

		Réf. : XXX-YY-NN Edition : 1 Date : XX-XX-XX Révision : 0 Date :
		 Ionospheric and gamma-ray Observations Satellite

Modélisation et caractérisation expérimentale des batteries LiFePO4

Résumé

Le projet IGOSAT est le fruit d'un travail collaboratif de plusieurs membres, le satellite est en phase de développement. Et la mission qui nous a été confiée consiste à étudier et de réaliser des tests sur la batterie qui va alimenter le satellite pendant la période d'éclipse.

Les constructeurs de batteries sont les premiers à effectuer des tests et il est donc légitime de regarder les résultats annoncés avant d'envisager de faire ses propres essais. Malheureusement les résultats fournis par les constructeurs sont difficilement exploitables. D'une part les résultats ne sont pas toujours documentés correctement, notamment pour les conditions de test, et d'autre part si les conditions de test sont précisées, elles peuvent différer d'un constructeur à l'autre et donc rendre toute comparaison délicate. C'est pour cela il faut la caractériser en réalisant tout d'abord des protocoles de tests pour chaque spécification technique de la batterie, ensuite faire ces tests.

Date

Signature

Préparé par :

Amina BOURIK
Nasr-Eddine EL OBI

13/02/2017

Approuvé par :



HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Ed.	Rev.	Date	Modifications	Visa
1	0	13/02/2017	Création du document	



TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	3
ABSTRACT/REMERCIEMENT.....	4
TABLES DES FIGURES	5
INTRODUCTION GENERALE.....	6
PRESENTATION DU PROJET	7
METHODOLOGIE	8
ETUDE GENERALE	8
BESOIN / OBJECTIFS	9
PROTOCOLE DE TEST.....	10
COMPOSANTS ELECTRONIQUES	13
CABLAGE.....	16
CALIBRATION	19
AUTOMATISATION DES TESTS ET TESTS	19
TRAITER LES INFORMATIONS.....	21
CONCLUSION GENERALE	22
BIBLIOGRAPHIE.....	23
ANNEXE.....	24



Abstract

The satellite has been developed by many people who keep working to make the project true. Our mission is to study the state of the battery which will be used to feed the satellite during the eclipse period. We already have some technical information about the battery but we need to verify it. That's why we should characterize the battery by carrying out the test prototype then store the measurements which depend on state of charge and number of cycles and lifetime.

Remerciements

*On tient à remercier vivement **M. Hubert HALLOIN** responsable au sein du laboratoire **IGOSAT**, pour son aide et, le temps passé ensemble et le partage de son expertise au quotidien. Et **Mlle Hanna BENHIZIA**, chef du projet au sein du laboratoire **IGOSAT** Grâce à ses remarques on a pu s'accomplir totalement dans la mission.*



TABLES DES FIGURES

Figure 1 : Diagramme de répartition des taches

Figure 2 : diagramme de GANTT

Figure 3 : Objectif du projet

Figure 4 : Protocole de tests (les spécifiques techniques)

Figure 5 : Le banc de test

Figure 6 : les blocs principaux du projet

Tableau 1 : composants électroniques

Figure 7 : schéma électronique pour caractériser la batterie

Figure 8 : schéma électronique modifié pour caractériser la batterie

Figure 9 : Le câblage final

Figure 10 : cycle charge /décharge

Figure 11 : courbe de la tension pendant plusieurs cycles charge et décharge

Figure 12 : courbe de courant pendant plusieurs cycles charge et décharge

Figure 13 : courbe courant/tension pour la charge.

Figure 14 : capacité en fonction du nombre de cycles

Figure 15 : énergie en fonction du nombre de cycles



INTRODUCTION GENERALE

Les batteries sont utilisées dans les satellites pour répondre à l'exigence de la puissance quand elle ne peut pas être assurée par les panneaux solaires.

Les batteries rechargeables sont souvent les plus utilisées, elles se chargent pendant la période où les radiations solaires sont dirigées vers les panneaux solaires du satellite et employées pendant la période d'éclipse. Mais ces batteries ne peuvent plus fonctionner une fois elles ont dépassé certaine période.

Parmi les facteurs qui influent sur la capacité de la batterie :

- Température
- Charge /décharge
- Profondeur de la décharge

A fin de garder la batterie pour une durée plus longue, il faut trouver la température optimale du système, en même temps il faut essayer d'éliminer l'influence d'autres facteurs qui affectent la capacité de la batterie :

- Le taux de décharge plus élevés.
- Température élevées de stockage.
- Haute état de charge pendant le stockage.

Ce projet a pour le but de proposer un prototype de test, modéliser numériquement la batterie, dimensionner le banc de test et enfin faire des mesures et exploitation des données.



PRESENTATION PROJET

IGOSAT utilise 4 batteries de type LiFePO4 (lithium – phosphate) afin d’assurer l’alimentation électrique du satellite lorsque les besoins excèdent la puissance électrique disponible sur les panneaux solaires. Bien qu’encore rarement utilisées dans le spatial, ces batteries sont a priori prometteuses puisqu’elles cumulent plusieurs avantages par rapport aux accumulateurs Lithium-ion standard :

- Grande densité d’énergie
- Très stable
- Large gamme de température de fonctionnement
- Grand nombre de cycle de charge/décharge

METHODOLOGIE

Répartition du travail :

Après un mois pendant lequel on a découvert le projet, on a reparti les taches qui nous été confié.

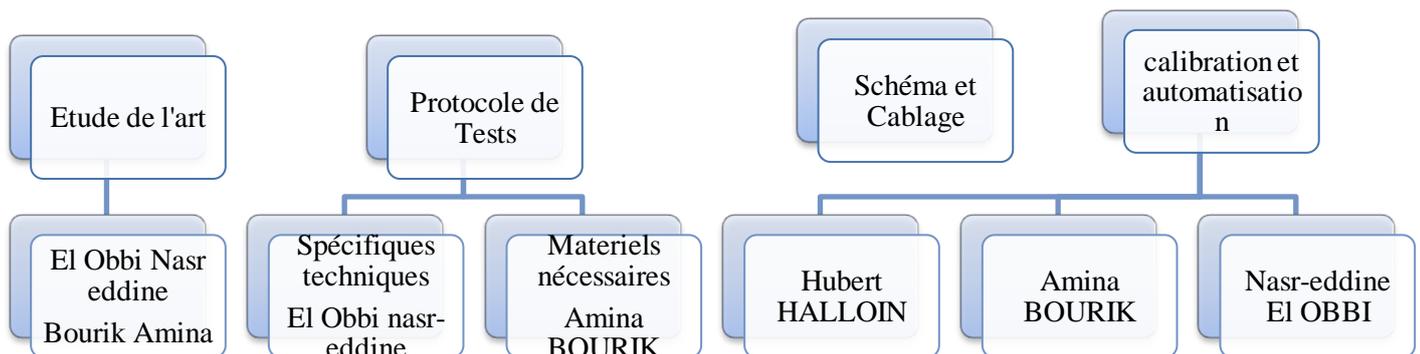


Figure 1

Digramme de GANTT :



Pour chaque tâche, on lui a estimé une durée a fin d'assurer la réussite de notre projet. De ce fait on a utilisé le diagramme de GANTT comme outil pour planifier ce qu'on doit faire tout au long des mois prochains.

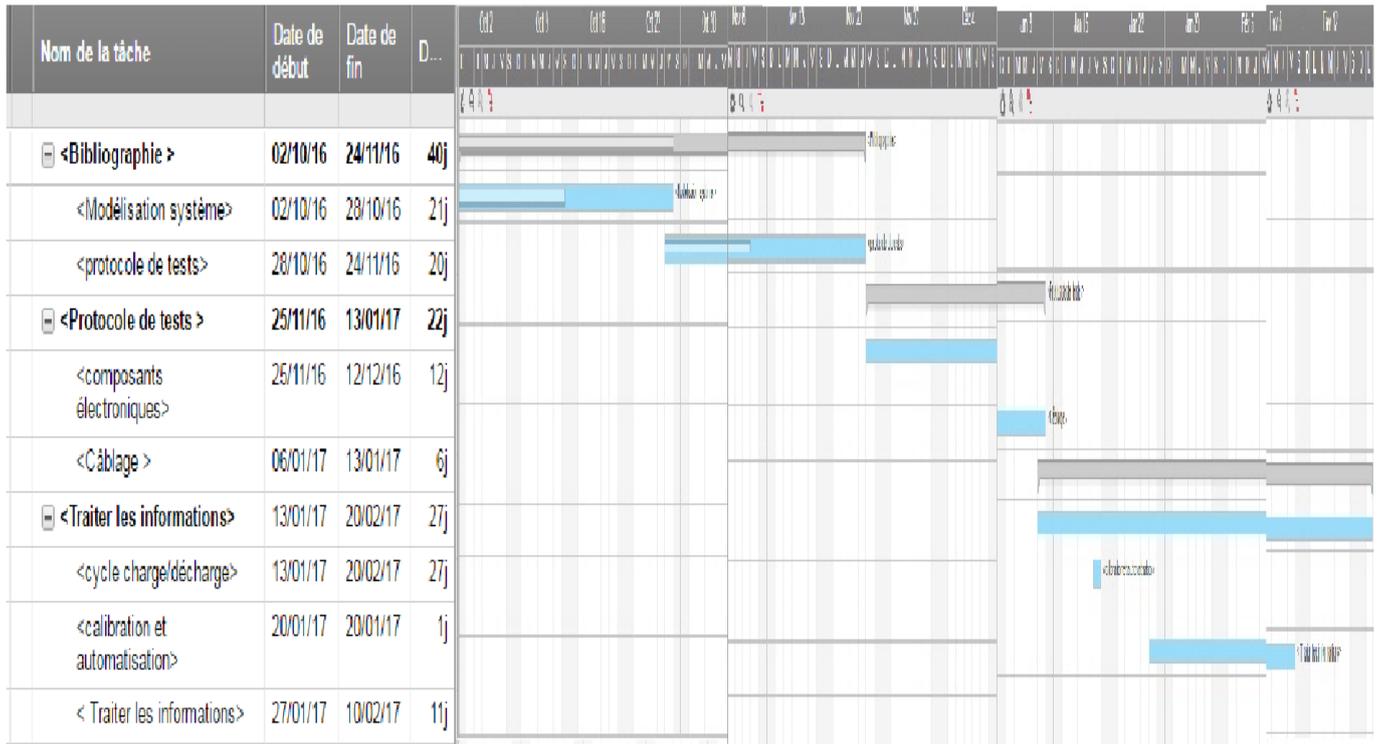


Figure 2



ETUDE GENERALE

1. BESOIN

Les données fournies par le constructeur de notre batterie LiFePO₄, ne sont pas vraiment exploitables, c'est pour cela qu'on a voulu faire nos propres tests qui vont nous permettre par la suite de caractériser notre batterie selon nos besoins. Par exemple, on voudrait savoir la durée de vie de notre batterie dans un environnement de température proche de -80 degré C, et ce type de test ne figure pas sur la fiche technique fournie par le constructeur de la batterie. Ci-dessous, un schéma récapitulatif des différents besoins qu'on voudrait déterminer tout au long de notre projet.

2. OBJECTIFS

Pour notre projet nous avons comme objectif les trois grandes spécifications techniques de notre batterie, qui sont :

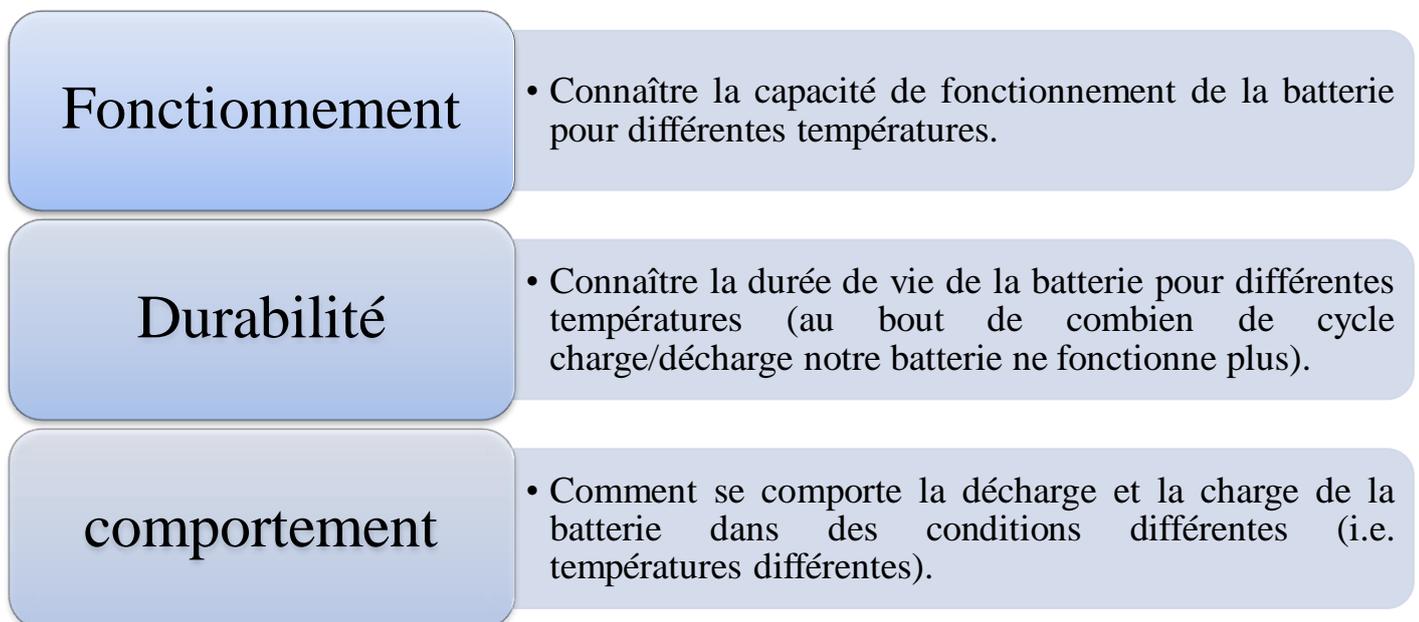


Figure 3

3. PROTOCOLE DE TEST

Spécifiques techniques

Pour pouvoir tester notre batterie, il faut tout d'abord définir des protocoles de test pour chaque spécification technique de la batterie et qui faut suivre au moment de la réalisation de ces tests. Ci-dessous, on a détaillé quelques protocoles de tests.

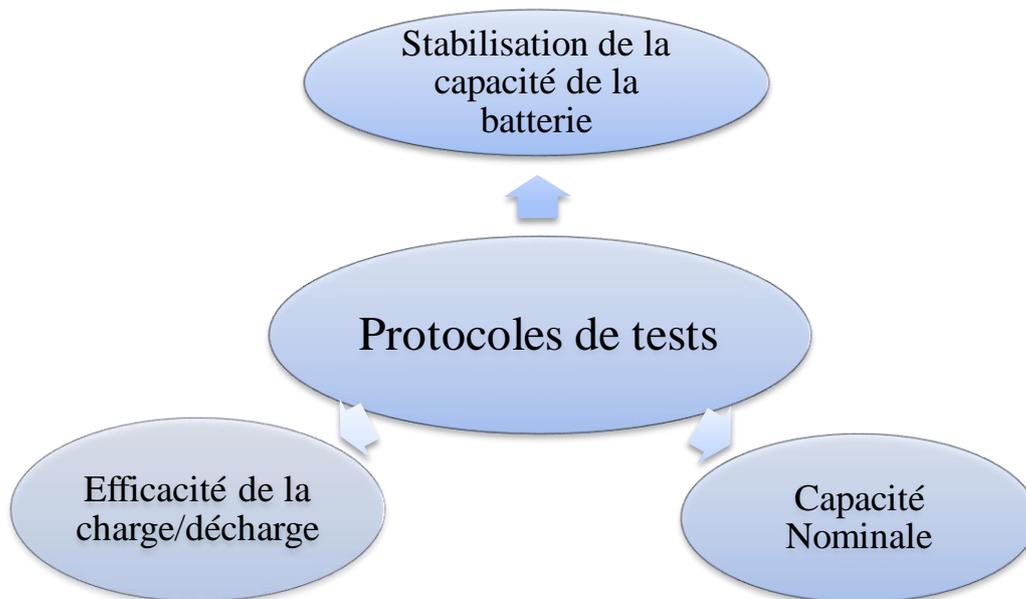


Figure 4

Stabilisation de la capacité de la batterie

Pour stabiliser la capacité de la batterie, il faudrait faire 3 à 4 cycles de charge/décharge, et quand elle diminue de 5% de la valeur mentionnée par le constructeur, à ce moment-là la capacité de la batterie est stabilisée :

- On charge notre batterie avec un courant constant jusqu'à la tension maximale fixée par le constructeur
- On décharge avec un courant de 1.5A jusqu'à ce que la tension aux bornes de la batterie soit égale au minimum fixé par le constructeur
- Selon le standard IEC 61427, pour que la tension aux bornes de la batterie atteigne son minimum, elle lui faut 45min de décharge (avec un courant de 1.5A).

Capacité Nominale

Pour connaître la capacité nominale à des températures différentes, on a besoin de réaliser le test suivant :

- On refait le même test pour la stabilisation de la batterie (1 cycle de charge/décharge nous suffit)
- On peut le faire pour des températures différentes.

Efficacité de la charge/décharge

Il faut qu'on ramène la batterie à différents SOC, ensuite on doit mesurer le rapport entre la puissance délivrée durant la décharge et la puissance nécessaire pour charger la batterie.

Le standard IEC 61427 précise que ce test doit être fait pour 3 différentes SOC : 90%, 75% et 50%. Et le résultat qu'on doit obtenir pour ces 3 différentes SOC est respectivement 85%, 90%, et 95%.

Pour pouvoir réaliser ces tests et pouvoir les contrôler, on aura besoin d'un certain nombre de matériels électroniques qui vont nous permettre par la suite de développer un banc de test.

Banc de test :

Après avoir défini les protocoles de test, on passe à réaliser le banc de test. Dans un premier temps, on va faire le test dans une température ambiante, après on va faire varier la température en utilisant un thermostatique bain.

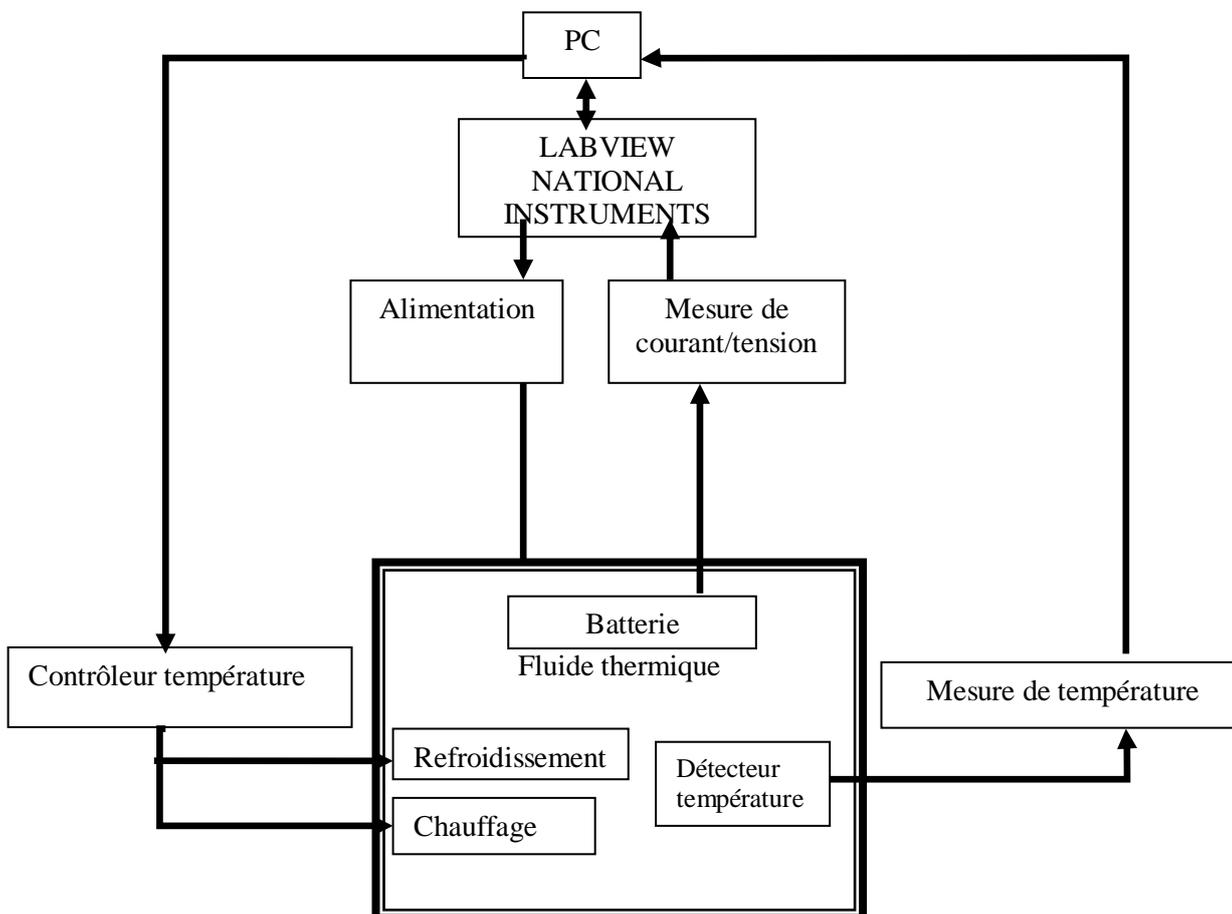


Figure 5

Cette figure nous permet d'avoir un aperçu général de notre banc de test qui va être développé dans les parties qui suivent.

On va aussi développer l'interface entre chaque composant. Mais durant notre projet, on n'a pas relié la partie électronique et la partie contrôle avec la partie thermique (changement de la température).

Tous nos tests ont été réalisés sous températures ambiantes (de la salle).

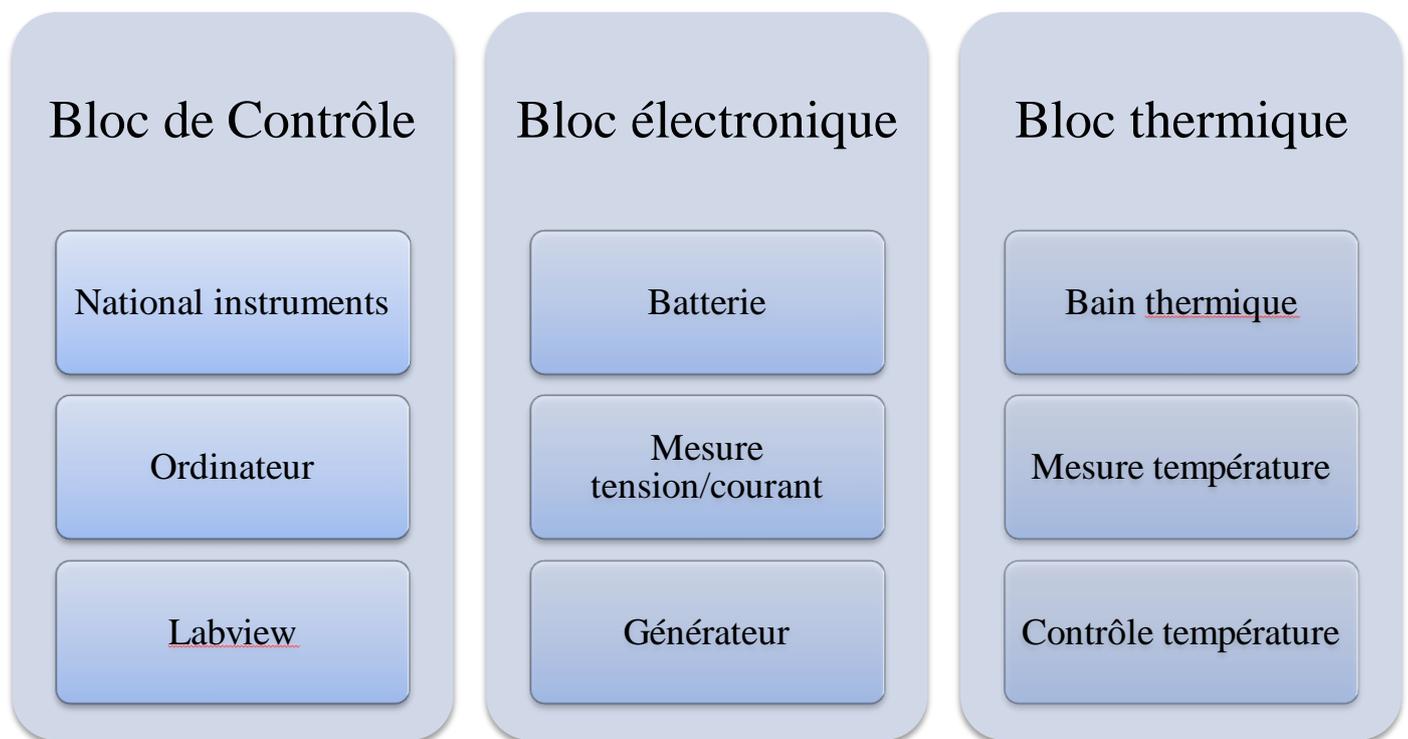


Figure 6

Bloc thermique

Un bain thermique dans lequel on va submerger la batterie. Ce bain nous permet de contrôler la température de fonctionnement de notre batterie. C'est-à-dire, avec ce bain on pourrait augmenter la température de la batterie ainsi la diminuer.

Bloc électronique

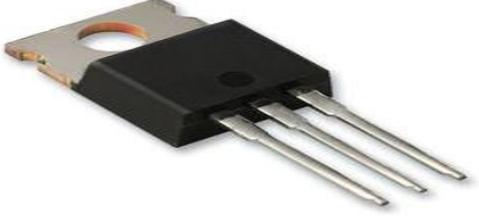
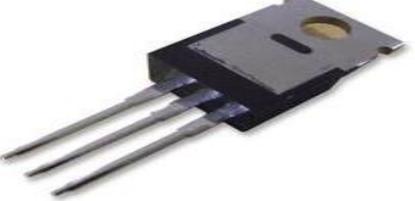
Partie électronique où on va câbler plusieurs composants électroniques pour charger et décharger la batterie. Et aussi pour mesurer la tension et le courant.

Bloc de contrôle

Partie informatique composée d'un TEXAS Instruments connecté à l'ordinateur qui va nous permettre de stocker nos résultats.

COMPOSANTS ELECTRONIQUES

Dans le bloc électronique, on a besoin de plusieurs composants qui vont nous permettre de relier le contrôleur TEXAS Instruments à la batterie. Ci-dessous, le tableau récapitulatif des différents composants électroniques utilisés pour notre banc de tests.

composants	références	fournisseur	Image	Prix
Transistor BJT NPN	920 7120	Farnell		1,06€
Diode SCHOTTKY	143-1049	Farnell		0,817€
Relais	270 349	Farnell		11,08€
Transistor MOSFET	9512578	Farnell		1,93€

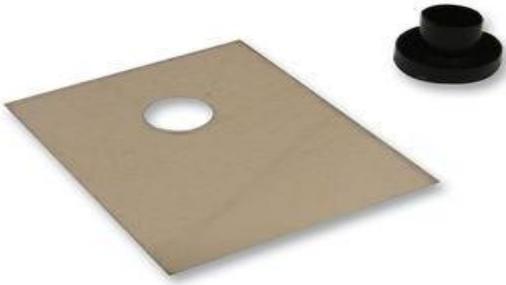
Amplificateur	960 5258	Farnell		5,21€
Résistance 0,02Ohm	1259389	Farnell		4,88€
Kit d'isolation	520214	Farnell		0,317€
Câble	2528098	Farnell		1,45€/m
Dissipateur thermique	4302333	Farnell		0,588€

Tableau 1



Le relais fonctionne comme un switcher pour passer du cycle charge au cycle décharge, le choix du relais s'est basé sur le courant maximal de la décharge de la batterie qui vaut 30A et notre relais peut supporter un courant allant jusqu'à 40A, on a ajouté un transistor qui permet de protéger le relais.

La diode de Schottky protège notre le transistor BJT, ainsi elle nous permet de protéger le transistor MOSFET utilisé dans la charge active pour décharger la batterie.

La résistance $R=0,02$ a pour rôle de dissiper de la puissance en chaleur.

Les kits d'isolation qu'on fixe au-dessous de la diode Schottky et transistor MOSFET nous permettent d'empêcher le contact entre le radiateur (métal) et les composants électroniques.

Le câble choisi a une résistance de 30Ohm/Km, c'est un câble assez gros pour supporter des courants élevés allant jusqu'à 10A.

Le radiateur nous permet de refroidir la résistance, la diode Schottky et transistor MOSFET.

Sans oublier, l'étain pour souder et le câble isotherme collé au-dessus des soudures pour éviter les contacts.

CABLAGE

Dans un premier temps, on a pris un montage qui était utilisé dans le cadre d'une autre mission, mais qui a été modifié selon nos besoins.

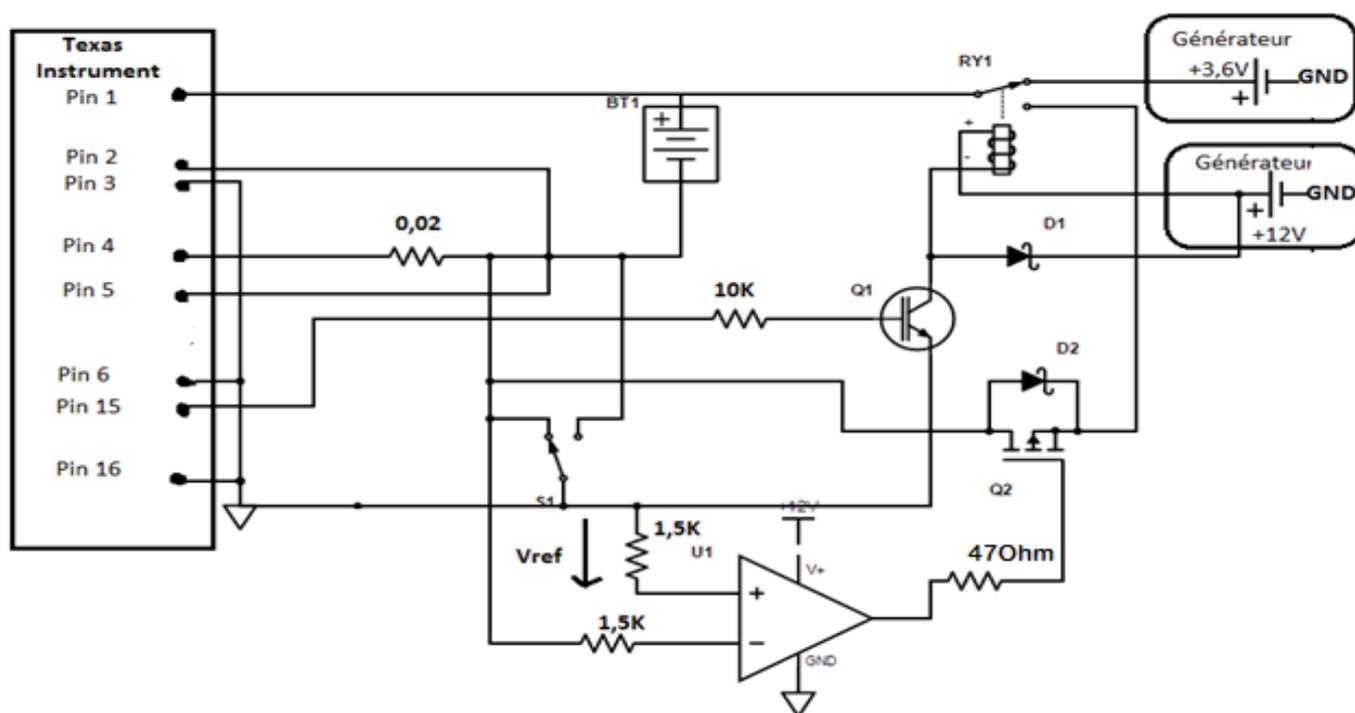


Figure 7

Après avoir réalisé le montage ci-dessous, on s'est rendu compte qu'il y a des fluctuations au niveau de la tension aux bornes de la batterie. Ces fluctuations sont dues au changement du courant de charge et de décharge, car dans notre cas, on passe d'un courant de charge de 1,5 A à un courant de décharge de 5A.

Pour éliminer ces fluctuations, on a augmenté la valeur de la résistance en sortie de l'amplificateur de 47 Ohms à 1,5 kOhms et on a rajouté un condensateur. Cette nouvelle résistance et le condensateur vont nous permettre de filtrer ces fluctuations.

La figure ci-dessous illustre les changements qu'on a réalisés sur le schéma électronique précédent.

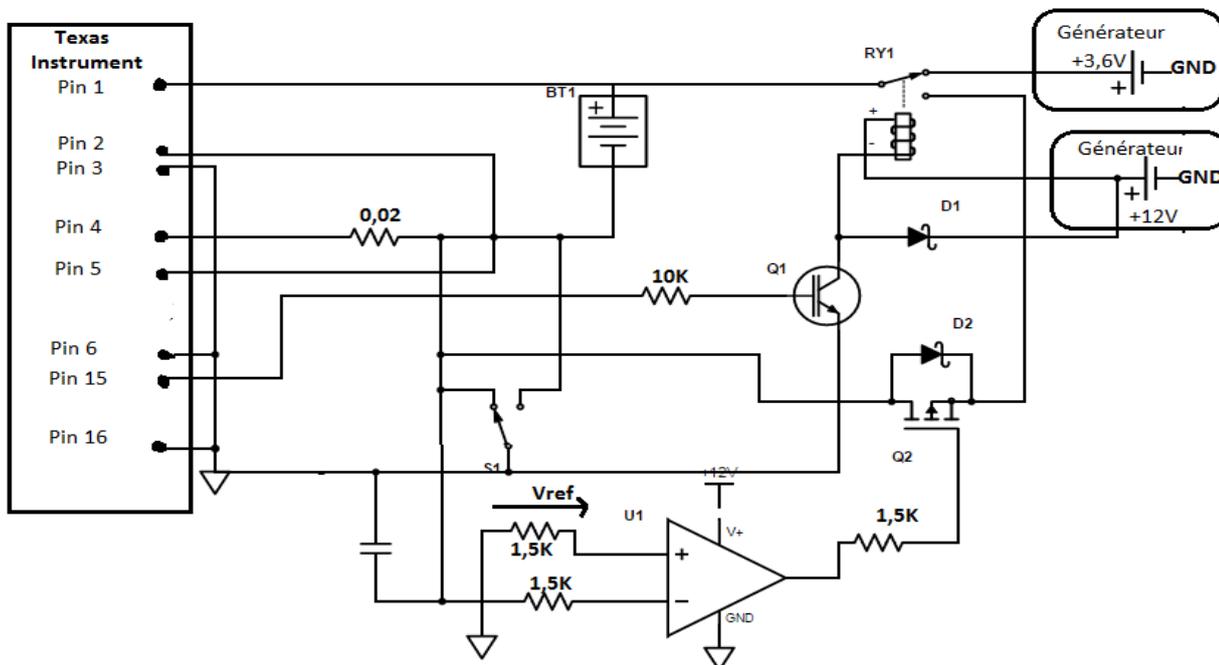


Figure 8

Le montage ci-dessus est le dernier circuit qu'on a retenu, car même en augmentant le courant de décharge à une valeur de 10 A, la tension ne fluctue pas.

Chaque Pin du TEXAS Instruments a un rôle précis :

- **Pin 1 et 2** : Mesure de la tension de la batterie
- **Pin 3 et 6** : Masse
- **Pin 4 et 5** : Mesure de la tension et du courant de la résistance 0.02 Ohm
- **Pin 15 et 16** : Contrôle du relais.

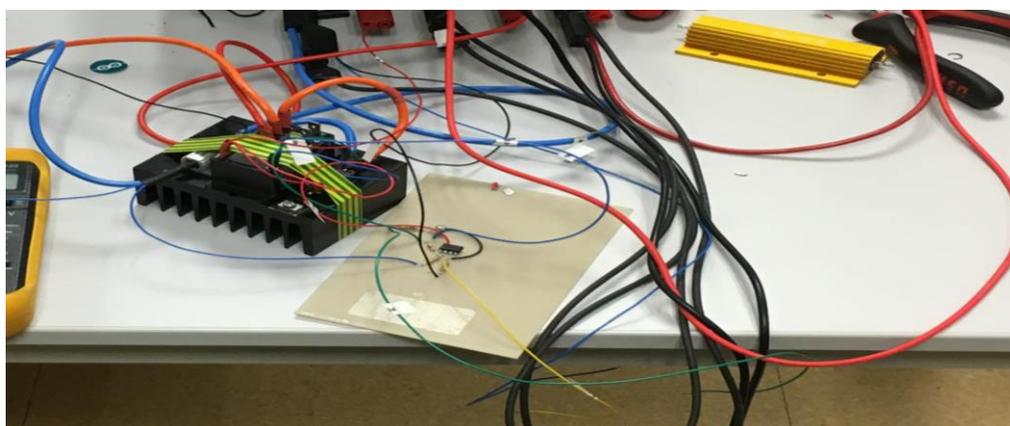


Figure 9



CALIBRATION :

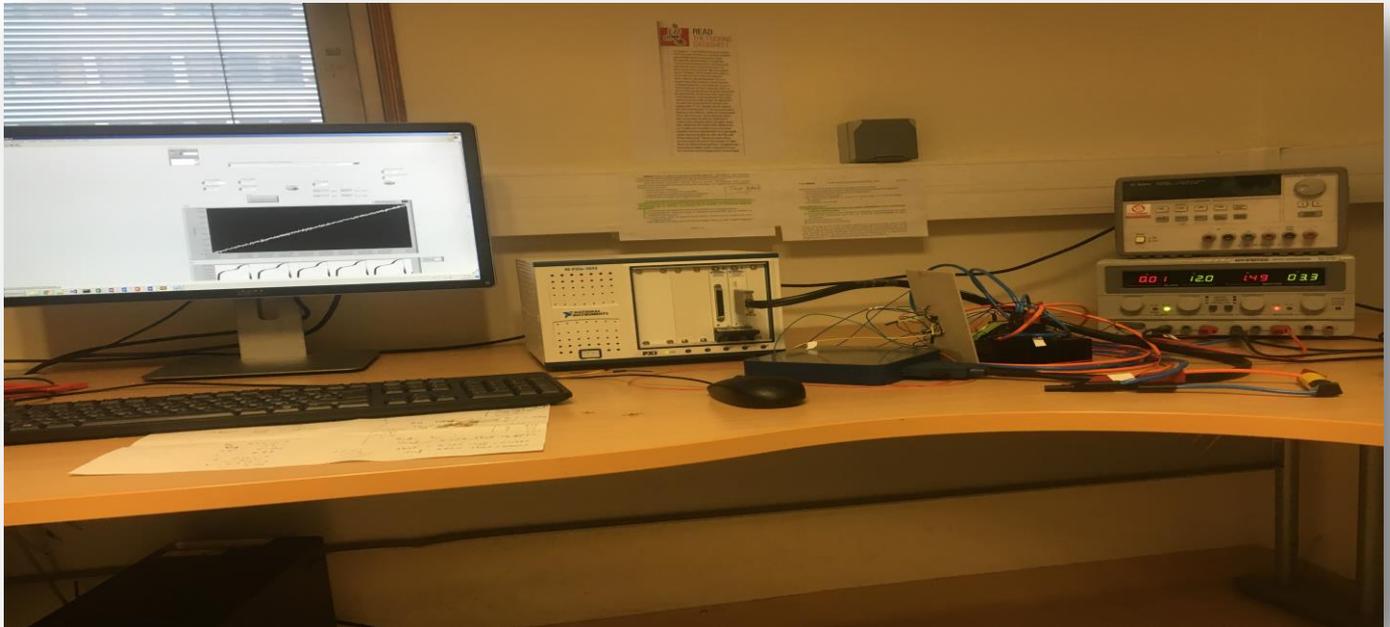


Figure 10

Après avoir câblé le banc de test, on a fait quelques calibrations qui vont nous permettre de mesurer les valeurs réelles qui passent dans notre circuit. Cela va nous permettre aussi de ne pas endommager notre batterie pendant nos tests et de bien contrôler nos cycles de charge et de décharge.

AUTOMATISATION DES TESTS ET TESTS :

Sous le logiciel LABVIEW qui est compatible avec le contrôleur TEXES Instruments, Mr HALLOIN a automatisé les tests en programmant des conditions sur les cycles de charge/décharge.

Condition 1 :

- Fournir un courant de 1,5A jusqu'à ce que la tension de la batterie atteigne une valeur de 3,6V, et le courant chute jusqu'à 0,1 A

Condition 2 :

- Décharger la batterie avec un courant de 5A à l'aide de la charge active jusqu'à ce que la tension aux bornes de la batterie atteigne la valeur de 2V.

Notre système fait des mesures chaque seconde de la tension et du courant de la batterie



Avec un programme sur le logiciel, on a réussi à enregistrer les valeurs de la tension ainsi du courant de la batterie. Ce qui nous permis de tracer la tension en fonction et le courant qui est lui aussi en fonction du temps.

Ci-dessous, les figures 13 et 14 représentent respectivement la tension de la batterie en fonction du temps et le courant de la batterie en fonction du temps.

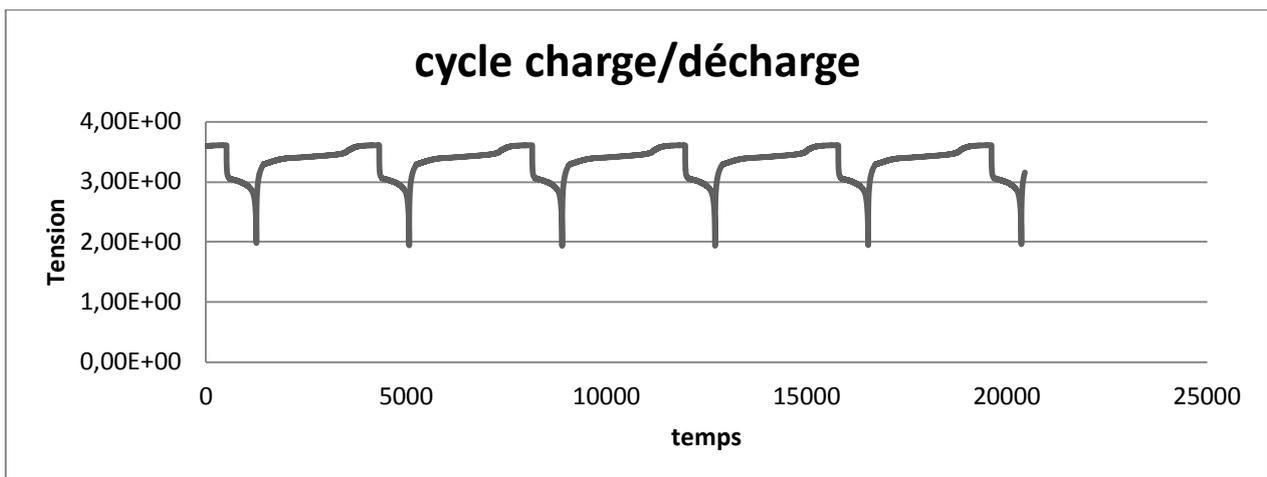


Figure 11

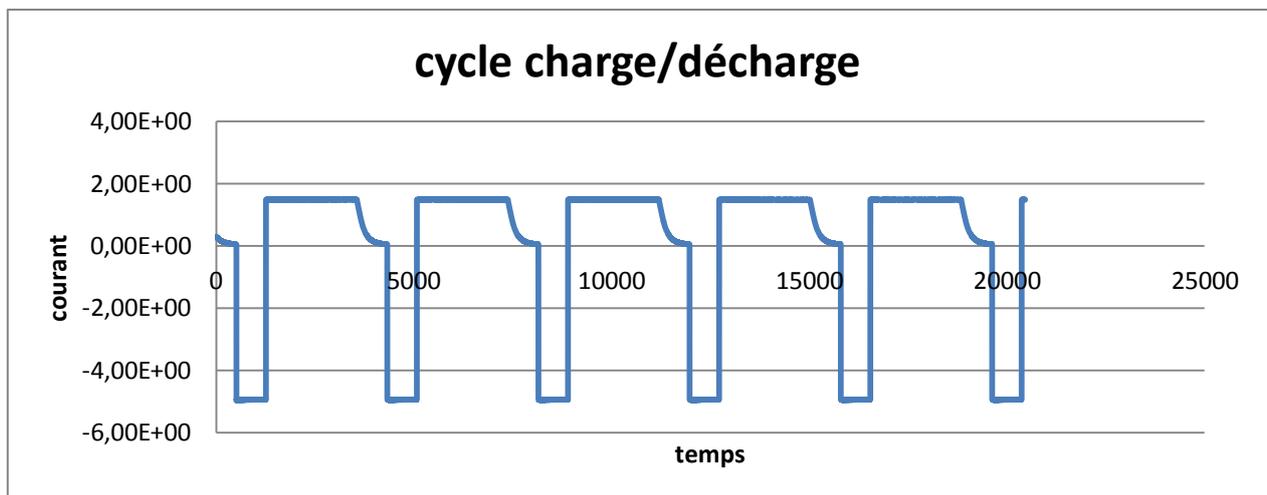


Figure 12

Dans un premier temps, on a fait des cycles de charge/décharge à la température ambiante dans la salle.

Sur les figures 13 et 14, on remarque la durée en seconde pour charger notre batterie, ainsi que pour la décharger. Le passage entre la charge et la décharge est réalisé par notre relais DPDT 277Vac 28VDC.

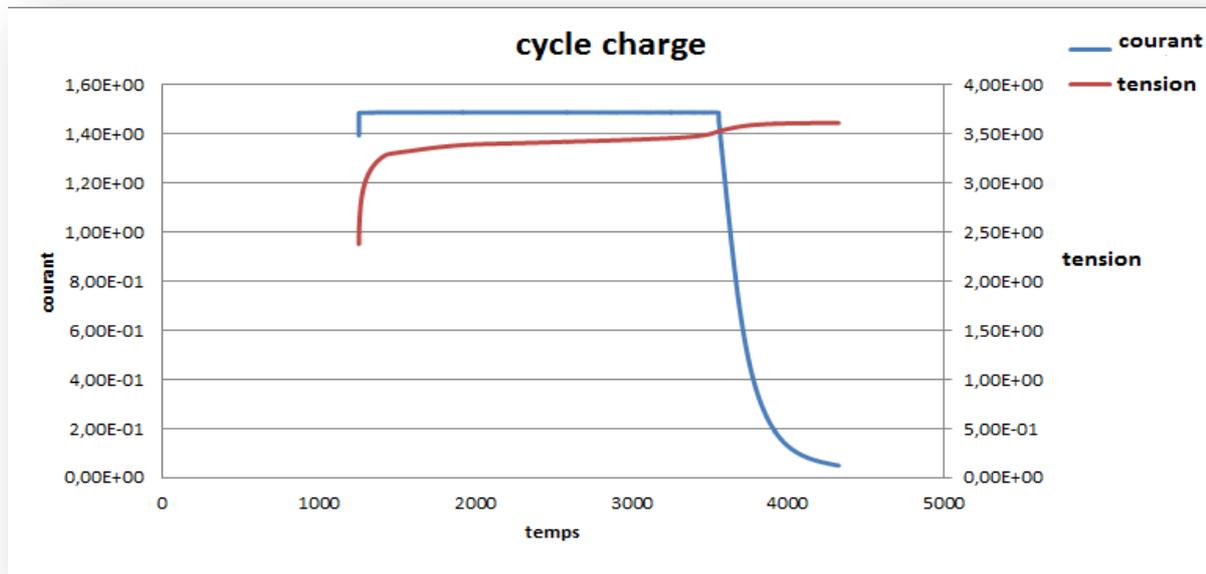


Figure 13

Et pour connaître la puissance que peut fournir notre batterie, il faut juste multiplier la tension maximale (3,6 V) par le courant de décharge qui est dans ce cas 1,5 A.

Et sachant que la capacité nominale de la batterie est l'intégral du courant fournie à la batterie par rapport au temps. Donc on a pensé au début à utiliser la méthode de Monte Carlo, mais M.HALLOIN nous a dirigé vers la méthode de trapèzes, et c'est la méthode qui va nous permettre de calculer la capacité nominale pour chaque cycle ainsi on va pouvoir connaître l'évolution de cette dernière durant plusieurs cycles.



TRAITER LES INFORMATIONS

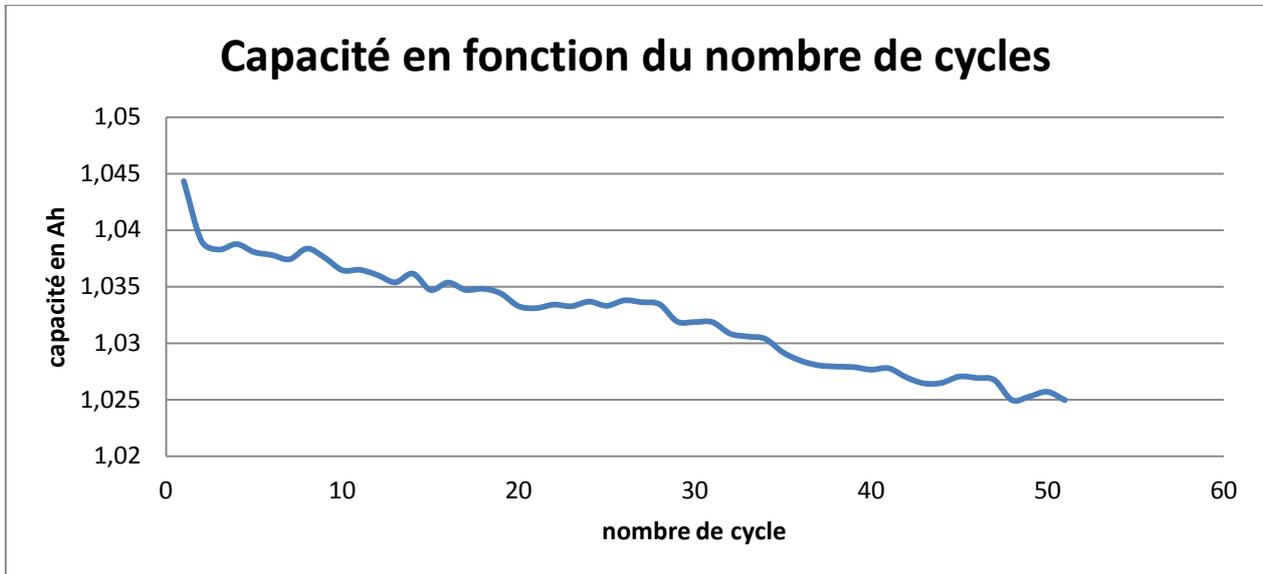


Figure 14

Dans cette partie, on a utilisé les données fournies par notre système de mesure pour pouvoir calculer la capacité de la batterie pour chaque cycle. Pour ce faire, on a utilisé la méthode des trapèzes qui nous a permis d'intégrer l'intensité par rapport au temps ce qui est égale à la capacité de la batterie. Cette intégration a été faite à l'aide d'un petit programme qu'on a implémenté sur le logiciel MATLAB (programme en annexe).

On remarque bien que la capacité de la batterie diminue avec le nombre de cycle, et sur la figure ci-dessus, on constate que pour 51 cycles la capacité de la batterie a diminué de 2%.

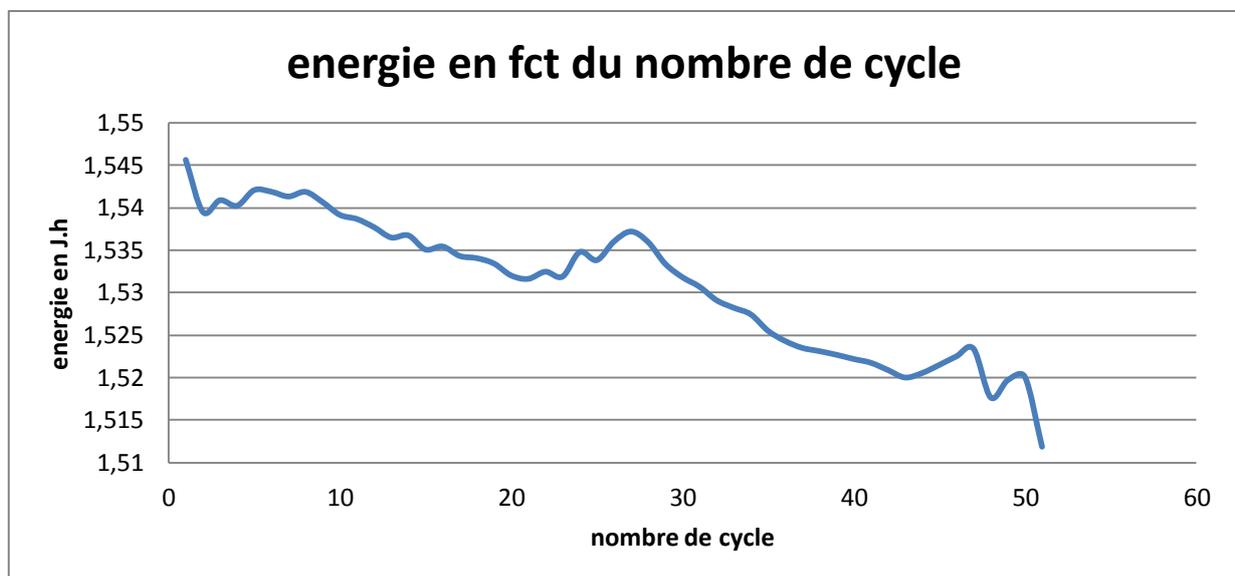


Figure 15



On a aussi calculé l'énergie que peut fournir notre batterie, en calculant tout d'abord la puissance fournie par la batterie qu'on a intégré par rapport au temps à l'aide de la méthode des trapèzes, ce qui nous a permis d'obtenir l'énergie que peut fournir notre batterie.

On constate d'après le graphe ci-dessus que l'énergie diminue avec le nombre comme ce qui est le cas pour la capacité de la batterie.

CONCLUSION GENERALE

Durant ce projet, on a pu étudier la batterie LiFePO₄ qui est plus stable par rapport aux batteries lithium ion. Dans un premier temps, on a commencé par définir nos besoins, c'est-à-dire ce qu'on voulait savoir de cette batterie, ce qui nous a permis de définir les protocoles de tests, et pour la réalisation de ces tests, on s'est rendu compte qu'il nous fallait une panoplie de matériel électronique qui va nous permettre par la suite de faire des mesures de tension et de courant sur la batterie. Dans un deuxième, on a développé le banc de test qu'on va par la suite l'automatiser à l'aide du logiciel LABVIEW pour pouvoir faire des cycles de charge/décharge.

On avait comme objectif durant ce projet de faire les tests sous des températures différentes ce qui n'a pas été le cas.



BIBLIOGRAPHIE

- **Documents sur le DRIVE IGOSAT**
- **Thermal analysis of a LiFePo4 Battery**
Autor: David Balaguer Escolano
- **Battery Capacity Estimation of Low-Earth Orbit Satellite Application**
Myungsoo Jun¹, Kandler Smith², Eric Wood³, and Marshall .C. Smart⁴
- **High Power Lithium Ion APR18650**
Datasheet de la batterie fourni par le constructeur
- <http://blog.patrickmodelisme.com/post/qu-est-ce-qu-une-batterie-lipo>
- **Fiche d'information batterie fournie par SAFT**
- **Test bench for the characterization of batteries for use inSAPS**
P. Cossolia*, L. Veraa, A. Bussoa



ANNEXE

```
load MesuresBatteries_160117.txt
```

```
x=0;
```

```
g=0;
```

```
c=zeros(1,261);
```

```
for i=1:length(MesuresBatteries_160117)
```

```
    if MesuresBatteries_160117(i,2)==1 && MesuresBatteries_160117(i+1,2)==1
```

```
        x=-(MesuresBatteries_160117(i,5) + MesuresBatteries_160117(i+1,5))*(MesuresBatteries_160117(i+1,1)-  
MesuresBatteries_160117(i,1))/2;
```

```
        g=g+x;
```

```
    elseif MesuresBatteries_160117(i,2)==1 && MesuresBatteries_160117(i+1,2)==0
```

```
        c(1,i)=g;
```

```
        x=0;
```

```
        g=0;
```

```
    end
```

```
end
```

```
j=1;
```

```
for k=1:length(c)
```

```
    if c(1,k)>0
```

```
        capa(1,j)=c(1,k);
```

```
        j=j+1;
```

```
    end
```

```
end
```

```
EN=zeros(1,194780);
```

```
ENR=0;
```

```
h=0;
```

```
puissance=zeros(194780,1);
```

```
for i=1:length(MesuresBatteries_160117)
```

```
    if MesuresBatteries_160117(i,2)==1 && MesuresBatteries_160117(i+1,2)==1
```

```
        puissance(i,1)=-MesuresBatteries_160117(i,5)*MesuresBatteries_160117(i,7);
```

```
        ENR=(puissance(i,1) + puissance(i+1,1))*(MesuresBatteries_160117(i+1,1)-MesuresBatteries_160117(i,1))/2;
```

```
        h=h+ENR;
```

```
    elseif MesuresBatteries_160117(i,2)==1 && MesuresBatteries_160117(i+1,2)==0
```

```
        EN(1,i)=h;
```

```
        ENR=0;
```

```
        h=0;
```

```
    end
```

```
end
```

```
j=1;
```

```
for k=1:length(c)
```

```
    if EN(1,k)>0
```

```
        energie(1,j)=EN(1,k);
```

```
        j=j+1;
```

```
    end
```

```
end
```

```
plot(energie/3600);
```