

Étude d'un Nouveau Chargeur Solaire de Batteries pour Sac d'Étudiant Connecté à un Moniteur Graphique Android d'Énergie de Charge

[Study Of a New Solar Battery Charger for Connected Student Bag to an Android Graphical Monitor for Load Energy]

Nkoulou Nkoulou Ninon Rosine, Etouke Owoundi Paul, Mbihi Jean, and Nneme Nneme Léandre

Research Laboratory of Computer Science Engineering and Automation, University of Douala, ENSET, Douala, Cameroon

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This paper is deals with a solar battery charger to be embedded into an Android student bag model. It is a new multipurpose ESP32-based microcontroller for: a) solar energy conversion into regulated DC energy for charging Lithium-Polymer batteries; b) digital acquisition of battery electrical energy data; c) Bluetooth transmission of this energy data to an Android monitor. On the ESP32 microcontroller side, the application program required for data acquisition and Bluetooth server configuration, is developed using Arduino IDE-C++. Then, on the Android terminal side, a Smartphone equipped with a configured application for virtual monitoring of the charging energy data of the powered battery. Finally, an experimental prototype of the proposed device is pointed out and well tested, then he testing results obtained and presented are very satisfactory.

KEYWORDS: Solar battery charger, ESP32 microcontroller, electric energy data, Bluetooth server, Android virtual monitor.

RESUME: Cet article porte sur un *chargeur solaire de batteries* à embarquer à bord d'un modèle de sac d'étudiant Android. C'est un nouveau dispositif multifonctions à base du *microcontrôleur ESP32* conçu pour: a) la conversion d'énergie solaire en énergie électrique régulée pour la charge de batteries au Lithium-Polymère; b) l'acquisition numérique des données d'énergie électrique de charge de la batterie; c) la *transmission Bluetooth* de ces données d'énergie à un moniteur Android. Du côté de l'ESP32, le programme d'application requis pour l'acquisition de données et la configuration du *serveur Bluetooth*, est développé dans *Arduino IDE-C++*. Puis, du côté du terminal Android, un Smartphone équipé d'une application configurée sert de *moniteur virtuel Android* des données d'énergie de charge de la batterie alimentée. Enfin, un prototype expérimental du dispositif est réalisé est bien testé, puis les résultats d'essais obtenus et présentés sont très satisfaisants.

MOTS-CLEFS: Chargeur solaire de batterie, microcontrôleur ESP32, données d'énergie électrique, serveur Bluetooth, moniteur virtuel Android.

1 INTRODUCTION

Le fonctionnement durable des systèmes embarqués sans fil alimentés par batterie est un défi majeur [1] – [7], et des efforts de recherche considérables ont été consacrés à l'optimisation énergétique [8] – [15] de ces derniers. De nos jours, les technologies de systèmes d'alimentation électrique dédiés aux sacs portables sont nombreuses. On distingue [16]: a) Batterie d'accumulateurs isolée, qui se décharge continûment pendant tout son temps de service; b) Power Bank, qui n'est pas une source d'énergie renouvelable en temps réel; c) Panneau solaire assisté d'une interface de conversion de l'énergie électrique; d) combiné panneau solaire assisté par microcontrôleur de géolocalisation du sac en cas de vol ou de perte. Cependant, à notre connaissance, les fonctions de communication déployés pour les sacs portables, ne sont pas étendues aux services d'instrumentation et de monitoring en temps réel des données opérationnelles du chargeur de batterie solaire embarqué au sac portable.

Ainsi, cet article scientifique porte sur un nouveau modèle de chargeur solaire de batterie assisté par microcontrôleur ESP32 pour sac portable Android d'étudiant. Il offre un service complet d'instrumentation avec monitoring par Smartphone via un média de transmission Bluetooth, des données d'énergie de charge de la batterie. Les outils et méthodes d'étude avec mise en ouvre de ce dispositif sont présentés dans la section 2, Puis, les résultats d'essais effectués sont présentés et discutés dans la section 3. Enfin, la conclusion de l'article est mise en évidence dans la sections 4.

2 OUTILS ET MÉTHODES

2.1 SCHEMA BLOC

La figure 1 décrit le schéma bloc complet du nouveau modèle de chargeur solaire communicant, à monter à bord de modèle de sac d'étudiant. Les 8 modules constitutifs sont numérotés de (a) à (h). Par ailleurs, le tableau 1 décrit les outils matériels requis pour le prototypage de ce modèle de chargeur solaire de batterie. Dans le tableau 1, des informations détaillées sont nécessaires sur 2 modules constitutifs, à savoir: chargeur de batterie et capteur de courant.

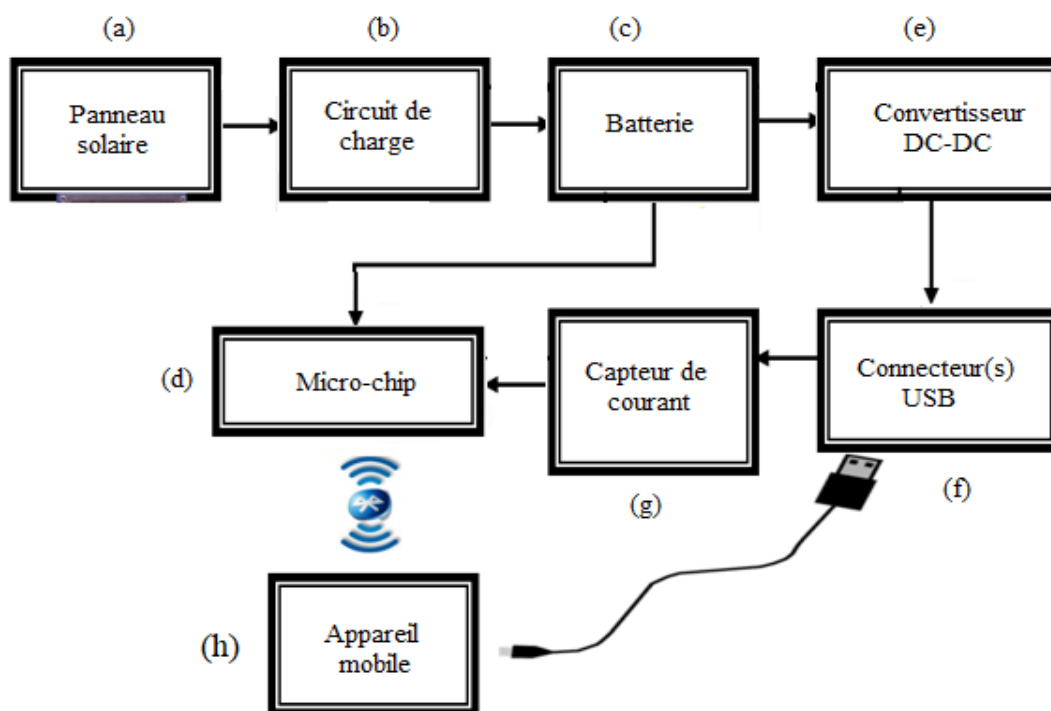



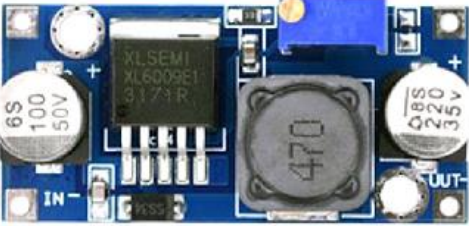



Fig. 1. Schéma bloc du nouveau modèle de chargeur de batteries

2.2 OUTILS MATERIELS

Tableau 1. Outils matériels requis

Numéros	Illustrations	Caractéristiques
(a) Panneau solaire [17] – [19]	 Panneau solaire	Un mini panneau 10 Watt, 6 V
(b) Circuit de charge	Circuit électronique (Voir Fig.2)	À base de XL6009 IC
(c) Batterie	 Batterie	Économique au lithium-polymère
(d) Micro-chip ([20] – [24])	 ESP32	Vcc: 3.2 V - Bluetooth/BLE 4.0 - Ports CAN - Pilote Arduino IDE/C++
(e) Régulateur de tension ([25] – [29])	 DC- DC XL6009	A base du XL6009/5V
(f) Connecteur et câble	Électrique	Pour ports USB, 5V, 10 W
(g) Capteur de courant	Circuit électronique (Voir Fig. 3)	A base du LM358N
(i) Smartphone	 Smartphone	Galaxy S3

2.3 METHODES D'ANALYSE

S'agissant du circuit de charge de la batterie, son schéma de principe est présenté dans la figure 2 [30]. Dans le circuit de charge, les valeurs des résistances sont calculées en vue du calcul de la valeur de V_{ref} donnée par l'équation (1).

$$V_{ref} = 5 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \tag{1}$$

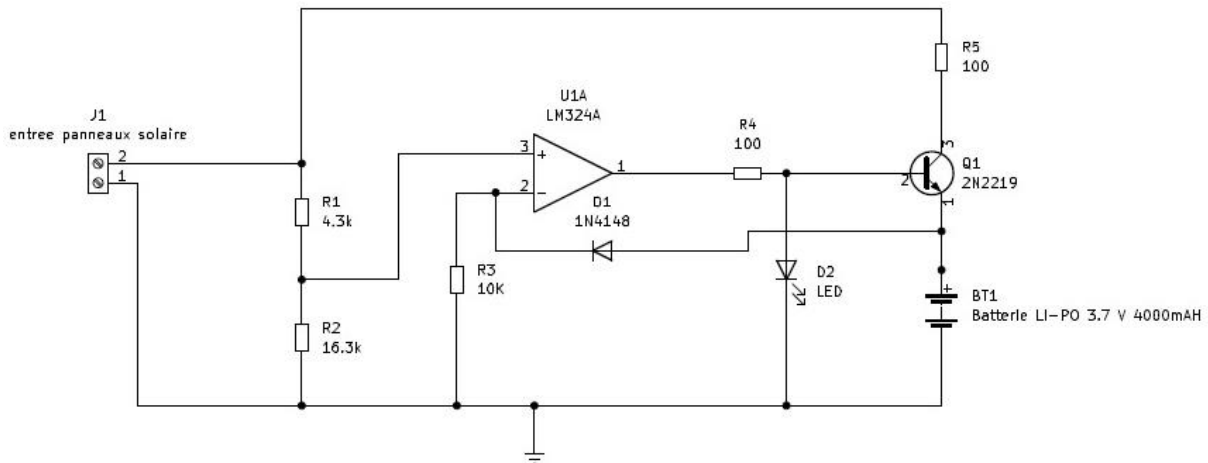


Fig. 2. Circuit électrique de charge de la batterie

Le mode de fonctionnement du circuit peut être résumé comme suit:

- Lorsque la tension de la batterie est supérieure à 04 volts, la tension renvoyée à l'entrée inverseuse sera supérieure à 03,5 volts ceci à cause de la tension inverse de la diode. La sortie de l'ampli OP bascule à la masse et le transistor Q1 s'ouvre. Ceci isole la batterie de la tension de charge et la batterie reste en sécurité
- Lorsque la tension de la batterie est inférieure à 04V, la tension renvoyée à l'entrée inverseuse est inférieure à 03,5V et la sortie de l'ampli OP passe en saturation positive. Le transistor est alors activé et la batterie commence à se charger. La résistance R6 limite le courant de charge (2) de la batterie à 60 mA

$$I_b = \frac{(V_{cc} - V_{cesatQ1} - V_b)}{R_4} = \frac{(9 - 0,2 - 2,7)}{100} = 0,061 \text{ Ohm} = 61 \text{ mA} \quad (2)$$

Avec:

V_{cc}: Tension d'alimentation;

V_{cesatQ1}: Tension collecteur-émetteur de Q1 pendant la saturation;

V_b: Tension de la batterie lorsqu'elle est déchargée;

R₄: Résistance de limitation de courant;

I_b: Courant de charge.

L'équation (3) utilisée ici est issue de la méthode *Coulomb Counting* [30].

$$SOC = SOC_0 \frac{\int_{t_0}^{t_0+\tau} I_{bat} \Delta \tau}{Q_n} 100 \quad (\%) \quad (3)$$

Avec: SOC = *State of Charge* ou état de charge en français, SOC₀ = SOC initial de la batterie, I_{bat} = Courant à travers la batterie et Q_n = Capacité nominale de la batterie.

On distingue 2 modes de fonctionnement, en fonction des variations de la quantité de charge définie par les équations (4).

$$\int_{t_0}^{t_0+\tau} I_{bat} \Delta \tau > 0 \text{ (modèle en charge)} \quad (4)$$

$$\int_{t_0}^{t_0+\tau} I_{bat} \Delta \tau \text{ (modèle en décharge)}$$

Le calcul de l'état de charge de la batterie, en utilisant le modèle adéquat. Lorsque la batterie se charge, le niveau de charge est calculé en utilisant l'équation (5). Par contre, l'équation (5) est valable pour la séquence de décharge de la batterie.

$$SOC(t + \tau) = SOC(t) \frac{\int_t^{t+\tau} I_{bat} \Delta \tau}{Q_n} 100 \quad (\%) \quad (5)$$

$$DOD(t + \tau) = DOD(t) \frac{\int_t^{t+\tau} I_{bat} \Delta \tau}{Q_n} 100 \quad (\%) \quad (6)$$

Par ailleurs, la valeur DOD (t) est mise à jour à la fin de chaque opération de charge, en utilisant la relation (7), alors que l'équation (8) définit la durée de charge restante:

$$DOD(t) = SOC(t) - 100 \quad (\%) \quad (7)$$

$$t_{restant} = t_{moyen} SOC \quad (8)$$

Avec:

t_{restant} = Temps de charge restant;

t_{moyen} = Durée moyenne d'une charge complète

Finalement, l'équation (9) traduit l'erreur d'estimation.

$$\varepsilon = \text{SOC (estimée)} - \frac{\text{SOC (mesurée)}}{\text{SOC (nominal)}} \cdot 100 \quad (9)$$

En particulier, lorsque la tension à vide est comprise entre [3,34, 3,75] le SOC s'exprime comme suit:

$$\text{SOC} = 482,5 \text{ OCV}^2 - 54,66 \text{ OCV} - 1001 \quad (10)$$

Puis, lorsque OCV est comprise entre] 3,75, 4] le SOC est donné par:

$$\text{SOC} = -261 \text{ OCV}^2 + 2163 \text{ OCV} - 4402 \quad (11)$$

Par ailleurs, lorsque $\text{OCV} > 4$ l'expression du SOC devient:

$$\text{SOC} = 177,7 \text{ OCV} - 640,6$$

S'agissant du circuit capteur de courant, le capteur décrit par le schéma de principe de la figure 3, contient une résistance shunt de valeur faible 0,22 Ohm. Il permet de déterminer le courant absorbé par la charge et l'amplificateur opérationnel LM358N.

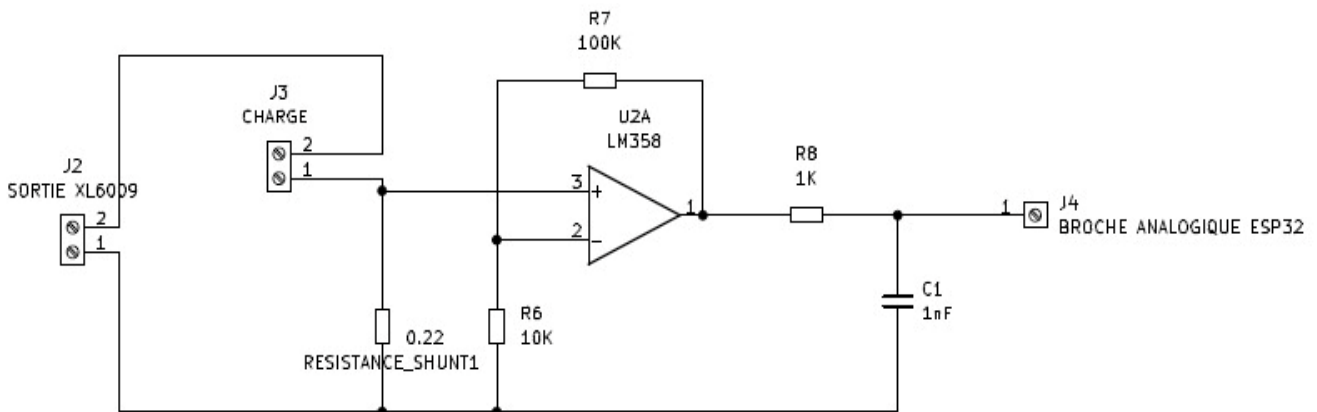


Fig. 3. Capteur de courant

Enfin, vu du côté opératoire local, le schéma algorithmique complet de l'instrument proposé est donné par la Fig. 4. La Fig. 4a correspond à celle du programme principal, alors que la Fig. 4b est celle du sous-programme de calcul en temps réel des données d'énergie de charge de la batterie.

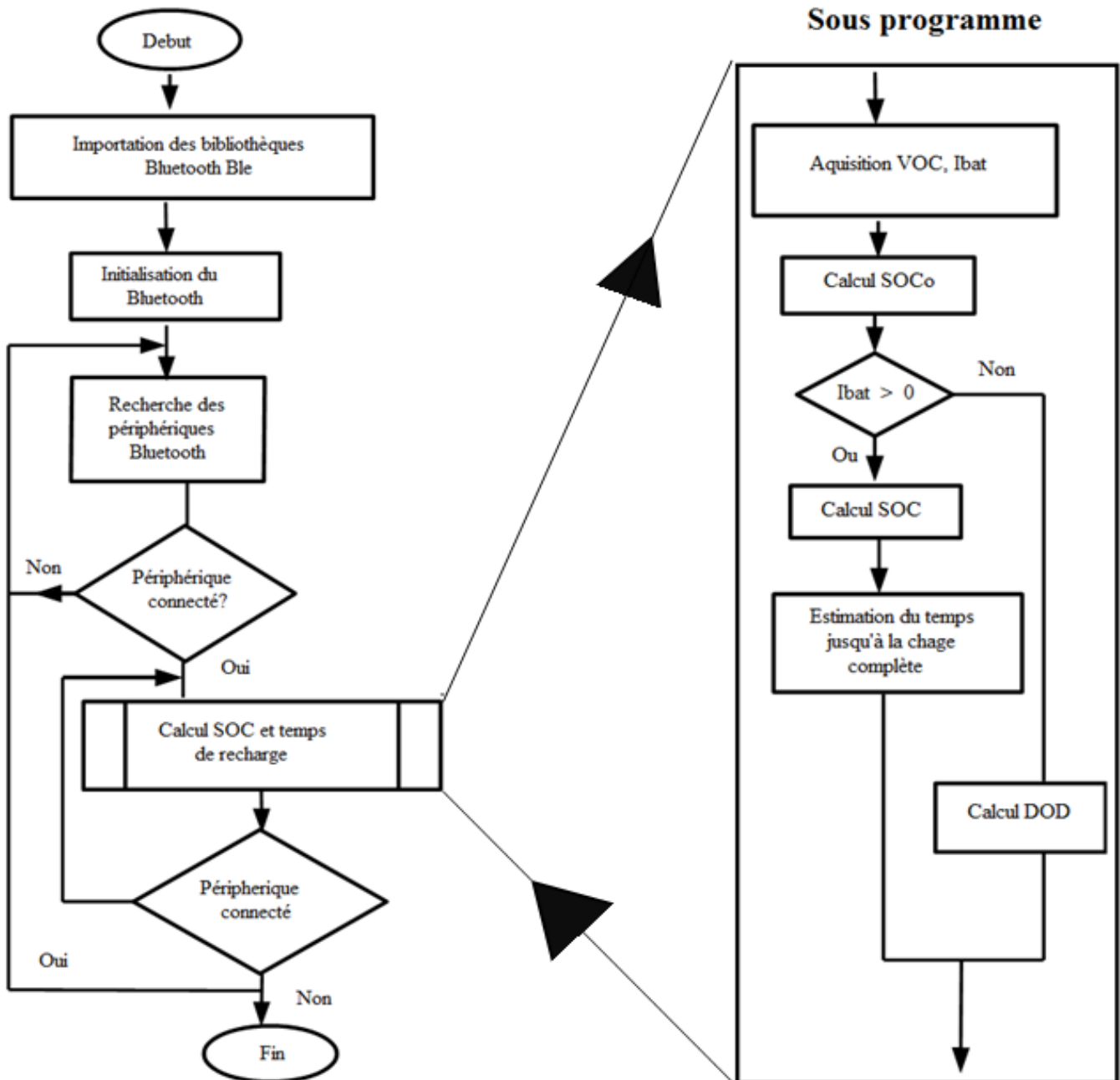


Fig. 4. Schéma algorithmique complet du dispositif proposé

Un programme C++ complet qui a été mis en œuvre dans Arduino IDE-C++, équipé préalablement des bibliothèques logicielles compatibles ESP32 et Bluetooth/BLE. La Fig. 5 montre un exemple de copie d'écran d'une portion de ce programme Arduino C++. On constate dans ce programme que:

- Une bibliothèque Bluetooth à l'entête chargé de gérer en temps réel les services de communication des données d'instrumentation entre la carte ESP32 et le terminal Bluetooth Android
- Un champ de données globales déclarées de divers types: unsigned long, constant int ou bytz, double et float
- Une fonction globale d'initialisation d'acquisition numérique d'un signal analogique

La suite de l'application C++ contient les procédure de calcul numérique des données SOC et DOC requises, à mettre en forme pour transmission conforme moniteur au terminal Smartphone.

```

coulomb_countingesp32 $
#include "BluetoothSerial.h"

#if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
#error Bluetooth is not enabled! Please run 'make menuconfig' to enable it.
#endif

BluetoothSerial SerialBT;

unsigned long startMillis;
unsigned long currentMillis;
const int period = 1000;
const byte ledPin = 13;
#define INPUT_VOLTAGE_SENSE_PIN 33
double R1= 100000; //100K
double R2 = 10000; // 10K
double R1 0.22 //0.22
float current = .4;
float totalCoulombs = 0.0;
double current_value(int pin_no)
{
  double tmp = 0;
  double ADCVoltage = 0;
  double moy = 0;
  for (int i = 0; i < 150; i++)
  {
    tmp = tmp + analogRead(pin_no);
  }
  avg = tmp / 150;
}

```

Fig. 5. Copie d'écran d'une portion de programme C++ dans Arduino C++

Par contre, vu du côté moniteur sans fil des données de l'énergie du chargeur de batterie solaire, on a:

- Un terminal smartphone;
- Une application THUNKABLE pour Android installée et configurée dans ce smartphone, et utilisée comme; moniteur virtuel en temps réel des données d'énergie du notre modèle de chargeur solaire communicant;
- Un opérateur humain du smartphone qui est bien entraîné pour la mise en service et l'utilisation de l'application Android THUNKABLE

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

La Fig. 6 présente une vue de dessus du dispositif expérimental réalisé et bien testé dans ce travail de recherche. Une légende des éléments constitutifs de ce nouveau dispositif est prévue dans cette figure.

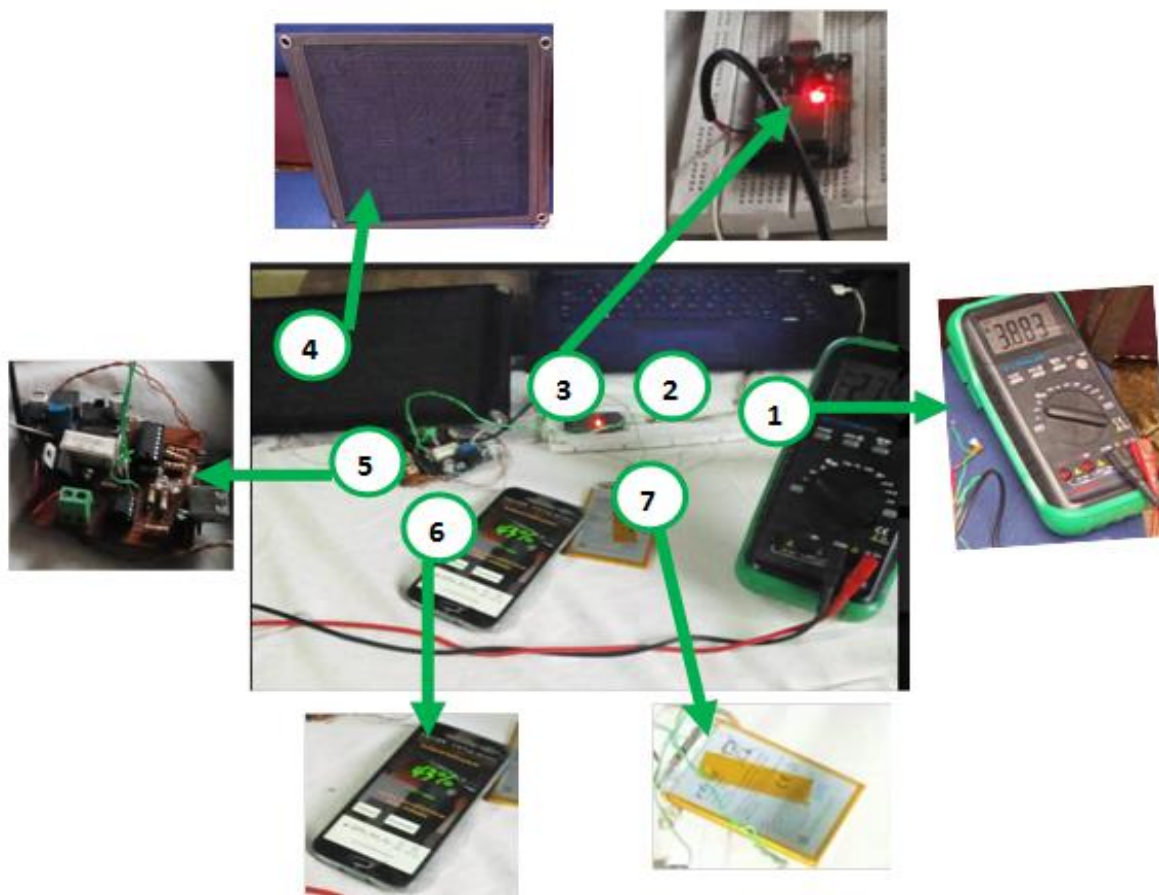


Fig. 6. Prototype expérimental du nouveau modèle de chargeur proposé

LEGENDE

1. ESP32
2. Plaque à essais
3. Multimètre
4. Batterie
5. Téléphone
6. Circuit de charge
7. Plaque solaire

3.1 RÉSULTATS DE L'ALGORITHME D'ESTIMATION DE L'ÉTAT DE CHARGE

Ici, la tension, le courant et le temps de fonctionnement sont contrôlés toutes les 5 secondes. Le courant de la batterie est positif pour la charge et négatif pour la décharge. Le SOC estimé l'accumule pendant la période de charge, et diminue en mode de décharge. Des points de tests sont sélectionnés, soit pendant la phase de charge, soit pendant la phase de décharge. La batterie est déchargée avec 0,2 C à la tension de coupure. Les capacités cumulées mesurées sont comparées aux SOC estimés aux points de tests, pour vérifier la précision de la méthode de l'estimation. La figure 7 présente une estimation du SOC.

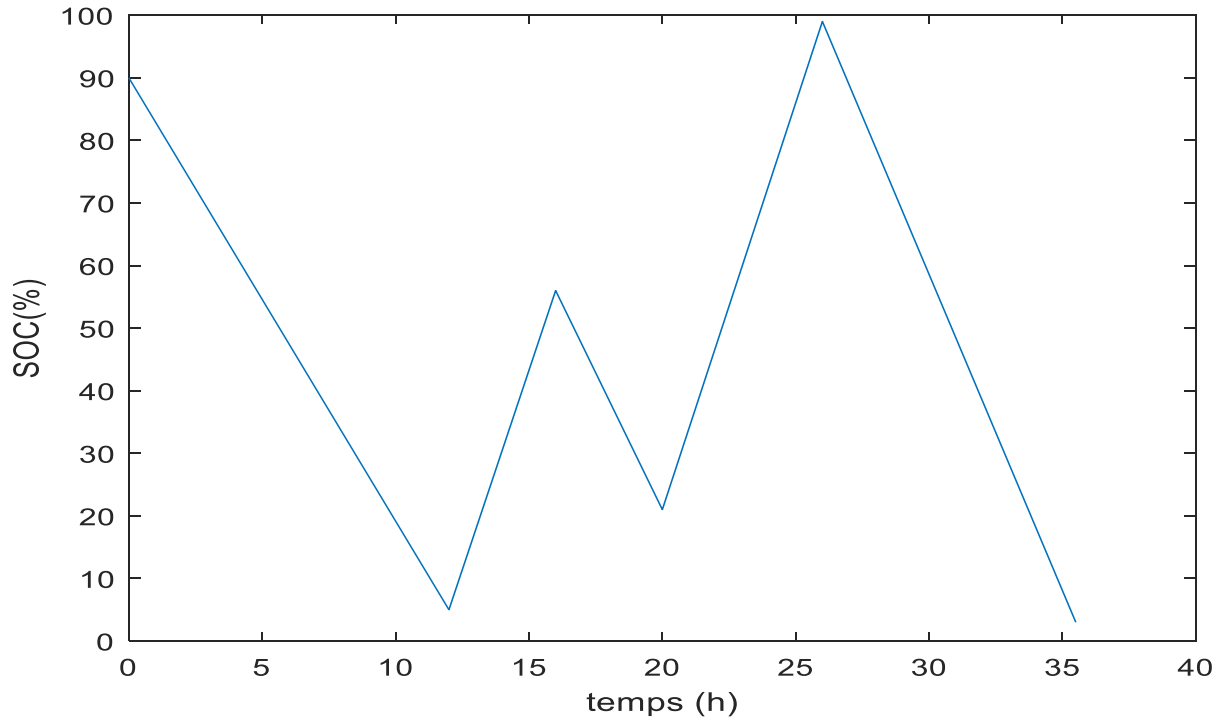


Fig. 7. Estimation du SOC

L'expérimentation a duré 35 h 20 min, la batterie a été chargée à un taux constant d'environ 0,45 C avec une tension de charge de 3.85 V; initialement l'état de charge est de 90%. Sept points de tests ont été sélectionnés, et les estimations des erreurs à ces différents points ont été calculées. On constate ainsi que l'erreur pour les 06 points de test choisis, ne dépasse pas 5,5%. La figure 8 présente l'estimation des erreurs du SOC.

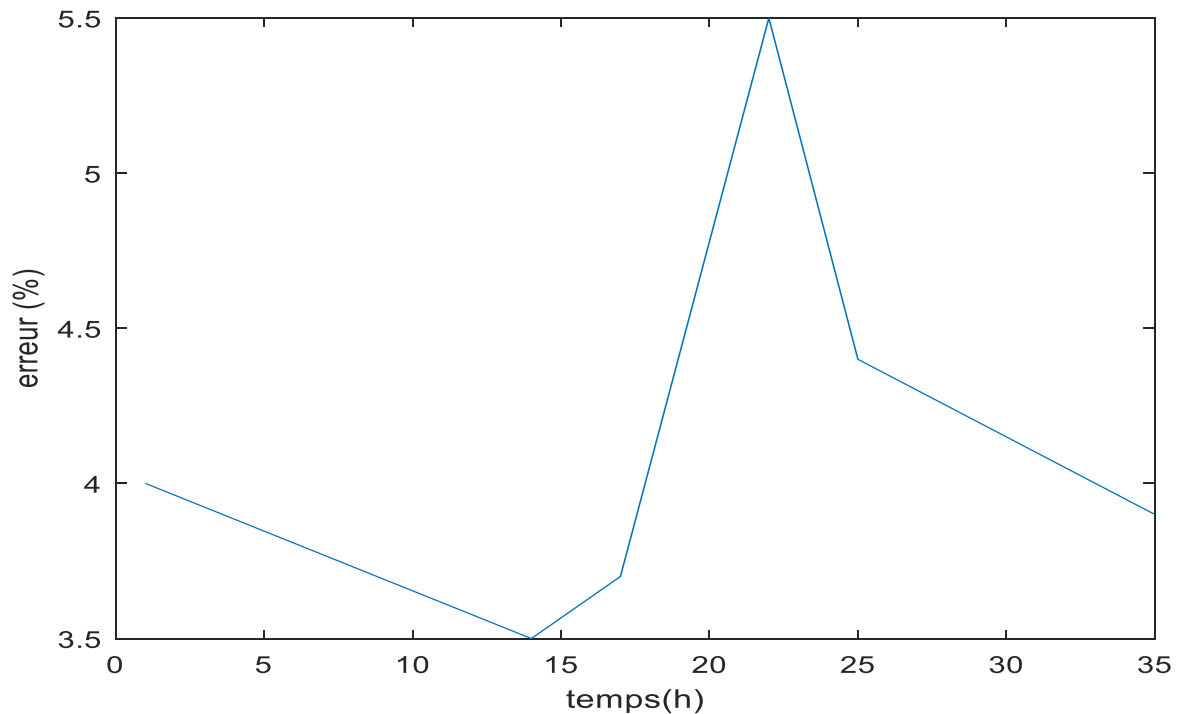


Fig. 8. Estimation des erreurs du SOC

3.2 RÉSULTATS DU CIRCUIT DE CHARGE

Afin de pouvoir évaluer les performances de notre système, nous avons mené plusieurs essais. Les essais ont été réalisés par temps nuageux le 22/07/2022 à Douala, au Cameroun. Le panneau solaire a été placé à un angle 45 °par rapport au sol dans un espace ouvert, sans obstruction. La charge de départ de la batterie était de 5 %.

L'état de charge du téléphone mobile a été enregistré toutes les 15 min; en termes de pourcentage, le résultat est présenté à la figure 9. On constate ainsi que la charge complète d'une batterie de 5000mAH est effectuée en 05 Heures.

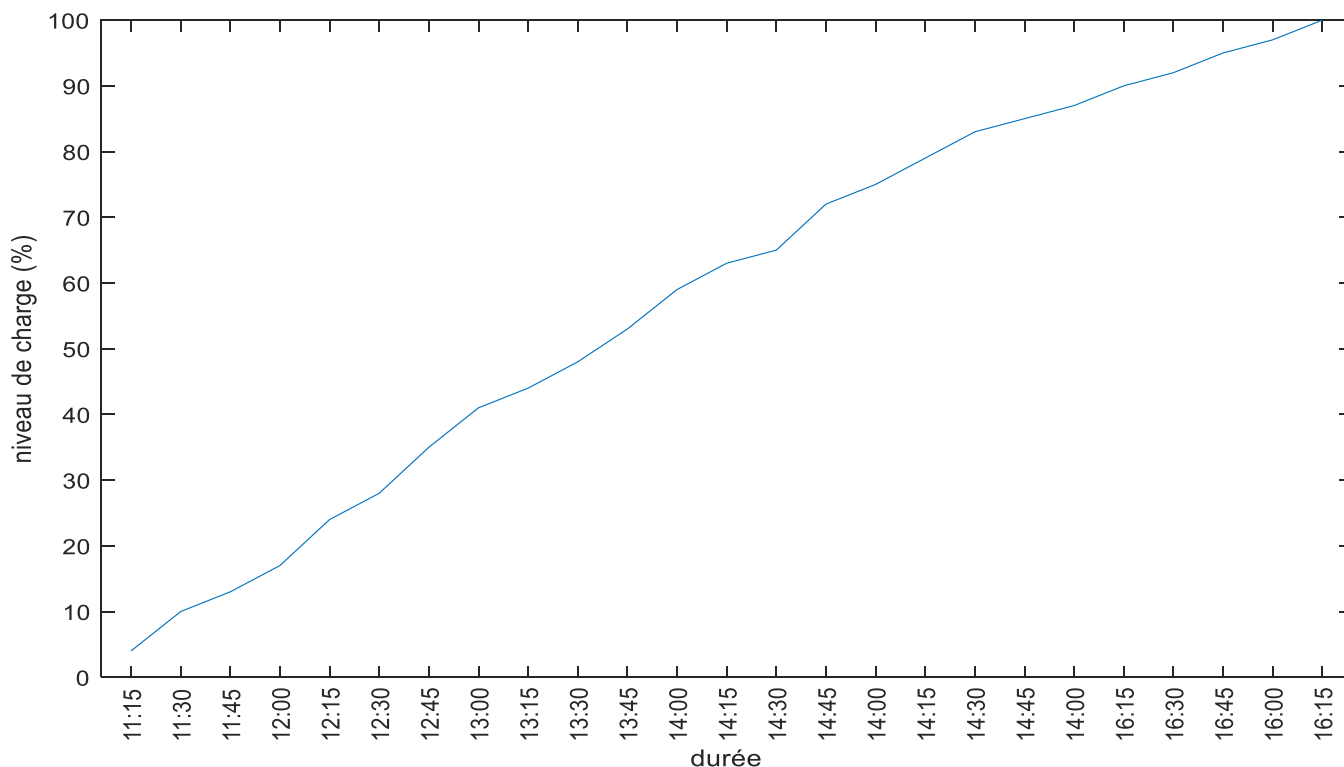


Fig. 9. État de charge du téléphone mobile

3.3 RÉSULTATS ISSUS DE L'ÉTAT DE CHARGE INITIALE

Nous avons donc mené une expérimentation en vue d'établir une relation entre la tension à vide mesurée et l'état de charge. Dans un souci de simplification et de précision, la courbe expérimentale a été divisée en 3 régions, représentées sur les figures 10, 11, 12.

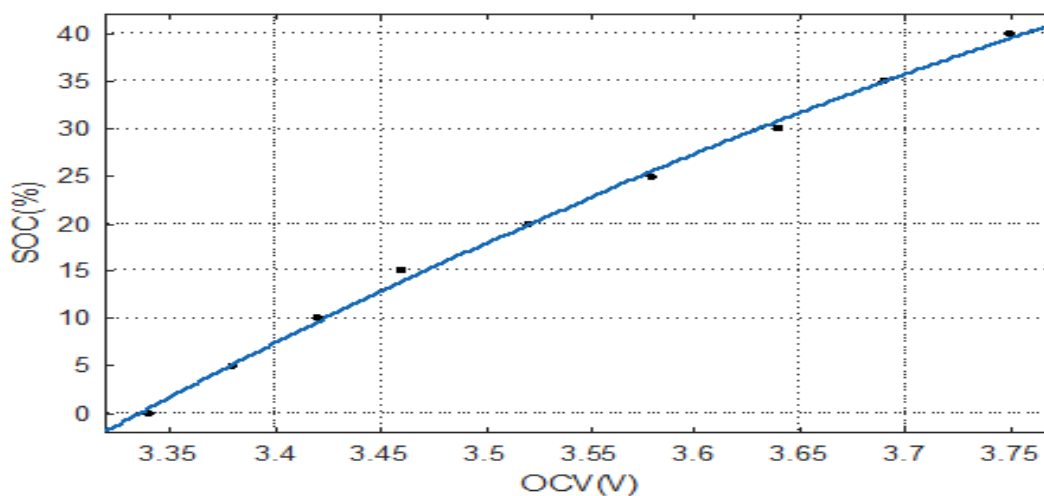


Fig. 10. 1 ère courbe présentant la relation entre la tension à vide mesurée et l'état de charge

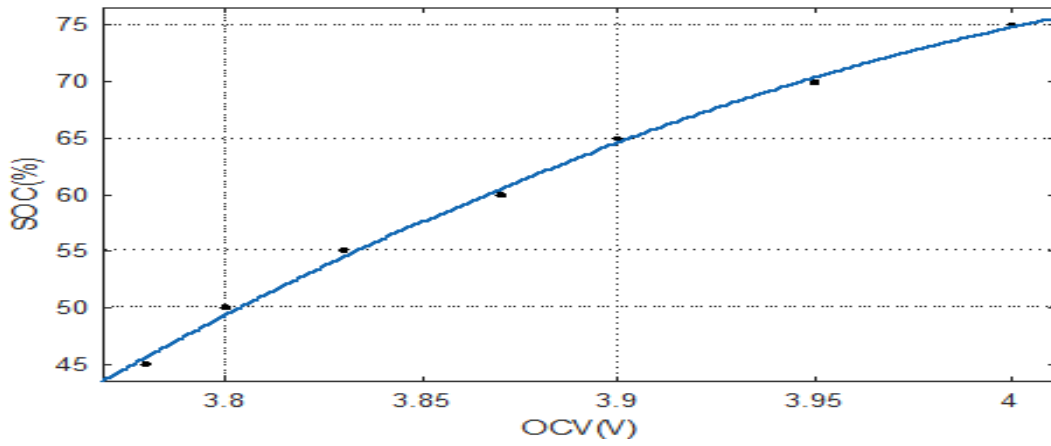


Fig. 11. 2^{ème} courbe présentant la relation entre la tension à vide mesurée et l'état de charge

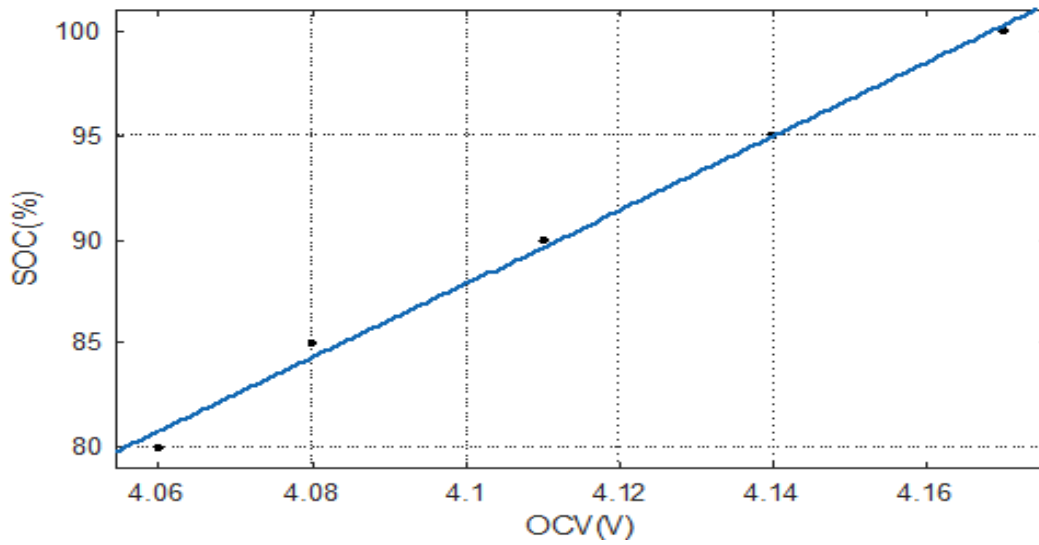


Fig. 12. 3^{ème} courbe présentant la relation entre la tension à vide mesurée et l'état de charge

3.4 RÉSULTATS DU TEST DU SYSTÈME DE COMMUNICATION ET PRÉSENTATION DE L'APPLICATION

Afin de tester le système de communication, l'application Android a été installée sur un Smartphone Android Galaxy S3. Le premier écran présente l'écran de connexion. Il permet d'afficher tous les périphériques BLE présents aux alentours et de nous connecter à celui correspondant à notre microcontrôleur ESP32. La figure 13 présente l'écran de connexion.

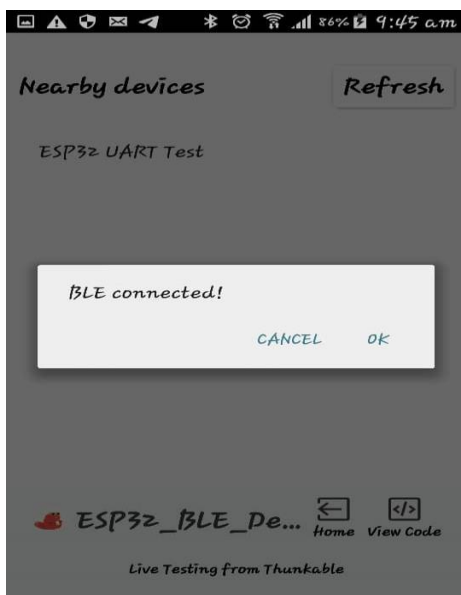


Fig. 13. Écran de connexion

Après une connexion réussie, le deuxième écran s'ouvre. Celui-ci nous permet d'une part de connaître le niveau de charge de la batterie, envoyé par le microcontrôleur, et d'autre part, nous offre la possibilité de nous déconnecter d'un périphérique Bluetooth grâce au bouton "disconnect" ou d'ouvrir à nouveau le premier écran de connexion grâce au bouton "connect". La figure 14 présente l'écran de lecture du niveau de charge de la batterie.

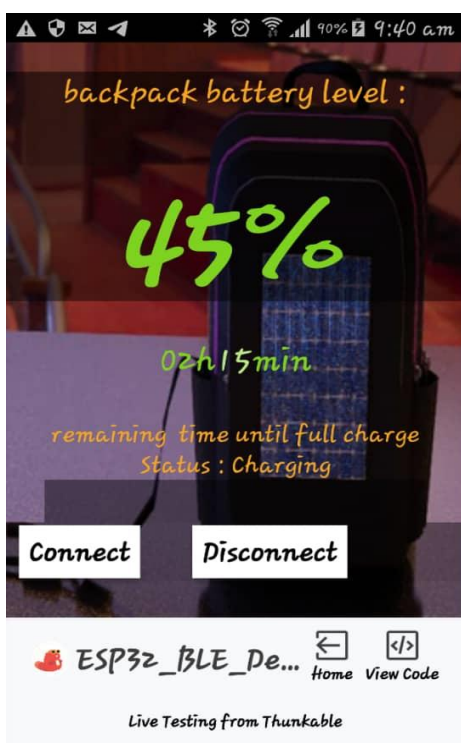


Fig. 14. Écran de lecture du niveau de charge

4 CONCLUSION

Cet article a proposé un système de recharge et de surveillance de la batterie, à base du microcontrôleur ESP32 et d'un terminal de monitoring Android. Ce nouveau système est capable non seulement de recharger de manière efficace et sécurisée une batterie lithium-polymère à partir de l'énergie solaire, mais de faciliter aussi la surveillance de l'état de charge de cette dernière. Le système a été appliqué

avec succès et tous les schémas expérimentaux initiés et décrits dans cet article ont été testés. Les travaux futures consistent à embarquer ce nouveau chargeur solaire à bord du sac d'étudiant. Les fonctionnalités de cette nouvelle génération de nouveaux sac d'étudiant intelligents pourront s'étendre aux services techniques de géolocalisation par GPS et GSM. Ces nouvelles font l'objet de nos travaux de recherche en cours.

REFERENCES

- [1] V. Boitier, « Alimentations électriques autonomes à partir de sources d'énergie ambiante pour des systèmes de mesures sans fils: applications à l'aéronautique et à d'autres contexte exigeants. », PhD Thesis, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 2022.
- [2] A. Cherigui, A. Badra, et others, « Modélisation et Simulation d'un Véhicule Electrique à Piles à Combustible », PhD Thesis, university of M'sila, 2022.
- [3] J.-M. JEZEQUEL, L. TORRES, R. de SIMONE, C. MOY, P. LERAY, et P. HOUEIX, « Stéphane LECOMTE ».
- [4] S. Lamouri, « Etude de l'optimisation d'énergie dans un système hybride avec stockage », PhD Thesis, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA.
- [5] C. Slimani, « Vers des algorithmes d'apprentissage automatique économes en E/S pour les systèmes embarqués: application aux K-means et Random Forests », PhD Thesis, Université de Bretagne occidentale-Brest, 2022.
- [6] S. H. Suárez, « Gestion de l'énergie d'un système de piles à combustible alimenté par un réservoir d'hydrogène à hydrure métallique », PhD Thesis, Université Bourgogne Franche-Comté, 2022.
- [7] A. Yasmine, « La poubelle intelligente ».
- [8] O. BECHARA Charly et CORTIJO, Santiago et HERON, « Problèmes et défis ».
- [9] M. R. Lemaire M. Vincent et Azé, MJérôme et Heydemann, Mme Karine et Méhaut, M. Jean-François et Santana, M. Miguel et Termier, M. Alexandre et Quiniou, « Réduction à la volée du volume des traces d'exécution pour l'analyse d'applications multimédia de systèmes embarqués ».
- [10] « Contribution à l'amélioration de la production de béton prêt à l'emploi : exploitation de capteurs embarqués pour la détection de fin de malaxage, la mesure de densité et l'anticipation de l'évolution de l'affaissement », PhD Thesis.
- [11] « Contributions pour l'utilisation des machines parallèles, réparties et hétérogènes à travers le prisme de la gestion des données partagées », PhD Thesis, Université de Rennes 1.
- [12] « électromagnétique pour alimenter des objets connectés à faible consommation ».
- [13] « Énergie et numérique : se préparer à un autre combat », in *Annales des Mines-Responsabilité et environnement*, p. 30-36.
- [14] « Gestion de la consommation d'énergie dans un logement ».
- [15] « Spécification et compilation de réseaux de neurones embarqués », PhD Thesis, Sorbonne université.
- [16] Prince Sharma, Himanshu Kumar Jaiswal, Prashant Tyagi, Pulkit Mittal, Shubham Shukla, « Designing a Smart Bag Using Cyber Physical Devices », *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol. Vol 10 Issue 4 Pp 404-712 April 2022*.
- [17] D. Mida, « Contribution à la Modélisation d'un Système de Production d'Énergie Électrique Hybride «Éolien-Photovoltaïque» », PhD Thesis, Université Mohamed Khider-Biskra, 2019.
- [18] محمد ع. الكمام, « Etude Comparative des Différent Type de Stockage de l'Énergie Photovoltaïque pour l'Entraînement des Véhicule solaires », 2018.
- [19] D. Billel, « L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR UNE AUTOCONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES MOSQUÉES DE CONSTANTINE », *Rev. Sci. Hum. Soc.*, vol. 7, n° 2, p. 587-597, 2021.
- [20] J. M. Paul Owoundi Etouké Léandre Nneme Nneme, « ESP32-Based Workbench for Digital Control Systems of Duty-Cycle Modulation Buck Choppers », *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng.*, vol. 8, n° 6, p. 62-67, déc. 2020.
- [21] S. E. Ndongo, J. Mbihi, J. T. Ngo Bissé, et C. N. Malongte, « Study and experimental prototyping of a digital instrument for detection and acquisition with local monitoring on LCD of ionizing radiations using BG51 module and ESP32 microchip », *Algerian J. Eng. Technol.*, vol. 5, p. 55-63, nov. 2021, doi: 10.5281/zenodo.5717122.
- [22] S. Bassok et J. Mbihi, « Study of a digital instrument assisted by ESP32 for geolocation and detection of children's ECGs », *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, vol. 57, n° 1, p. 12-23, 2021.
- [23] H. Habiba, J. Mbihi, R. Nzuku, et C. B. Rémy, « Study of an ESP32 based biomedical instrument for digital acquisition and local monitoring of healing state parameters of second degree burned human skin », *Int. J. Innov. Sci. Res.*, vol. 56, n° 1, p. 15-27, 2021.
- [24] Rachel Apolince Nguéack Assona¹, *, Bruno Kenfack², et Jean Mbihi¹, « Study of an ESP32-Based Biomedical Instrument for Digital Urine Detection and Local Monitoring in a Hydrophyte Composite Textile Medium », *Eur. J. Adv. Eng. Technol.* 2021 8101-8, p. 1 & 8, 2021.
- [25] J. Aguilar-Peña, C. Rus-Casas, L. Hontoria, J. Fernández-Carrasco, et F. Baena, « Low-cost commercial circuit boards for internships with engineering students », in *2022 Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (XV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference)*, IEEE, 2022, p. 1-6.
- [26] S. Özküçük et S. A. Özen, « Isolated solar electronic unit design including capacitive storage for the uninterruptible power supply of critical DC loads », *Sol. Energy*, vol. 214, p. 367-376, 2021.
- [27] S. Shin et H. So, « Time-dependent motion of 3D-printed soft thermal actuators for switch application in electric circuits », *Addit. Manuf.*, vol. 39, p. 101893, 2021.

- [28] A. Supardi, M. Y. Raya, et others, « Development of a Low Cost Portable Hydro and Wind Power as Emergency Power Source», in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2021, p. 012049.
- [29] E. C. Wicaksono, « Analisa Unjuk Kerja Maximum Power Point Tracker (MPPT) Berbasis Arduino Dengan Algoritma Peturb And Observe (P&O) Serta Fuzzy Logic», PhD Thesis, ITN MALANG, 2021.
- [30] G. L. Plett, *Battery management systems, Volume II: Equivalent-circuit methods*. Artech House, 2015.