

# Cahier des charges

## Système de protection et de gestion de batterie Li-ion

Par

Daigneault-St-Arnaud, Christian, DAIC30099006

Gagnon-Bourassa, Julien, GAGJ23108601

Cusson-Larocque, Olivier, CUSO09048905

ELE791 - Projets spéciaux

Deslandes, Dominic

18 mai 2017

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

# 1 Contexte et définition du problème

## 1.1 Danger des batteries Li-ion

L'avènement des énergies renouvelables et de l'électrification des transports comporte des défis importants. Notamment, celui d'emmagasiner l'énergie et d'être capable de délivrer des puissances de plus en plus élevées. Une des technologies privilégiées à cet effet est l'utilisation d'accumulateurs au lithium-ion. Ayant une densité énergétique intéressante, beaucoup de développement technologique est effectué dans ce domaine. Par contre, cette caractéristique recherchée est un couteau à deux tranchants. En effet, ce type d'accumulateurs nécessite des équipements de protection, sans quoi ils peuvent devenir instables et causer des dommages importants. Les accumulateurs doivent également opérer à l'intérieur des caractéristiques données par le fabricant, ce qui n'est pas toujours évident à respecter lorsque plusieurs facteurs influencent ces caractéristiques. De plus, dans plusieurs applications, plusieurs centaines de ces accumulateurs sont reliés ensemble pour former une batterie, ajoutant des risques supplémentaires. C'est pourquoi un système de surveillance est nécessaire au bon fonctionnement de la batterie et pour éviter des événements catastrophiques.

## 1.2 Système de protection et de gestion de batterie

La protection et la gestion de batterie se font par un système électronique. Il est important de comprendre les différentes composantes formant le système de protection et de gestion de batterie.

**Cellule :** C'est la plus petite unité composant un système. Les cellules sont des accumulateurs chimiques pouvant avoir une forme cylindrique, prismatique ou en sachet.

**Module :** Les cellules sont regroupées en parallèle pour former des modules. De cette façon, on peut additionner le courant venant des cellules. Les modules peuvent être remplacés dans un système.

**Batterie :** On dispose les modules en série pour former la batterie. On augmente ainsi la tension pour l'application voulue.

**Système de protection :** Cette composante effectue des mesures sur les modules. On mesure entre autres la tension, le courant et la température. Cela permet de savoir si les cellules opèrent à l'intérieur des caractéristiques fournies par le fabricant des cellules. Il s'assure également que les modules soient balancés pour éviter une surtension des modules lors de la recharge. Il commande aussi les périphériques auxiliaires, tels que les ventilateurs de refroidissement.

**Système de gestion :** Il est nécessaire de faire une bonne gestion pour s'assurer du bon fonctionnement de la batterie. Le système de gestion calcule donc l'état de charge, l'état de santé et les limites de puissance. Le système communique ces informations à d'autres systèmes avec un protocole de communication. Il gère également les contacteurs connectant la batterie avec la charge et la recharge.

## 1.3 Projet spécial

Le cours ELE791 permet aux étudiants de réaliser un projet d'initiation à la recherche ou un projet destiné à un club étudiant participant aux diverses compétitions d'ingénierie. C'est pourquoi

une équipe de trois étudiants en génie électrique de l'École de technologie supérieure feront la conception d'un système de protection et de gestion de batterie. Un rapport technique et une présentation orale doivent être effectués au terme de ce projet. Or, l'équipe fait partie du club étudiant Éclipse et réalisera le système de protection et de gestion de batterie du dixième prototype de ce club.

## 1.4 Club étudiant Éclipse

Éclipse est un club étudiant composé d'une vingtaine d'étudiants en ingénierie qui ont pour objectif de construire un véhicule alimenter par l'énergie solaire à l'aide de panneaux photovoltaïques. Depuis sa fondation en 1992, neuf prototypes ont été construits en y intégrant les technologies de pointe disponibles au moment de leur conception. Similaire aux voitures électriques, le véhicule solaire possède une chaîne de traction électrique comme moyen de propulsion. Les moteurs-roues sont alimentés par des entraînements électriques qui sont à leur tour alimentés par une batterie. Depuis quelques années, l'équipe s'est tournée vers l'utilisation d'accumulateurs au Li-ion. Il est donc nécessaire d'avoir un système de protection et de gestion de batterie.

Une des philosophies du club est de concevoir par les étudiants le plus de modules possible. Le temps de développement du dernier système de protection et de gestion de batterie a pris environ 7 ans et comme la conception d'un nouveau véhicule se fait tous les deux ans, la disposition des batteries change beaucoup. C'est pourquoi les deux derniers prototypes ont utilisé des systèmes achetés de compagnies externes. L'intégration de système provenant de compagnies externes accélère le temps de fabrications du véhicule, mais ne permet pas le contrôle total du système. L'expertise de conception de ces systèmes se perd également au sein du club puisqu'il y a un gros roulement d'étudiants. Il faut également des systèmes fiables et robustes, ce qui peut être difficile à concevoir lorsque ce système est aussi critique qu'un système de protection et de gestion de batterie. Une défaillance de ce système pourrait mener la destruction partielle ou totale du véhicule et la vie du pilote est en jeu. D'autant plus que le véhicule solaire sera soumis à plusieurs épreuves dans des conditions de route réelles et en circuit fermé durant les compétitions.

## 1.5 Compétitions

Les différentes compétitions dont participe Éclipse ont tous leurs particularités et leurs règlements spécifiques. Il est donc important de concevoir le système de protection et de contrôle de batterie pour qu'il soit compatible avec les différentes compétitions. Il est également important de corriger les défis rencontrés durant les compétitions passées afin de faciliter les compétitions suivantes. Éclipse prévoit participer à la Formula Sun Grand Prix (FSGP) et à l'American Solar Challenge (ASC), deux compétitions se déroulant aux États-Unis. Le club pourra participer à la World Solar Challenge (WSC), compétition se déroulant dans le désert de l'Australie, s'il se classe bien aux deux compétitions précédentes.

### 1.5.1 ASC2016

La dernière compétition était la American Solar Challenge 2016. Cette compétition survient tous les deux ans et elle est séparée en deux étapes. La première étape, la Formula Sun Grand Prix 2016, est une course en circuit fermé. Le club a trois jours pour passer tous les tests techniques pour pouvoir embarquer sur la piste les trois jours suivants. Durant la dernière compétition, il a été très

difficile de passer les tests électriques concernant le système de protection de batterie. Puisque le club utilisait un système provenant d'une compagnie externe, il était ardu de pouvoir effectuer les tests. Le club n'avait pas accès à tous les systèmes de protection.

Durant la deuxième partie de la compétition, les différentes équipes participantes devaient parcourir un trajet de 3000 km à travers les États-Unis. Pour cette course d'endurance, il est primordial de bien faire la gestion de l'énergie du véhicule. Cependant, il était très difficile de recueillir l'état de charge de la batterie avec le système actuel. De plus, il ne prenait pas en compte la situation où la batterie est complètement chargée et un freinage régénératif venait recharger la batterie. Le système coupait automatiquement l'alimentation du véhicule, perdant du temps précieux.

### 1.5.2 Compétitions futures

Il est important de se pencher sur les règlements des prochaines compétitions pour que le système soit conforme et pour que le club ne subisse pas de pénalité.

**FSGP2017 :** Les règlements pour cette compétition sont les plus sévères puisque les équipes doivent passer les tests de vérification. Ces tests comprennent la détection d'un dépassement de la tension au-dessus et en dessous des spécifications du manufacturier. Le système de protection doit aussi détecter lorsque le courant dépasse la limite permise. De plus, le système doit détecter lorsque la température atteint un niveau trop élevé. Les procédures de ce test sont disponibles dans le document Battery Protection System Test Procedure, document fourni par les responsables de la compétition. Également, l'article 5.4 Protection Circuitry, le système de protection doit être actif lorsque la chimie des cellules utilise du Li-ion. C'est-à-dire qu'il doit actionner le relais principal lorsque les fautes mentionnées plus haut sont détectées. Le conducteur doit également en être avisé sur son tableau de bord [1].

**ASC2018 :** Les règlements sont très similaires à la FSGP2017. L'article 8.3 de la réglementation détaille les requis pour un système de protection de batterie [2].

**WSC2019 :** Le seul règlement qui concerne le système de protection de batterie est l'article 2.5.8 qui spécifie que les cellules ne doivent pas, en aucun cas, opérer à l'extérieur des tensions, courant et température spécifiés par le manufacturier [3].

## 2 Objectifs

Réaliser tous les objectifs pour avoir un système de protection et de gestion de batterie n'est malheureusement pas réalisable dans le cadre du cours de Projets spéciaux. Puisque la compétition aura lieu à l'été 2018, l'équipe d'Éclipse pourra continuer le projet tout en se référant à ce cahier des charges. Les objectifs sont donc séparés en deux sections : ELE-791, compétition ASC 2018.

### 2.1 Objectifs pour ELE-791

Les objectifs pour le cours se concentreront sur le minimum requis pour que le système soit utilisable en compétition. Les règlements de la compétition (American Solar Challenge) imposent plusieurs critères pour que le système puisse être utilisé. Chaque critère est testé pendant la période

de vérification technique qui a une plage horaire donnée. Certaines fonctions propres au système de gestion sont aussi nécessaires pour avoir des performances intéressantes.

### **2.1.1 Protection des modules**

La protection des modules consiste à détecter une surcharge, une décharge excessive, un courant trop élevé et une température trop élevée. Suite à la détection d'une faute, le système de protection doit amener la batterie à un état sécuritaire indépendamment du conducteur. La réglementation exige que des indicateurs de fautes soient installés à l'extérieur du véhicule et sur le tableau de bord. La faute doit être verrouillée et cette dernière doit seulement être effacée manuellement lorsque le véhicule n'est pas en mouvement et que la faute n'est plus présente.

### **2.1.2 Balancement des modules**

Le balancement des cellules signifie que tous les modules sont à la même tension lors de la fin de la charge. Il existe différentes stratégies de balancement des modules qui varient en complexité. Bien que ce ne soit pas nécessaire pour que le système se qualifie, l'étape de balancement à la fin de la charge de la batterie permet d'atteindre un état de charge de 100% pour tous les modules. Cette étape est critique pour une bonne performance à la compétition.

### **2.1.3 Compatibilité avec le BMS présentement utilisé**

Éclipse utilise présentement un système de protection et de gestion de batterie avec lequel tous les autres circuits sont compatibles et fonctionnels. Pour faciliter l'intégration du projet réalisé dans ce cours, il devra être compatible autant au niveau matériel que des fonctionnalités logicielles avec celui présentement utilisé.

### **2.1.4 Facilité les manipulations lors des vérifications techniques**

Il est important que les manipulations prennent le moins de temps possible lors des vérifications techniques à la compétition afin d'avoir une marge de manœuvre pour faire des ajustements ou des réparations de dernières minutes. Les méthodes et procédures de vérification de l'American Solar Challenge sont disponibles et devront être effectuées sur le projet avec moins de manipulations que le système utilisé présentement.

## **2.2 Objectifs pour la compétition ASC 2018**

Plusieurs fonctionnalités intéressantes pourraient permettre au système de gestion de batterie d'être beaucoup plus performant. Ces fonctionnalités seront développées au cours de l'année lorsque le cours d'ELE-791 sera terminé.

### **2.2.1 Contrôle du système de refroidissement**

Les modules ne doivent pas atteindre une certaine température spécifiée dans la fiche technique du fabricant. Un système de refroidissement sera intégré et contrôlé par le système de gestion de batterie.

### 2.2.2 Calcul de l'état de charge

Le calcul de l'état de charge est très important au cours de la compétition pour élaborer la stratégie de course. Il existe plusieurs méthodes pour estimer la charge et ces techniques varient en complexité et en précision. Il faudra donc évaluer et tester chaque méthode pour déterminer celle qui répond le mieux aux besoins et l'implémenter.

### 2.2.3 Limites dynamiques

Afin d'avoir un maximum de performance et de robustesse, des limites dynamiques doivent être communiquées à la charge afin de prévenir les différentes fautes décrites au point 2.1.1. Ces limites sont calculées en temps réel par le système de gestion de batterie.

### 2.2.4 Surveiller la batterie et envoyer les informations sur un serveur

La batterie d'Éclipse passe la majorité de sa vie utile entreposée à l'atelier sans être surveillée. Une faute ou un état de charge trop bas peut endommager la batterie de façon permanente. Le système de protection et de gestion de la batterie pourrait être connecté à Internet et transmettre les données tout au long de la période d'entreposage afin qu'Éclipse puisse réagir au besoin.

## 3 Description fonctionnelle

### 3.1 Fonctionnalités pour le projet spécial

**Lecture de tension des modules :** Lecture de la tension aux bornes de chaque module.

**Lecture du courant de la batterie :** Lecture du courant bidirectionnel de la batterie.

**Lecture de température :** Lecture de la température ambiante à l'intérieur de la batterie et des modules.

**Détection de surtension :** Une faute de surtension est déclenchée lorsque la tension d'un module est plus élevée que celle donnée par le fabricant avec une marge de sécurité.

**Détection de sous-tension :** Une faute de sous-tension est déclenchée lorsque la tension d'un module est plus basse que celle donnée par le fabricant avec une marge de sécurité.

**Détection de courant trop élevé :** Une faute de courant trop élevé est déclenchée lorsque le courant de charge ou de décharge ne respecte pas les maximums donnés par le fabricant avec une marge de sécurité.

**Détection de température trop élevée :** Une faute de température trop élevée est déclenchée lorsque la température du module est plus haute ou plus basse que la région d'opération donnée par le fabricant avec une marge de sécurité.

**Balancement des modules :** La tension de chaque module est amenée à la même tension et/ou le même état de charge.

**Contrôle des contacteurs :** Le système de protection et de gestion de batterie contrôle l'état des contacteurs pour connecter ou déconnecter la batterie. L'état des contacteurs est surveillé pour détecter des rebondissements ou une défaillance.

**Précharge :** Limitation du courant lorsque la batterie est connectée à la voiture pour charger les charges capacitatives.

**Communication :** Les différentes informations sont communiquées au circuit de contrôle de la voiture solaire et tout autre circuit externe à la voiture.

**Sécurité de la batterie :** Lorsqu'une faute est déclenchée, le système de protection amène la batterie à un état sécuritaire.

### 3.2 Fonctionnalités pour la compétition

**Détection d'un débalancement des modules :** Une alarme est déclenchée lorsque l'écart maximum entre deux modules est atteint. Cette alarme indique à l'équipe qu'un module devrait être changé, car il diminue les performances de la batterie.

**Gestion du système de refroidissement :** Le système de gestion contrôle les ventilateurs pour maintenir une température sécuritaire et optimale si possible.

**Estimation de l'état de charge :** L'état de la charge de la batterie est estimé en temps réel et communiqué à la télémétrie.

**Limites dynamiques :** Le système de gestion communique les limites de performance (courant et/ou puissance) en temps réel à la voiture afin d'éviter que la batterie entre en faute.

**Surveillance à distance :** Le système de gestion prend quelques mesures chaque jour lorsque la batterie est entreposée et communique ces mesures à un serveur.

## 4 Spécifications

Les spécifications du projet sont majoritairement tirées du guide d'inspection qui va être utilisé par les organisateurs de la compétition [4]. Les spécifications pour les fonctionnalités et objectifs pour la compétition ASC 2018 seront déterminés en automne.

TABLE 1 – Spécifications pour ELE-791

Fonctionnalités	Paramètres	MIN	MAX	Unité
Lecture de tension des modules	Tension d'entrée	2	5	V
	Résolution	$\pm 10$		mV
Lecture de courant	Courant			A
	Résolution		$\pm 2$	%
Lecture de température	Région d'opération	-10	85	°C
	Résolution	$\pm 2$		°C
Balancement	Écart Vmin et Vmax		50	mV
Faciliter les manipulations	Manipulation		12	
Détection d'une faute	Délais		200	ms
Sécuriser la batterie	Délais		200	ms
	Tension aux bornes de la batterie		0	V
	Courant lorsque charge est branchée		0	A
Précharge	Temps		10	s

## 5 Ressources

### 5.1 Ressources humaines

**Membres de l'équipe :** L'équipe se compose de trois membres en génie électrique chacun possédant des connaissances en conception de carte électronique et en programmation embarquée. Les membres de l'équipe consacrent un minimum de 10 heures par semaine, soit environ 30 heures. Ces heures peuvent augmenter durant les parties critiques du projet ou s'il y a des retards sur l'échéancier.

**Membres d'Éclipse :** Il est possible que certaines parties moins critiques du projet soient déléguées à d'autres membres du club. Par exemple, certains membres ont porté leur intérêt de faire de la recherche ou simplement souder les cartes électroniques. De plus, puisque le système de protection et de gestion de batterie touche d'autres modules du véhicule, les responsables de ces projets peuvent aider l'équipe dans l'intégration du système.

**Autres ressources :** Les anciens membres ayant travaillé sur des projets similaires peuvent donner à l'équipe de judicieux conseils. Les professeurs de l'école peuvent également aider sur des questions plus techniques ou sur les meilleures méthodes de travail à utiliser. Par exemple,



l'équipe peut compter sur l'aide de Dominic Deslandes, professeur responsable de ce projet, et sur Handy Blanchet-Fortin, professeur en électronique de puissance. Puis, le concepteur du système de protection de batterie du club Walking Machine et chargé de laboratoire en ELE-542, Shan Meunier, a proposé de répondre aux questions de l'équipe.

## 5.2 Ressources logiciels

Pour ce projet, l'équipe utilisera plusieurs logiciels différents pour concevoir les cartes imprimées (KiCad), écrire le code de la plateforme embarqué (Eclipse IDE), simuler le système (Octave), rédiger des textes (LaTeX), gérer les versions (Git) et dessiner les boîtiers (Openscad). Ces logiciels sont tous libres, accessibles et ils s'intègrent bien à la méthodologie de l'équipe. Tous les fichiers sont lisibles avec n'importe quel éditeur de texte, ce qui rend le versionnage et le travail collaboratif beaucoup plus facile.

## 5.3 Ressources matérielles

L'équipe pourra bénéficier du matériel disponible au club étudiant Éclipse. Elle a donc accès à de l'équipement de soudure, à du matériel électronique et des instruments de test. Le magasin électrique de l'école peut également prêter des instruments de mesure et peut fournir des pièces électroniques communes. Les membres de l'équipe possèdent aussi de l'équipement pour réaliser le projet.

## 5.4 Ressources financières

**Budget :** Le budget alloué à ce projet est d'environ 2000 dollars, montant versé par Éclipse. La majorité des coûts seront principalement reliés à l'achat de pièces électroniques. Puisque les logiciels utilisés sont gratuits, l'équipe réduit énormément ses coûts de développement. De plus, la plupart des instruments et outils sont disponibles par l'entremise d'Éclipse ou fournis par les membres de l'équipe.

**Commandites :** Grâce à une commandite de Labo Circuit, obtenue par Éclipse, l'équipe économise de l'argent sur la fabrication des cartes électroniques (PCB). Également, une autre commandite de Wurth Electronik réduit le prix des pièces électroniques.

# 6 Méthodes de travail

Le développement logiciel se fera en adoptant quelques-unes des meilleures pratiques de l'industrie dans le but d'obtenir un produit de qualité et surtout sécuritaire. Comme la vie d'un humain dépendra du bon fonctionnement du système de gestion des batteries, il est impératif de réduire au maximum les risques d'erreurs de programmation. Les pratiques qui seront décrites dans cette section aideront à atteindre ce but.

## 6.1 Flux de travail (workflow)

Le flux de travail général pour le développement logiciel dépendra de l'utilisation de Git. Git est un logiciel de gestion de versions décentralisé. Il permet, entre autres, d'enregistrer l'état du code source à tout moment (commit) et ainsi d'avoir un historique des différentes modifications

passées (log). Il permet aussi de faciliter le travail collaboratif en permettant à plusieurs personnes de travailler facilement sur le même projet ou fichier en même temps. Tout le code d'un projet se retrouve dans un répertoire (repository) et est segmenté en branches (branch). Une branche est une façon d'attribuer une signification au code qui est développé.

Dans le flux de travail utilisé, la branche « master » servira au code qui est prêt à faire partie du produit final. Elle est donc utilisée pour faire des relâches (release). La branche « develop » est la branche qui contient le code qui a été révisé et candidat pour la prochaine relâche. Le développement du code dans « develop » est donc en avance sur celui du code dans « master ». Ensuite, il y a les branches de fonctions (features), qui porteront le nom de la fonction à implémenter. Par exemple, si la fonction de lecture de courant doit être développée, elle le sera dans une branche qui pourra porter le nom de « lecture\_de\_courant ».

Une fois le code d'une fonctionnalité terminé, le développeur devra faire un « pull request », c'est-à-dire une demande explicite que son code soit fusionné (merge) avec le code de « develop ». Ce processus implique qu'un autre développeur révise le code proposé et exige des modifications le cas échéant. Une fois le code fusionné avec celui de « develop », la branche de la fonction pourra être supprimée pour ne pas embourber le système inutilement. La révision de code est obligatoire par au moins un autre développeur. Si le temps le permet, un deuxième développeur pourra aussi réviser le code.

## 6.2 Standards

L'utilisation de standards reconnus est une bonne façon d'assurer une certaine constance dans la qualité du code produit. Les standards suivants sont utilisés en tout ou en partie, selon les contraintes imposées par le projet et les préférences de l'équipe de développement.

### 6.2.1 MISRA-C

MISRA-C est un standard de bonnes pratiques qui a été développé par un consortium automobile en 1998. Le standard s'applique au langage C, langage qui sera utilisé pour la programmation du système de gestion des batteries. La version 2012 du standard évoque 143 règles à suivre pour aider à la robustesse et la sécurité du code. Si certaines règles ne peuvent être appliquées pour une raison valable, le développeur pourra documenter l'omission de se conformer à la règle et quand même respecter le standard. Bien que MISRA-C ait été développé pour l'industrie de l'automobile, on le voit souvent être utilisé dans d'autres domaines.

### 6.2.2 Linux Coding Standard

Ce standard est celui utilisé par les développeurs du noyau Linux, le coeur des systèmes d'exploitation GNU/Linux comme Ubuntu. Il consiste en une série de règles, dont une bonne partie sert à décrire l'allure du code source. Par exemple, il décrit comment indenter les blocs de code et l'endroit où mettre les accolades ouvrantes et fermantes pour les définitions de fonctions et l'utilisation des boucles. Il y a aussi des règles ayant moins rapport à l'esthétisme comme celles concernant la bonne façon d'écrire des macros. L'utilisation d'un tel standard permet une uniformité au niveau de la base de code. En étant bien appliqué par tous les développeurs, on ne devrait pas être capable de dire qui a écrit telle ou telle partie de code.

## 6.3 Vérification et validation

Il est important de s'assurer que le code développé réponde bien aux fonctionnalités décrites et qu'il fait ce que le développeur s'attend à ce qu'il fasse. Plusieurs phases de tests sont nécessaires pour tester le système en profond

### 6.3.1 Tests unitaires

Ces tests sont développés pour tester chaque module séparément. On vérifie avec ceux-ci que les fonctions du module, soumis à différentes entrées, produisent les sorties prévues. On peut aussi vérifier qu'après une certaine séquence d'appel de ces fonctions, le système est dans l'état qu'il devrait être. L'outil utilisé pour ces tests sera le « framework » Ceedling.

### 6.3.2 Tests d'intégration

Ces tests, quant à eux, permettent de vérifier que l'interaction des différents modules fonctionne bien. Ils assurent que des modifications sur un module ne brisent pas le fonctionnement d'un autre module qui en dépendrait. L'outil utilisé pour ces tests sera le « framework » Ceedling et la plateforme d'intégration continue Travis-CI.

### 6.3.3 Tests de validation

Ces tests servent à vérifier que le système complet répond bien au cahier des charges. Ils seront exécutés directement sur le matériel à l'aide d'outils de test comme une charge électronique et des simulateurs de cellules au Li-ion.

## 6.4 Analyse statique

Chaque fichier source sera scruté par plusieurs analyseurs statiques. Ces analyseurs regardent automatiquement les lignes de code pour trouver non pas des erreurs de compilation, mais des erreurs de programmation qui feraient en sorte que le programme puisse avoir des comportements étranges. Par exemple, l'analyseur statique détectera l'utilisation de variables locales non préalablement initialisées et les boucles qui tentent d'écrire à un index d'un tableau qui dépasse sa taille. Ces erreurs sont normalement très difficiles à détecter et peuvent souvent n'arriver qu'à certaines occasions très précises. Les analyseurs utilisés seront splint et ccpcheck.

## 6.5 Modularité

Chaque fonctionnalité du projet devra être bien découpée en modules pour faciliter le test de celle-ci et ainsi permettre sa réutilisation. Comme le projet en est un de type embarqué, il sera important de développer des couches d'abstraction du matériel pour les modules qui en dépendent. La modularité du code permet aussi de déverminer celui-ci beaucoup plus facilement et d'éviter bien des erreurs de programmation de par le fait que tout est bien encapsulé.

## 7 Échéancier

### 7.1 Dates importantes

Semaine 1 (1 mai - 7 mai)

- 1er mai : Début du projet
- Début de la rédaction du cahier des charges
- Recherche de documentations techniques

Semaine 2 (8 mai - 14 mai)

- Rencontre avec le professeur
- Rédaction du cahier des charges

Semaine 3 (15 mai - 21 mai)

- 15 mai : Remise du cahier des charges
- Début de la rédaction du cahier de conception
- Veille technologique
- Génération d'idées pour le système

Semaine 4 (22 mai - 28 mai)

- Rencontre avec le professeur
- 22 mai : Congé férié
- Décomposition fonctionnelle

Semaine 5 (29 mai - 4 juin)

- Sélection des solutions
- Validation des solutions

Semaine 6 (5 juin - 11 juin)

- Rencontre avec le professeur
- Choix de la solution

Semaine 7 (12 juin - 18 juin)

- 12 juin : Remise du cahier de conception

Semaine 8 (19 juin - 25 juin)

- Rencontre avec professeur
- 23 juin : Congé férié
- Début de la rédaction du rapport final

Semaine 9 (26 juin - 2 juillet)

- 30 juin : Congé férié
- Schématisation des circuits

Semaine 10 (2 juillet - 9 juillet)

- Rencontre avec professeur
- Création des PCBs
- Achat des pièces

Semaine 11 (10 juillet - 16 juillet)

- Tests du prototype

Semaine 12 (17 juillet - 23 juillet)

- Rencontre avec professeur
- Correction du prototype

Semaine 13 (24 juillet - 30 juillet)

- Validation des corrections du prototype

Semaine 14 (31 juillet - 6 août)

- 2 août : Remise du rapport final

Semaine 15 (7 août - 13 août)

- Présentation orale

## Références

- [1] The Innovators Educational Foundation. *Formula Sun 2017 Regulations*.  
[http://americansolarchallenge.org/ASC/wp-content/uploads/2016/08/  
FSGP-2017-Regs-External-Revision-B.pdf](http://americansolarchallenge.org/ASC/wp-content/uploads/2016/08/FSGP-2017-Regs-External-Revision-B.pdf)
- [2] The Innovators Educational Foundation. *American Solar Challenge 2018 Regulations*.  
[http://americansolarchallenge.org/ASC/wp-content/uploads/2016/08/  
ASC2018-Regs-External-Revision-A.pdf](http://americansolarchallenge.org/ASC/wp-content/uploads/2016/08/ASC2018-Regs-External-Revision-A.pdf)
- [3] *World Solar Challenge 2017 Regulations*.  
[https://www.worldsolarchallenge.org/files/1502\\_2017\\_bwsc\\_regulations\\_final\\_  
release\\_version\\_1.pdf](https://www.worldsolarchallenge.org/files/1502_2017_bwsc_regulations_final_release_version_1.pdf)
- [4] The Innovators Educational Foundation. *Battery Protection System Test Procedure*.  
[http://americansolarchallenge.org/ASC/wp-content/uploads/2015/02/ASC2016\\_  
Protection-System-Test-Procedure.pdf](http://americansolarchallenge.org/ASC/wp-content/uploads/2015/02/ASC2016_Protection-System-Test-Procedure.pdf)