

Réalisation d'une Installation Photovoltaïque

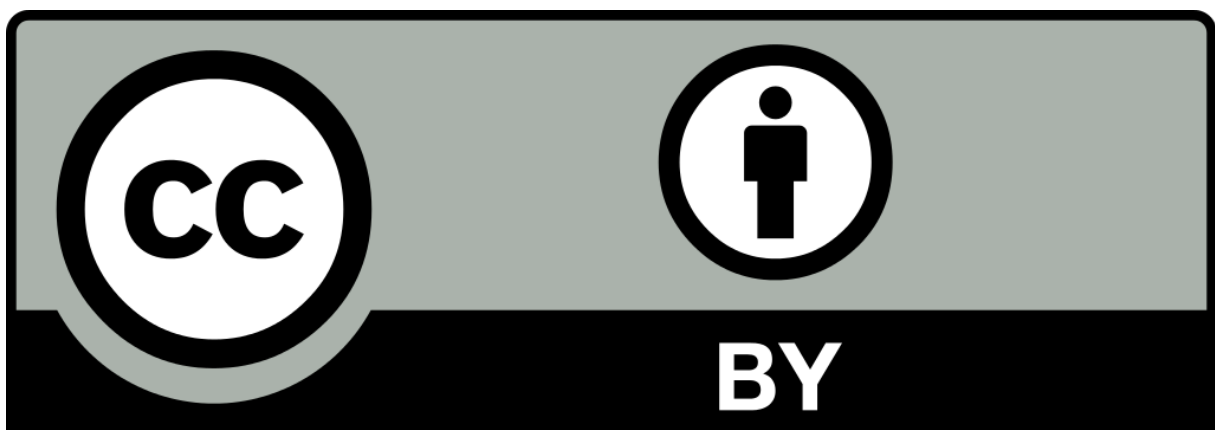


WOZNIAK Simon
FAURE Séverin
JURE Arthur
DESLANDES Ludivine

Enseignant :
LUCIDARME Philippe

Ce rapport présente le travail réalisé par un groupe d'étudiants dans le cadre d'un projet pédagogique. Les auteurs et l'Université d'Angers ne garantissent pas que l'information, les documents, la méthodologie et le matériel présentés dans ce document soient complets, conformes à l'état de l'art et exacts ni n'assurent en toutes circonstances la sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs. Les auteurs et l'Université d'Angers ne seront pas tenus responsables des dommages éventuels qui pourraient résulter de l'utilisation du contenu du présent rapport.

WOZNIAK Simon, FAURE Séverin, JURE Arthur et DESLANDES Ludivine, auteurs du présent rapport, publions et divulguons celui-ci sous la Licence Creative Commons suivante « CC BY » pour le monde entier et pendant la durée légale de protection des droits d'auteur. Cette licence autorise la représentation, la reproduction, la modification, la création d'oeuvres dérivées et l'utilisation y compris à des fins commerciales sous réserve de mentionner les noms et prénoms des auteurs.



Remerciements

Par la présente, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à chacune des personnes ayant contribué à la réussite de notre projet.

Tout d'abord, nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur Lucidarme pour son accompagnement constant tout au long du projet. Son investissement personnel de l'ébauche au résultat final a été d'une importance capitale. Ses connaissances approfondies, ses conseils éclairés et son soutien nous ont permis de progresser et d'atteindre nos objectifs.

Nous voulons aussi sincèrement remercier nos professeurs d'énergie Monsieur Perthué et Monsieur Cherbonnier qui ont généreusement partagé leur savoir et apporté leur aide précieuse aux côtés de Monsieur Lucidarme. Ils ont joué un rôle essentiel dans la bonne conduite du projet et dans l'apprentissage de nouvelles connaissances.

Nous tenons également à souligner le temps précieux qu'ils ont tous consacré à nous accompagner dans notre cheminement. Leur disponibilité, leur patience et leur engagement ont été remarquables. Grâce à cette contribution collective, nous avons pu élargir nos perspectives, acquérir de nouvelles compétences et mener à bien le projet.

De plus, nous sommes reconnaissants envers Madame Denecheau pour son implication, son temps et son aide pour la conception des cartes électroniques ayant servi au projet. Nous la remercions pour sa contribution qui a enrichi notre travail de manière significative.

Enfin, nous voulons les remercier une nouvelle fois, pour leur impact positif, leur dévouement et leur soutien qui ont été essentiels dans notre progression. Leur partage de connaissances et leur convivialité ont créé un environnement d'apprentissage stimulant et positif.

En conclusion, nous adressons nos remerciements les plus sincères pour l'accompagnement, l'investissement et le temps consacrés à notre réussite. Nous sommes tous profondément reconnaissants pour la confiance qu'ils ont eue en nos capacités.

Introduction

Dans un contexte de transition écologique, les énergies renouvelables apparaissent comme une alternative durable aux sources d'énergie traditionnelles que sont les énergies fossiles. En effet, ces énergies renouvelables prennent une place de plus en plus importante, en raison de leur capacité à répondre aux défis environnementaux et énergétiques actuels.

Un avantage indéniable des énergies renouvelables étant leur faible émission de carbone, celles-ci participent à la réduction des impacts néfastes sur le climat. En effet, contrairement aux énergies fossiles tels que le charbon, le pétrole ou encore le gaz naturel, qui émettent des gaz à effet de serre en très grande quantité, les énergies renouvelables en émettent très peu que ce soit lors de la production ou de l'utilisation.

De plus, les énergies renouvelables permettent d'élargir les sources d'énergie afin de ne pas dépendre uniquement des combustibles fossiles ou bien du nucléaire. Ainsi les énergies solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et la biomasse offrent une diversification des apports en énergies tout en s'inscrivant dans un avenir énergétique plus propre.

Parmi ces sources d'énergie durable, l'énergie solaire s'impose comme une des solutions les plus prometteuses. Tirant parti du rayonnement solaire converti en électricité par le biais de panneaux photovoltaïques, cette énergie se présente une solution pour répondre à une demande qui ne cesse de croître. En effet, ces panneaux sont constitués de cellules photovoltaïques, elles-mêmes composées de silicium dans la majeure partie des cas, captant les photons du soleil pour les transformer en électricité.

Un avantage indéniable des panneaux solaires est leur faible impact environnemental. De même, avec cette solution, il est possible d'envisager l'autoconsommation, c'est-à-dire consommer l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques.

En somme, de par sa capacité à exploiter une ressource renouvelable ainsi qu'à réduire les émissions de gaz à effet de serre, l'énergie solaire semble jouer un rôle essentiel dans la transition vers un avenir énergétique plus propre. C'est donc ce qui nous a motivés à travailler sur ce sujet, puisque nous avons voulu réaliser une installation photovoltaïque permettant la recharge d'appareils électriques.

Sommaire

1.	Réaliser une installation photovoltaïque permettant la charge d'une batterie	6
2.	Produire de l'électricité à partir d'un panneau photovoltaïque	7
2.1.	Réalisation d'un support pour le panneau photovoltaïque	7
2.2.	Qualification du panneau photovoltaïque.....	7
2.2.1.	Mesures sous lampes halogènes.....	8
2.2.2.	Mesures au soleil.....	3
3.	Stocker l'énergie produite	5
3.1.	Choix du stockage de l'énergie	5
3.2.	Calcul de la capacité des supercondensateurs	6
4.	Optimiser la charge par régulation	7
4.1.	Réalisation d'un circuit BOOST éleveur de tension	7
4.1.1.	Élévation de tension Boost.....	7
4.1.2.	Amplification du signal PWM	10
4.2.	Réalisation d'un programme MPPT	13
4.2.1.	Configuration du CAN.....	13
4.2.2.	Programmation MPPT	17
5.	Routage du projet	22
5.1.	Réalisation de deux cartes électroniques Eagle	22
5.1.1.	Partie Commande.....	22
5.1.2.	Partie Puissance.....	25
5.2.	Câblage de l'installation.....	27
6.	Perspectives d'évolution futures.....	28

1. Réaliser une installation photovoltaïque permettant la charge d'une batterie

Le cœur de notre projet est la réalisation d'une installation photovoltaïque permettant la recharge d'un ou plusieurs appareils électriques.

A l'origine, nous souhaitions pouvoir charger une batterie de vélo électrique d'un côté, et d'un autre une batterie de téléphone portable. Mais avant de pouvoir considérer cela, il faut tout d'abord créer un système de régulation afin de pouvoir récupérer l'énergie électrique nécessaire en sortie du panneau solaire.

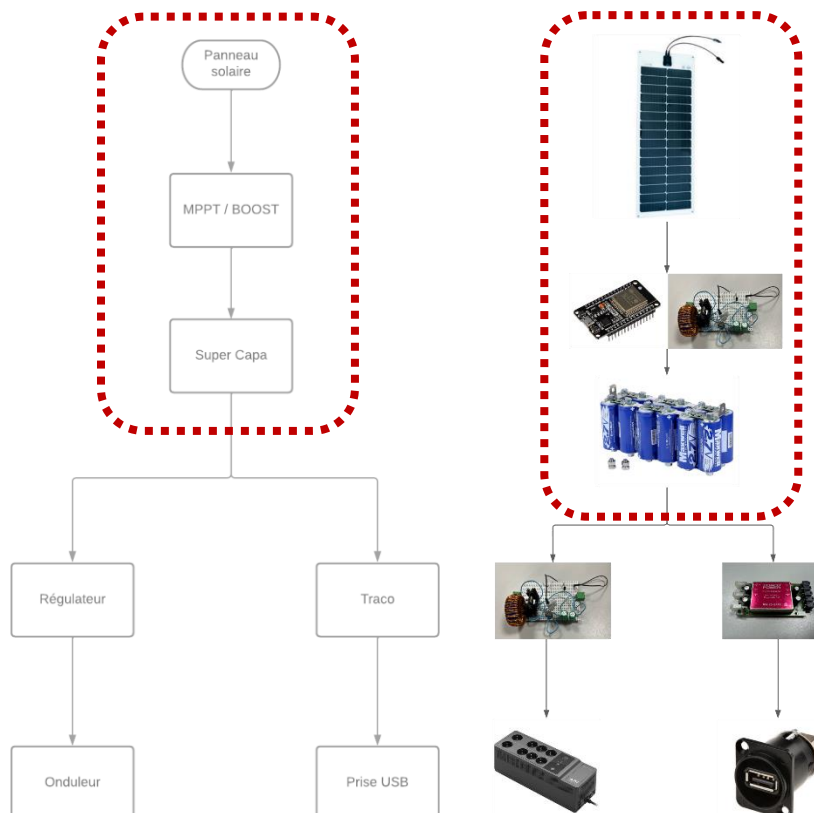
Nous avons donc consacré nos efforts, dans un premier temps, sur la qualification du panneau solaire à notre disposition afin d'estimer la puissance fournie par le panneau.

Puis, l'objectif étant la recharge de plusieurs équipements, nous avons fait le choix d'élever la tension de sortie du panneau par l'intermédiaire d'un circuit élévateur de tension Boost.

De plus, pour pouvoir récupérer le plus d'énergie possible et ainsi limiter les pertes, nous avons créé une régulation MPPT permettant de récupérer le point de puissance maximale du panneau.

Finalement, nous avons choisi une solution permettant de stocker l'énergie produite avant de pouvoir envisager une quelconque recharge d'un élément électrique.

Ainsi, n'ayant pas pu aller au-delà de ces différents points, les perspectives d'évolution du projet sont assez larges.



2. Produire de l'électricité à partir d'un panneau photovoltaïque

2.1. Réalisation d'un support pour le panneau photovoltaïque

Avant de pouvoir qualifier le panneau, il était nécessaire de créer un support permettant son bon maintien. Nous avons donc opté pour la création d'un support en profilé aluminium, dont le principal avantage étant sa flexibilité.

Le support que nous avons créé nous permet de pouvoir jouer sur l'inclinaison du panneau afin de pouvoir effectuer des mesures dans des conditions optimales.

Nous avons, de même, créé un support pour les lampes halogènes afin que l'éclairage soit idéal.



2.2. Qualification du panneau photovoltaïque

Pour ce projet, nous disposons d'un panneau photovoltaïque dont les caractéristiques du fabricant sont : une puissance de 50W pour une tension max de 21,9V.



Technical details - ASE50-b

<i>Panel size (mm)</i>	880x380x2.5
<i>N° 1/4 cells (size:158.75x36.69)</i>	36
<i>eff. cells</i>	23,40%
<i>P_{max}</i>	53,10 W
<i>P_{min}</i>	51,25 W
<i>V_{mp}</i>	21,90 V
<i>I_{mp}</i>	2,42 A
<i>V_{oc}</i>	25,30 V
<i>I_{cc}</i>	2,55 A
<i>Backsheet</i>	<input type="checkbox"/> BLACK <input checked="" type="checkbox"/> WHITE
<i>Frontsheet</i>	F-ETFE2
	S <input checked="" type="checkbox"/> G <input type="checkbox"/>

En premier lieu, nous avons effectué des mesures afin de pouvoir définir des courbes caractéristiques que sont Puissance/Intensité en fonction de la tension. Seulement, ces mesures ont d'abord été effectuées sous des lampes halogènes en raison du manque de soleil. Finalement, après quelques jours d'attente, nous avons pu effectuer de nouveau les mesures en conditions réelles sous le soleil.

Matériels utilisés :

- Panneau Solaire
- Voltmètre
- Ampèremètre
- Resistance Variable (0 ohm à 165Ω)
- Régulateur de tension
- 4 Lampes halogènes

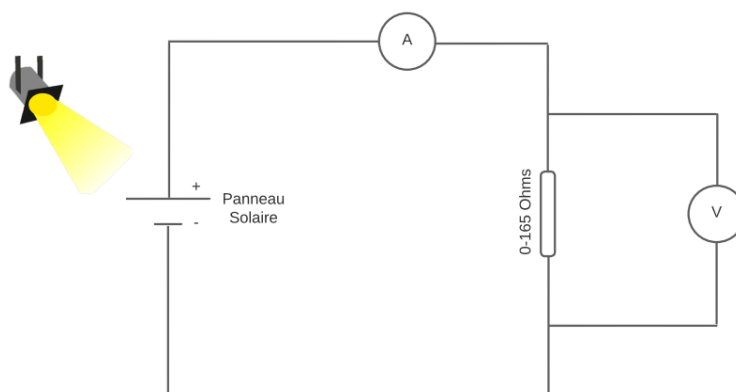
2.2.1. Mesures sous lampes halogènes

Afin d'effectuer les mesures, nous avons placé les 4 halogènes face au panneau solaire. Nous souhaitons avoir une irradiation de 1000 W/m² sur le panneau.

Pour cela, deux options s'offraient à nous, soit déplacer le support des halogènes plus ou moins proche du panneau, soit prendre un régulateur de tension. Nous avons donc opté pour un régulateur de tension, solution qui se révélait plus simple à mettre en place pour des mesures plus précises.

Ensuite pour notre montage, nous avons pris une résistance variable afin de faire varier la tension de sortie.

Schéma électrique :



Pour pouvoir tracer nos courbes caractéristiques, nous devons connaître la tension et l'intensité en sortie de panneau. Pour cela, nous avons pris un ampèremètre que nous avons branché en série à notre charge et nous avons mis un voltmètre en parallèle de celle-ci. Ainsi, nous avons fait varier notre résistance de 10Ω en 10Ω ohms jusqu'à 150Ω.

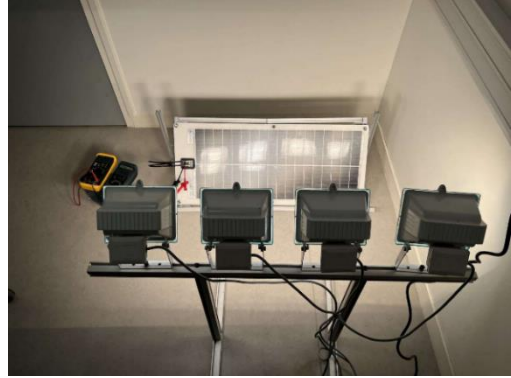
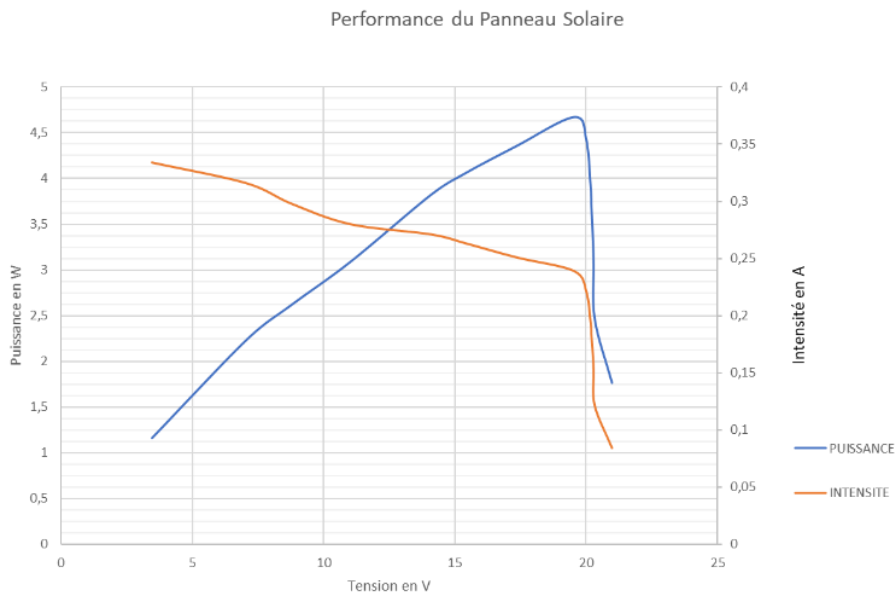


Tableau de mesures sous les lampes halogènes :

Tension (V)	Intensité (A)	Charge (Ω)	Puissance (W)
3,47	0,334	10	1,15898
7,05	0,316	20	2,2278
8,78	0,298	30	2,61644
11,03	0,28	40	3,0884
14,12	0,271	50	3,82652
15,46	0,263	60	4,06598
17,35	0,251	70	4,35485
19,55	0,239	80	4,67245
20,02	0,221	90	4,42442
20,19	0,192	100	3,87648
20,21	0,184	110	3,71864
20,25	0,172	120	3,483
20,3	0,151	130	3,0653
20,34	0,121	140	2,46114
21	0,084	150	1,764

Courbes de mesures sous les lampes halogènes :



2.2.2. Mesures au soleil

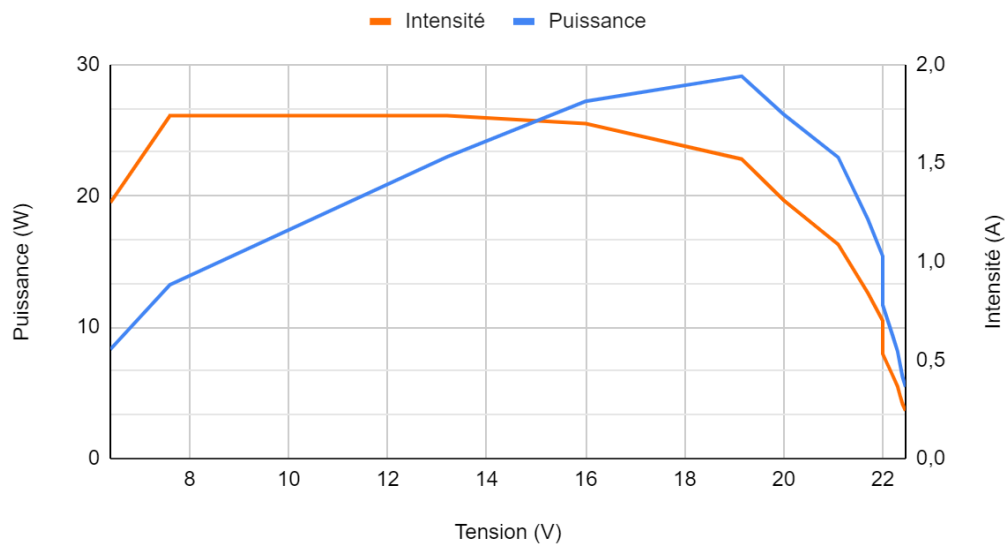
Pour effectuer nos mesures au soleil, nous avons procédé de la même manière que pour les mesures faites sous lampes halogènes, en positionnant notre panneau face au soleil.

Tableau de mesures sous le soleil :

Tension (V)	Intensité (A)	Charge (Ω)	Puissance (W)
6,4	1,3	5	8,32
7,6	1,74	6	13,224
13,2	1,74	7,5	22,968
16	1,7	9,8	27,2
19,15	1,52	12,2	29,108
20	1,31	15	26,2
21,1	1,087	20	22,9357
21,7	0,84	25	18,228
22	0,7	30	15,4
22	0,531	40	11,682
22,2	0,422	50	9,3684
22,3	0,366	60	8,1618
22,35	0,32	70	7,152
22,4	0,277	80	6,2048
22,46	0,243	90	5,45778

Courbes de mesures sous le soleil :

Intensité et Puissance en fonction de la tension

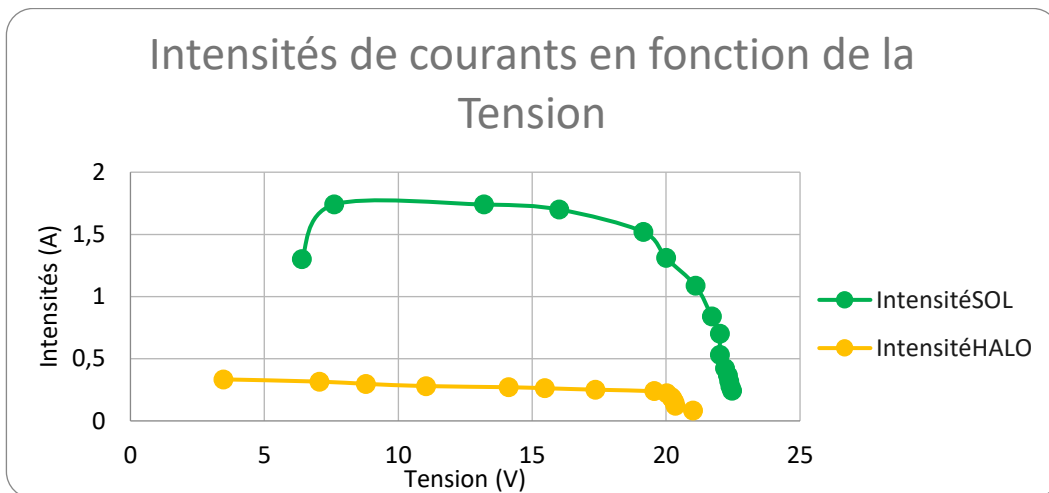
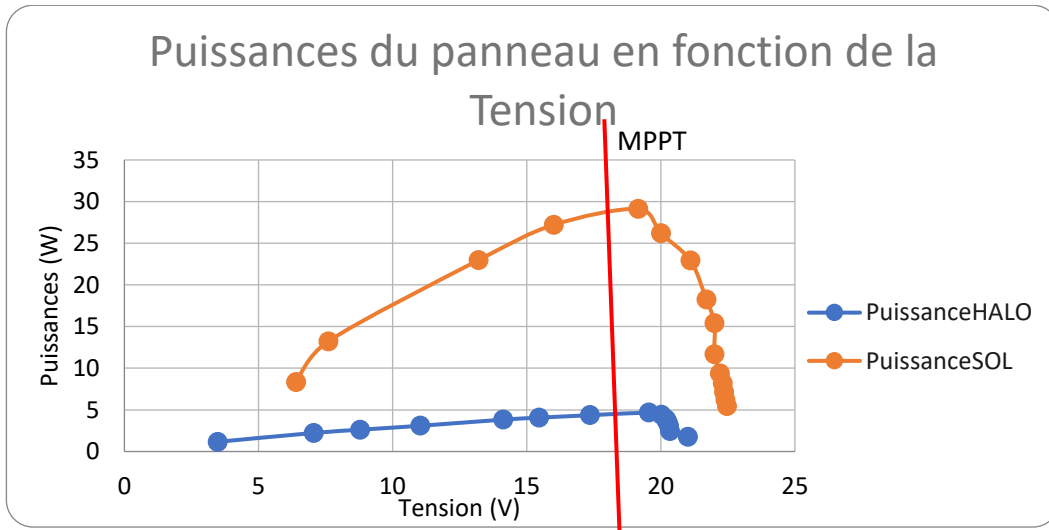


Nous pouvons constater, grâce aux mesures effectuées sous le soleil, que nous avons une courbe où la puissance se révèle être nettement supérieure à celle effectuée sous les lampes halogènes.

Ainsi, lorsque l'on réalise une courbe comprenant les deux mesures effectuées, il est possible de déterminer approximativement le MPPT (Maximal Power Point Tracking) afin de maximiser au mieux les performances du panneau.

En prenant donc les deux points maximaux des deux courbes, nous pouvons alors faire une estimation de ce point (par une droite) que nous pourrions utiliser par la suite lors de la programmation Arduino.

Courbes générales :



Ces courbes nous permettent donc de qualifier le panneau solaire dont nous disposons. Nous constatons néanmoins que la puissance mesurée (4,6W) lorsque le panneau est sous halogènes n'est pas celle que le panneau est capable de produire (50W). Ce résultat peut s'expliquer par le rendement des lampes halogènes qui est très faible (environ 90 % de chaleur et 10 % de lumière).

Finalement, ces courbes vont nous permettre de pouvoir au mieux maximiser le rendement du panneau lorsque ce dernier sera implanté sur le système afin de charger le pack batterie. Malgré tout, on peut souligner qu'à partir un seuil de tension on observe une chute de tension assez conséquente qui peut s'avérer délicate à prendre en compte lors de la programmation sur Arduino.

3. Stocker l'énergie produite

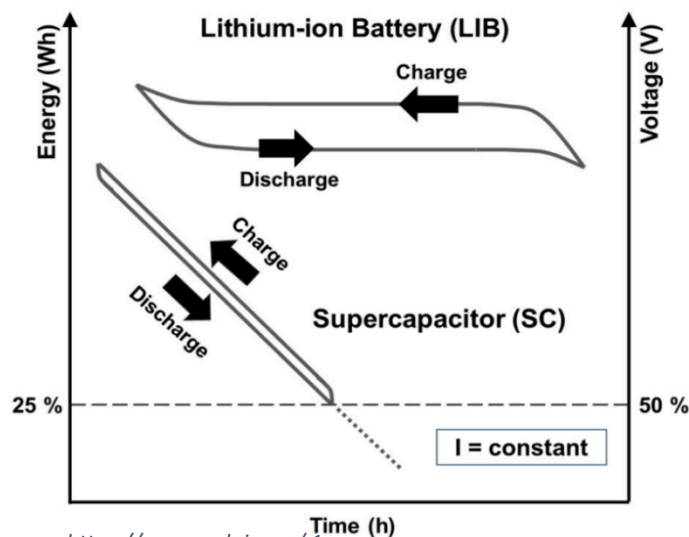
3.1. Choix du stockage de l'énergie

Après l'optimisation de la puissance grâce au MPPT, nous devons stocker l'énergie produite. Pour cela, deux options s'offraient à nous, une batterie lithium ou un supercondensateur.

D'un côté, la batterie possède une autonomie plus importante avec une décharge à tension presque constante. De l'autre, le supercondensateur a une décharge assez rapide. En effet, nous pouvons constater cette différence sur les courbes ci-dessous.

De plus, le stockage d'une batterie lithium par densité d'énergie est 20 fois supérieur à un supercondensateur. Néanmoins, le supercondensateur a une durée de vie plus importante et sa charge s'effectue nettement plus rapidement que pour la batterie.

Enfin, chose non négligeable, le supercondensateur a une très bonne résistance aux écarts de température face à la batterie. C'est ainsi que notre choix s'est porté sur le supercondensateur.



Source : <https://www.mdpi.com/>1

3.2. Calcul de la capacité des supercondensateurs

Nous disposons d'un supercondensateur dont les caractéristiques sont les suivantes :

- 12 condensateurs en série de 3000F chacun pour 2,7V.
- Une capacité totale de $\frac{3000}{12} = 250\text{F}$ et une tension max de $12 \times 2,7 = 32,4\text{V}$.
- Une résistance de -40°C à 70°C .



Afin de définir l'énergie dont nous disposerons, nous avons calculé l'énergie stockée par ce supercondensateur :

On sait que $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ Sec}$.

Donc $1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \times 1\text{h} (=3600 \text{ Sec})$.

$$E (\text{J}) = \frac{1}{2} \times C \times U^2$$

$$E (\text{Wh}) = \frac{1}{2 \times 3600} \times C \times U^2$$

$$E (\text{Wh}) = \frac{1}{2 \times 3600} \times \frac{3000}{12} \times (2,7 \times 12)^2 = 36,45 \text{ Wh}$$

Nous observons donc que l'énergie pouvant être stockée par le supercondensateur serait insuffisante pour charger une batterie de vélo. En effet, nous disposons seulement d'une énergie de 36Wh face aux 504Wh nécessaires à la charge de la batterie du vélo électrique.

Afin d'avoir suffisamment d'énergie, il faudrait donc mettre en parallèle 14 supercondensateurs de cette capacité. Malgré tout, ce supercondensateur reste un choix adapté à la charge d'une batterie de téléphone (14Wh).

4. Optimiser la charge par régulation

4.1. Réalisation d'un circuit BOOST élévateur de tension

Un convertisseur Boost est utilisé pour augmenter la tension d'une source génératrice continue. Ce circuit fonctionne en stockant de l'énergie dans une inductance lorsque le Mosfet est fermé, puis en libérant cette énergie à travers un condensateur lorsque le Mosfet est ouvert. Cela permet d'obtenir une tension de sortie supérieure à la tension d'entrée.

4.1.1. Elévation de tension Boost

L'élévateur de tension Boost fonctionne en deux phases principales selon un rapport cyclique défini par le MPPT.

Dans la première phase, une bobine inductive est utilisée pour stocker de l'énergie électrique provenant du panneau solaire. Lorsque le Mosfet est fermé, l'inductance stocke de l'énergie dans son champ magnétique.

Dans la deuxième phase, le Mosfet est ouvert. L'énergie stockée dans l'inductance durant cette période est libérée. L'inductance étant conçue pour s'opposer aux variations rapides du courant, elle génère une augmentation significative de la tension de sortie. Ainsi, la tension de sortie est supérieure à la tension d'entrée initiale.

Afin de calculer les différents composants du système, nous avons défini une valeur d'inductance à 200 μ H. De même, on souhaite une tension de sortie ne dépassant pas les 32,4V supportés par le supercondensateur. Par mesure de précaution, nous avons fixé une tension de sortie à 24V pour une tension d'entrée équivalente à 20V.

On sait que pour un convertisseur Boost, le rapport cyclique $\alpha = 1 - \frac{V_e}{V_s}$.
 Pour $V_e = 20V$ et $V_s = 24V$, on en déduit que $\alpha = 0,1667$.

On définit une fréquence de découpage aux alentours des 10 000 Hz pour une période d'environ 90 μ s. De 0 à αT , on obtient une période de $0,166 \cdot 80\mu \approx 15\mu$ s et de αT à T , on retrouve une période d'environ 76 μ s.

Ainsi on peut calculer l'ondulation de courant de l'inductance :

$$\text{De } 0 \text{ à } \alpha T : V_e = V_L = L * \frac{\Delta I_L}{\Delta t} \leftrightarrow 20 = 200\mu * \frac{\Delta I_L}{14,9\mu} \leftrightarrow \Delta I_L = \frac{20 * 14,9\mu}{200\mu} = 1,49A$$

$$\text{De } \alpha T \text{ à } T : V_e = V_L + V_s \leftrightarrow V_e - V_s = L * \frac{\Delta I_L}{\Delta t} \leftrightarrow 20 - 24 = 200\mu * \frac{\Delta I_L}{75,9\mu} \leftrightarrow$$

$$\Delta I_L = \frac{(20-24) * 75,9\mu}{200\mu} = -1,52A \text{ soit une ondulation } 1,52A.$$

Pour ce qui est du condensateur, lorsque le Mosfet est bloqué (circuit ouvert), le courant de sortie est égal au courant traversant le condensateur.

$$I_s = \frac{P_s}{V_s} \text{ avec } P_s \text{ correspondant à la puissance du supercondensateur pour 24V.}$$

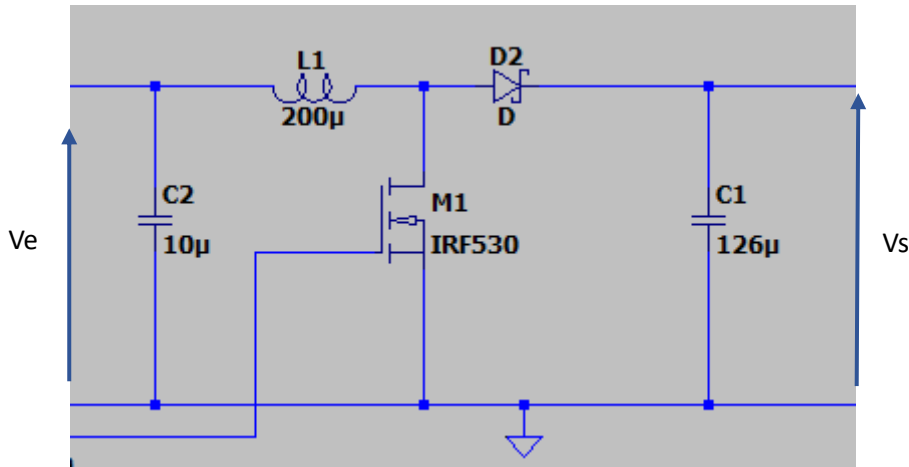
$$P_s = \frac{1}{2 \cdot 3600} * C * U^2 = \frac{1}{7200} * \frac{3000}{12} * 24^2 = 20Wh \leftrightarrow I_s = \frac{20}{24} = 0,83A$$

$$C = \frac{I_s * \rho T}{\Delta V_s} \text{ si on tolère une ondulation de } V_s \text{ de } 100mV, \text{ on obtient } C = \frac{0,83 * 0,166 * 90\mu}{0,1} = 120\mu F.$$

Finalement, on peut estimer la résistance de la charge afin d'effectuer la simulation équivalente à $R = \frac{V_s^2}{P_s} = \frac{24^2}{20} = 28,8\Omega$.

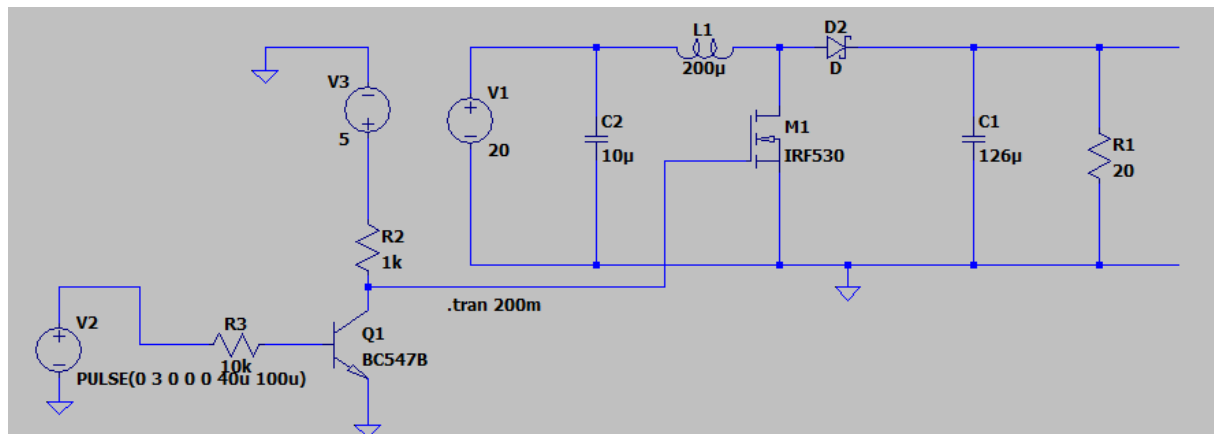
Simulation LtSpice :

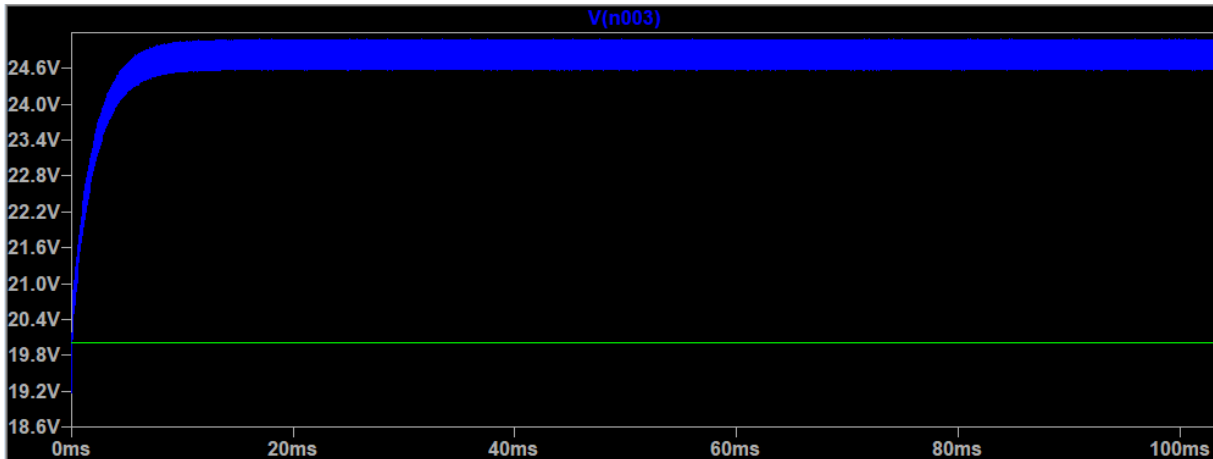
Ne disposant pas du Mosfet IRF540 sur le logiciel LtSpice, nous avons dû adapter la valeur du condensateur afin de se rapprocher du résultat escompté au plus possible, d'où l'apparition du 126 μ F que nous n'avons pas conservé par la suite.



Le condensateur C2 permet de lisser la tension du panneau photovoltaïque.

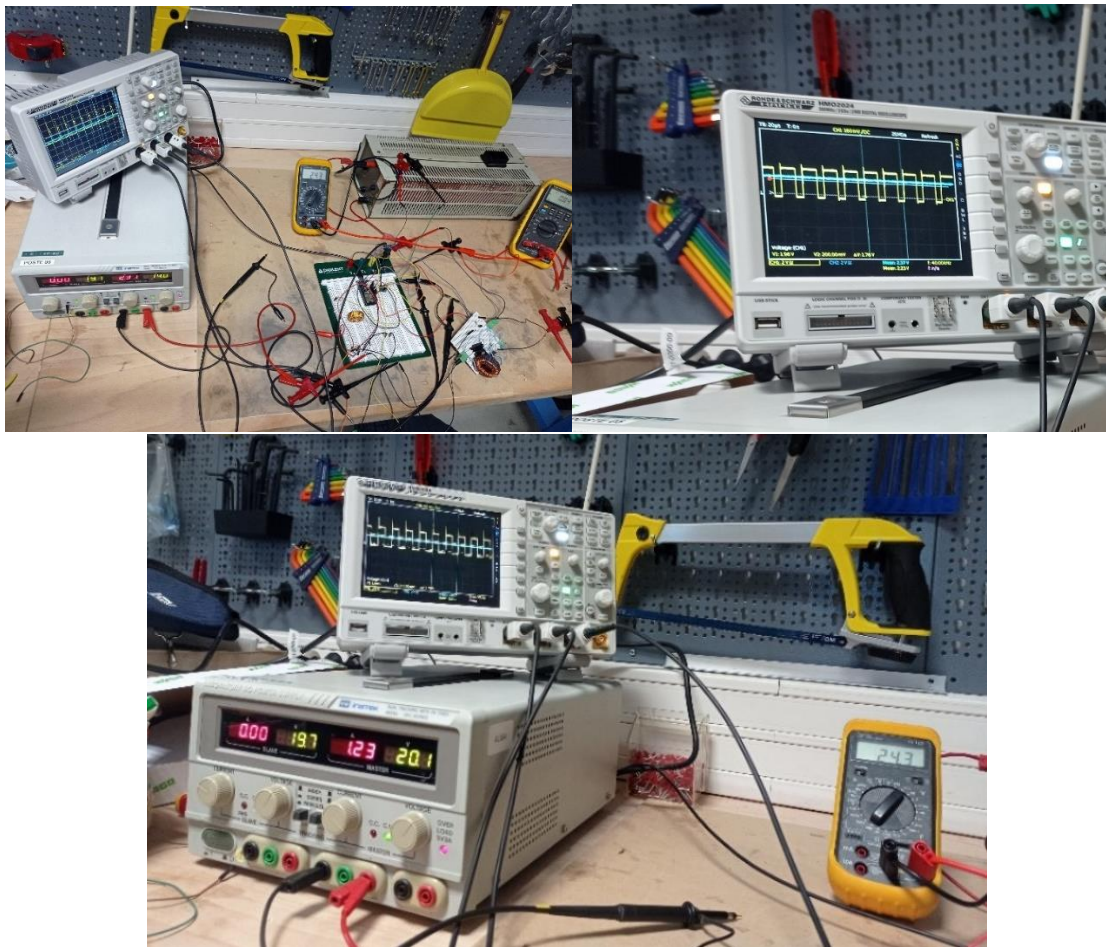
De plus, lors de la simulation, nous avons aussi ajouté la partie amplification du signal PWM, expliqué dans la partie 4.1.2.





Nous observons donc pour une tension d'entrée de 20V, une tension de sortie de 24V traduisant le bon fonctionnement de la structure.

Pour pouvoir effectuer nos tests en conditions réelles, nous avons pu emprunter une carte BOOST provenant d'un élève en formation initiale auquel nous avons ajouté la partie amplificateur. Nous avons ainsi pu attester du bon fonctionnement de ce convertisseur Boost et ainsi engager la conception de nos propres PCB en modifiant les valeurs de certains composants afin d'obtenir la tension de sortie souhaitée.



4.1.2. Amplification du signal PWM

Notre convertisseur Boost fonctionne donc avec un Mosfet commandé par un PWM programmé sur Arduino. Le Mosfet IRF540 se déclenche avec une tension de 5V, seulement notre PWM varie entre 0 et 3,3V. Par conséquent, il faut amplifier ce signal PWM à 5V. Nous passons donc par un amplificateur.

Matériels/Composants :

- Résistance
- Transistor
- Voltmètre
- ESP32

Schéma complet (Boost et amplificateur) :

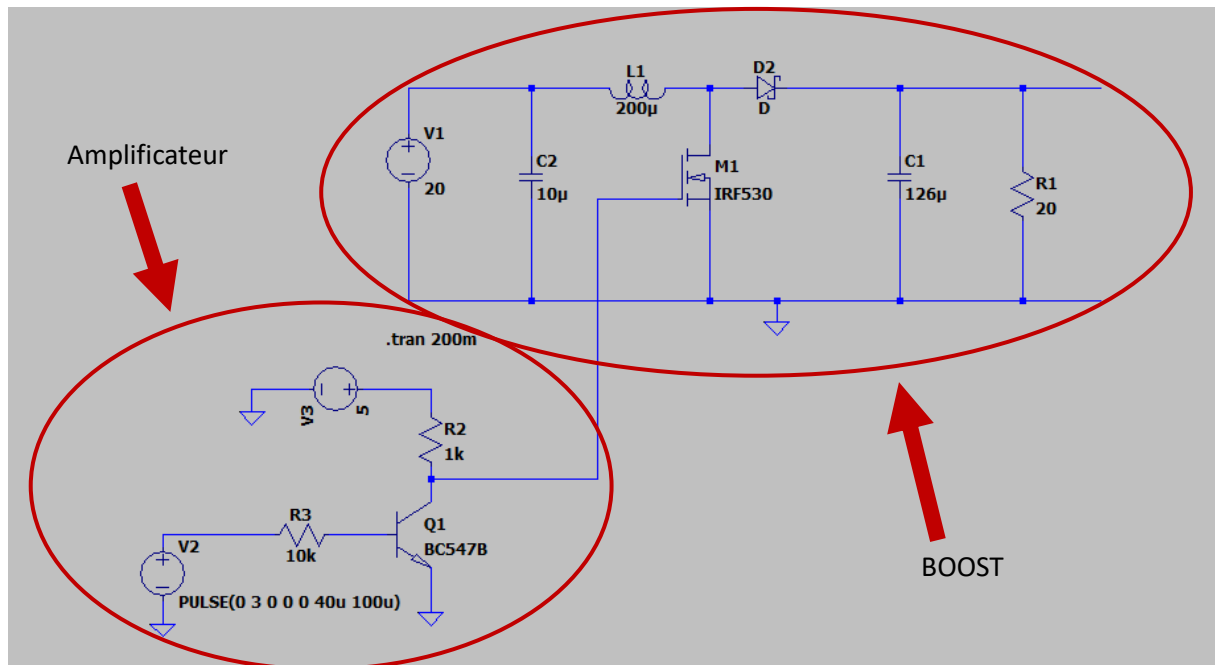
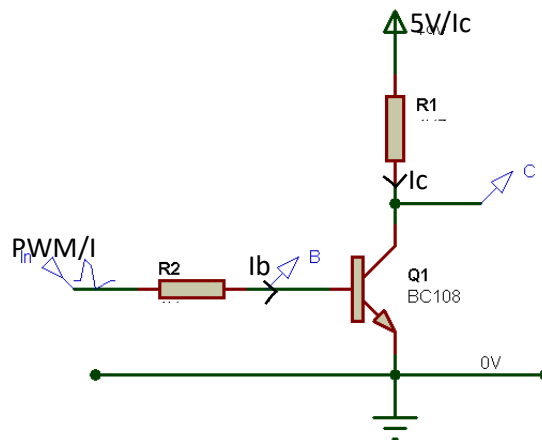


Schéma amplificateur :



Calcul des composants :

Pour que le transistor soit saturé (se comporte comme un fil) : $i_c/\beta \ll i_b$
 De par sa disponibilité, nous avons choisi le transistor BC547 de classe B qui est idéal pour ce type de circuit électronique d'amplification, on sait que $\beta = 200$

$$I_c = U/R = 5/1\ 000 = 5\text{mA}$$

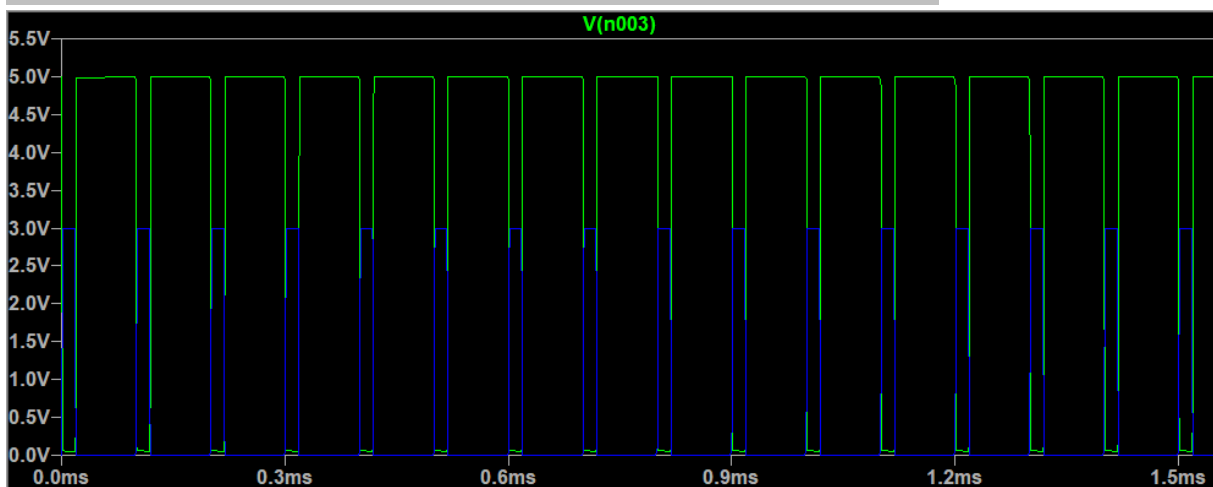
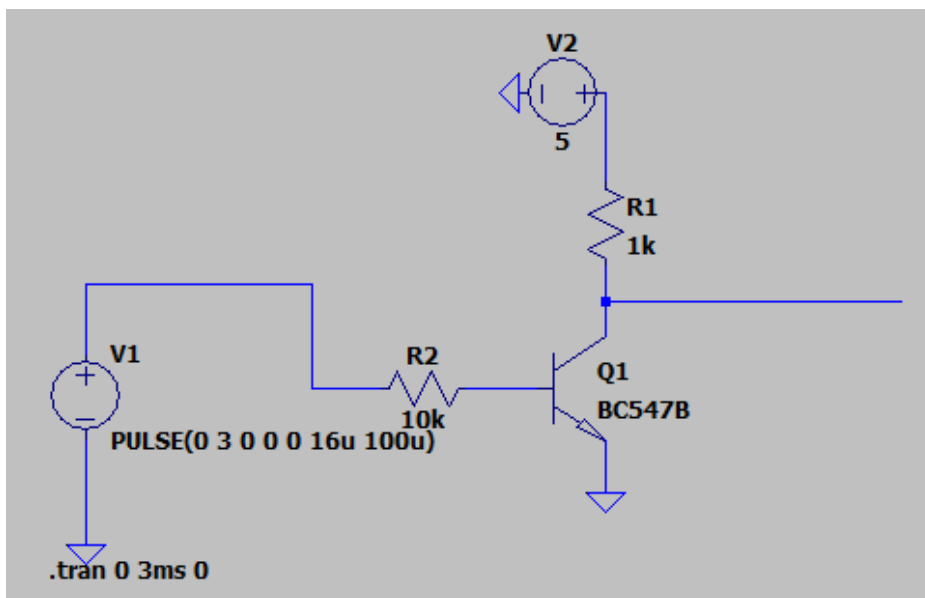
$$I_b = 3,3/10\ 000 = 330\ \mu\text{A}$$

$$I_c/\beta < I_b = 5\text{m}/200 < 330\ \mu\text{A} = 25\ \mu < 330\ \mu$$

Notre transistor est donc saturé lorsque le PWM est à 3,3V et bloqué pour un PWM à 0V.

Cependant, notre signal amplifié est inversé au PWM, ce qui signifie qu'à 3.3V, le signal de sortie est de 0V (saturé, interrupteur fermé). Ainsi lorsque le signal PWM est de 0V, le signal de sortie sort du 5V (interrupteur ouvert).

Simulation LtSpice :

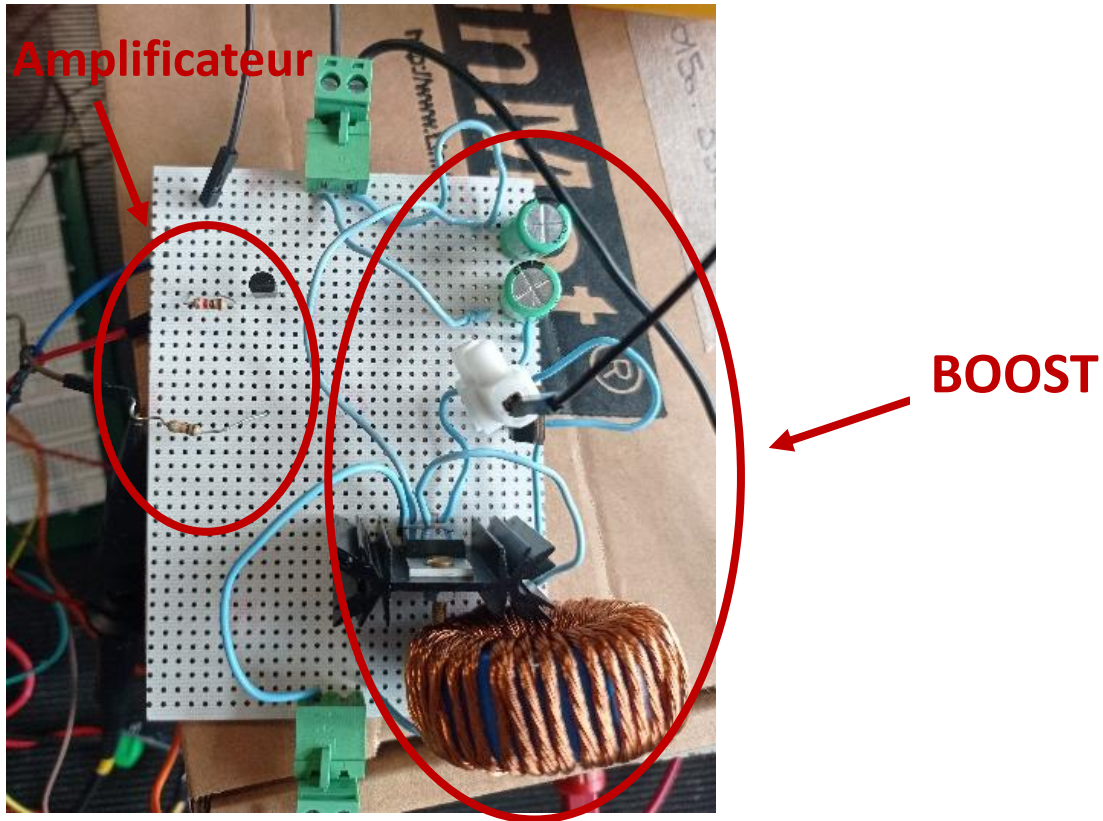


Signal bleu = signal PWM

Signal vert = signal de sortie

Nous observons ainsi un signal d'entrée à 3,3V et un signal de sortie à 5V.

Procédure de test :

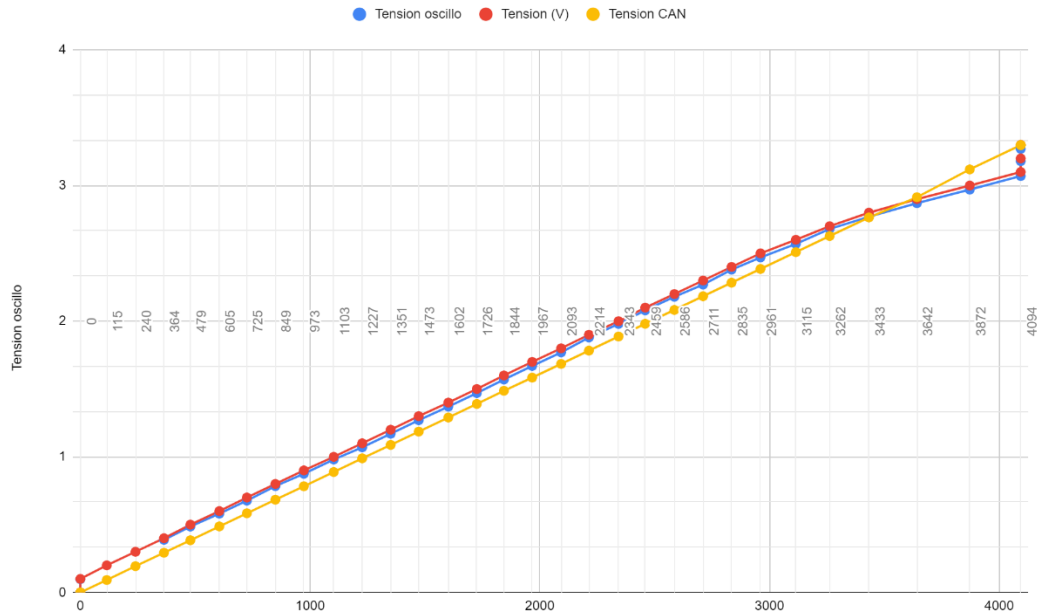


Nous avons ajouté les différents éléments du circuit amplificateur, puis nous avons observé le signal d'entrée et de sortie grâce à l'oscilloscope. Le signal de sortie mesuré est bien de 5V. On peut donc déduire que l'amplificateur de commande du Mosfet fonctionne correctement.

Ainsi, cet amplificateur permet de piloter le Mosfet du convertisseur Boost par le biais du microcontrôleur ESP32. Seulement, la commande du Mosfet est inversée de la commande envoyée en sortie de microcontrôleur. Pour cela, il suffira de générer un PWM de rapport cyclique $1 - \alpha$ afin d'inverser le signal.

Test de mesures de tension CAN du signal PWM :

Tension oscillo	Tension (V)	Tension CAN	Valeur numérique	Erreur [V]
0	0	0	0	0
0,098	0,1	0	0	-0,1
0,193	0,2	0,092	115	-0,108
0,296	0,3	0,194	240	-0,106
0,388	0,4	0,293	364	-0,107
0,486	0,5	0,385	479	-0,115
0,581	0,6	0,487	605	-0,113
0,677	0,7	0,584	725	-0,116
0,784	0,8	0,684	849	-0,116
0,875	0,9	0,783	973	-0,117
0,98	1	0,888	1103	-0,112
1,07	1,1	0,989	1227	-0,111
1,17	1,2	1,088	1351	-0,112
1,27	1,3	1,186	1473	-0,114
1,37	1,4	1,29	1602	-0,11
1,47	1,5	1,39	1726	-0,11
1,57	1,6	1,487	1844	-0,113
1,67	1,7	1,584	1967	-0,116
1,77	1,8	1,685	2093	-0,115
1,88	1,9	1,783	2214	-0,117
1,98	2	1,887	2343	-0,113
2,08	2,1	1,981	2459	-0,119
2,18	2,2	2,083	2586	-0,117
2,27	2,3	2,184	2711	-0,116
2,38	2,4	2,284	2835	-0,116
2,47	2,5	2,385	2961	-0,115
2,57	2,6	2,509	3115	-0,091
2,68	2,7	2,628	3262	-0,072
2,77	2,8	2,765	3433	-0,035
2,87	2,9	2,914	3642	0,014
2,97	3	3,119	3872	0,119
3,07	3,1	3,298	4094	0,198
3,18	3,2	3,298	4094	0,098
3,27	3,3	3,298	4094	-0,002



Le graphique ci-dessous souligne les imprécisions du CAN vis-à-vis de la tension réelle.

Mesures de tension :

Afin de récupérer les mesures de tension, nous récupérons des valeurs analogiques sur deux broches du microcontrôleur ESP32. Cependant, l'ESP32 supporte une tension maximale de 3,3V, nous avons donc abaissé la tension en créant deux ponts diviseur de tension en amont des broches du microcontrôleur. Nous récupérons des valeurs qu'il faut ensuite diviser respectivement par le rapport du pont diviseur de tension.

Pour la mesure en entrée du convertisseur Boost, il faut diviser la valeur analogique par 1/11, quant à celle en sortie du convertisseur Boost, il faut diviser la valeur lue par 1/20. Cependant, ayant élevé la tension, nous avons ajouté en parallèle une diode Zener qui permet d'abaisser proportionnellement la tension lorsque celle-ci dépasse les 3,3V.

De plus, le CAN étant imprécis, nous avons légèrement fait évoluer ce rapport numérique afin qu'il corresponde au mieux aux valeurs réelles.

```

//Fonction mesure de la tension en sortie du panneau photovoltaïque
float pvVoltage() {
  //calcul de la valeur moyenne (sur 1000 valeurs) de la tension
  int sum = 0;
  for (int i = 0; i < 1000; i++)
    sum += analogRead(VPin); //lecture de la valeur analogique de la
                             //tension
  float voPin = sum / 1000;
  return voPin * 3.5 / 4095.; //retourner la valeur de la tension après
                             //conversion ADC
}

float U = 12.447 * pvVoltage(); //tension  mise par le panneau = valeur
numérique du capteur * l'inverse du rapport de tension du pont diviseur de
tension(1/11) calibré en tenant compte des imprécisions du capteur
  
```

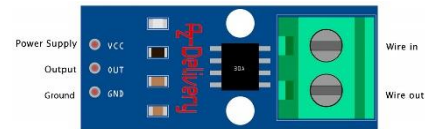
```

//Fonction mesure de la tension en entrée du supercondensateur
float CapaVoltage() {
  //calcul de la valeur moyenne (sur 1000 valeurs) de la tension du
  supercondensateur
  int sum = 0;
  for (int i = 0; i < 1000; i++)
    sum += analogRead(VoutPIN); //lecture de la valeur analogique de la
    tension du supercondensateur
  float VcapaPin = sum / 1000;
  return VcapaPin * 3.5 / 4095.; //retourner la valeur de la tension après
  conversion ADC
}

//Mesure de la tension en entrée du supercondensateur pour vérifier de ne
pas dépasser 32V
float UCapa = 22 * Capavoltage(); // en tenant compte des imprécisions du
capteur on compense le rapport du pont diviseur non pas d'un facteur de 19
mais de 22
  
```

Mesure de courant :

Pour mesurer le courant, nous disposons d'un module ACS712 correspondant à un capteur de courant que l'on a placé en série en amont du convertisseur Boost. Ce capteur à effet Hall retranscrit une tension comprise proportionnellement entre 0V et 5V traduisant une intensité de courant. En effet, lorsqu'il n'y a pas de courant dans le circuit, le capteur renvoie sur le microcontrôleur une valeur de 2,5V. Il est donc possible de déterminer la valeur du courant selon la sensibilité du capteur puisque celui-ci a une sensibilité de 185mV/A.



De plus, afin d'être sûr de ne pas renvoyer une tension sur le microcontrôleur supérieure à 3,3V nous avons décidé d'inverser les bornes du capteur. De cette façon, la sensibilité du capteur est inversée à -185mV/A.

En somme, pour récupérer une valeur de CAN converti en ampères, nous récupérons la valeur du capteur que l'on soustrait à la valeur de référence (étant 2,5V), le tout divisé par la sensibilité du capteur à savoir 0,185.

```

//Fonction mesure du courant en sortie du panneau photovoltaïque
float pvCurrent() {
  //calcul de la valeur moyenne (sur 1000 valeurs) du courant
  int sum = 0;
  for (int i = 0; i < 1000; i++)
    sum += analogRead(IPin); //lecture de la valeur analogique du courant
  float IoPin = sum / 1000;
  return IoPin * 3.5 / 4095.; //retourner la valeur du courant après
  conversion ADC
}

float I = ((2.433 - pvCurrent()) / 0.185); //courant de sortie du panneau
= (VCC/2 (calibré en tenant compte des imprécisions du capteur) - valeur
numérique du capteur) / différence de tension du capteur pour 1 Ampère
  
```

Une fois les valeurs de tension et de courant récupérées et converties, nous pouvons calculer la puissance en multipliant ces deux variables. Par conséquent, nous sommes en mesure de connaître la puissance délivrée par le panneau solaire à l'instant T en vue de pouvoir configurer le MPPT.

4.2.2. Programmation MPPT

Une fois les mesures et la Conversion Analogique Numérique effectuées, l'algorithme teste des conditions afin d'adapter la tension de sortie du panneau photovoltaïque dans le but de trouver le point de puissance maximal.

Pour cela, le programme MPPT effectue des petites variations sur les paramètres de fonctionnement, en modifiant le rapport cyclique du PWM, ce qui fait varier la tension de sortie et par conséquent la puissance en sortie du panneau.

Le processus se poursuit jusqu'à ce que la puissance de sortie atteigne son maximum et se stabilise. À ce stade, le programme MPPT a alors trouvé le PPM (Point de Puissance Maximal) et ajuste en continu les paramètres pour maintenir cette puissance maximale.

Ce programme est codé en Arduino conçu pour mesurer les tensions et les courants provenant du panneau solaire et du supercondensateur. Il utilise des CAN pour lire les valeurs analogiques des tensions et des courants. Cet algorithme permet de contrôler dynamiquement le rapport cyclique du signal PWM en fonction des variations de puissance mesurées, afin d'optimiser le système en ajustant la tension de sortie du convertisseur Boost.

Explication de code :

CONFIGURATION :

Les broches sont configurées pour mesurer les tensions et les courants à partir des panneaux solaires (VPin et IPin) ainsi que la tension des supercondensateurs (VoutPIN). Une broche est définie pour générer un signal PWM (pwmPin).

Le canal PWM est configuré avec une fréquence de 40 kHz et une résolution de 10 bits.

Le rapport cyclique du signal PWM est ajusté en fonction d'un paramètre α , qui détermine la tension de sortie du Boost (plus précisément, la tension moyenne du rapport cyclique).

INITIALISATION :

La fonction **setup()** initialise la communication série et configure le signal PWM.

PROGRAMME PRINCIPAL :

La fonction **loop()** est exécutée en boucle et effectue les opérations suivantes :

- Effectuer une première mesure de tension et de courant à $t = 1$.
- Calculer la tension du supercondensateur (UCapa) en utilisant la fonction `CapaVoltage()`. Cette valeur est compensée en fonction des imprécisions du capteur. Elle permet de ne jamais dépasser la tension maximale supportée par le supercondensateur.
- Calculer la tension du panneau solaire (UT1) en utilisant la fonction `pvVoltage()`. Cette valeur est calibrée en tenant compte des imprécisions du capteur.
- Calculer le courant de sortie du panneau solaire (IT1) en utilisant la fonction `pvCurrent()`. La formule utilisée prend en compte la différence de tension pour 1 Ampère.
- Calculer la puissance (PT1) en multipliant la tension (UT1) par le courant (IT1).
- Attendre 200 millisecondes pour laisser le système se stabiliser.
- Effectuer une deuxième mesure de tension et de courant à $t = 2$.
- Calculer la tension du panneau solaire (UT2), le courant de sortie du panneau solaire (IT2), et la puissance (PT2) à partir des valeurs mesurées à $t = 2$.
- Calculer la différence de tension (DV), la différence de courant (DI), et la différence de puissance (DP) entre $t = 1$ et $t = 2$.
 - Si la différence de puissance (DP) est égale à 0, attendre indéfiniment jusqu'à ce que le programme soit arrêté.
 - Si la différence de puissance (DP) est positive, vérifier si la tension du supercondensateur (UCapa) est inférieure à la valeur maximale ($U_{maxCapa} = 26V$). Si c'est le cas, augmenter le rapport cyclique du signal PWM en augmentant la valeur de α . Sinon, diminuer α .
 - Si la différence de puissance (DP) est négative, vérifier si la tension du panneau solaire (UT1) est inférieure à la valeur minimale ($U_{minTraco} = 5,2V$). Si c'est le cas, augmenter α . Sinon, diminuer α .
- Revenir à l'étape 1 et répéter le processus.

Pour résumé, ce code permet de mesurer les tensions et les courants du panneau solaire et du supercondensateur à l'aide de Convertisseurs Analogiques Numériques, puis d'effectuer des calculs pour obtenir les valeurs réelles. Il utilise également un signal PWM pour contrôler un convertisseur de tension (Boost) en ajustant le rapport cyclique en fonction des variations de puissance mesurées.

Programme complet :

```

int VPin = 39;      //Broche de mesure de la tension du panneau
int IPin = 36;      //Broche de mesure du courant du panneau
int VoutPIN = 35;   // broche de mesure de la tension du supercondensateur
int pwmPin = 23;    //Pin d'envoi du PWM
int pwmChannel = 7;
int frequence = 40000; //Fréquence PWM de 40 KHz
int resolution = 10; //résolution de 10 bits
//les valeurs numériques de  $\alpha$  vont de 0 pour  $\alpha = 0$  à 1024 pour  $\alpha = 1$ 
int adcPWM;
int UmaxCapa = 26;
int UminTraco = 5.2;

void setup() {
  Serial.begin(115200); //débit de communication fixé au maximum
  while (!Serial)
    ; //TANT QUE le programme est actif
  ledcSetup(pwmChannel, frequence, resolution); //Configuration du signal
  PWM sur le canal 7 pour une fréquence de 40 kHz et une résolution de 10
  bits
  ledcAttachPin(pwmPin, pwmChannel); // Assigne le canal PWM au pin 23 de
  l'ASP32
  //reglage du rapport cyclique du PWM en fonction de  $\alpha$ 
}

void loop() {
  static float alpha = 300;
  ledcwrite(pwmChannel, (1024 - alpha)); // à  $\alpha = 0.5$  pour une tension de
  sortie de boost non optimisée

  //premier relevé de la tension et du courant à t = 1
  float UCapa = 22 * CapaVoltage(); //en tenant compte des
  imprécisions du capteur, on compense le rapport du pont diviseur de 22
  Serial.print("U : ");
  float UT1 = 12.447 * pvVoltage(); //tension émise par le panneau =
  valeur numérique du capteur * l'inverse du rapport de tension du pont
  diviseur de tension (1/11) calibré en tenant compte des imprécisions du
  capteur
  Serial.print(UT1);
  Serial.print(" V");
  Serial.print("\t");

  Serial.print("I : ");
  float IT1 = ((2.433 - pvCurrent()) / 0.185); //courant de sortie du
  panneau = (VCC/2 (calibré en tenant compte des imprécisions du capteur) -
  (valeur numérique du capteur / différence de tension du capteur pour 1
  Ampère)
  Serial.print(IT1);
  Serial.print(" A");
  Serial.print("\t");

  Serial.print("P : ");
  float PT1 = (IT1 * UT1); //calcul de la puissance P=U*I
  Serial.print(PT1);
  Serial.print(" W");
  Serial.print("\t");

  delay(200); //delais de 200ms
  alpha += 5; // on incrémente le rapport cyclique de 5
  Serial.print("||");

  //deuxième relevé de la tension et du courant à t = 2
  Serial.print("\t");

```

```

Serial.print("UT2 : ");
float UT2 = 12.447 * pvVoltage();
Serial.print(UT2);
Serial.print(" V");
Serial.print("\t");

Serial.print("IT2 : ");
float IT2 = ((2.433 - pvCurrent()) / 0.185);
Serial.print(IT2);
Serial.print(" A");
Serial.print("\t");

Serial.print("PT2 : ");
float PT2 = (UT2 * IT2);
Serial.print(PT2);
Serial.print(" W");
//Serial.print(" || ");

// Affichage de la difference entre t = 1 et t = 2
Serial.print("delta = ");
Serial.print("V1 : ");
float DV = UT2 - UT1; //calcul de la différence de tension entre le
temps1 et le temps2
Serial.print(DV);
Serial.print(" | DI : ");
float DI = IT2 - IT1; //calcul de la différence de courant entre le
temps1 et le temps2
Serial.print(DI);
Serial.print(" | DP : ");
float DP = PT2 - PT1; //calcul de la différence de puissance entre le
temps1 et le temps2
Serial.print(DP);

//recherche du MPPT :
if (DP == 0) //SI la puissance est maximale
  while (!Serial) //On recommence la mesure tant que le programme est
actif
  ;
else if (DP > 0) //SINON SI la difference de puissance est
positive
  if (UCapa < UmaxCapa) //si la tension du supercondensateur ne dépasse
pas 26 V
    alpha+= 10; //on augmente la tension en diminuant le
rapport cyclique car la "pente" est croissante
  else alpha-= 10; //SINON la "pente" est décroissante donc on
diminue la tension en augmentant le rapport cyclique
  else if (UT1 < UminTraco) //SINON si la tension est inférieure à la
tension du traco qui est de 5V
    alpha+= 10; //la "pente" est positive donc on augmente la tension
en augmentant le rapport cyclique
  else alpha-= 10; //SINON la "pente" est décroissante donc on diminue la
tension en diminuant le rapport cyclique
  Serial.print(" ||| a = ");
  Serial.print(alpha / 1024);
  Serial.print(" Pmax = ");
  Serial.println(PT2);
}

float pvVoltage() {
//calcul de la valeur moyenne (sur 1000 valeurs) de la tension
int sum = 0;
for (int i = 0; i < 1000; i++)

```

```
    sum += analogRead(vPin); //lecture de la valeur analogique de la
tension
    float VoPin = sum / 1000;
    return VoPin * 3.5 / 4095.; //retourner la valeur de la tension après
conversion ADC
}

float pvCurrent() {
    //calcul de la valeur moyenne (sur 1000 valeurs) du courant
    int sum = 0;
    for (int i = 0; i < 1000; i++)
        sum += analogRead(IPin); //lecture de la valeur analogique du courant
    float IoPin = sum / 1000;
    return IoPin * 3.5 / 4095.; //retourner la valeur du courant après
conversion ADC
}

float Capavoltage() {
    //calcul de la valeur moyenne (sur 1000 valeurs) de la tension du
supercondensateur
    int sum = 0;
    for (int i = 0; i < 1000; i++)
        sum += analogRead(VoutPIN); //lecture de la valeur analogique de la
tension du supercondensateur
    float VcapaPin = sum / 1000;
    return VcapaPin * 3.5 / 4095.; //retourner la valeur de la tension après
conversion ADC
}
```

5. Routage du projet

5.1. Réalisation de deux cartes électroniques Eagle

À la sortie du panneau photovoltaïque, nous sortons un signal compris entre 15 et 22V, nous devons stabiliser cette tension à 24V pour charger un supercondensateur. Pour cela nous avons besoin d'un PWM, et d'un convertisseur Boost.

Afin de répartir ces deux fonctions, nous avons fait le choix de les concevoir sur des cartes séparées. La première comprend le PWM correspondant à la partie commande du système, et la seconde comprend l'élévateur de tension Boost correspondant plus à la partie puissance. De plus, nous avons une bobine inductive pour le Boost qui engendre une perturbation pour le capteur de courant si ces deux éléments se trouvent à proximité, d'où cette séparation.

5.1.1. Partie Commande

Sur cette carte regroupant toute la partie commande du système, le condensateur C4, permet de lisser la tension de sortie du panneau photovoltaïque. Le Traco, qui est un convertisseur abaisseur de tension, libère une tension 5V permettant d'alimenter le microcontrôleur ESP32 et le transistor BC547-B, transistor se situant sur la seconde carte.

Ensuite, notre capteur de courant ainsi que les ponts diviseurs regroupant la diode Zener viennent se connecter sur l'ESP32 afin de générer un signal PWM en fonction de notre panneau photovoltaïque. Pour permettre une alimentation par le port USB-C, à l'entrée de l'ESP32, nous y plaçons un interrupteur afin de ne pas alimenter le microcontrôleur simultanément.

Nomenclature :

Description	Repère	Référence	Valeur	Quantité
Résistance	R1	R0207	10 Ω	1
Résistance	R2	R0207	10 MΩ	1
Résistance	R3-R5	R0207	1 MΩ	2
Résistance	R4	R0207	20 MΩ	1
Condensateur	C1	C05-3	1nf	1
Condensateur	C2	C05-3	33 nF	1
Condensateur	C3	C05-3	100 nF	1
Condensateur polarisé	C4	E5-5	10 μF	1
Interrupteur	S1	5636		1
ESP32-EV-1-0	U2	ESP32-EV-1-0		1
Traco (DC-DC)	U3			1
Capteur courant	U4	ACS712ELCTR-05B-T		1
Bornier	J1	MSTBA2	2P	1
Bornier	J2	MSTBA5	2P	1
Bornier	J3	B2B-PH-KS	5P	1
Diode Zener	D1	DO-35-7		1

Valeur des composants :

Les valeurs de C1 et C2 sont données pour le bon fonctionnement du capteur de courant ACS712.

Nous avons besoin d'un pont diviseur comprenant les résistances R2 et R3 afin de limiter la tension reçue en entrée de l'ESP32 puisque ce dernier ne supporte pas une tension supérieure à 3,3V. Nous avons donc dimensionné les composants pour recevoir 1,8V pour une tension en sortie de panneau de 24V afin d'éviter tout risque de surtension pouvant abimer les composants.

U3 correspond à la tension d'entrée envoyé à l'ESP32, cette tension peut être calculée selon la manière suivante :

$$U3 = (U \cdot R3) / (R2 + R3) = (24 \cdot 10 \cdot 10^6) / ((10+1) \cdot 10^6) = 1,8V$$

Nous avons sélectionné de grandes valeurs de résistances pour avoir une faible intensité de courant.

Le pont diviseur R4 et R5 additionné à la diode Zener permet de limiter la tension puisque nous souhaitons effectuer une lecture de la tension de sortie perçue par le supercondensateur. Comme nous savons que le microcontrôleur ne supporte pas les tensions au-delà de 3,3V, nous avons donc calculé un pont diviseur permettant de ne pas dépasser ces 3,3V jusqu'à la tension maximale du supercondensateur, à savoir 32,4V.

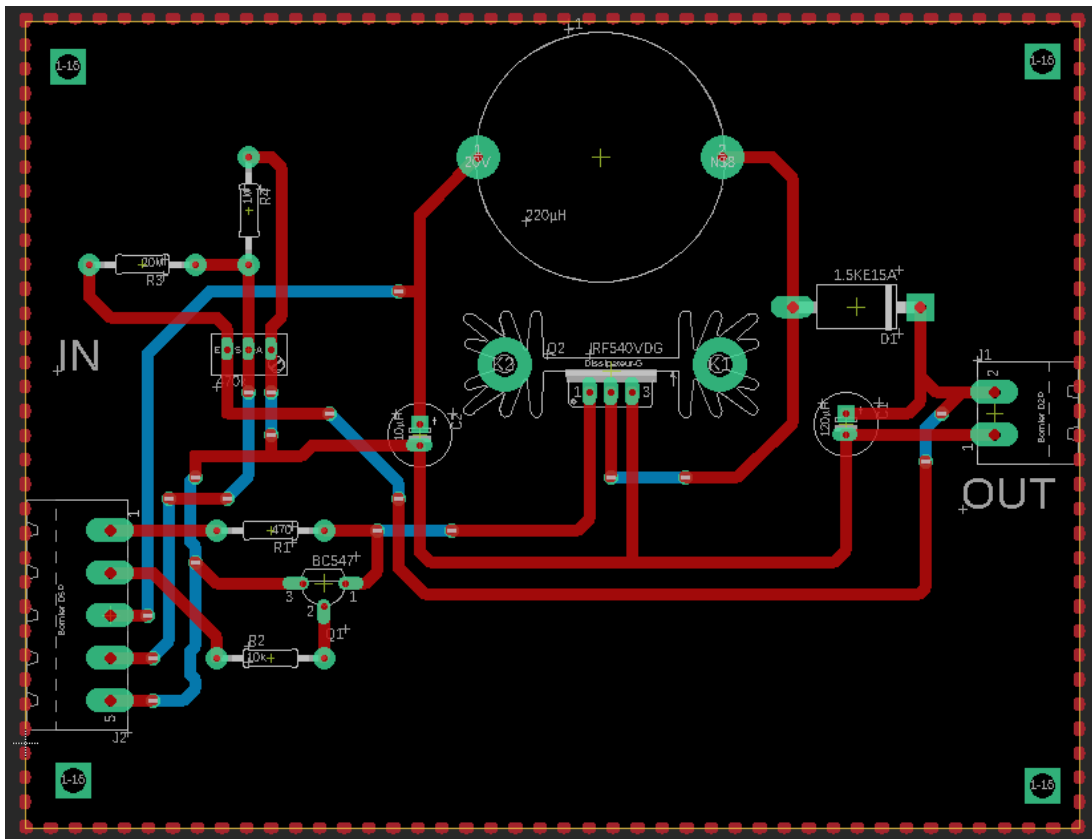
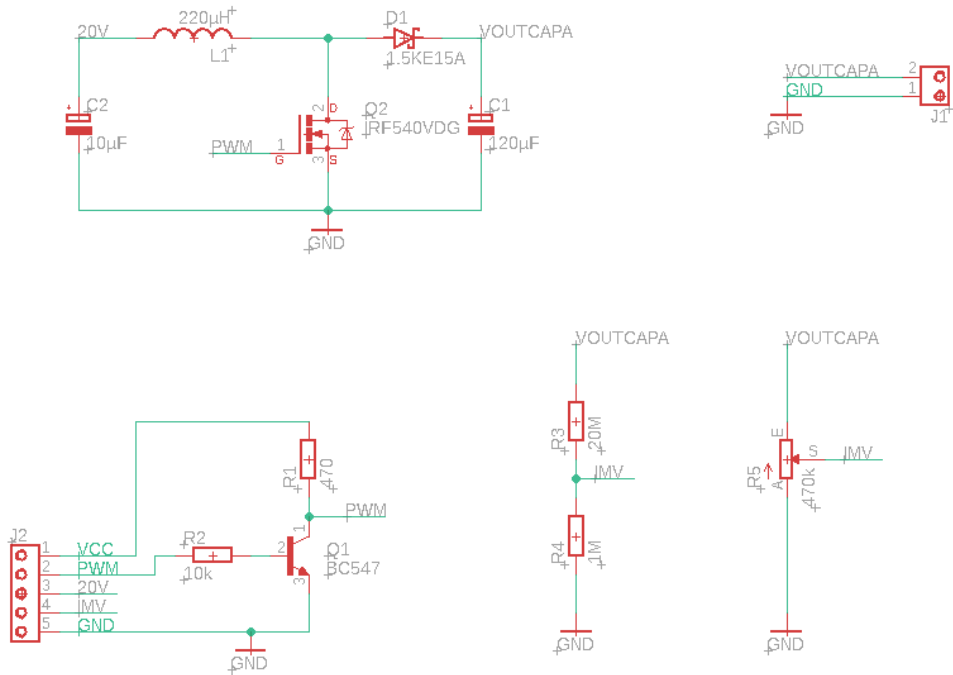
$$U5 = (Us \cdot R5) / (R4 + R5) = (32,4 \cdot 1 \cdot 10^6) / ((19+1) \cdot 10^6) = 1,62V.$$

De plus, la diode Zener devient conductrice lorsque la tension atteint la tension d'avalanche de la diode, ce qui permet d'éviter tout risque de dépassement de tension de seuil qui est de 3,3V.

5.1.2. Partie Puissance

Le fonctionnement de la partie puissance est élémentaire, nous « chargeons » une bobine inductive, qui relâche l'intensité accumulée par l'intermédiaire du transistor. Nous lisons ensuite cette tension par le biais d'un condensateur C2. La diode D2 évite un retour de courant.

Schémas Eagle :



Nomenclature :

Description	Repère	Référence	Valeur	Quantité
Bornier	J1	MSTBA2	2P	1
Bornier	J2	MSTBA5	5P	1
Inductance de cage	L1	1422455C	220 μ H	1
Condensateur Polarisé	C1	107-1065	120 μ F	1
Condensateur Polarisé	C2	E2-5	10 μ F	1
Schottky	D1	STPS20H100CT	...	1
Résistance	R1	R0207	470 Ω	1
Résistance	R2	R0207	10k Ω	1
Résistance	R3	R0207	20M Ω	1
Résistance	R4	R0207	1M Ω	1
Potentiomètre	R5	T93YA	470k Ω	1
Transistor	Q1	BC547-B	...	1
Mosfet	Q2	IRF540VDG	...	1

Valeur des composants :

Nous avons décidé de prendre un transistor commandé par un PWM variant entre 0V et 3,3V car nous n'en avons pas trouvé un possédant un PWM pouvant aller de 0 à 5 V.

Le condensateur C2 permet de lisser la tension du panneau photovoltaïque.

Les valeurs des composants de cette carte, correspondant au convertisseur Boost, sont expliquées dans la partie 4.1.2.

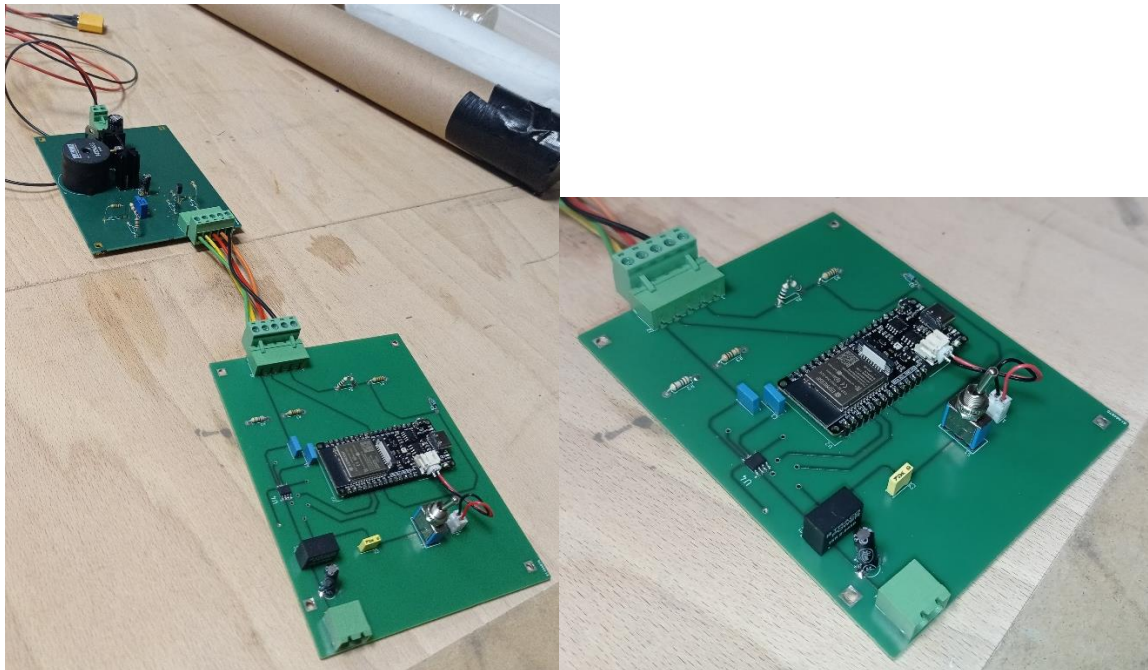
Néanmoins, par prudence, nous avons ajouté un potentiomètre en sortie de Boost afin de pouvoir ajuster la tension de sortie si besoin.

De même, le pont diviseur comprenant les résistances R3 et R4 est le même que celui présent sur l'autre carte, permettant de limiter la tension de sortie. En effet, nous souhaitons brancher le supercondensateur en sortie des cartes électroniques. Pour cela, nous devons nous assurer de la tension de sortie afin de ne pas dépasser celle du supercondensateur. C'est pour cela que nous avons fait le choix de doubler ce pont diviseur dans le cas où l'un ne fonctionnerait pas.

5.2. Câblage de l'installation

Une fois les cartes ainsi que les composants reçus, nous avons pu les assembler et les tester. Nous nous sommes alors rendu compte de plusieurs erreurs. En effet, le choix de la diode Schottky n'était pas le bon. Il a donc fallu modifier notre soudage pour que cela fonctionne correctement. De plus, nous ne disposions pas de certaines valeurs de résistance, nous avons donc dû en souder plusieurs en série afin d'obtenir le résultat escompté.

Malgré cela, nous avons pu réaliser l'assemblage de ces cartes ainsi que les tests de continuité afin de nous assurer du bon fonctionnement de chaque composant. C'est alors que nous avons pu connecter chaque élément du système afin d'observer le fonctionnement de ce dernier en charge.



6. Perspectives d'évolution futures

A l'heure actuelle, nous sommes en mesure de récupérer l'énergie électrique produite par un panneau solaire afin de la stocker dans un pack batterie qu'est le supercondensateur. En effet, au commencement du projet, nous avons décidé de nous concentrer sur la régulation de l'énergie électrique récupérée d'un panneau photovoltaïque afin de pouvoir la stocker dans un supercondensateur par l'intermédiaire d'un élévateur de tension Boost.

Ces différentes étapes sont fonctionnelles. Néanmoins, nous n'avons pas essayé de charger notre supercondensateur puisque nous avons détecté un dysfonctionnement au niveau de la régulation MPPT. En effet, nous supposons qu'une partie du programme ne s'exécute pas de la manière souhaitée. Ainsi, nous n'avons pas voulu prendre de risque en connectant le supercondensateur à la sortie de nos cartes électroniques.

Une des premières projections futures serait alors de résoudre ce problème de régulation MPPT afin de pouvoir brancher l'installation au complet. Dès lors, nous serions donc en mesure de confirmer pleinement le bon fonctionnement du système.

De plus, une fois l'énergie électrique stockée dans le pack batterie, notre idée principale était de pouvoir charger un équipement électrique. Cela pourrait se mettre en place par l'intermédiaire d'un onduleur qui va convertir la tension continue stockée dans le supercondensateur en courant alternatif afin de pouvoir charger une batterie de vélo électrique par exemple. Nous pouvons aussi envisager de transférer cette énergie vers un Traco abaisseur de tension permettant de charger un téléphone portable.

Finalement, durant ce projet, nous avons fait le choix d'utiliser un microcontrôleur ESP32 ayant pour avantage une possibilité de programmation Wifi. Nous pouvons alors imaginer créer un programme permettant de gérer la régulation du panneau par Wifi et ainsi pouvoir stopper le système à distance, ou encore programmer le système pour une certaine période.

Les possibilités d'évolution du projet sont infinies. A ce stade, le système reste élémentaire et peut être soumis à de nombreuses améliorations.

Conclusion

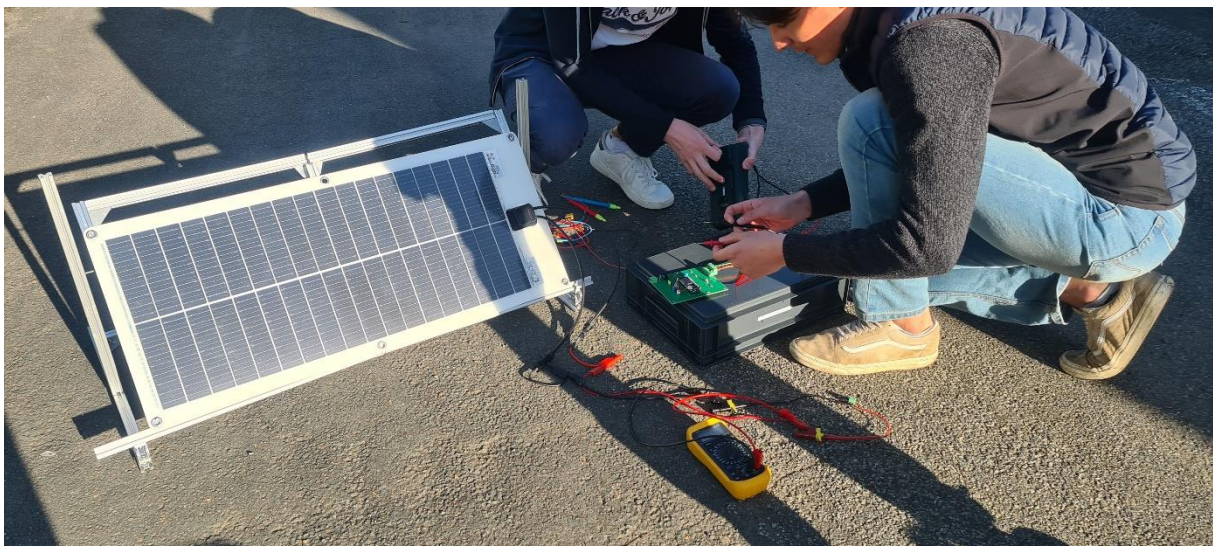
En concentrant notre projet sur l'énergie solaire, nous avons entrepris de créer une installation photovoltaïque à partir d'un panneau solaire visant à pouvoir recharger un équipement électrique. Notre objectif était de maximiser la puissance fournie par le panneau assurée par une régulation afin de pouvoir charger un supercondensateur de manière optimale.

En effet, plutôt que d'opter pour une solution de stockage traditionnelle que sont principalement les batteries, nous avons choisi d'utiliser un supercondensateur, ce dernier étant capable de stocker et de libérer rapidement une grande quantité d'énergie

La première étape de notre projet a consisté à mettre en œuvre un convertisseur Boost élévateur de tension. Ce convertisseur permet d'augmenter la tension de sortie du panneau solaire à une certaine tension afin de charger efficacement le supercondensateur. Grâce au signal PWM, nous avons pu contrôler le rapport cyclique pendant lequel le convertisseur Boost est activé, permettant ainsi un flux de charge régulier et optimal vers le supercondensateur.

Afin de pouvoir moduler ce signal PWM, nous avons donc mis en place un système de régulation MPPT (Maximum Power Point Tracking) permettant d'optimiser la récupération d'énergie solaire du panneau. Cette régulation, effectuée par l'intermédiaire d'un microcontrôleur ESP32, ajuste en permanence la tension et le courant de charge du panneau pour garantir un point de puissance maximal.

En conclusion, notre projet de réalisation d'une installation photovoltaïque est doté d'une régulation MPPT, d'un circuit élévateur de tension et d'un système de stockage basé sur un supercondensateur, pouvant rendre possible de nombreuses applications potentielles.



Pour ce projet, nous avons développé une installation photovoltaïque utilisant un panneau solaire de 50W. Notre objectif principal était de maximiser la puissance fournie par le panneau en mettant en place un système de régulation de puissance maximum MPPT. Ce système MPPT est programmé pour ajuster la tension et le courant en sortie du panneau afin d'optimiser la puissance de sortie du panneau solaire.

Pour stocker l'énergie produite par le panneau solaire, nous avons choisi d'utiliser un supercondensateur. Afin de le charger efficacement, nous avons donc mis en place un convertisseur Boost. Ce convertisseur, modulé par le signal PWM provenant du MPPT, permet d'élever la tension de sortie du panneau jusqu'à un certain seuil supporté par le supercondensateur.

Ce projet vise à récupérer l'énergie produite par un panneau photovoltaïque par l'intermédiaire d'une régulation afin de pouvoir la stocker dans un supercondensateur.

For this project, we have developed photovoltaic installation using a 50W solar panel. Our main objective was to maximise the power supplied by the solar panel by implementing a Maximum Power Point Tracking (MPPT) regulation system. This MPPT system is programmed to adjust the voltage and the current output of the panel to optimise the solar collector's output power.

To store the energy produced by the solar module, we have chosen to use a supercapacitor. To efficiently charge it, we have implemented a Boost converter. This converter, modulated by PWM signal from the MPPT, raises the panel's output voltage up to a certain threshold supported by the supercapacitor.

This project aims to recover the energy produced by a photovoltaic panel through regulation in order to store it in a supercapacitor.