

Alimentation photovoltaïque portable

Youba BOUAZZOUNI
Université de Montpellier
3EFS
Montpellier, France
youbu.bouazzouni@etu.umontpellier.fr

Abstract— This article presents the design and execution of a portable photovoltaic power supply, providing an effective and practical solution for battery charging utilizing solar energy. Engineered with Maximum Power Point Tracking (MPPT) integration, the power supply aims to optimize energy conversion efficiency. Its compact and portable design renders it ideal for outdoor usage, facilitating diverse applications across different environments.

Mots-clés - MPPT, P&O, Panneau photovoltaïque, Hacheur buck, Arduino, powerbank solaire

I. INTRODUCTION :

Une alimentation photovoltaïque portable ou appelé plus communément Powerbank solaire, permet d'avoir avec soi constamment une alimentation qui sera utilisée pour vos besoins simples de tous les jours, comme charger un téléphone, une lampe torche, des écouteurs sans fils...

L'objectif de ce projet est d'étudier la façon dont on peut récupérer l'énergie électrique à partir d'un petit panneau solaire et de charger ensuite une batterie qui sera utilisée pour charger des équipements lambda. Le panneau solaire sera sur la surface de dispositif ainsi qu'un petit afficheur LCD 20x4 permettant de visualiser toutes les informations dont on a besoin et à l'intérieur on aura un buck convertter, et un Arduino nano, qui fera le traitement et la gestion des données récoltées et ainsi calculer le meilleur point de fonctionnement du panneau et bien gérer la charge de la batterie.

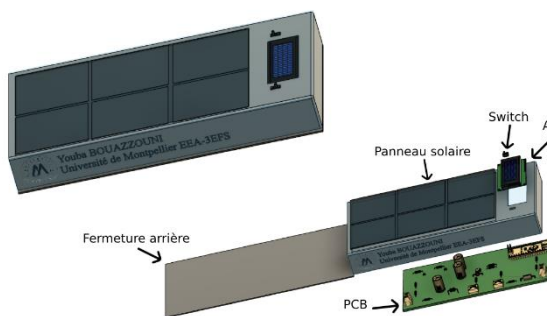


Figure 1: Modèle 3D du projet

Le principal défi de la mise en œuvre de cette alimentation photovoltaïque réside dans la capacité à récupérer de manière efficace l'énergie électrique générée à partir des panneaux solaires et à l'exploiter de manière optimale. Cette tâche est compliquée par l'irrégularité du soleil, ce qui rend la gestion de cette source d'énergie complexe.



Figure 2 : Chaîne de conversion du panneau simplifiée

II. L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE PORTABLE :

Ce dispositif se compose de trois parties essentielles : le panneau photovoltaïque, le convertisseur buck et la batterie. Chacune de ces composantes présente ses propres caractéristiques de fonctionnement et spécificités. Une étude approfondie de ces trois éléments est nécessaire pour garantir une mise en œuvre efficace.

A. Le panneau photovoltaïque :

Le panneau photovoltaïque qui sera sur la surface du boîtier permettra de convertir l'énergie solaire en énergie électrique, toute fois ces panneaux représentent une caractéristique assez contraignante pour la récupération de l'énergie de manière efficace, c'est-à-dire que selon une certaine tension ou courant de fonctionnement on n'aura pas la même puissance :

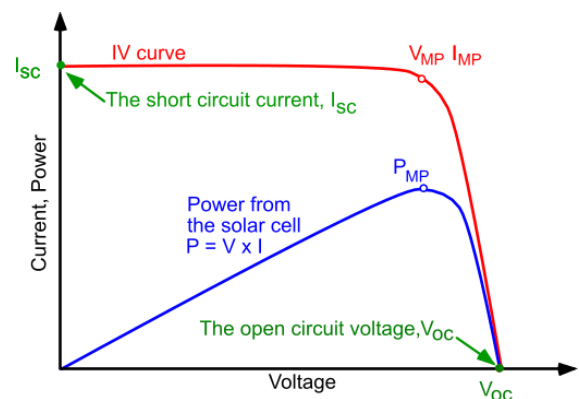


Figure 3 : Caractéristique d'un panneau photovoltaïque

Comme le montre la courbe, il existe un seul point optimal de fonctionnement du panneau photovoltaïque. Ce point peut être atteint lorsque notre panneau fonctionne à la tension V_{MP} (Voltage Maximum Power) et au courant I_{MP} (Current Maximum Power).

Et évidemment il existe d'autres facteurs qui influencent l'efficacité du panneau comme l'irradiance et la température.

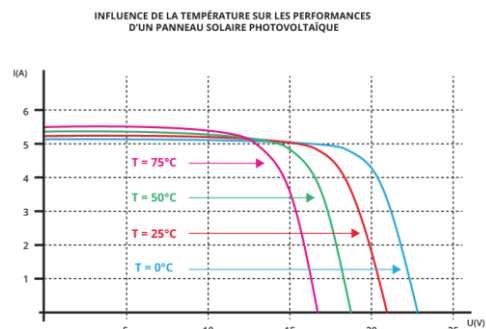


Figure 4 : Influence de la température sur les panneaux photovoltaïques

Étant donné que nous ne pouvons pas directement contrôler ces paramètres, nous devons nous concentrer sur la première caractéristique, celle que nous pouvons influencer, pour optimiser le rendement de notre système.

Pour atteindre ce point de fonctionnement appelé MPP (Maximum power point) il existe plusieurs algorithmes et techniques permettant de le faire, voici quelques-uns :

- 1- Perturb & observe
- 2- Incrémental Conductance
- 3- Neural network
- 4- Fuzzy logic control

Chaque méthode présente sa propre complexité en termes d'implémentation et de vitesse de calcul. Pour ce projet, nous avons opté pour l'algorithme P&O (Perturb & Observe) en raison de sa simplicité et de sa facilité de mise en œuvre.

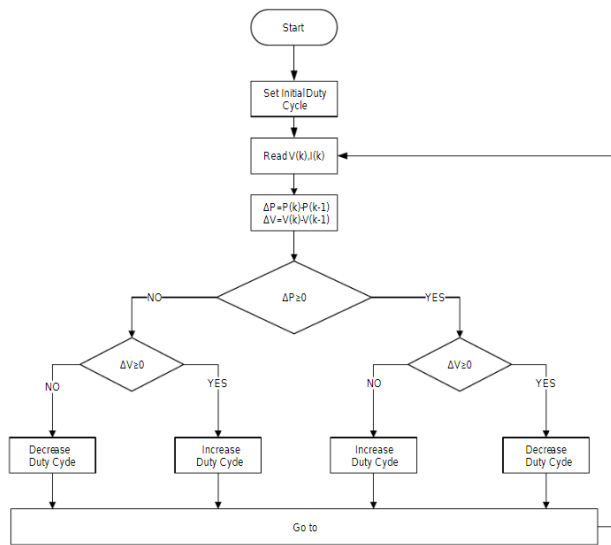


Figure 5 : P&O Algorithme

Cet algorithme consiste à mesurer la tension et le courant à chaque instant, puis à calculer la puissance. En comparant cette puissance avec la mesure précédente, l'algorithme détermine s'il doit augmenter ou réduire le rapport cyclique afin de se rapprocher autant que possible du Point de Puissance Maximale (MPP).

B. Convertisseur buck :

Hacheur série ou convertisseur buck, est un hacheur abaisseur de tension :

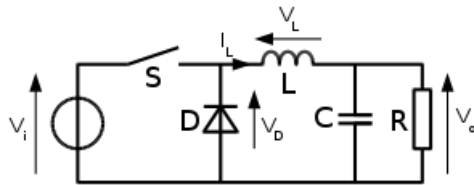


Figure 6 : Convertisseur buck

Le choix d'utiliser ce type d'hacheur est conditionné par le fait que la tension du panneau solaire soit supérieure à celle de la batterie. Dans le cas contraire, il sera nécessaire de prévoir l'utilisation d'un convertisseur boost, voir d'un

convertisseur buck-boost, pour adapter les tensions de manière adéquate.

Pour bien dimensionner ce convertisseur on doit calculer l'inductance et le condensateur :

$$L = \frac{V_{in}(1 - D)}{F_{découpage} \times \Delta I_L}$$

$$C = \frac{\Delta I_L}{8 \times F_{découpage} \times \Delta V_{out}}$$

C. Batterie :

Pour le stockage de l'énergie électrique nous allons utiliser une batterie de type lithium-ion :

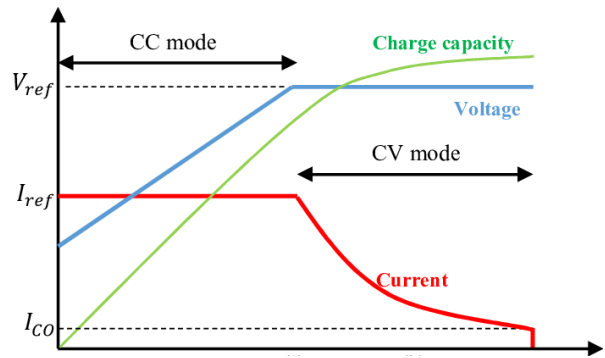


Figure 7: Modes de charge d'une batterie lithium-ion

La batterie comporte deux phases de charge : la première en mode courant constant et la seconde en mode tension constante, cette dernière intervenant vers la fin de la charge. Ces deux phases revêtent une grande importance pour assurer le bon chargement de la batterie et une conception optimale de notre système de charge.

III. SIMULATION :

Dans cette étape, nous allons simuler notre système sur SIMULINK, incluant un panneau photovoltaïque, un convertisseur buck et une batterie, afin d'analyser son comportement de charge. Cette simulation nous permettra de mettre en œuvre l'algorithme et de gérer les deux modes de charge, à savoir le mode CC (Courant Constant) et le mode CV (Tension Constante). Les résultats obtenus constitueront la base de notre conception de projet. Cette simulation nous fournira une vision concrète des performances du système, nous permettant d'identifier les ajustements éventuellement nécessaires pour optimiser son fonctionnement. Nous pourrons ainsi évaluer l'efficacité de l'algorithme et déterminer la meilleure façon de gérer les transitions entre les modes de charge CC et CV. Ces observations seront cruciales pour orienter la conception du projet.

Chargement d'une batterie lithium-ion CC/CV à partir d'un panneau solaire

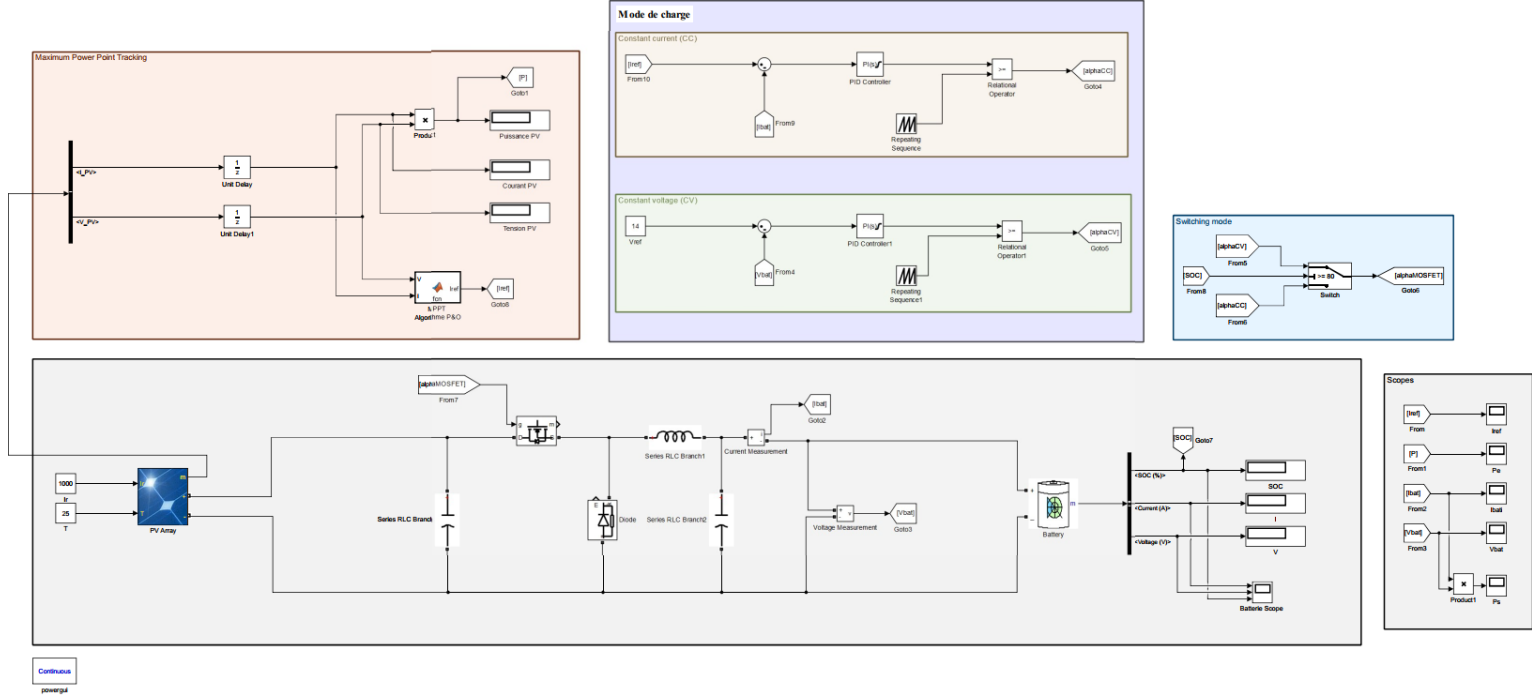


Figure 8 : Simulation de la chaîne de conversion et de stockage

A. L'algorithme P&O :

Comme indiqué précédemment, nous avons opté pour l'algorithme P&O, avec une adaptation pour répondre à nos exigences spécifiques. Contrairement à la version traditionnelle qui fournit en sortie un rapport cyclique optimal ou une tension de référence, nous avons modifié l'algorithme pour générer un courant de référence. Cette valeur de courant sera utilisée pour réguler le courant dans notre système :

```
function Iref = fcn(V,I)
Irefmax = 50;
Irefmin = 0;
Irefinit = 0.1;
DeltaIref = 0.002;
persistent Vold Pold Irefold;

datatype = 'double';

if isempty(Vold)
    Vold = 0;
    Pold = 0;
    Irefold = Irefinit;
end

P = V*I;
dV = V - Vold;
dP = P - Pold;
if dP ~= 0;
    if dP < 0;
        if dV < 0
            Iref = Irefold-DeltaIref;
        else
            Iref = Irefold+DeltaIref;
        end
    else
        if dV < 0
            Iref = Irefold+DeltaIref;
        else
            Iref = Irefold-DeltaIref;
        end
    end
end
else
    Iref = Irefold;
end

if Iref >= Irefmax || Iref <= Irefmin
    Iref = Irefold;
end

Irefold = Iref;
Vold = V;
Pold = P;
```

Figure 9 : Algorithme P&O sur SIMULINK

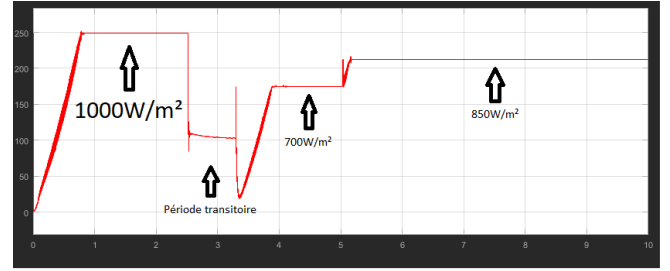


Figure 10 : Courbe de la puissance fourni par le panneau

Comme illustré dans la figure 10, nous avons testé l'algorithme sur un panneau de 250 W. À chaque changement d'irradiance, l'algorithme s'efforce d'atteindre le fonctionnement optimal du panneau, comme en témoigne la réponse observée. On peut comparer ce résultat à la courbe théorique donné par SIMULINK :

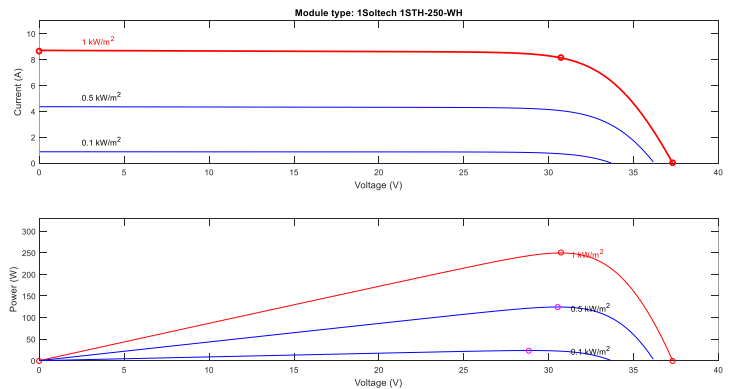


Figure 11 : Caractéristique du panneau simulé

B. Régulation CC/CV :

Pour assurer une charge optimale de la batterie lithium-ion, il est essentiel de respecter les deux modes de charge, à savoir le mode CC (Courant Constant) et le mode CV (Tension Constante). Pour cela, nous mettrons en place des boucles de régulation PI afin de contrôler le courant et la tension pendant le processus de charge.

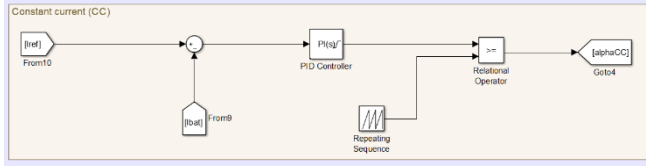


Figure 12 : Mode CC

Ici la régulation s'effectue en comparant le courant de référence généré par l'algorithme avec le courant qui est débité vers la batterie.

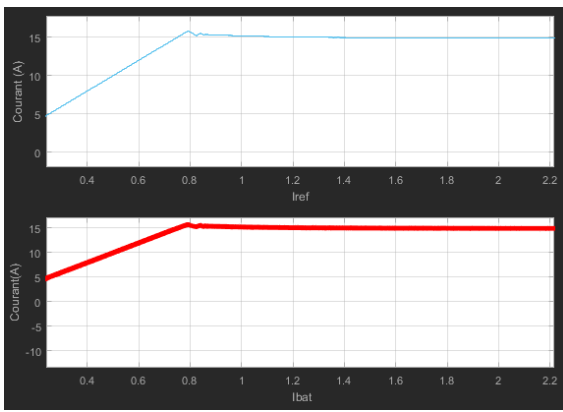


Figure 13 : Comparaison entre I_{ref} et I_{bat} en mode CC

On voit bien à partir des résultats que le courant de sortie est constant est régulé en fonction de I_{ref}

Pour ce qui est du mode CV, le principe reste le même, mais avec une régulation de tension. Dans ce cas, c'est nous qui imposons la tension de référence (V_{ref}) en fonction des caractéristiques spécifiques de la batterie.

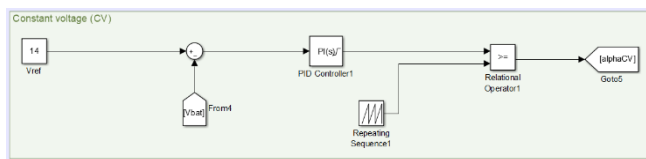


Figure 14 : Mode CV

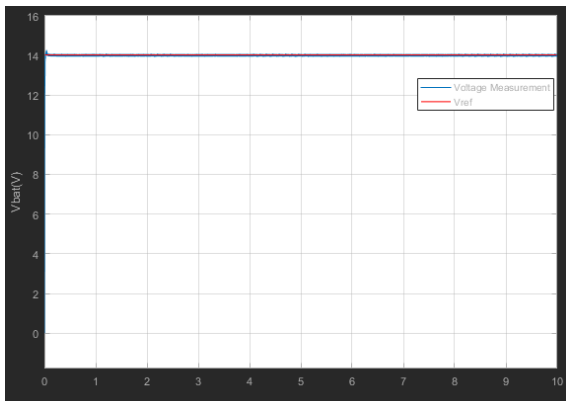


Figure 15 : Comparaison V_{bat} et V_{ref} en mode CV

Comme illustré dans la figure 15 notre régulation de tension en mode CV fonctionne parfaitement.

Ensuite, nous utilisons un commutateur pour passer d'un mode à l'autre en fonction du pourcentage de charge de la batterie. Dans notre cas, nous avons supposé qu'à 80 % de charge, la batterie atteindra sa tension nominale.

Cependant, il existe une autre méthode pour basculer entre les deux modes : en comparant directement la tension de la batterie à sa tension nominale. Dès que la tension de la batterie atteint cette valeur maximale, nous passons automatiquement en mode CV, mais pour des raisons de problèmes de simulations nous sommes restés sur la méthode la plus simple.

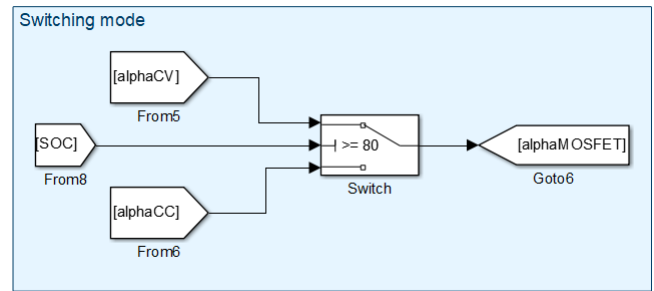


Figure 16 : Commutation entre les deux modes

C. Simulation de la charge de la batterie :

Pour cette dernière phase de simulation, nous avons modélisé notre système en chargeant la batterie deux fois : tout d'abord de 0% à 80% pour observer la phase CC (Courant Constant), puis de 80% à 100% pour observer la phase CV (Tension Constante) :

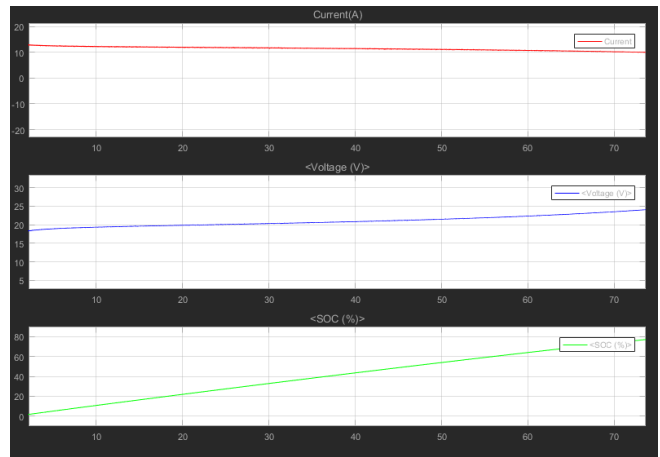


Figure 17 : Simulation de la charge de 0% à 80%

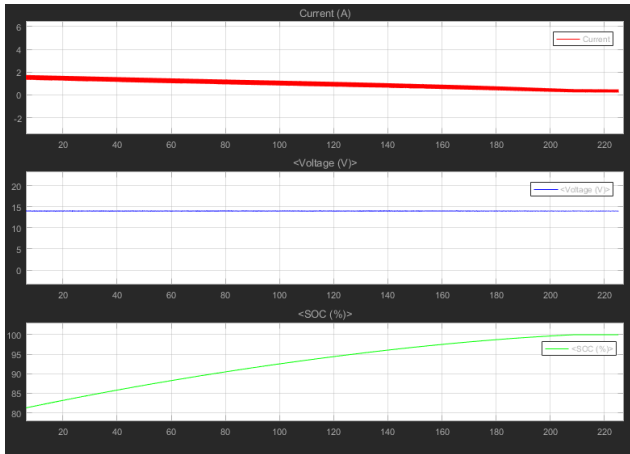


Figure 18 : Simulation de la charge de 80% à 100%
On retrouve bien les deux phases de charge CC et CV.

IV. CONCEPTION :

Dans cette partie nous allons réaliser un prototype de cette alimentation photovoltaïque portable :

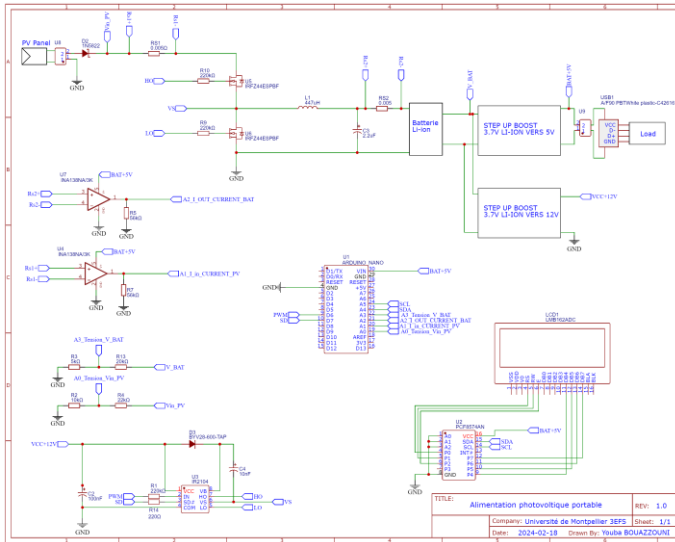


Figure 19 : Schéma électrique du prototype

Comme indiqué précédemment, l'algorithme P&O fonctionne en mesurant en continu la tension et le courant afin de calculer la puissance fournie par le panneau. Ainsi, de bons capteurs de tension et de courant sont nécessaires pour assurer la précision de ces mesures.

A. Capteur de tension :

Dans notre configuration, nous avons employé des ponts diviseurs de tension simples. Les valeurs des résistances R1 et R4 ont été calculées de manière à ce que la tension en sortie ne dépasse pas 5 volts, car les broches analogiques d'Arduino admettent une tension maximale de 5 volts.

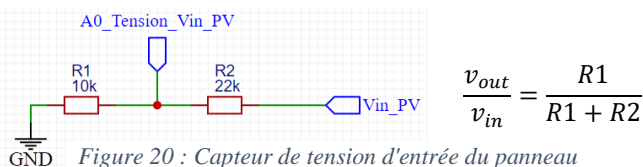


Figure 20 : Capteur de tension d'entrée du panneau

B. Capteur de courant :

Pour mesurer le courant, nous avons adopté la méthode de la résistance shunt, qui est à la fois plus fiable et économique que les capteurs à effet Hall. Nous avons utilisé le circuit intégré INA 138 pour amplifier la tension mesurée aux bornes de la résistance. Ce composant est pratique car il nécessite uniquement la connexion d'une seule résistance pour définir le gain.

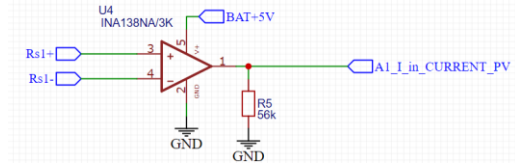


Figure 21 : Mesure de courant par résistance shunt

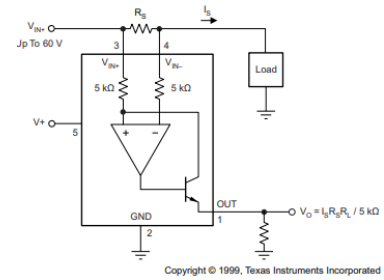


Figure 22 : Schéma électrique du INA 138
donné par le constructeur

C. MOSFET Driver :

Pour contrôler les deux MOSFET, nous avons employé le circuit intégré IR2104. Ce composant offre une facilité de commande et élimine le problème des MOSFET flottants, il nécessite cependant une alimentation de 10V à 20V.

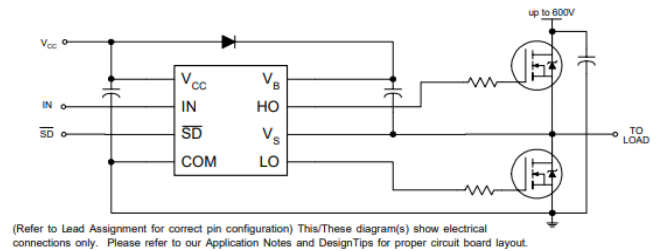


Figure 23 : Schéma électrique du IR2104 donné par le constructeur

D. Arduino nano :

Pour gérer toutes les commandes et données du système, l'utilisation d'un microcontrôleur était incontournable. Un Arduino Nano s'avère largement suffisant en termes de capacité et sa taille compacte offre un avantage appréciable.

Le code Arduino comprend plusieurs fonctions, totalisant plus de 300 lignes de code, que nous avons développées pour récupérer la tension, le courant et mettre en œuvre l'algorithme P&O. De plus, il affiche toutes les informations

nécessaires sur un écran LCD. En outre, le code génère un signal PWM à 62,5 kHz, initialement configuré à 600 Hz mais pouvant être modifié avec quelques lignes de code.

```
void loop()
{
  BAT_Voltage_Pourcentage = BatPourcentage(BatVoltagePin);
  voltage_solar = VoltMeter(voltagePin);
  current_solar = AmperMeter(Current_Sens);
  PWM = MPPT(voltage_solar,current_solar);
  set_PWM();
  LCD_Data();
  mosfet_pwm(PWM);
}
```

Figure 24 : Extrait de la fonction loop

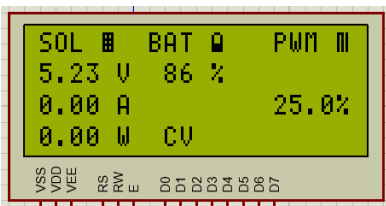


Figure 25 : Afficheur LCD du dispositif

Sur l’afficheur LCD 20x4 on peut voir les performances du panneau, le pourcentage de la batterie, le mode de charge et le rapport cyclique.

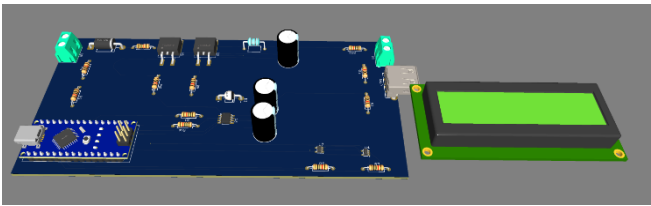


Figure 26 : Modèle 3D du PCB



Figure 27 : Réalisation du prototype du projet

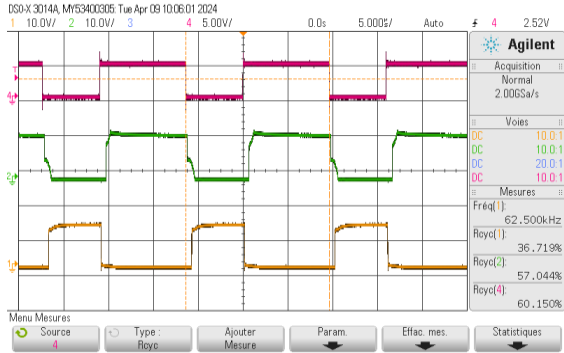


Figure 28 : Commande des deux MOSFETs

Sur la figure 23 on peut voir en rouge le signal PWM arrivant de l’Arduino à 62.5 kHz, en vert la commande du premier MOSFET et en jaune du deuxième (HO et LO).

V. CONCLUSION

En conclusion, ce projet d'alimentation photovoltaïque portable, représente une avancée significative dans la manière dont nous pouvons exploiter les ressources énergétiques renouvelables pour répondre à nos besoins quotidiens en électricité. En intégrant un petit panneau solaire, une batterie, un afficheur LCD et des composants électroniques sophistiqués tels qu'un buck convertter et un Arduino nano, ce dispositif offre une solution pratique et efficace pour charger une variété d'appareils électroniques courants tels que les téléphones, les lampes torches et les écouteurs sans fil...

L'objectif principal de ce projet était d'explorer les méthodes de récupération de l'énergie électrique à partir de sources solaires et de la stocker de manière optimale dans une batterie pour une utilisation ultérieure. Grâce à la mise en œuvre de technologies de pointe et à une conception réfléchie, ce système est capable de maximiser l'efficacité de charge tout en offrant une gestion intelligente de l'énergie, notamment en ajustant en temps réel le point de fonctionnement du panneau solaire pour une performance optimale.

En fin de compte, ce projet démontre le potentiel considérable des énergies renouvelables pour répondre à nos besoins énergétiques quotidiens de manière durable et respectueuse de l'environnement. En fournissant une solution pratique et portable, il offre aux utilisateurs la liberté de rester connectés et alimentés où qu'ils soient.

Bien que nous ayons réalisé des progrès significatifs, le projet est encore en phase de développement et présente des opportunités d'amélioration, en particulier en ce qui concerne notre approche de récupération de l'énergie électrique à partir de micro sources. Cette composante essentielle nécessite une attention particulière pour optimiser l'efficacité et la fiabilité du système dans son ensemble.

REFERENCES

- Rohit Kumar, Akhilendra Yadav, Anurag Choudhary, "Modeling/Simulation of MPPT Techniques for photovoltaic Systèmes Using Matlab functions,"
- Opengreenergy, "ARDUINO MPPT SOLAR CHARGE CONTROLLER (Version-3.0)".
- How2electronic, "Designing of MPPT Solar Charge Controller using Arduino".
- Asmlektor, "MPPT Solar Charger"