

Les groupes électrogènes sont des technologies simples et éprouvées. La technologie est maîtrisée et adaptée à tout type de milieu. Cependant, à cause de l'investissement initial requis et des coûts engendrés par l'approvisionnement en gasoil ou en essence, cette solution est très peu adoptée. L'usage du groupe électrogène pour l'éclairage est très souvent réservé aux ménages les plus aisés, lesquels sont peu représentés dans notre zone d'étude. En effet, seulement 3% des ménages non raccordés à l'Ouest du Cameroun, se servent des groupes électrogènes pour répondre à leurs besoins d'éclairage [13]. Les groupes électrogènes sont aussi retrouvés dans beaucoup de commerces. Certains s'en servent pour développer un business de recharge de téléphones ou encore, y ont recours, simplement, pour le déroulement de leurs activités et parfois peuvent même raccorder à la demande des ménages alentours contre une petite somme d'argent.

III. Les systèmes pico pv à l'ouest du Cameroun

Face à toutes les limites que présentent les sources d'éclairage traditionnelles, les solutions d'éclairage à base d'énergie PV sont considérées comme une meilleure alternative pour les ménages. Particulièrement en milieu rural, avec une population dispersée, où il n'est pas évident de se raccorder au réseau électrique. Les technologies pico PV sont définies comme de petits systèmes indépendants fournissant un éclairage et/ou de petits services électriques complémentaires à base d'électricité solaire, tels que la recharge de radios, de téléphone portable, de lecteur MP3, etc. [14]. Un kit solaire doit avant tout être adapté à l'utilisation désirée. Ils sont majoritairement conçus pour la satisfaction des besoins de base à l'échelle domestique.

III.1 Les principaux constituants

Les kits solaires sont constitués d'un panneau PV relié à une batterie de stockage par l'intermédiaire d'un régulateur de charge pour alimenter des récepteurs DC de faible puissance. Il existe aussi des systèmes où la batterie est directement intégrée à la lampe DC. La figure 13, les schémas (a) et (b) montrent respectivement les deux configurations évoquées. Il arrive aussi que les populations utilisent un ou plusieurs modules PV pour recharger directement leurs batteries sans régulateur.

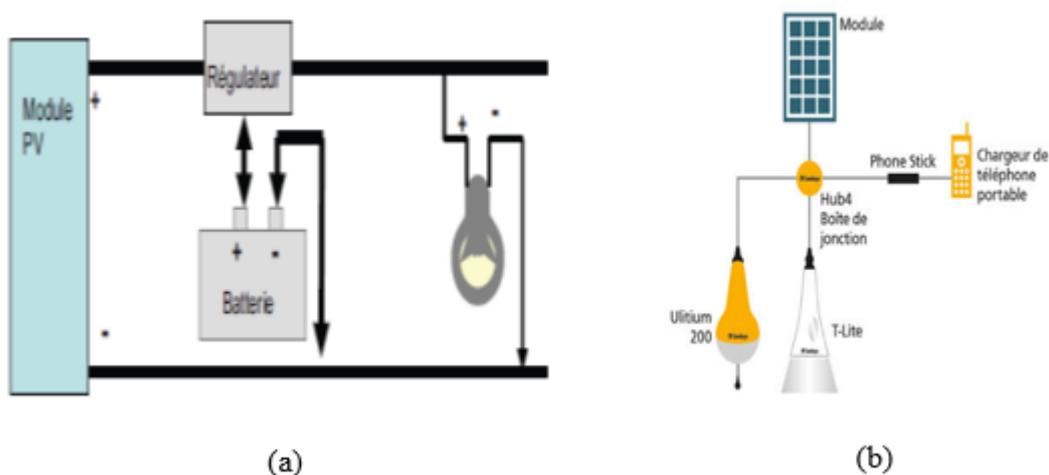


Figure 13 : Circuits des systèmes pico PV

III.1.1 Le module PV

Les panneaux photovoltaïques des systèmes pico PV sont généralement fabriqués en silicium monocristallin ou polycristallin. On retrouve rarement les panneaux de technologie amorphe. Les puissances disponibles vont de 0,3 Wc pour une lampe solaire avec panneau intégré à 12 Wc pour un système combiné. La plupart des systèmes sont équipés de panneaux de 1 à 3 Wc [15].

III.1.2 Les batteries

Le déphasage entre la production solaire et la consommation nécessite de faire recourt à un organe de stockage : les batteries. Elles ont généralement une capacité comprise entre 20 mAh pour les lanternes PV à 7 200 mAh pour l'installation d'un système solaire domestique [14]. Ces systèmes utilisent différents types de batteries à savoir les batteries au plomb, les batteries NiMH et les batteries Li-ion. Les batteries au lithium, notamment au lithium-ion (Li-ion) et Lithium Fer Phosphate (LiFePO₄) offrent un certain nombre d'avantages par rapport à d'autres types de batteries utilisées dans les produits d'éclairage hors réseau. Elles sont appréciées et sollicitées pour leur densité d'énergie plus élevée (plus petite taille) et leur longue durée de vie [16]. Les batteries Nickel-Hydrure Métallique (NiMH) étaient celles les plus couramment utilisées dans les produits d'éclairage jusqu'à l'émergence récente des batteries au lithium. Quant aux batteries au plomb-acide, elles demeurent une technologie établie et restent relativement peu coûteuses par rapport aux batteries au lithium et celles au NiMH. Cependant, les batteries au plomb-acide s'avèrent mieux adaptées aux produits ayant une grande capacité de stockage d'énergie.

III.1.3 Les récepteurs DC

L'éclairage est la fonction clé des systèmes pico PV. Différentes technologies d'éclairage sont retrouvées dans ces systèmes. Les lampes fluorescentes compactes CFL (Compact Fluorescent Lamps) ont le même principe de fonctionnement que les lampes fluorescentes standard. Cependant les CFL ont la particularité d'être plus écoénergétiques. Toutefois, la technologie de la diode électroluminescente (LED – Light Emitting diode) apparaît comme l'option d'avenir. En raison de leur grande efficacité (jusqu'à 160 lm/W,) les lampes LED surpassent de loin les technologies traditionnelles d'éclairage basées sur le pétrole lampant [15].

Les téléphones portables, qui ont gagné en popularité au Cameroun durant ces 15 dernières années, sont réellement présents dans les zones rurales. Le besoin de recharge de téléphones portables devient dès lors une préoccupation pour les villageois. De nos jours, de nombreux systèmes offrent des services énergétiques complémentaires intégrant de faibles appareils DC tels que les téléphones portables, la radio, les lecteurs MP3. Actuellement la recharge de téléphones est la seconde option la plus courante retrouvée chez les systèmes pico PV après l'éclairage.

On distingue différentes sortes de configuration. Le chargeur pour téléphone portable peut être, soit relié au dispositif principal par un câble pour les recharges à partir de la batterie, ou directement connecté au module. Un ensemble d'adaptateurs de recharge du téléphone sont généralement fournis afin de couvrir toute une gamme de types de téléphones portables.

III.2 Les produits pico PV

Selon l'Institut National de la Statistique (INS), le marché des produits d'éclairage fonctionnant à l'énergie solaire commence tout juste à se développer. L'évolution du marché des pico-PV au Cameroun montre qu'il existe des différences de taille, de type et des prix de systèmes. Effectivement, dans les ménages en zone rurale, on distingue deux familles de systèmes pico PV utilisés: les modèles portables et les modèles fixes pour habitation. Chaque modèle propose une diversité de produits. Tous, étant conçus pour répondre aux besoins de base des populations rurales à savoir le besoin d'éclairage et de recharge de téléphone.

Les modèles portables permettent en général la satisfaction des besoins primaires d'une ou deux personnes. Les produits proposés sont différentes catégories de lampes ou lanternes portatives avec parfois une sortie USB pour la recharge de téléphones. Ceux fréquemment rencontrés dans les commerces et dans les ménages au Cameroun ont été recensés. Le tableau 4 donne les caractéristiques techniques de ces produits.



Figure 14 : Les systèmes pico PV portatifs

Les modèles fixes pour habitation sont adaptés pour l'éclairage intérieur des locaux. La figure 15 illustre quelques images. Effectivement, ces systèmes offrent l'avantage principal de pouvoir éclairer plusieurs pièces simultanément permettant ainsi de répondre aux besoins de plusieurs habitants. Généralement, dans ces kits, on y trouve tous les composants d'une installation PV classique. Par ailleurs, elles peuvent avoir différentes configurations. Certains kits ont des lampes directement équipées de leur unité de stockage rechargeable (les lampes ULithium) à partir du panneau PV. Le tableau 5 donne les caractéristiques techniques de quelques exemples. Sur le

marché, on retrouve également des kits dont les différents composants ne sont pas solidaires. Les caractéristiques techniques de quelques-uns sont données dans le tableau 6. De plus, mentionnons que dans les villages, on retrouve également de petites installations PV réalisées dans les ménages qui consistent juste à connecter un panneau PV à une batterie et ensuite d'y brancher directement les lampes pour avoir la lumière. Ces installations ne sont pas fiables et sont fortement déconseillées. Car, le choix des équipements n'a pas été fait sur la base d'une méthodologie de dimensionnement adaptée.



Figure 15 : Les systèmes pico PV fixe pour habitation

Tableau 4 : Caractéristiques techniques des différents modèles portables de systèmes pico PV

FABRICANT	MODELE	PANNEAU		LAMPES				BATTERIE				FONCTION		
		Technologie	Puissance (w)	Types	Nombre point lumineux	Luminosité (lm)		Eclairage (Lux)	Technologie	Capacité (mAh)	Tension (V)	Autonomie (h)	Eclairage	Recharge de téléphone
D.Light	S20 d.Light	Monocristalline	-	LED	1	29		< 25	Lithium	-	-	6,5	Oui	Non
	S300 d.Light	Monocristalline	1,6	LED	1	100	29	< 50	Lithium Fer Phosphate	1800	3,2	26	Oui	Oui
Schneider electric	TS120S/Schneider electric	Polycristalline	2,5	LED	1	130	66	<50	Lithium Fer Phosphate	1500	6,4	16	Oui	Oui
Barefoot Power	Barefoot PowerPack Junior Matrix (Gen. 2.5)	Polycristalline	2,6	LED	2	60		< 25	Lithium Fer phosphate	3300	-		Oui	Oui
Greenlight Planet	Sun King Solo	Amorphe	0,78	LED	1	51		< 25	Lithium Fer phosphate	-	-	5,8	OUI	Non
Barefoot power	Firefly	Monocristalline	1,5	LED	1	63		<50	Lithium Fer phosphate	-	-	3,6	Oui	Oui

Légende : - = non communiqué

Tableau 5 : Caractéristiques techniques des différents systèmes pico PV Ulithium

FABRICANT	MODELE	LAMPES				BATTERIE						PANNEAU	
		Nombre	Night light (1) lumens	Normal (2) lumens	Super (3) lumens	technologie	Capacité (mAh)	tension nominale(V)	Autonomie(1) en heure	Autonomie(2) en heure	Autonomie(3) en heure	Technologie	Puissance (Wc)
Omnivoltaic	MB2-200	lampe principale	6	90	200	Li-thium Fer phosphate	3200	3,2	150	12	5,3	polycristalline	2,8
		lampe torche	-	25	-		500	3,2	5				
	MB2-290	lampe 1	6	90	200	Li-thium Fer phosphate	3200	3,2	150	12	5,3	polycristalline	4,5
		lampe 2	6	40	90		1400		70	12	5,7		
		Lampe torche	-	25	-		500		-	5	-		
	MB2-380	Lampe 1	6	90	200	Li-thium Fer phosphate	3200	3,2	150	12	5,3	polycristalline	5,5
		Lampe 2	6	40	90		1400		70	12	5,7		
		Lampe torche	-	25	-		500		5				

Légende : - = non communiqué

Tableau 6 : Caractéristiques techniques des modèles pico PV fixes pour habitation

FABRICANT	MODELE	LAMPES			PANNEAU		BATTERIE			
		Technologie	Nombre	Luminosité (lm)/Puissance	Technologie	Puissance (W)	Technologie	Capacité mAh	Tension nominale (V)	Autonomie pour une lampe(h)
Sundaya	Kit Sundaya	LED Ulithium	4	60 lm	-	12	Accumulateur intégré à la lampe	-	-	6
Omnivoltaic Power Co., Ltd.	ovCamp HS1-36_LB1122	LED	4	150 lm	Polycristalline	10	Lithium fer Phosphate	3200	12	7,2
		lampe torche	1	33 lm						6
GDLITE	Kit 8008	LED	3	3 W	Polycristalline	7	-	4000	6	-
ASG (African Solar Generation)	Oolux	LED	4	80lm/1Ws	-	5	Li-ion	11 000	3,7	32
upOwa	upOwa	LED	10	150lm/3W	Polycristalline	30	Lithium fer Phosphate	10 000	12	42

Légende : - = non communiqué

Les coûts des différents systèmes étudiés ont également été déterminés. Le tableau 7 donne les coûts de vente des divers produits

Tableau 7 : Coûts des produits pico PV

FABRICANT	MODELE	COÛT (FCFA)	GARANTIE
D.Light	S20 d.Light	5 500	2
	S300 d.Light	14 500	2
Schneider electric	TS120S/Schneider electric	23 000	1
Barefoot Power	Barefoot PowaPack Junior Matrix (Gen. 2.5)	40 000	2
Greenlight Planet	Sun King Solo	9 500	2
	Firefly	17 500	1
Omnivoltaic	MB2-200	30 000	2
	MB2-290	45 000	2
	MB2-380	60 000	2
Sundaya	Kit Sundaya	146 900	-
Omnivoltaic Power Co., Ltd.	ovCamp HS1-36_LB1122	112 700	2
Antenna Technologies	Oolux	75 000	2
upOwa	upOWa	375 000	3

Légende : - = non communiqué

III.3 Les atouts et limites de chaque modèle

A ce jour, il n'existe aucune norme de qualité sur les kits pico PV. La GIZ et ISE (Institut Fraunhofer des systèmes énergétiques solaires) ont réuni un ensemble de critères de qualité généraux à appliquer sur les produits pico PV confère dans l'*annexe 7*. Ces critères définis peuvent servir de base pour l'évaluation et la comparaison de systèmes pico PV. De l'expérience acquise à travers les tests effectués sur les systèmes d'éclairage, la GIZ considère que les spécifications techniques fournies par les fabricants ont tendance à être très optimistes. Ainsi dans cette partie, il sera question de relever les atouts et les limites des modèles pico PV présentés précédemment, par rapport aux critères de qualité définis par l'ISE. Le tableau 8 illustre les points forts et les points faibles des deux modèles.

Tableau 8 : Points forts et faibles des modèles pico PV

	CRITERES	MODELES	SUJET	REMARQUES
ATOUTS	Les principaux composants	Modèles pico PV portables & fixes pour habitation	Panneau PV	Usage de technologie de bonne qualité : les panneaux PV utilisés sont majoritairement fabriqués en silicium monocristallin. C'est la technologie PV, la plus coûteuse en fabrication et ayant le meilleur rendement (16 à 18 %).
			Batteries	Technologie de bonne qualité : C'est la plus dominante chez les deux modèles. Les batteries au Lithium Fer Phosphate offrent une durée de vie plus longue que la plupart des autres types de batteries au lithium et sont beaucoup plus stables, ce qui réduit considérablement les dangers liés au feu et à l'explosion
	Performances	Modèles fixes pour habitation	Durée d'allumage	Les performances au niveau de la durée minimale d'éclairage sont satisfaisantes. La GIZ et les laboratoires de l'Institut Fraunhofer <i>confère annexe 7</i> recommandent une durée minimale de trois heures de lumière d'éclairage par jour. Or la durée minimale d'éclairage que propose l'ensemble des systèmes est supérieur à 3 heures
		Modèles pico PV portables & fixes pour habitation	Durée maximale d'utilisation	La GIZ et les laboratoires de l'Institut Fraunhofer recommandent une durée maximale de six heures de lumière d'éclairage par jour. Or la durée maximale d'éclairage que propose l'ensemble des systèmes est supérieur à 6 heures <i>confère annexe 7</i>
	Luminosité	Modèles pico PV fixes pour habitation	Flux lumineux minimal	La luminosité minimale requise pour la lecture et éclairage d'une pièce est de 150 lumens. Les kits solaires Omnivoltaic, GDLITE et upOwa respectent ce critère de qualité.
	LIMITES	Manuel	Modèles pico PV portables	Spécifications techniques
Luminosité		Modèles pico PV portables	Flux lumineux	Ces systèmes ont un faible pouvoir éclairant. Les modèles portatifs étudiés offrent une luminosité minimale comprise entre 23 et 66 lumens

III.4 Les besoins et les attentes spécifiques des populations

Des enquêtes auprès des ménages ont été réalisées par certains organismes tels que GIZ, IEA, SNV dans l'objectif de comprendre d'une part les besoins en énergie pour des services d'éclairage et de recharge des téléphones mobiles des populations défavorisées. D'autre part, ces enquêtes ont permis de connaître l'opinion des ménages sur les différentes offres techniques et commerciales de produits pico PV et surtout d'identifier les principales attentes de ces ménages vis-à-vis de ces systèmes [13], [17] et [19]. Il ressort donc de l'exploitation des données et des résultats des enquêtes obtenues au niveau des localités de l'Ouest Cameroun :

- ✚ Les populations de l'Ouest sont très regardantes sur l'aspect technologie précisément sur la qualité et la robustesse des systèmes. En effet, certains consommateurs ont montré leurs mécontentements vis-à-vis de la qualité de la 1^{ère} génération des produits pico PV commercialisés. Dès lors, on remarque qu'à présent, la plupart de ces systèmes se dotent de technologies plus performantes au niveau des composants. A titre d'illustration, les batteries de produits D.Light qui étaient auparavant au Ni-MH, sont à présent au LiFePo4 confère *annexe 8*. De même que pour les panneaux en polycristallins ont été remplacés par du monocristallins [19]. L'usage de ces nouvelles technologies et l'attention de plus en plus portée sur les critères de qualité contribuent en une nette amélioration de la qualité des systèmes pico PV.
- ✚ Les ménages mettent aussi un accent particulier sur l'absence de services de maintenance et de réparation des produits pico PV commercialisés. Le besoin de disposer d'un réseau de techniciens pouvant assurer une maintenance de proximité des produits en cas de panne est très fort.
- ✚ On constate également que les ménages ne portent pas un grand intérêt sur l'électricité en soi, mais plutôt sur le service qu'offre l'électricité du système. Ils veulent de la lumière dans la nuit, une recharge pour leurs téléphones mobiles, et insistent vouloir les systèmes qui prennent l'audiovisuel. Le tableau 9 illustre la demande en énergie journalière des populations [17].

Tableau 9 : Les besoins énergétiques des populations rurales selon IEA

CHARGES	TYPE DE SERVICE	QUANTITE	PUISSANCE (W)	HR/JOUR	Wh/JOUR
Eclairage pour étude	50 lumens	1	0,5	3	1,5
Eclairage principal	200 lumens	1	2	2	4
Eclairage pour sommeil	10 lumens	1	0,1	8	0,8
Recharge téléphone	Charge (50%)	1	2	1	2
Radio	Son	1	0,5	2	1
Total					9,3

- ✚ Les populations sont également préoccupées par l'aspect financier. En effet, 80% des ménages considèrent le coût comme une limite à l'accès à un produit pico PV. Or, l'une de leur principale attente serait de réduire les dépenses engendrées par l'usage de l'éclairage traditionnel. De plus, le système de paiement n'encourage pas les ménages. A ce sujet, 10% des groupes aimeraient par exemple avoir la possibilité de régler par tranche, l'achat des systèmes.
- ✚ Les clients souhaiteraient aussi que les garanties données par les fabricants soient respectées. En effet, c'est ainsi un bon moyen de rassurer les consommateurs et de créer une relation de confiance entre les différents acteurs.

III.5 La situation financière des ménages de l'Ouest Cameroun

D'après l'ECAM 4, en 2014, un ménage est pauvre si en moyenne un équivalent adulte de ce ménage vit avec moins de 339 715 FCFA par an, soit 28 310 FCFA par mois et donc 931 FCFA par jour. L'Ouest du Cameroun présente un taux de pauvreté qui est de 21,7%. Sur les 10 régions nationales du Cameroun, elle est classée comme la 3^{ème} région ayant le taux de pauvreté le plus bas. Les données obtenues de l'ECAM 4, montrent que les ménages à l'Ouest du Cameroun sont peu pauvres. La majorité dispose du minimum des ressources financières [18]. La figure 16 donne les différents indicateurs de pauvreté monétaire de la région Ouest.

Tableau 10 : Indicateurs de pauvreté monétaire par région d'enquête

	Inci- dence de la pau- vreté(%)	Profon- deur de la pau- vreté(%)	Sévérité de la pau- vreté(%)	Réparti- tion des pauvres (%)	Réparti- tion de la popu- la- tion(%)	Dépense moyenne par unité de consomma- tion (FCFA)	Rapport inter quintile de la dépense moyenne par unité de con- sommation (Q5/Q1)
Milieu de résidence							
Ensemble urbain	8,9	1,8	0,6	9,6	40,3	959 118	6,2
Yaoundé	5,4	1,1	0,3	1,8	12,4	1 023 633	6
Douala	4,2	0,6	0,1	1,4	12,4	1 154 580	5,6
Autre urbain	15,6	3,4	1,2	6,5	15,5	749 602	5,6
Rural	56,8	22,9	11,7	90,4	59,7	407 704	7,4
Région d'enquête							
Douala	4,2	0,6	0,1	1,4	12,4	1 154 580	5,6
Yaoundé	5,4	1,1	0,3	1,8	12,4	1 023 633	6
Adamaoua	47,1	18,5	9,5	6,8	5,4	534 459	9,5
Centre (sans Yaoundé)	30,3	7,5	2,6	5,2	6,4	610 694	6
Est	30	9,3	3,9	3,1	3,9	567 078	5,9
Extrême-Nord	74,3	33,5	18,5	35,8	18,1	307 336	7,3
Littoral	19,5	4,6	1,7	1,4	2,7	616 957	4,7
Nord	67,9	27,5	13,7	20,1	11,1	349 560	6,6
Nord-ouest	55,3	22,8	11,7	13,2	9	418 110	7,3
Ouest	21,7	4,5	1,4	5,1	8,8	609 302	4,8
sud	34,1	10	4	3	3,3	586 987	6,7
Sud-Ouest	18,2	5	2	3,2	6,5	730 235	6
Total	37,5	14,4	7,2	100	100	635 345	10,1

Source : ECAM4, 2014

Concernant le marché de produits pico PV, les enquêtes menées par la GIZ, auprès des ménages de la région à évaluer la capacité à payer les systèmes pico PV. Il ressort donc que la capacité à payer cash un système pico PV varie entre 5 000 FCFA et 6 000 FCFA [13].

III.6 Positionnement du kit upOwa par rapport aux attentes des ménages de l'Ouest Cameroun.

Les offres techniques et commerciales des systèmes pico PV rencontrés dans les commerces au Cameroun ont été présentées. Ainsi par rapport aux attentes, besoins et niveau de vie des ménages de l'Ouest Cameroun, il ressort que :

Les modèles portables sont plus adaptés à la satisfaction des besoins de base d'au plus deux personnes. Car la plupart, délivre de faibles puissances comprises entre 0,76 à 2,6 Wc à l'exemple des produits D.Light et Schneider electric. Les modèles fixes pour habitation, quant à eux, sont adaptés pour les besoins en éclairage de tout un ménage de 3 à 10 personnes. Car tous les systèmes proposent

au minimum 2 points lumineux. Le kit solaire upOwa va jusqu' à 10 points lumineux.

On note également que les modèles pico PV portables ont cette particularité d'avoir plusieurs niveaux de luminosité. Ainsi donc on peut régler la luminosité selon l'activité menée (sommeil, lecture...). Ceci permet aussi de mieux gérer l'autonomie de la batterie. Les kits Omnivoltaic qui sont des modèles fixes pour habitation offrent aussi cette option. Ici les lampes sont directement intégrées d'une unité de stockage (lampes Ulithium). Le kit solaire upOwa quant à lui, a cette particularité d'être modulable. En effet le système est extensible. On peut installer le nombre de lampes souhaité compris entre 1 et 10. Il est également possible d'utiliser les radios à port USB.

On remarque aussi que la plupart des produits utilisent des composants de haute technologie et de longue durée de vie pour la satisfaction des clients. Par ailleurs, à l'exception du kit solaire upOwa, aucun système pico PV étudié, assure un service de maintenance après la vente.

Sur le plan financier, les ménages désirent fortement réduire leurs dépenses liées à l'éclairage. Ainsi pour eux, le coût du système est un aspect très important. Il est vrai que les systèmes pico PV portables ont les tarifs les plus bas. Ils sont moins coûteux que les modèles fixes pour habitation. Néanmoins, le fait que les ménages sont regardants sur l'aspect qualité et surtout que leur situation financière en général n'est pas déplorable, montrent que le système upOwa a toutes ses chances sur le marché des kits pico PV.

La majorité de ces systèmes pico PV sont payés cash par les clients. Les coûts n'étant pas abordables pour tous les ménages, ces derniers sont le plus souvent découragés à l'achat. A l'opposé, la structure upOwa propose un mode de paiement plus flexible. En effet, il est donné au client la possibilité d'effectuer un remboursement mensuel du kit durant une période de 3 ans. Il est également possible pour les produits Oolux de régler le paiement en plusieurs tranches.

Recommandations

Bien que le kit solaire upOwa soit une technologie innovante et de bonne qualité, car respectant les critères de qualité établies par l'Institut Fraunhofer des systèmes énergétiques solaires (ISE), quelques insuffisances ont toutefois été relevées. Ainsi au vue des différentes opérations de caractérisation et maintenance réalisées, afin de rendre le système davantage stable et fiable, nous suggérons pour les prochaines versions du kit.

- ✚ L'usage d'un circuit imprimé et de connectiques de meilleure qualité pour éviter les pannes dues aux composants notamment les défauts de claviers rencontrés sur les systèmes.
- ✚ La manipulation du PCB (Printed Circuit Board) doit se faire avec précaution afin de ne pas abîmer les différents éléments de la carte.
- ✚ Il serait également intéressant d'intégrer une horloge externe à l'exemple du RTC au PCB. De la sorte, il devient plus évident d'obtenir des relevés de tension plus précis de la batterie à des intervalles de temps moins espacés que l'on pourra définir. A partir de là, on obtiendra aussi plus de précision sur les résultats des différentes études de décharge et de détermination de la résistance interne effectuée.
- ✚ L'étude faite sur les batteries consistant à déterminer sa résistance interne, a montré que la valeur déterminée s'avérait être largement supérieure à la norme. Or d'après la littérature l'une des principales causes du vieillissement prématuré des batteries est l'augmentation de sa résistance interne. Il serait donc intéressant de définir un protocole de test permettant ainsi de prévoir ce vieillissement.

De l'analyse des différentes offres techniques et commerciales proposées par les divers produits, il ressort que les kits upOwa sont 3 à 5 fois plus puissants et plus coûteux que les autres systèmes. Dans les commerces, on dénombre peu de produits ayant les performances du kit solaire upOwa. Par contre on a une diversité de technologie pico PV de petites puissances. Il serait ainsi intéressant pour upOwa de continuer à développer des produits de puissance plus importante capables d'alimenter d'autres récepteurs tels que la télévision, le ventilateur, un réfrigérateur de manière à satisfaire les attentes des populations. Et également de proposer des systèmes avec des lampes pouvant offrir plusieurs niveaux de luminosité.

Conclusion

En définitive, le kit solaire que propose la structure upOwa est une solution intéressante pour la pré-électrification des zones non raccordées au réseau électrique car il est spécialement conçu pour satisfaire les besoins d'éclairage et de recharge de téléphones. Il a un impact positif sur les populations et sur l'environnement. En effet, un meilleur accès à l'éclairage entraîne un meilleur accès à l'éducation et une amélioration des conditions sanitaires. Sur le plan environnemental, il contribue à la réduction des émissions de CO₂ par substitution de l'éclairage traditionnel basé sur la combustion directe de pétrole. La recharge de téléphones participe à l'accroissement de l'activité économique des villages par le développement de petits business de recharge de téléphones portables.

Ce travail de mémoire a été axé d'une part sur l'amélioration du kit solaire upOwa. Les défauts observés, ont permis de relever les limites de fonctionnement et de considérer de nouvelles dispositions pour la conception de nouvelles versions du produit. En effet, Les pannes de clavier étaient dues à un problème matériel, notamment des broches défectueuses au niveau du PCB. Le diagnostic réalisé et la réparation faite ont été présentés. De plus, la caractérisation des batteries a permis de déterminer la bonne valeur de tension seuil de décharge à savoir 12,8 V. C'est la valeur à considérer dans les programmes du microcontrôleur. Ceci afin de remédier aux décharges profondes de la batterie causant l'arrêt complet du système.

Ce mémoire a été également consacré d'autre part à une étude comparative entre le kit solaire upOwa et les produits pico PV existants dans les commerces. De cette étude, il ressort, qu'on distingue deux modèles de systèmes pico PV : les modèles pico PV portables et les modèles pico PV fixes pour habitation. Le kit solaire upOwa est un modèle fixe pour habitation au regard de sa puissance crête (30 Wc). C'est de par cette puissance qu'il se distingue des produits commercialisés. De plus, la technologie de ces principaux constituants rassure sur la qualité du système. Il faut aussi souligner la particularité qu'a la structure upOwa à offrir un service de maintenance après-vente et de permettre un remboursement mensuel du système pendant 3 ans. Cependant comparé aux autres systèmes, les lampes du kit upOwa ne disposent pas de plusieurs niveaux de luminosité. Et le coût final du système s'avère être nettement plus chers.

Bibliographie

- [1] René TCHINDA, *Electrification rurale et énergies renouvelables : Quels enjeux pour l'Afrique Centrale ? Cas du Cameroun*, Africasolar 2015, Ouagadougou, Burkina Faso, 25-27 juin 2015.
- [2] Light4 all Cameroun, http://www.light4allcameroun.org/fr_FR/L-Association/ced.html.
- [3] Daniel YAMEGUEU NGUEWO, *Expérimentation et optimisation d'un prototype de centrale hybride solaire PV/diesel sans batteries de stockage: Validation du concept « flexy energy »*, Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 2iE, 2012.
- [4] Curve Fitting Toolbox User's Guide version1 COPYRIGHT 2001-2002 by The MathWorks, Inc.
- [5] Angarita Gil, K, P, *Modélisation électrique et analyse d'une cellule lithium*, Maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Canada, 123 p, (2012).
- [6] Fabien Mestrallet, *Architectures intégrées pour la gestion et la fiabilisation du stockage électrochimique à grande échelle*, Université de Grenoble, 2013. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00917065v2> Submitted on 8 Sep 2014.
- [7] l'Institut National de la Statistique du Cameroun avec l'appui du PNUD, *rapport régional de progrès des objectifs du millénaire pour le développement*, 2010.
- [8]. Bernadette Mbarga, Bureau central des recensements et étude de la population, coordinateur national du 3^e RGPH, *la population du Cameroun en 2010*.
- [9]. Samuel Watchueng, *Amélioration de l'impact économique et social potentiel de l'électrification rurale en Afrique de l'Ouest et Centrale : Dimension spatiale et dynamiques des territoires dans la planification de l'électrification rurale*, Innovation Energie Développement, I.E.D., 69340 Francheville, France, 2005-2007.
- [8]. Emmanuel Ngnikam, HELIO International, Observatoire de la viabilité énergétique, *Énergie et écodéveloppement au Cameroun, 2005/2006*.
- [9] Anjali Shanker (IED) avec les contributions de Patrick Clément (Axenne), Daniel Tabroche et Martin Buchsenschutz (Nodalys Conseil), *Accès à l'électricité en Afrique subsaharienne : retours d'expérience et approches innovantes*, Avril 2012.
- [10] Global Village Cameroun, *état des lieux du cadre réglementaire du secteur des énergies renouvelables au Cameroun*, 2012.
- [11] l'EUEI-PDF, l'ARE et Practical Action, *Aperçu du marché électrique au Cameroun*, 2013.
- [12] LIGHTING AFRICA, *Policy Report Note – Cameroon*, 2012.
- [13] DPP GIZ-TATS, *Improving access to solar energy through a bottom of the pyramid approach*, Etude sur l'état des lieux du secteur, Rapport final, 13 Mai 2013.

- [14] GIZ, Formation des micro entrepreneurs de systèmes pico photovoltaïques, Avril 2013.
- [15] GIZ, Que peut apporter un système pico PV ? Esborn : GIZ, 2011. Disponible sous le lien: <https://energypedia.info/index.php/File:Fr-GIZ-Pico-PV-brochure-2011.pdf>.
- [16] LIGHTING GLOBAL, Procurement of Off-grid Lighting Products – Guidance for Aid Organizations and Governments, Mars 2015.
- [17] IEA-PVPS; Pico Solar PV Systems for Remote Homes, A new generation of small PV systems for lighting and communication.
- [18] ECAM, Tendances, profil et déterminants de la pauvreté au Cameroun entre 2001-2014, Décembre 2015.
- [19] SNV, Value Chain Analysis of Lighting and Telephone Recharging Options in Off-grid Cameroon, Décembre 2012.

ANNEXES

Annexe 1 : Code matlab interpolation décharge batterie

```

1  %% Plot and interpolation of discharge datas
2  -  clc
3  -  clear all;
4  -  close all;
5
6  % download measurements (execute 1 time only)
7  -  filename = 'Test décharge Batterie.xlsx';
8  -  sheet_bat_n_1 = 1;
9  -  sheet_bat_n_2 = 2;
10 -  sheet_bat_n_3 = 3;
11 -  sheet_bat_n_4 = 4;
12
13
14 -  xlRange_1 = 'B14:J50'; xlRange_2 = 'B105:J121'; xlRange_3 = 'B13:H34';
15 -  xlRange_4 = 'B8:I32';
16
17 -  mesure_1 = xlsread(filename,sheet_bat_n_1,xlRange_1);
18 -  mesure_2 = xlsread(filename,sheet_bat_n_2,xlRange_2);
19 -  mesure_3 = xlsread(filename,sheet_bat_n_3,xlRange_3);
20 -  mesure_4 = xlsread(filename,sheet_bat_n_4,xlRange_4);
21
22 -  save('test_bat1_1.mat','mesure_1');
23 -  save('test_bat2_1.mat','mesure_2');
24 -  save('test_bat3_1.mat','mesure_3');
25 -  save('test_bat4_1.mat','mesure_4');
26
27
28  %% data processing
29
30  %test resistance 1 bat n°1
31 -  mesure_1 = struct2array(load('test_bat1_1.mat'));
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58

```

```

28  %% data processing
29
30  %test resistance 1 bat n°1
31 -  mesure_1 = struct2array(load('test_bat1_1.mat'));
32
33 -  m1_temps_min_bat_1 = mesure_1(:,1);
34 -  m1_temps_hour_bat_1 = mesure_1(:,2);
35 -  m1_tension_bat_1 = mesure_1(:,3);
36 -  m1_tension_bat_mV_1 = mesure_1(:,4);
37 -  m1_courant_bat_1 = mesure_1(:,5);
38 -  m1_capacite_Ah_bat_1 = mesure_1(:,6);
39 -  m1_energ_conso_bat_1 = mesure_1(:,7);
40 -  m1_capacite_energ_bat_1 = mesure_1(:,8);
41 -  m1_capacite_bat_1 = mesure_1(:,9);
42
43  %test n°1 bat n°2
44 -  mesure_2 = struct2array(load('test_bat2_1.mat'));
45
46 -  m2_tps_min_bat_2 = mesure_2(:,1);
47 -  m2_tps_h_bat_2 = mesure_2(:,2);
48 -  m2_tension_bat_2 = mesure_2(:,3);
49 -  m2_current_bat_2 = mesure_2(:,4);
50 -  m2_capacite_Ah_bat_2 = mesure_2(:,5);
51 -  m2_energie_consom_bat_2 = mesure_2(:,6);
52 -  m2_capacite_energ_bat_2 = mesure_2(:,7);
53 -  m2_capacite_pourcent_bat_2 = mesure_2(:,8);
54
55  %test n°1 bat n°3
56 -  mesure_3 = struct2array(load('test_bat3_1.mat'));
57
58 -  m3_temps_min_bat_3 = mesure_3(:,1);

```

```

79
80 %% Intepolation
81
82 %Battery n°1
83 - xx_m1_bat_1 = linspace(max(m1_capacite_energ_bat_1),0,max(m1_capacite_energ_bat_1)*100);
84 - tension_spline_m1_bat_1 = spline(m1_capacite_energ_bat_1, m1_tension_bat_1, xx_m1_bat_1);
85
86 %Battery n°2 measure 2
87 - xx_m2_bat_2 = linspace(max(m2_capacite_energ_bat_2),0,max(m2_capacite_energ_bat_2)*100);
88 - tension_spline_m2_bat_2 = spline(m2_capacite_energ_bat_2, m2_tension_bat_2, xx_m2_bat_2);
89
90 %Battery n°3
91 - xx_m3_bat_3 = linspace(max(m3_capacite_energ_bat_3),0,max(m3_capacite_energ_bat_3)*100);
92 - tension_spline_m3_bat_3 = spline(m3_capacite_energ_bat_3, m3_tension_bat_3, xx_m3_bat_3);
93
94 %Battery n°4
95 - xx_m4_bat_4 = linspace(max(m4_capacite_energ_bat_4),0,max(m4_capacite_energ_bat_4)*100);
96 - tension_spline_m4_bat_4 = spline(m4_capacite_energ_bat_4, m4_tension_bat_4, xx_m4_bat_4);
97
98

```

```

99 %% Plot
100
101 %Battery n°1
102 - figure()
103 - subplot(2,2,1)
104 - plot(m1_capacite_energ_bat_1, m1_tension_bat_1, '*');
105 - hold on;
106 - plot(xx_m1_bat_1, tension_spline_m1_bat_1, 'r');
107 - hold off;
108 - grid on;
109
110 - title('Interpolation of discharge data battery n°1','fontsize',18,'fontweight','b')
111 - xlabel('Capacity available [Wh]') % x-axis label
112 - ylabel('Voltage [V]') % y-axis label
113 - axis([0 140 9.5 13.4])
114 - legend('Real values', 'Interpolation');
115
116
117 %Battery n°2
118 - subplot(2,2,2)
119 - plot(m2_capacite_energ_bat_2, m2_tension_bat_2, '*');
120 - hold on;
121 - plot(xx_m2_bat_2, tension_spline_m2_bat_2, 'b');
122 - hold off;
123 - grid on;
124
125 - title('Interpolation of discharge data battery n°2','fontsize',18,'fontweight','b')
126 - xlabel('Capacity available [Wh]') % x-axis label
127 - ylabel('Voltage [V]') % y-axis label
128 - axis([0 140 9.5 13.4])
129 - legend('Real values', 'Interpolation');
130

```

Annexe 2 : Code matlab pour détermination résistance interne

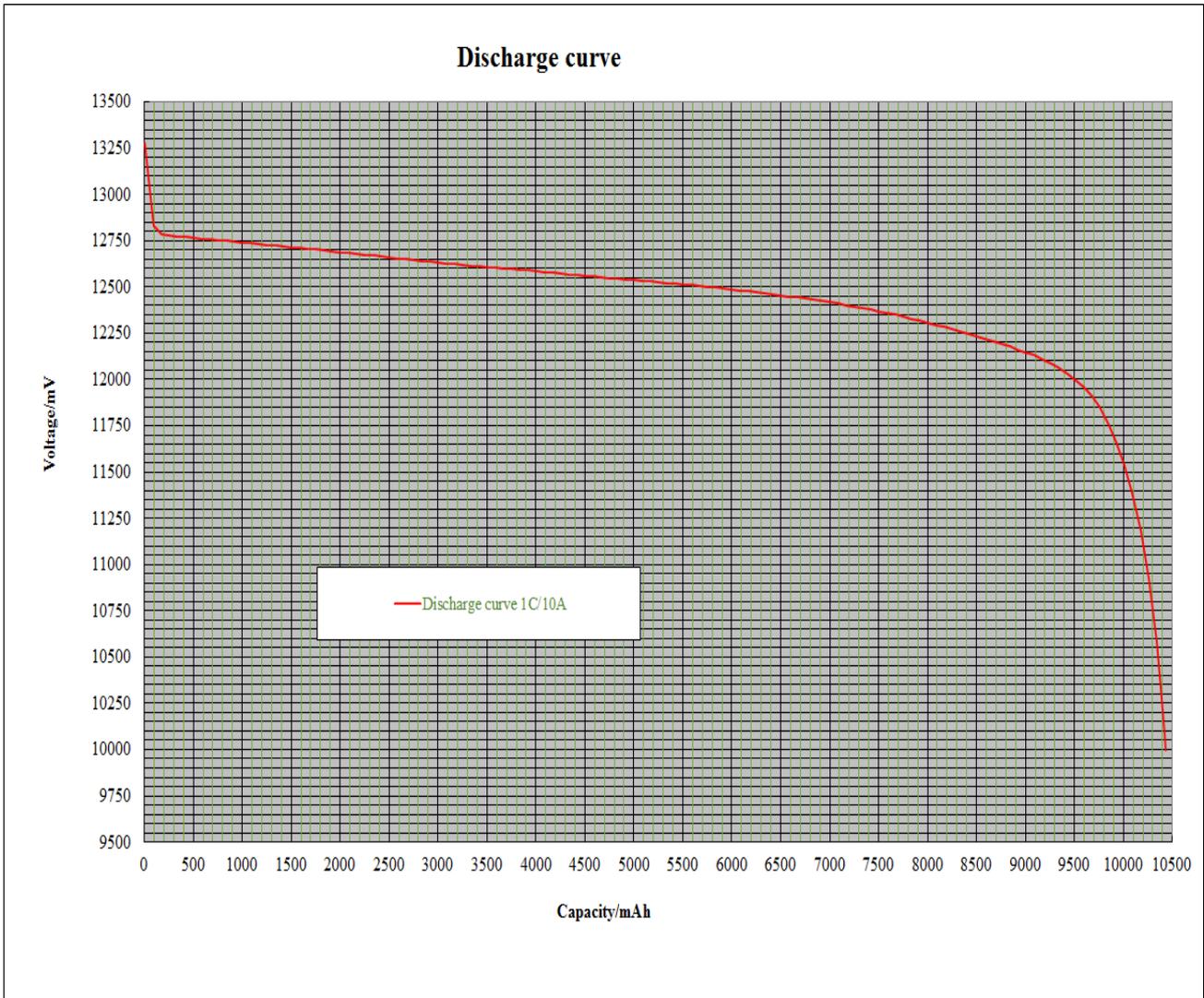
```

1 |
2 - close all;
3 - clear all;
4
5 % % download measurements (execute 1 time only)
6 % filename = 'resistance interne.xlsx';
7 % sheet_Rint_1 = 1;
8 % sheet_Rint_2 = 2;
9 %
10 % xlRange_1 = 'B6:F10'; xlRange_2 = 'K6:O10'; xlRange_3 = 'B16:F20';
11 % xlRange_4 = 'K16:O20'; xlRange_5 = 'B6:F14'; xlRange_6 = 'L6:P15';
12 % xlRange_7 = 'B22:F33'; xlRange_8 = 'L23:P31';
13 %
14 % mesure_1 = xlsread(filename,sheet_Rint_1,xlRange_1);
15 % mesure_2 = xlsread(filename,sheet_Rint_1,xlRange_2);
16 % mesure_3 = xlsread(filename,sheet_Rint_1,xlRange_3);
17 % mesure_4 = xlsread(filename,sheet_Rint_1,xlRange_4);
18 % mesure_5 = xlsread(filename,sheet_Rint_2,xlRange_5);
19 % mesure_6 = xlsread(filename,sheet_Rint_2,xlRange_6);
20 % mesure_7 = xlsread(filename,sheet_Rint_2,xlRange_7);
21 % mesure_8 = xlsread(filename,sheet_Rint_2,xlRange_8);
22 %
23 % save('rint_bat_1_1.mat','mesure_1');
24 % save('rint_bat_2_1.mat','mesure_2');
25 % save('rint_bat_3_1.mat','mesure_3');
26 % save('rint_bat_4_1.mat','mesure_4');
27 % save('rint_bat_1_2.mat','mesure_5');
28 % save('rint_bat_2_2.mat','mesure_6');
29 % save('rint_bat_3_2.mat','mesure_7');
30 % save('rint_bat_4_2.mat','mesure_8');
31
32 %% data processing
33
34 %test resistance interne 1 bat n°1
35 - releve_1 = struct2array(load('rint_bat_1_1.mat'));
36
37 - r1_charges_bat_1 = releve_1(:,1);
38 - r1_tension_bat_1 = releve_1(:,2);
39 - r1_intensite_A_bat_1 = releve_1(:,3);
40 - r1_deltaU_bat_1 = releve_1(:,4);
41 - r1_intensite_mA_bat_1 = releve_1(:,5);
42
43 %test resistance interne 1 bat n°2
44 - releve_2 = struct2array(load('rint_bat_2_1.mat'));
45
46 - r2_charges_bat_2 = releve_2(:,1);
47 - r2_tension_bat_2 = releve_2(:,2);
48 - r2_intensite_A_bat_2 = releve_2(:,3);
49 - r2_deltaU_bat_2 = releve_2(:,4);
50 - r2_intensite_mA_bat_2 = releve_2(:,5);
51
52 %test resistance interne 1 bat n°3
53 - releve_3 = struct2array(load('rint_bat_3_1.mat'));
54
55 - r3_charges_bat_3 = releve_3(:,1);
56 - r3_tension_bat_3 = releve_3(:,2);
57 - r3_intensite_A_bat_3 = releve_3(:,3);
58 - r3_deltaU_bat_3 = releve_3(:,4);
59 - r3_intensite_mA_bat_3 = releve_3(:,5);
60
61 %test resistance interne 1 bat n°4
62 - releve_4 = struct2array(load('rint_bat_4_1.mat'));
63
64 - r4_charges_bat_4 = releve_4(:,1);

```

```
106 %% fitting curve
107
108 - FO_1 = fit(r1_intensite_A_bat_1, r1_deltaU_bat_1, 'poly1')
109 - coeff_1 = coeffvalues(FO_1);
110 - pente_1 = sprintf('%0.2f',coeff_1(1));
111 - ordonnee_origine_1 = sprintf('%0.2f',coeff_1(2));
112
113 - FO_2 = fit(r2_intensite_A_bat_2, r2_deltaU_bat_2, 'poly1')
114 - coeff_2 = coeffvalues(FO_2);
115 - pente_2 = sprintf('%0.2f',coeff_2(1));
116 - ordonnee_origine_2 = sprintf('%0.2f',coeff_2(2));
117
118 - FO_3 = fit(r3_intensite_A_bat_3, r3_deltaU_bat_3, 'poly1')
119 - coeff_3 = coeffvalues(FO_3);
120 - pente_3 = sprintf('%0.2f',coeff_3(1));
121 - ordonnee_origine_3 = sprintf('%0.2f',coeff_3(2));
122
123 - FO_4 = fit(r4_intensite_A_bat_4, r4_deltaU_bat_4, 'poly1')
124 - coeff_4 = coeffvalues(FO_4);
125 - pente_4 = sprintf('%0.2f',coeff_4(1));
126 - ordonnee_origine_4 = sprintf('%0.2f',coeff_4(2));
127
128 - FO_5 = fit(r5_intensite_A_bat_1, r5_deltaU_bat_1, 'poly1')
129 - coeff_5 = coeffvalues(FO_5);
130 - pente_5 = sprintf('%0.2f',coeff_5(1));
131 - ordonnee_origine_5 = sprintf('%0.2f',coeff_5(2));
132
```

Annexe 3 : Courbe décharge LiFepo4 constructeur



Annexe 4 : Fiche technique de la batterie du kit upOwa

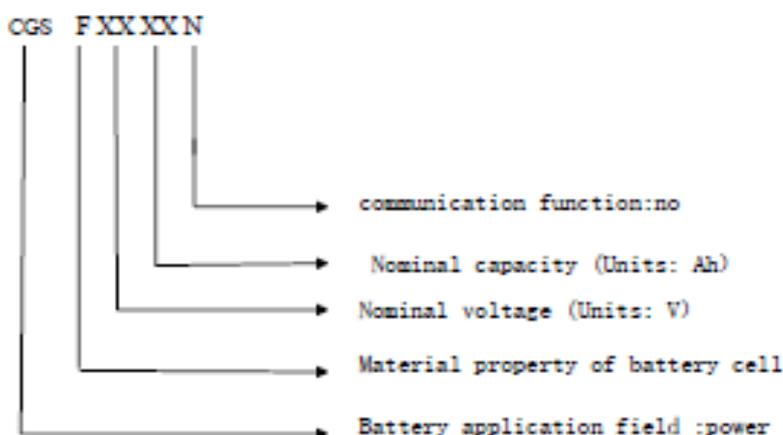


1. Scope

This specification describes the performance, testing method, warning and caution of the LiFePO₄ Li-ion battery pack supplied by Hangzhou LIAO Technology Co., LTD.

2. Product model Naming Rules

Code of battery pack is as below:



3. Performance

Item	Specification	Remark
3-1 Nominal capacity	10±2%Ah	0.2C, CC(constant current)discharged to 10V or cut off by BMS at 10±5℃.
3-2 Nominal voltage	12V	
3-3 Standard charge current	2.0A	0.2C CC (constant current) charged to 14.6V, then CV (constant Voltage) 14.6V charge till current decline to 100mA.
3-4 Max. charge current	10A	0.84C CC(constant current)charged to 14.6V, then CV(constant Voltage) 14.6V charge till current decline to 500mA.
3-5 Charge cut-off voltage	14.6V	

		杭州力奥科技有限公司 Hangzhou LIAO Technology Co., LTD	
3-6 Standard discharge current	2.0A	0.2C. CC (constant current) discharged to 10V or cut off by BMS.	
3-7 Max. continuous discharge current	10A	It can be designed according to the clients' requirements.	
3-8 Discharge cut-off voltage	10V	Maybe cut off by the BMS when Voltage is beyond 10V.	
3-9 Standard charge time	(5~6) h		
3-10 Rapid Charge time	(7~8) h	0.2C CC (constant current) charged to 14.6V, then CV (constant Voltage) 14.6V charge till current decline to 300mA.	
3-11 Battery Weight	1.2KGS		
3-12 Operating temperature range	(-10~60) °C		
3-13 Storage temperature range	(-10~45) °C		
3-14 Shell material	PVC		

4. Performance Data

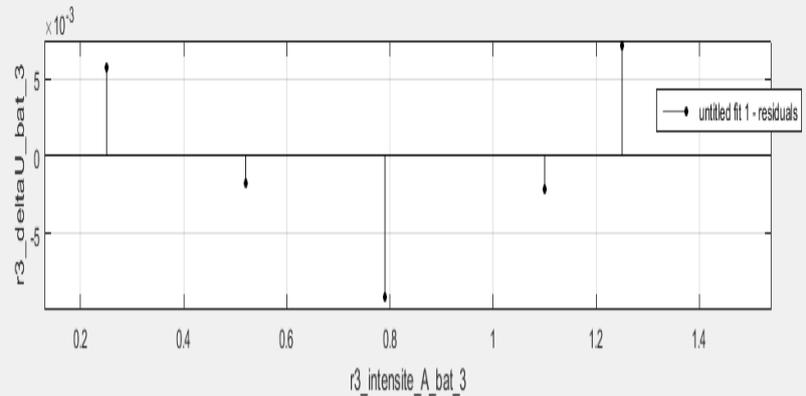
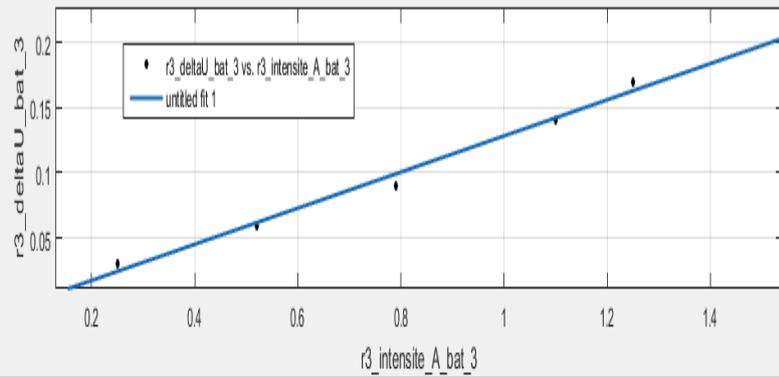
4.1 Environment Characteristics

NO.	Item	Criterion	Test Methods
1	Constant temperature and constant humidity test	No fire, no explosion, no leakage. discharge capacity is not less than 60% nominal capacity.	After standard charge, test condition as follows: Temperature: 40±5°C Relative Humidity: 90-95%RH Storage Time: 48Hours Then return to room temperature for 2 hours, discharge to cut-off Voltage at 1C.
2	Vibration test	No fire, no explosion, no leakage.	After standard charged, fix the cell to vibration table, then subjected to vibration test for 30 minutes per axis of XYZ axes. Frequency rate: 1oct/min Vibration frequency: 10Hz-30Hz Excursion (single amplitude): 0.38mm Vibration frequency: 30Hz-55Hz Excursion (single amplitude): 0.19mm

Annexe 5 : Tracé de résidus

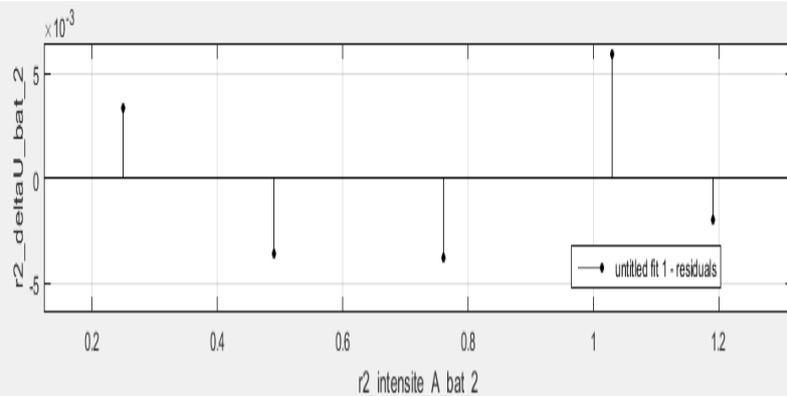
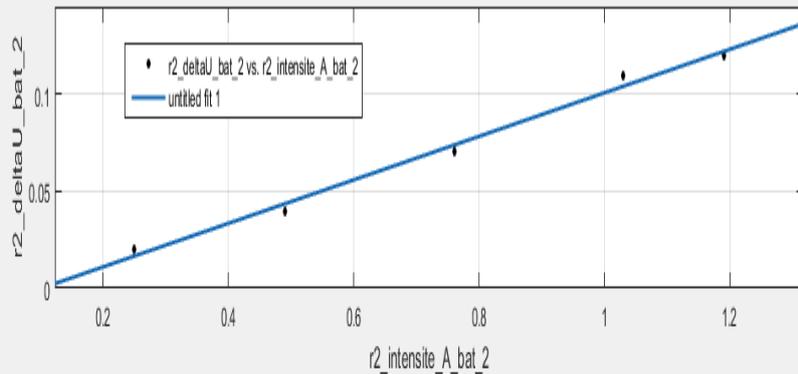
Results

Linear model Poly1:
 $f(x) = p1 \cdot x + p2$
 Coefficients (with 95% confidence bounds):
 $p1 = 0.1386 (0.109, 0.1682)$
 $p2 = -0.01038 (-0.03591, 0.01515)$
 Goodness of fit:
 SSE: 0.0001739
 R-square: 0.9867
 Adjusted R-square: 0.9823
 RMSE: 0.007614



Results

Linear model Poly1:
 $f(x) = p1 \cdot x + p2$
 Coefficients (with 95% confidence bounds):
 $p1 = 0.1121 (0.09099, 0.1331)$
 $p2 = -0.01137 (-0.02863, 0.005892)$
 Goodness of fit:
 SSE: 7.75e-05
 R-square: 0.9896
 Adjusted R-square: 0.9862
 RMSE: 0.005083



Results

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 \cdot x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.1404 (0.1179, 0.1629)$$

$$p2 = -0.0204 (-0.03914, -0.001669)$$

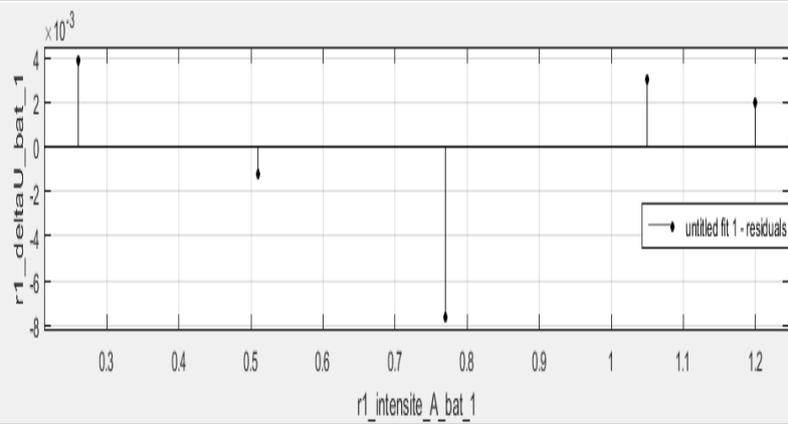
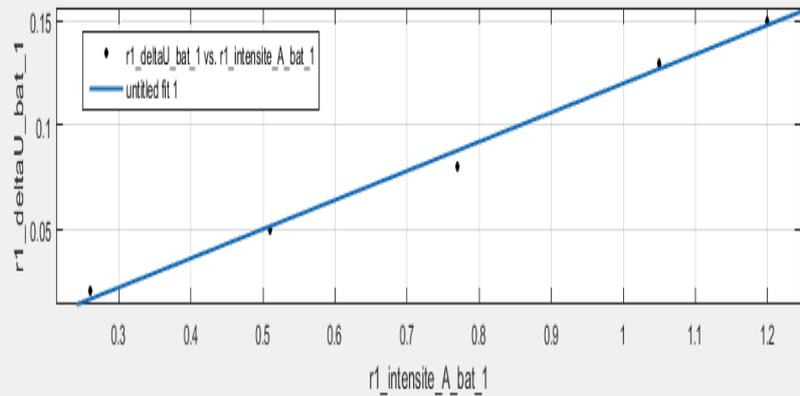
Goodness of fit:

$$SSE: 8.861e-05$$

$$R\text{-square: } 0.9924$$

$$\text{Adjusted R-square: } 0.9899$$

$$RMSE: 0.005435$$



Results

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 \cdot x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.1339 (0.06951, 0.1984)$$

$$p2 = -0.02579 (-0.07952, 0.02795)$$

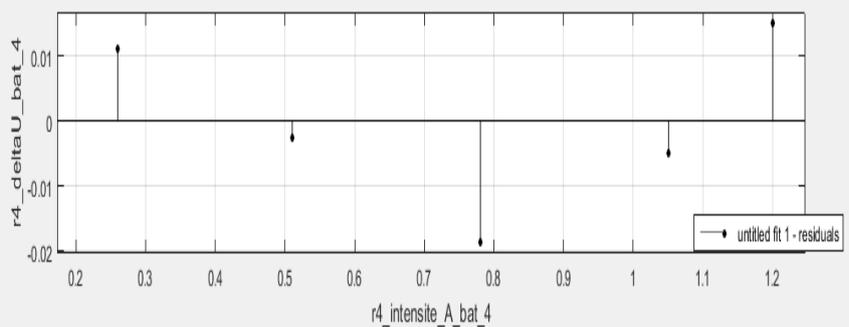
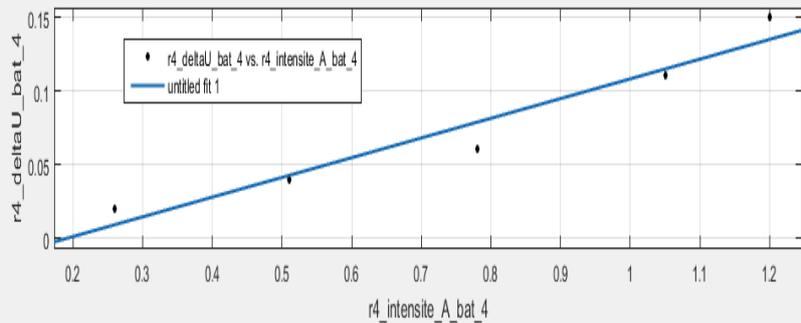
Goodness of fit:

$$SSE: 0.000726$$

$$R\text{-square: } 0.9359$$

$$\text{Adjusted R-square: } 0.9145$$

$$RMSE: 0.01556$$



Annexe 6 : Fiche technique de modèles portables de systèmes pico PV

Product data sheet
Characteristics

AEP-LB-SU12W

Portable Solar LED Lighting System-1.2W



Main

Power consumption by LED	1.2 W
Solar input voltage	8 V - 16 V (+/-1V DC)
Efficiency of LED controller	85%
Maximum light output	120 Lumens
Colour of LEDs	Warm White 5000k Typical
Battery charging (Solar)	Green LED Blinking
Battery low	Red LED is Blinking
Backup duration	<ul style="list-style-type: none"> • Light only • 6hrs-120 lumens • 12hrs- 55 lumens • 48hrs- 10 lumens

Cable length from Solar panel to DC input 5 m, 2 core, 22 AWG (0.32 mm²)

Solar panel type	Multi Crystalline Silicon
Maximum rated power	2.5 Wp
Peak power voltage	8.20 V
Battery type	Lithium Ferro Phosphate
Rated capacity	6.4 V, 1.5 Ah
Mobile phone charger port	5 V, 300 mA +/-10mA
Mobile phone charging Adaptors	5 Pin adaptors

Product Certification SONCAP, IP65



If the products contained herein, for specific user applications, facts with respect to the relevant specific application or use thereof, information contained herein.

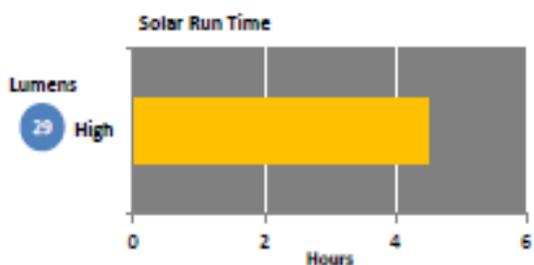
S20

d.light design

Verify Online: www.lightingglobal.org/products/dl-s20

Results based on test procedures detailed in IEC 62257-9-5, ed. 2.0

Valid Until: May 31, 2017



Meets Lighting Global Minimum Quality Standards

1 Light Point



Warranty Information

A 2-year product replacement warranty for verified manufacturing defects.

Performance Details

Performance Measure	Brightness Setting ^{***}
	High
Full battery run time* (hours)	6.5
Run time per day of solar charging* (hours)	4.5
Total light output (lumens)	29
Total area with illumination > 25 lux** (m ²)	0.2
Total lighting service (lumen-hours / solar-day)	130

* Run time estimates do not account for mobile phone charging or other auxiliary loads; the run time is defined as the time until the output is 70% of the initial, stabilized output.

** Total area with illumination > 25 lux is determined by the maximum area with adequate illumination at a 0.75 m distance and at the distance from which the product would normally provide task lighting service.

*** Additional brightness settings (not tested): Low

Lighting Details

Lamp type	LED
Description of light points	Single LED
Colour characteristics	CRI 85 CCT "Cool" (5000-7000 K)
Distribution type	Wide
Lumen maintenance	103% of the original output remains after 2,000 hours run time

Durability	
Overall durability and workmanship	Pass
Durability tests passed	Drop test, switch cycling, physical ingress protection test, and protection from frequent rain
Solar Details	
PV module type	Monocrystalline silicon
Battery Details	
Battery replaceability	Not easily replaceable with common tools
Battery chemistry	Lithium-based chemistry
Appropriate battery protection circuit	Pass
Product Details	
Manufacturer name	d.light design
Product name	S20
Product model / ID number	S20
Contact information	www.dlight.com/contact-us/
Website	www.dlight.com
SSS Information	
Specs sheet expiration date	May 31, 2017
Minimum Quality Standards Framework Version	2012
Revision	2015.12

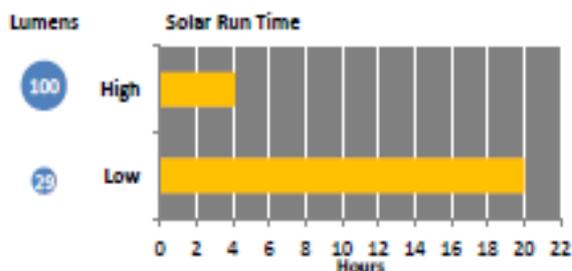
d.light S300

d.light design

Verify www.lightingglobal.org/products/dl-s300/

Results based on test procedures detailed in IEC 62257-9-5, ed. 2.0

Valid Until: July 31, 2016



Meets Lighting Global Minimum Quality Standards

Mobile Charging

Light Point

Warranty Information

Two-year warranty covers product failure from normal use; void if product has been tampered with, repaired, modified, submersed in water, abused or in case of fraud.

Performance Details

Performance Measure	Brightness Setting ^{***}	
	High	Low
Full battery run time* (hours)	5	28
Run time per day of solar charging* (hours)	4.1	20
Total light output (lumens)	100	29
Total area with illumination > 50 lux** (m ²)	0.33	Not tested
Total lighting service (lumen-hours / solar-day)	410	580

* Run time estimates do not account for mobile phone charging or other auxiliary loads; the run time is defined as the time until the output is 70% of the initial, stabilized output.

** Total area with illumination > 50 lux is determined by the maximum area with adequate illumination at a 0.75 m distance and at the distance from which the product would normally provide task lighting service.

*** Additional brightness settings (not tested): Medium, Bedlight

Lighting Details

Lamp type	LED
Description of light points	One LED per light point
Colour characteristics	CRI 78 CCT "Cool" (5000-7000 K)
Distribution type	Wide
Lumen maintenance	100% of the original output remains after 2,000 hours run time

Special Features	
Mobile charging	Adapters included to charge mobile phone from battery
Carrying handle and strap	Handle to carry or hang light in vertical position; strap to carry light in horizontal position
Indicators	3 LEDs to indicate battery state of charge
Durability	
Overall durability and workmanship	Pass
Durability tests passed	Drop test, switch and connector cycling, strain relief test, physical ingress protection test, and protection from occasional rain
Solar Details	
PV module type	Monocrystalline silicon
PV maximum power point	1.6 watts
Battery Details	
Battery replaceability	Easily replaceable with common tools
Battery chemistry	Lithium iron phosphate
Battery package type	1x 22850 cell
Battery capacity	1800 mAh
Battery nominal voltage	3.2 V
Appropriate battery protection circuit	Pass
Marks and Certifications	
Factory certification	ISO 9001
Product Details	
Manufacturer name	d.light design
Product name	d.light S300
Product model / ID number	S300B
Contact information	www.dlight.com/contact-us/
Website	www.dlight.com
SSS Information	
Specs sheet expiration date	July 31, 2016
Minimum Quality Standards Framework Version	2014
Revision	2015.12

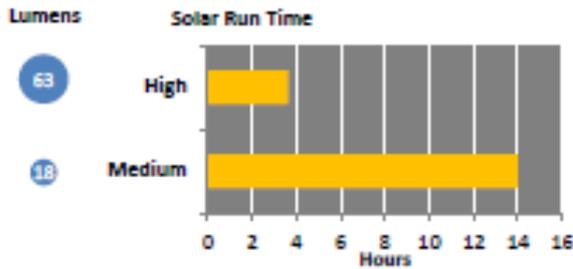
Firefly

Barefoot Power

Results based on test procedures detailed in IEC 62257-9-5, ed. 2.0

Verify Online: www.lightingglobal.org/products/bf-fireflymg25

Valid Until: September 30, 2016



63

18



Meets Lighting Global Minimum Quality Standards



Mobile Charging



1 Light Point



Warranty Information

A 1-year warranty for replacement of defective parts.

Performance Details

Performance Measure	Brightness Setting ^{***}	
	High	Medium
Full battery run time [*] (hours)	3.6	14
Run time per day of solar charging [*] (hours)	3.6	14
Total light output (lumens)	63	18
Total area with illumination > 50 lux ^{**} (m ²)	0.17	Not measured
Total lighting service (lumen-hours / solar-day)	230	250

^{*} Run time estimates do not account for mobile phone charging or other auxiliary loads; the run time is defined as the time until the output is 70% of the initial, stabilized output.

^{**} Total area with illumination > 50 lux is determined by the maximum area with adequate illumination at a 0.75 m distance and at the distance from which the product would normally provide task lighting service.

^{***} Additional brightness settings (not tested): Low

Lighting Details

Lamp type	LED
Description of light points	Single unit on gooseneck with 10 LEDs
Colour characteristics	CRI 74 CCT "Cool" (5000-7000 K)
Distribution type	Wide
Lumen maintenance	100% of the original output remains after 2,000 hours run time

Special Features	
Mobile charging	Adapters included to charge mobile phone from battery
Durability	
Overall durability and workmanship	Pass
Durability tests passed	Drop test, switch and connector cycling, gooseneck test, physical ingress protection test, and protection from occasional rain
Solar Details	
PV module type	Monocrystalline silicon
PV maximum power point	1.5 watts
Battery Details	
Battery replaceability	Easily replaceable with common tools
Battery chemistry	Lithium iron phosphate
Appropriate battery protection circuit	Pass
Replacement batteries are available from the product manufacturer	
Marks and Certifications	
Other certification	UNBS, KEBS
Product Details	
Manufacturer name	Barefoot Power
Product name	Firefly
Product model / ID number	VLP11S015LI1
Contact information	info@barefootpower.com
Website	www.barefootpower.com
SSS Information	
Specs sheet expiration date	September 30, 2016
Minimum Quality Standards Framework Version	2014
Revision	2015.04

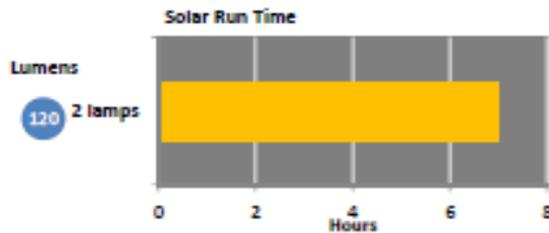
Barefoot PowaPack Junior Matrix (Gen. 2.5)

Barefoot Power

Results based on test procedures detailed in IEO 82257-9-5, ed. 2.0

Verify Online: www.lightingglobal.org/products/bf-powapackjmbtg25

Valid Until: July, 2014



Meets Lighting Global Minimum Quality Standards

Mobile Charging

2 Light Points



Warranty Information

A 1-year warranty for replacement of defective parts.

Performance Details

Performance Measure	Brightness Setting***
	2 lamps
Full battery run time* (hours)	9.2
Run time per day of solar charging* (hours)	7
Total light output (lumens)	120
Total area with illumination > 25 lux** (m ²)	0.58
Total lighting service (lumen-hours / solar-day)	840

* Run time estimates do not account for mobile phone charging or other auxiliary loads; the run time is defined as the time until the output is 70% of the initial, stabilized output.

** Total area with illumination > 25 lux is determined by the maximum area with adequate illumination at a 0.75 m distance and at the distance from which the product would normally provide task lighting service.

*** Additional brightness settings (not tested): 1 lamp

Lighting Details

Lamp type	LED
Description of light points	Identical light points; 12 LEDs per light point
Colour characteristics	CRI 72 CCT "Cool" (5000-7000 K)
Distribution type	Wide
Lumen maintenance	101% of the original output remains after 2,000 hours run time

Special Features	
Mobile charging	Adapters included to charge mobile phone from battery
Radio	6V power output available
Durability	
Overall durability and workmanship	Pass
Durability tests passed	Switch and connector cycling, physical ingress protection test, and no water ingress protection
Solar Details	
PV module type	Polycrystalline silicon
PV maximum power point	2.6 watts
Battery Details	
Battery replaceability	Easily replaceable with common tools
Battery chemistry	Lithium iron phosphate
Appropriate battery protection circuit	Pass
Replacement batteries are available from the product manufacturer	
Marks and Certifications	
Other certification	UNBS, KEBS
Product Details	
Manufacturer name	Barefoot Power
Product name	Barefoot PowaPack Junior Matrix (Gen. 2.5)
Product model / ID number	VLP11SPJ2LI1
Contact information	info@barefootpower.com
Website	www.barefootpower.com
SSS Information	
Specs sheet expiration date	July, 2014
Minimum Quality Standards Framework Version	2012
Revision	2014.01

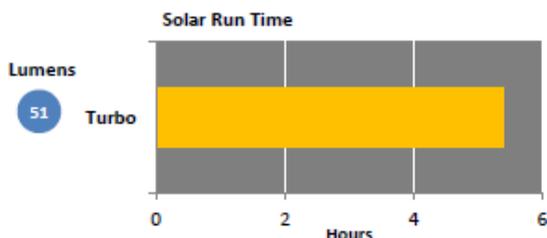
Sun King Solo

Greenlight Planet Inc.

Results based on test procedures detailed in IEC 62257-9-5, ed. 2.0

Verify Online: www.lightingglobal.org/products/glp-sunkingsolo

Valid Until: August 31, 2017



Meets Lighting Global Minimum Quality Standards

1 Light Point



Warranty Information

A 2-year product warranty.

Performance Details

Performance Measure	Brightness Setting***
	Turbo
Full battery run time* (hours)	5.8
Run time per day of solar charging* (hours)	5.4
Total light output (lumens)	51
Total area with illumination > 25 lux** (m ²)	0.34
Total lighting service (lumen-hours / solar-day)	280

* Run time estimates do not account for mobile phone charging or other auxiliary loads; the run time is defined as the time until the output is 70% of the initial, stabilized output.

** Total area with illumination > 25 lux is determined by the maximum area with adequate illumination at a 0.75 m distance and at the distance from which the product would normally provide task lighting service.

*** Additional brightness settings (not tested): Torch, Lantern

Lighting Details

Lamp type LED

Omnivoltaic ovBeacon MB2-290

Omnivoltaic Power Co., Ltd.

Verify Online: www.lightingglobal.org/products/mar-mb2290

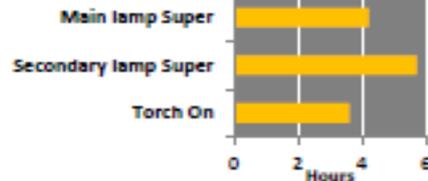
Results based on test procedures detailed in IEC 62257-9-5, ed. 2.0

Valid Until: May 31, 2016

Lumens

210
92
32

Solar Run Time



Meets Lighting Global Minimum Quality Standards

Mobile Charging

3 Light Points

Warranty Information

A 2-year warranty against material or manufacturing defects.

Performance Details

Performance Measure	Brightness Setting ^{***}		
	Main Super	Sec. 1 Super	Torch On
Full battery run time* (hours)	5.3	6	5
Run time per day of solar charging* (hours)	4.2	5.7	3.6
Total light output (lumens)	210	92	32
Total area with illumination > 25 lux** (m ²)	1	0.6	0.2
Total lighting service (lumen-hours / solar-day)	880	520	120

* Run time estimates do not account for mobile phone charging or other auxiliary loads; the run time is defined as the time until the output is 70% of the initial, stabilized output.

** Total area with illumination > 25 lux is determined by the maximum area with adequate illumination at a 0.75 m distance and at the distance from which the product would normally provide task lighting service.

*** Additional brightness settings (not tested): Main lamp Normal, Main lamp Bed Light, Secondary lamp Normal, Secondary lamp Bed Light

Lighting Details

Lamp type	LED
Description of light points	One main lamp, one secondary lamp, and one torch
Colour characteristics	CRI 72 CCT "Near Daylight" (3000-5000 K)
Distribution type	Wide
Lumen maintenance	93% (Main), 93% (Secondary), and 96% (Torch) of the original output remains after 2,000 hours run time

Special Features	
Mobile charging	Adapters included to charge mobile phone from Main lamp battery
Product box	Box acts as a stand to use Main lamp and Secondary lamp as desk lights
LEDs	UV-free LEDs
Batteries	High-temperature batteries used
Remote	Torch acts as wireless remote to turn Main and Secondary lamp on/off
Durability	
Overall durability and workmanship	Pass
Durability tests passed	Drop test, switch and connector cycling, strain relief test, physical ingress protection test, and protection from occasional rain
Solar Details	
PV module type	Monocrystalline silicon
PV maximum power point	3.9 watts
Battery Details	
Battery replaceability	Easily replaceable with common tools
Battery chemistry	Lithium iron phosphate
Appropriate battery protection circuit	Pass
Replacement batteries are available from the product manufacturer	
Product Details	
Manufacturer name	Omnivoltaic Power Co., Ltd.
Product name	Omnivoltaic ovBeacon MB2-290
Product model / ID number	MB2-290
Contact information	sales@omnivoltaic.com
Website	www.omnivoltaic.com
SSS Information	
Specs sheet expiration date	May 31, 2016
Minimum Quality Standards Framework Version	2012
Revision	2016.04

Designed to be off-grid.
One platform. Endless possibilities.



- No Electricity?
- No Cable Networks?
- No TV Broadcasts?

- No Problem!
- Enjoy TV entertainment anywhere with Omnivoltaic Off-Grid TV Pack.



ovCamp™



Copyright © 2015 Omnivoltaic Power Co., Ltd. All rights reserved.



Great Design Features:

Solar Light

- 8Hours@74 Lumens from 1 Day Charging
- 35Hours@19 Lumens from 1 Day Charging
- Glare-Free, High Quality Color Rendering

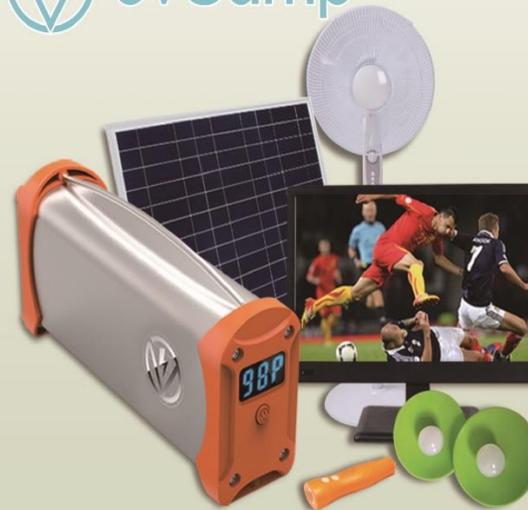
Phone Charger

- Large Capacity 2200 mAh Lithium Battery
- Powerful Charger Designed for Smart Phones
- Balanced Lighting and Phone Charging

Versatile

- Patented "Friction Swivel" Stand Design
- Desk, Wall, Handheld or Neck Pendant
- Suitable for Home, Outdoor or Travels

Light Output on "Super" Setting	8 Hours @ 74 Lumens	(1 solar day)
Light Output on "Normal" Setting	35 Hours @ 19 Lumens	(1 solar day)
Light Output on "Super" Setting	12 Hours @ 74 Lumens	(Fully Charged)
Light Output on "Normal" Setting	50 Hours @ 19 Lumens	(Fully Charged)
Light Source	High efficiency white LED	
PV Charging	Solar panel supplied with the product packaging	
Cellphone Charging	Standard 5V USB	
Storage Battery Type	Rechargeable lithium battery	
Nominal Battery Voltage	3.7 Volt DC	
Battery Capacity	2200 mAh	
Battery Protection	Active HVD And LVD	
Easily Replaceable Battery	Yes	



Designed to be Off-Grid

DC 12V

- Wide range of appliances choices
- Safe and economic power distribution
- Easy installation and configuration

Ingress Seal

- Sealed enclosure ensuring protection of electronics
- Tolerant to and recoverable from external faults
- Fully rated components delivering stated power outputs

Lithium LFP

- Proven safe battery pack and controls
- High capacity in a compact package
- Deep daily cycles
- Long life - over 5 years useful services

Plug-o™

- Mix and place of DC appliances
- Error-proof and secure Twist & Lock connectors
- Power sharing among Omnivoltaic products



One Platform. Endless Possibilities



Sizes for Different Needs



	CEH-3AH	CEH-6AH	CEH-9AH	CEH-12AH
Power Sources	Crystalline Silicon Cell/Aluminum-Glass Encapsulation			
Solar Panel Type	Crystalline Silicon Cell/Aluminum-Glass Encapsulation			
Solar Panel Rating (Wp)	10Wp	20Wp	28Wp	35Wp
Charge-to-Full	5 Hrs	5 Hrs	5 Hrs	5.5 Hrs
Battery Pack	Lithium LFP			
Battery Type	Lithium LFP			
Battery Capacity	3,000mAh	6,000mAh	9,000mAh	12,000mAh
Battery Energy	38.4Wh	76.8Wh	115.2Wh	153.6Wh
Controls	Remaining Energy%/Charge-to-Full Hrs / Use-to-Empty Hrs			
Status Display	Remaining Energy%/Charge-to-Full Hrs / Use-to-Empty Hrs			
External Faults	Shorts/Over Current			
Inputs / Outputs	Shorts/Over Current			
Socket	1 DC Socket, 16-28V			
Discharging	4 DC Socket, 12.8V Average			
USB Ports	2 Ports, 5V			
Enclosure	Aluminum Body / Polycarbonate Caps			
Construction Materials	Aluminum Body / Polycarbonate Caps			
Ingress Protection	Sealed / Internal IP65			



TECHNICAL SHEET

Powerbox

Battery

Type	Li-ion (LiCO) 3.7 [V]
Capacity	11'000 [mAh]
Power Storage	40.7 [Wh]
Deep Charge/Discharge lifespan	> 500 cycles
Battery protection circuit	Protected against: Overcharge, Overdischarge, Overcurrent, Short Circuit
Full Charge time with 5W panel	10 hours*
Charging technology	Enhanced with Maximum Power Point Tracking
Switching technology	High durability capacitive sensing switch (CapSense™)

Input & Outputs

PowerBox Input	DC
Admissible Input – Solar	6V, 9V, 12V – 1 to 10W
Admissible Input – AC/DC	6V to 25V – up to 5W
PowerBox Output	USB (2 ports)
Output when Lamp connected	3.3 [V] (Automatic device detection)
Output for any other device	5 [V]

Size and weight

Size	135x90x55 [mm]
Weight	0.43 [kg]

LED Lamp

Technology	High Power LED (CREE™)
Power	1 [W]
Light Output	80 lumen*
Light Colour	4750 K to 5250 K (Cool White)
Switching technology	High durability capacitive sensing switch (CapSense™)
Lamp plug type	USB
Cable Length	5 [m]
Lighting time with 4 lamps (320 lumen - 4W)	8 hours*
Lighting time with 3 lamps (240 lumen - 3W)	10 hours*
Lighting time with 2 lamps (160 lumen - 2W)	16 hours*
Lighting time with 1 lamp (80 lumen - 1W)	32 hours*

Extra features

Mobile phone adapter	Iphone/Ipod, USB micro B, USB mini B, Nokia 3.5mm, Nokia 2.0mm, Sony Ericsson Fast Port, Samsung (i900 type), Samsung (D800 type), LG connector, Sony PSP
Task light stand	Metal and varnished wood
Battery charge indication	LED code signals
Integrated micro-financing	Integrated OOLUX micro-financing system (intelligent timer for instalment buying)

Solar panel

Peak Power	5 [W]
Nominal Voltage	8.7 [V]
Size	20x30x1.7 [cm]
Cable length	5 [m]

Annexe 7 : Recommandations de la GIZ et du laboratoire de l'Institut Fraunhofer des systèmes énergétiques solaires concernant les caractéristiques des lampes

Critères	Sujet	Remarques
Composants de base	<ul style="list-style-type: none"> • Prise • Contrôleur de charge 	Prise pour alimenter d'autres appareils, tels que radio ou mobile.
Performance	Durée d'allumage (cycle opératoire)	Trois heures de lumière par jour de recharge
Performance	Durée maximum d'utilisation	6 heures d'éclairage avec batterie pleine
Luminosité	Suffisante pour lire, pour éclairer une pièce ; nettement plus lumineuse qu'une lampe à huile habituelle.	Éclairage : min. 300 Lux (sur une table par exemple) Lumen : min. 150 lumens (lampe à huile)
Manuel	Le manuel doit être fourni en anglais. (L'utilisation de bandes dessinées et l'emploi de la langue de l'utilisateur sont préférables).	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnement • Maintenance • Prescriptions
Garantie	Le producteur doit fournir une garantie portant sur les performances et sur la durée de vie des lampes et de leurs composants.	2 ans
Conditions ambiantes	Les lampes doivent être adaptées aux conditions ambiantes normales et assurer la performance exigée.	<ul style="list-style-type: none"> • Fort ensoleillement • Poussière • Insectes • Eau • Humidité • Température : entre - 5°C et + 45°C
Durée de vie	Lumière	Au moins 1 000 contacts et un fonctionnement de 2 200
Durée de vie	Lumière	Au moins 1 000 contacts et un fonctionnement de 2 200 heures. Aucun noircissement de plus de 10 %. ¹¹
Durée de vie	Batterie	Cycles de chargement : 750 (2 ans avec un cycle par jour) -> les exigences de performance doivent être respectées La batterie doit être stockée complètement chargée et dans des conditions évitant tout dommage : 20°C -> 6 mois ; 30°C -> 4 mois ; 40°C -> 2 mois
Durée de vie	Panneaux	Les panneaux photovoltaïques doivent être résistants aux rayures. Ils doivent pouvoir attester d'une performance de 90 % au bout de 5 ans.
Durabilité	Commutateurs, prises et toutes autres pièces mobiles	Doivent résister à 1 000 cycles et utilisations.
Efficacité énergétique	Efficacité lumineuse	L'efficacité lumineuse de la lampe, notamment la puissance requise de l'onduleur, doit être : a) soit supérieure à 30 lumens/watt avec divers réflecteurs, lentilles, couvercles ou grilles (si utilisés) en place ; b) soit supérieure à 35 lumens/watt sans réflecteurs, lentilles ou autres.
Étiquetage	Les informations de base doivent figurer sur chaque lampe	<ul style="list-style-type: none"> - Principaux détails techniques (sur la lampe, la prise, etc.) - Fabricant - N° de série - N° de modèle
Efficacité énergétique	Pertes d'énergie en cas de non-fonctionnement	Pas de pertes électriques lorsque la lampe est éteinte.
Protection du sys-	Les composants ont besoin d'une protection	La batterie doit être protégée contre les décharges poussées

Annexe 8 : Ancienne spécifications techniques de certains produits pico PV

The small pico-PV

Many small pico-PV exists in the market in Cameroon. After analysis, the most used for the moment is the d.light S10 sold by Total Cameroon at the price of 5500 FCFA.



d.light S10

Product features:

- Integrated polycrystalline solar panel
- Smart LED indicator for solar charge intensity
- Easily-replaceable, high-performance battery
- Two brightness settings (18 lumen for 8 hours or 27 lumen for 4 hours)
- Dual-charging (solar & electric)
- Lifetime more than 50,000 hours

17

-
- 300mW solar panel.
 - 3.6V 350mAh Ni-MH battery
 - Rated full recharge in 10 hours of full sunlight (1 kW/m²)

The medium pico-PV

The medium pico-PV is another d.light (d.light 250) sold by Total Cameroon.

Product features

- Bright light and mobile charging
- Four brightness settings (4 hours, 6 hours, 12 hours and 100 hours)
- High-efficiency, weather-proof solar panel
- Rain-resistant housing
- Indicator showing battery charge level
- Robust circuitry for long-life performance
- Deep discharge and overcharge protection to preserve battery life
- Easily replaceable, high-performance battery
- Lifetime more than 50,000 hours
- 3.6V 1500mAh, Ni-MH 2A battery
- can charge a mobile phone to 80 percent of its full battery capacity in as little as one hour



d.light S250