



Polytech Clermont

Département : Génie électrique

Systèmes électroniques pour une monoplace électrique

Gestion de Batterie et Sécurité en Formula Student

Rapport de Projet Formula Student réalisé du 20/12/2024 au 16/01/2025

Présenté par : Ludovic Genevay , Fabrice Gatete Manzi , Ruben Sargsayn , Théo Chacou Bertoldi

Non confidentiel



Tuteur entreprise : Patrice Touzet

Tuteur ou tutrice Polytech Clermont : Michel James

Année 2024/2025

Résumé

Le présent rapport décrit la conception et le développement d'un système de gestion de batterie (BMS) ainsi que de deux cartes électroniques de sécurité destinées à une monoplace électrique conçue pour la compétition Formula Student. L'objectif principal était d'assurer à la fois la performance et la sécurité du véhicule, tout en respectant les normes strictes imposées par le règlement de la compétition. Le projet a été structuré en différentes étapes permettant de développer et de tester chaque composant de manière progressive et indépendante, ce qui a conduit à des solutions fiables et optimisées. Les résultats obtenus renforcent la compétitivité et la durabilité du prototype tout en ouvrant la voie à des améliorations pour les futures éditions.

Abstract

This report presents the design and development of a Battery Management System (BMS) and two safety electronic boards for an electric car race developed for the Formula Student competition. The primary objective was to ensure both the performance and safety of the vehicle while adhering to the strict standards set by the competition's regulations. The project was organized into distinct phases, allowing for the progressive and independent development and testing of each component, resulting in reliable and optimized solutions. The outcomes enhance the prototype's competitiveness and durability while paving the way for improvements in future editions.

Mots-clés

Système de gestion de batterie, circuit imprimé, bus de communication, sécurité, performance, compétition, tension des cellules, température des cellules, courant de charge, équilibrage des cellules

Keywords

Battery management system, printed circuit board, communication bus, safety, performance, competition, cell voltage, cell temperature, charging current, cell balancing

Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre plus profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de notre projet et à l'élaboration de ce rapport final.

Tout d'abord, nous remercions chaleureusement M. Patrice Touzet, notre client, pour nous avoir confié ce sujet passionnant : "Conception d'un système de gestion de la batterie et deux cartes de sécurité". Votre confiance, vos orientations, et votre expertise ont été une source précieuse tout au long de cette aventure.

Nous adressons également nos remerciements à M. Jonathan Bernard, notre tuteur industriel, pour son accompagnement dans la gestion du projet. Vos conseils et votre soutien lors des différentes revues ont été essentiels pour nous aider à structurer notre travail et surmonter les obstacles.

Un grand merci à M. James Michel, notre tuteur Polytech, pour avoir répondu à toutes nos questions techniques avec patience et pour sa disponibilité constante. Votre expertise a joué un rôle clé dans la réalisation de ce projet.

Nous exprimons également notre gratitude à Mm Myriam Doghmi, notre professeure de communication, pour son suivi attentif et ses précieux conseils en matière de rédaction. Grâce à vous, nous avons pu améliorer la clarté et la qualité de notre rapport.

Nos remerciements vont également à M. Sanchez Francisco, technicien du département, pour nous avoir fourni des matériels de qualité, indispensables à la réussite de ce projet.

Enfin, nous souhaitons remercier l'ensemble de l'équipe pédagogique du département Génie électrique de Polytech, qui, par leur soutien, visible ou discret, ont contribué à la bonne réalisation de notre travail.

Ce projet est le fruit d'un effort collectif, enrichi par l'implication et l'aide précieuse de toutes ces personnes. Merci infiniment pour votre soutien et votre accompagnement.

Table des matières

Introduction	7
I. Circuit d'activation	8
<i>I.1. Introduction.....</i>	8
<i>I.2. Synoptique de la carte d'activation</i>	8
<i>I.3. Analyse détaillée du circuit d'activation TS : fonctionnement et optimisations</i>	9
<i>I.4. Fonctionnement technique des différents étages.....</i>	10
<i>I.5. Optimisations apportées et choix des valeurs des composants.....</i>	10
<i>I.6. Optimisation de la CAO.....</i>	11
<i>I.7. Conclusion</i>	11
II. Système de gestion de la batterie (BMS).....	12
<i>II.1. Fonctions principales</i>	13
<i>II.2. Structure du programme et méthodes de travail</i>	14
II.2.1. Introduction.....	14
II.2.2. Structure et Méthodes	14
II.2.3. Développement et Structure du Code.....	15
II.2.4. Gestion et Organisation des Données	17
II.2.5. Déploiement et Mise en Œuvre	17
II.2.6. Résultats et Perspectives	18
<i>II.3. Structure hardware de la carte BMS.....</i>	19
II.3.1. Introduction.....	19
II.3.2. Présentation générale de la carte	19
<i>II.3.3. Partie Alimentation et Puissance de Calcul.....</i>	20
<i>II.3.4. Gestion de la Température</i>	21
<i>Gestion des Cellules Batteries</i>	21
<i>II.3.5. Structure de la batterie</i>	22
<i>II.3.8. Schéma de liaison des cellules batterie</i>	24
<i>II.3.9. Schémas de la carte BMS</i>	24
<i>II.3.11. Validation effectuée :</i>	25
III. Brake System Plausible Device	28

<i>III.1. Introduction & contexte.....</i>	<i>28</i>
<i>III.2. Rôle principal et fonctionnement du BSPD</i>	<i>28</i>
<i>III.3. Cahier de charge basé sur le règlement.....</i>	<i>29</i>
⇒ Circuit non programmable :	30
<i>III.4. Développement sur Breadboard et Fonctionnalités Testées</i>	<i>31</i>
III.4.1. Fonctionnalités Clés Validées :	32
III.4.3. Analyse et choix des Composants Clés	33
<i>III.5. Temporisation avec le NE555 en Mode Monostable</i>	<i>35</i>
III.5.1 Introduction	35
III.5.2. Fonctionnement en Mode Monostable	36
III.5.3. Choix des Valeurs pour la Temporisation	36
<i>III.6. Fonctionnement Ré-déclenchable ou Non Ré-déclenchable</i>	<i>37</i>
Conclusion.....	37
Annexes	40

Introduction

Le développement de véhicules électriques de compétition impose des exigences élevées en matière de sécurité, de fiabilité et de performance.

Dans le cadre du projet Formula Student, ce rapport présente la conception et l'optimisation de plusieurs systèmes électroniques critiques, notamment une carte d'activation du circuit de coupure (SDC) et un système de gestion de batterie (BMS).

Ces dispositifs jouent un rôle clé dans la gestion sécurisée du Tractive System (TS), garantissant que l'alimentation haute tension ne soit activée qu'en présence de conditions optimales et sécurisées. L'objectif principal de ce travail a été de renforcer la robustesse et la fiabilité d'une carte déjà existante, en améliorant la précision des comparateurs, la gestion des surtensions et la stabilité de l'alimentation.

En complément, une approche rigoureuse de conception assistée par ordinateur (CAO) a permis d'optimiser l'implantation des composants afin de minimiser les interférences et d'améliorer l'intégration dans le véhicule.

Ce rapport détaille les principes de fonctionnement, les optimisations apportées et les validations effectuées sur ces circuits. Il met en lumière les choix techniques ayant guidé leur conception, dans le respect du règlement strict imposé par la Formula Student, afin d'assurer un fonctionnement fiable et sécurisé du véhicule en conditions de course.

I. Circuit d'activation

I.1. Introduction

Comme mentionné précédemment, nous allons ici nous concentrer sur le travail réalisé sur la carte d'activation du circuit. Cette carte a pour objectif d'assurer la commande et la sécurisation du Shutdown Circuit. Notre travail consiste à optimiser une carte déjà fonctionnelle, en renforçant sa robustesse d'un point de vue schématique et électrique. Dans un premier temps, nous présenterons le fonctionnement de la carte et son rôle dans la chaîne de sécurité du véhicule. Ensuite, nous expliquerons en détail les optimisations apportées à cette carte, avant de conclure sur les résultats obtenus et leur impact global.

I.2. Synoptique de la carte d'activation

Le **circuit d'activation** joue un rôle clé dans la gestion sécurisée du **Tractive System (TS)** en permettant la fermeture du **Shutdown Circuit (SDC)** uniquement lorsque toutes les conditions de sécurité sont réunies. Ce circuit, comme décrit dans les règles de la Formula Student et illustré dans la **figure Fig.2**, est conçu pour garantir que la mise sous tension du système haute tension soit manuelle et sous contrôle strict. Le **circuit d'activation** fonctionne en recevant des signaux provenant de plusieurs composants critiques, notamment l'état du système de gestion de l'accumulateur (**AMS**), le dispositif de surveillance d'isolation (**IMD**), le détecteur de plausibilité des freins (**BSPD**) et les différents interrupteurs d'arrêt (voir Fig.1). Ces signaux sont vérifiés simultanément pour s'assurer qu'ils se trouvent dans un état opérationnel correct. Une fois ces conditions validées, l'action manuelle d'un bouton d'activation dédié permet la fermeture du SDC via les relais d'isolation d'accumulateur (**AIR Coils**). Un aspect essentiel du circuit d'activation est sa capacité à bloquer toute tentative de réactivation en cas de détection d'une erreur critique, notamment dans le **BMS** ou l'**IMD**. Cette caractéristique, imposée par les règles, garantit que le système ne puisse être redémarré sans une intervention technique appropriée, renforçant ainsi la sécurité globale du véhicule. Enfin, le circuit est alimenté par une tension de 12V et inclut des protections contre les surintensités. Sa conception répond aux normes exigeantes des compétitions de Formula Student, assurant une fiabilité maximale et une intégration optimale dans la chaîne de sécurité du véhicule.

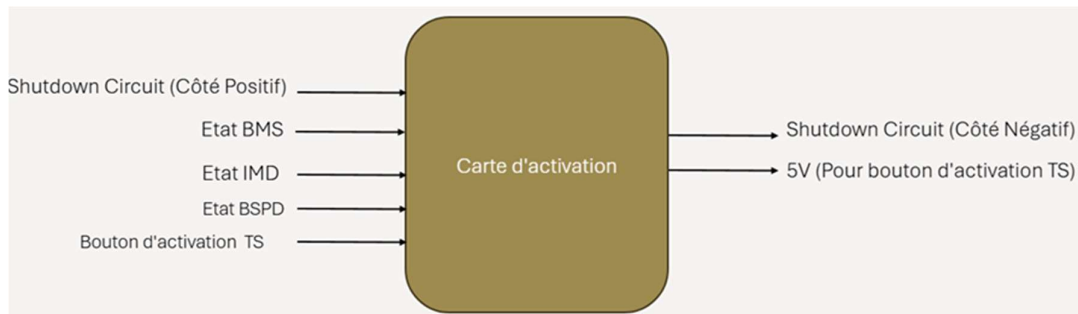


Schéma entrées/sorties Circuit activation

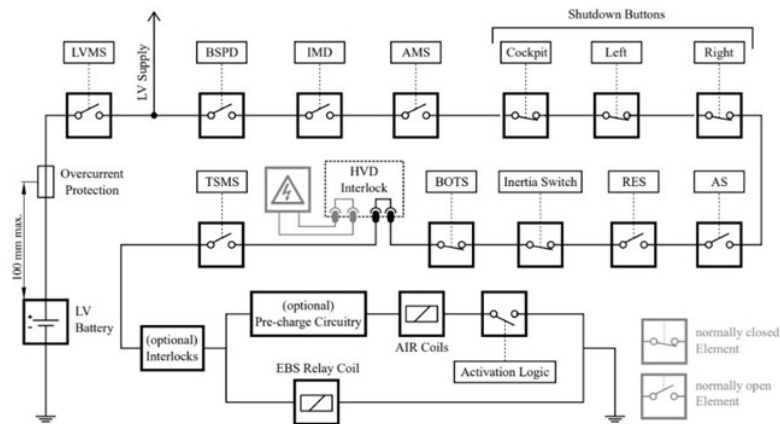


Schéma explicatif du circuit de coupure (Shutdown Circuit) requis

I.3. Analyse détaillée du circuit d'activation TS : fonctionnement et optimisations

Comme dit précédemment, le circuit d'activation du Tractive System (TS) est conçu pour permettre une activation contrôlée et sécurisée du Shutdown Circuit (SDC). Il se compose de plusieurs étages bien définis, chacun jouant un rôle spécifique dans le traitement des signaux, la gestion de l'alimentation et l'activation des relais. Comme dit dans l'introduction, je devais optimiser une carte déjà fonctionnelle (voir Annexe.1), je ne suis donc pas repartie de zéro mais j'ai analysé les différents points qui pouvaient influencer négativement les performances de la carte (précision principalement), puis j'ai refait la CAO. Dans la version optimisée (voir Annexe.2), des améliorations ciblées ont été apportées pour renforcer la fiabilité, la robustesse et la conformité aux règles de la Formula Student.

I.4. Fonctionnement technique des différents étages

Le premier étage de la carte est le module d'alimentation. Il repose sur un régulateur linéaire **LM340T-12** pour convertir une tension d'entrée de 12V en 5V, nécessaire pour alimenter les composants numériques et analogiques. Des condensateurs, comme **C1** et **C2** (1 μ F), sont placés à l'entrée et à la sortie du régulateur pour stabiliser l'alimentation en éliminant les fluctuations de tension et les parasites. Cette stabilisation garantit que les signaux critiques, traités dans les étages suivants, ne soient pas affectés par une alimentation instable. L'étage de vérification des états critiques (BMS et IMD) est au cœur du contrôle de sécurité. Il s'appuie sur des comparateurs analogiques **LM393P** qui reçoivent les signaux des systèmes critiques. Ces comparateurs comparent les signaux d'entrée à des seuils prédéfinis, fixés par des résistances de référence comme **R10** (300 k Ω), **R12** et **R13** (100 k Ω). Si les signaux se trouvent dans les plages acceptables, les sorties des comparateurs passent à un état logique haut. Cet étage assure ainsi que le SDC ne pourra être activé que si les systèmes critiques (BMS et IMD) fonctionnent correctement.

Le circuit logique combinatoire, composé des circuits **SN74LS75N** et **74HC08N**, traite les signaux issus des comparateurs. Ces circuits logiques implémentent une fonction **ET**, garantissant que toutes les conditions nécessaires sont remplies avant d'autoriser la commande du relais. De plus, cet étage inclut une mémoire logique qui bloque toute réactivation automatique du TS après la détection d'un défaut. Ce mécanisme répond aux exigences de sécurité imposées par la Formula Student. L'étage de commande de relais est activé par des transistors MOSFET **BS170**, qui amplifient les signaux logiques pour fournir un courant suffisant à l'activation du relais principal. Des diodes de roue libre comme **D1** (1N4007) protègent les transistors des surtensions générées par la commutation du relais, prolongeant ainsi la durée de vie des composants. L'interface utilisateur est composée d'un bouton d'activation qui permet au pilote de fermer manuellement le SDC, mais uniquement si toutes les conditions de sécurité sont remplies. Cette interface est renforcée par des résistances pull-up (10 k Ω) pour garantir la stabilité des signaux lorsque le bouton n'est pas activé.

I.5. Optimisations apportées et choix des valeurs des composants

Dans le schéma optimisé, plusieurs améliorations ont été introduites pour répondre aux limitations de la version originale et pour renforcer la fiabilité du système. Une des premières améliorations concerne les condensateurs de découplage, comme **C5** (0,1 μ F), ajoutés près des comparateurs pour stabiliser l'alimentation locale. Ce choix est stratégique car il réduit les interférences haute fréquence, améliorant ainsi la précision des comparateurs. La valeur de 0,1 μ F est idéale pour filtrer les parasites tout en maintenant une réponse rapide aux variations de courant. Les résistances utilisées dans les diviseurs de tension et les comparateurs, telles que

R10 (300 k Ω) et **R12/R13** (100 k Ω), ont été choisies pour offrir un compromis entre une faible consommation de courant et une sensibilité suffisante. Une valeur de 300 k Ω pour **R10** limite la consommation d'énergie tout en assurant une détection fiable des états critiques. Les résistances de 100 k Ω utilisées pour fixer les seuils de tension garantissent une bonne précision tout en minimisant les erreurs dues aux fluctuations mineures des signaux d'entrée. L'introduction d'un relais amélioré, le **Finder 40.51**, permet de gérer des courants plus élevés avec une meilleure fiabilité mécanique. Ce relais est conçu pour supporter des cycles de commutation fréquents, ce qui est essentiel dans un système soumis à des tests intensifs. Associé à des diodes de protection comme la **1N4007**, capable de supporter des surtensions élevées, le relais devient plus résistant aux conditions extrêmes. Les transistors MOSFET **BS170** ont été conservés dans la version optimisée en raison de leur faible résistance à l'état passant $R_{DS(on)}$ et de leur compatibilité avec les niveaux logiques 5V. Ces caractéristiques les rendent idéaux pour piloter efficacement le relais sans introduire de pertes significatives. Enfin, des simplifications ont été apportées au circuit logique. La suppression des portes inutilisées réduit les interférences potentielles et simplifie le routage, rendant le circuit plus compact et moins sujet aux erreurs de fabrication.

I.6. Optimisation de la CAO

La conception assistée par ordinateur (CAO) de cette carte d'activation a été réalisée avec **EasyEDA**, en suivant une approche méthodique visant à organiser les composants de manière **fonctionnelle et logique**. Chaque élément a été **placé en fonction de son rôle** dans le circuit afin d'optimiser les performances, réduire les interférences et simplifier le routage des pistes. Ainsi, l'étage d'**alimentation** a été positionné à proximité des entrées de tension pour assurer une distribution efficace de l'énergie, tandis que les **comparateurs analogiques et les circuits logiques** ont été regroupés afin de minimiser les délais de traitement des signaux critiques. Les transistors MOSFET et le **relais principal**, qui assurent la commutation du Shutdown Circuit (SDC), ont été placés stratégiquement pour réduire la longueur des connexions à forte puissance et améliorer la dissipation thermique. Enfin, les connecteurs d'entrée et de sortie ont été disposés de manière à faciliter l'intégration de la carte dans le système global du véhicule de **Formula Student**, garantissant ainsi une installation et une maintenance optimisées.

I.7. Conclusion

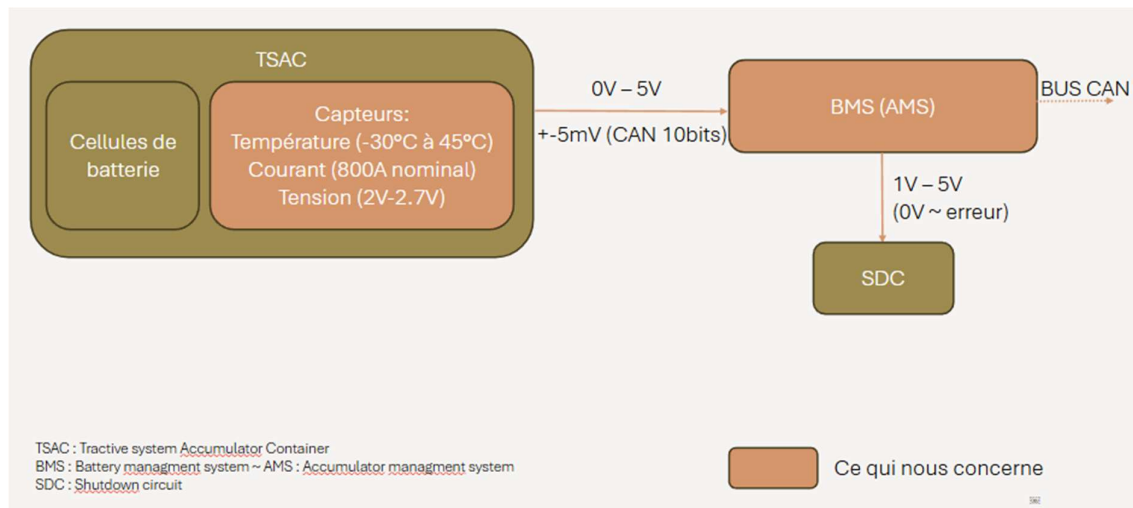
Le travail réalisé sur la carte d'activation dans le cadre de ce projet a permis de renforcer sa **fiabilité, sa robustesse et sa conformité** aux exigences strictes de la **Formula Student**. En partant d'une carte fonctionnelle mais perfectible, une **analyse approfondie** a été menée pour identifier les points faibles impactant ses performances, tels que la **précision des**

comparateurs, la gestion des surtensions et la stabilité de l'alimentation. Les optimisations apportées ont permis de résoudre ces problèmes grâce à des **ajustements ciblés** : l'ajout de **condensateurs de découplage** pour stabiliser les tensions, le **choix de résistances précises** pour garantir des seuils fiables, et l'introduction d'un **relais plus performant** capable de gérer des cycles de commutation plus fréquents. En parallèle, une attention particulière a été portée à la **CAO** pour garantir une implantation **optimisée et fonctionnelle** des composants. Ceux-ci ont été **placés par fonction**, permettant une **réduction des interférences, une minimisation des longueurs de pistes critiques et une meilleure dissipation thermique**. L'étage d'alimentation a été positionné à proximité des entrées de tension pour une distribution stable, tandis que les **circuits logiques et de contrôle** ont été regroupés afin d'améliorer la réactivité du système. Ces améliorations, combinées à une **simplification du schéma logique et à une meilleure protection contre les surtensions**, ont abouti à une carte **plus robuste et mieux adaptée aux contraintes de la compétition**. Ainsi, cette nouvelle version de la carte d'activation garantit une **gestion sécurisée et fiable du Shutdown Circuit**, contribuant à l'objectif global de concevoir un **véhicule électrique performant et conforme aux normes de sécurité**. Ce travail illustre l'importance non seulement de **l'optimisation des systèmes électroniques**, mais aussi de la **CAO rigoureuse** dans des projets complexes comme celui de la Formula Student, où chaque détail peut avoir un **impact significatif** sur le résultat final.

II. Système de gestion de la batterie (BMS)

Le système de gestion de l'accumulateur, communément appelé AMS (Accumulator Management System) ou BMS (Battery Management System), joue un rôle crucial dans la performance et la sécurité des véhicules électriques. Selon les règles établies pour 2025, l'AMS est défini comme un système responsable de la surveillance et de la gestion de l'accumulateur du véhicule.

II.1. Fonctions principales



Synoptique du BMS

Surveillance des paramètres de l'accumulateur :

- **Tension des cellules** : L'AMS mesure en temps réel la **tension** de chaque **cellule** pour s'assurer qu'elle reste dans les **limites de sécurité**.
- **Température des cellules** : La **température** est surveillée pour prévenir toute **surchauffe** pouvant entraîner des **risques d'incendie** ou de **défaillance**.
- **Courant** : Le système contrôle le **courant entrant et sortant** pour détecter toute **anomalie**, telle qu'une **surcharge** ou une **décharge excessive**.

Équilibrage des cellules :

- L'AMS n'assure pas l'**équilibrage des cellules** directement, néanmoins cette carte envoie un **signal au chargeur** afin de rendre compte de l'**état de la batterie** (**surchauffe**, ...).

Protection et sécurité :

- **Déconnexion en cas de défaillance** : En cas de détection de **conditions dangereuses**, l'AMS peut **isoler l'accumulateur** du reste du **système** pour éviter des **dommages** ou des **situations dangereuses**. (**Ceci s'effectue par la commande d'un **relais**

présent dans la **chaîne de sécurité** ; l'**ouverture de ce relais** permet d'**isoler l'accumulateur**).

Communication :

- L'AMS transmet les **données essentielles** sur un **bus CAN** afin de pouvoir **surveiller l'état de la batterie** depuis un **ordinateur** branché à côté du **véhicule** (actuellement au stade de **développement**).

II.2. Structure du programme et méthodes de travail

II.2.1. Introduction

Cette partie détaille le développement d'un programme dédié au système de gestion de batterie (BMS), basé sur le microcontrôleur **PIC18F46Q83**. Le programme a été conçu pour assurer la surveillance et la sécurité des batteries en intégrant plusieurs fonctionnalités telles que l'acquisition de mesures, la vérification des seuils critiques et la transmission des données via un bus de communication. L'approche adoptée repose sur une méthodologie modulaire afin de faciliter la maintenance et d'améliorer la robustesse du système.

II.2.2. Structure et Méthodes

Le programme est structuré en **plusieurs modules** indépendants qui interagissent entre eux. Cette approche garantit la flexibilité du développement et facilite l'identification des erreurs.

Le **module d'acquisition des données** est chargé de récupérer les mesures des capteurs connectés au microcontrôleur. Les capteurs utilisés incluent :

- **Thermistances** pour mesurer la température des cellules.
- **Diviseurs résistifs** pour mesurer la tension des cellules.
- **Capteurs à effet Hall** pour mesurer le courant circulant dans le système.

Les données brutes sont ensuite traitées par le **module de conversion des mesures**, qui applique des formules adaptées à chaque capteur pour obtenir des valeurs exploitables en unités physiques (volts, ampères, degrés Celsius).

Un **module de vérification des seuils de sécurité** est intégré pour surveiller en temps réel les valeurs mesurées et s'assurer qu'elles restent dans des plages de fonctionnement sûres. En cas de dépassement de seuil, un **signal d'alerte** est généré et transmis au système de supervision.

Enfin, un **module de communication des données** permet de transmettre les informations critiques aux autres composants du véhicule via un **bus CAN**.

L'environnement de développement repose sur **MPLAB X IDE**, un environnement permettant d'écrire, compiler et tester le programme. Le **compilateur XC8** a été utilisé pour générer un code exécutable par le microcontrôleur, et des **simulateurs intégrés** ont permis de valider le comportement du programme avant son implantation sur le matériel.

II.2.3. Développement et Structure du Code

Le programme a été écrit en **langage C** et suit une structure modulaire.

Initialisation et Configuration

Dès le démarrage, le programme configure les **périphériques du microcontrôleur** :

- **ADC (Convertisseur Analogique-Numérique)** pour la lecture des capteurs.
- **Interruption Timer0** pour exécuter périodiquement les mesures.
- **Protocole CAN** pour la communication avec les autres systèmes.

Le fichier d'initialisation configure également les **seuils de tension et température** utilisés pour détecter les anomalies.

Acquisition des Données

Le module d'acquisition interroge les capteurs connectés via des **multiplexeurs (MUX)** afin de récupérer les valeurs de tension, température et courant.

La fonction **MesAllTemp()** effectue la mesure des températures en sélectionnant successivement chaque capteur et en appliquant une conversion via la fonction **convUtempToTemp()**.

La fonction **MesAllVolt()** mesure les tensions des cellules et stocke les résultats dans des tableaux organisés.

La conversion du signal du capteur de courant est réalisée avec **convert_voltage_to_current()**, qui applique un facteur de sensibilité spécifique au capteur utilisé.

Traitement et Vérification des Données

Les données brutes sont ensuite traitées pour vérifier leur conformité avec les seuils de sécurité.

Les fonctions suivantes sont utilisées pour effectuer cette validation :

- **checkVolt()** : Vérifie si toutes les tensions sont comprises dans la plage définie.
- **checkCurrent()** : Vérifie si le courant ne dépasse pas **850 A**.
- **checkTemp()** : Vérifie si aucune température ne dépasse **40°C**.

En cas d'anomalie, une variable de déclenchement est activée (**xTrigVolt**, **xTrigCurrent**, **xTrigTemp**), et une action corrective est engagée (coupure du relais principal, alerte sur le bus CAN, etc.).

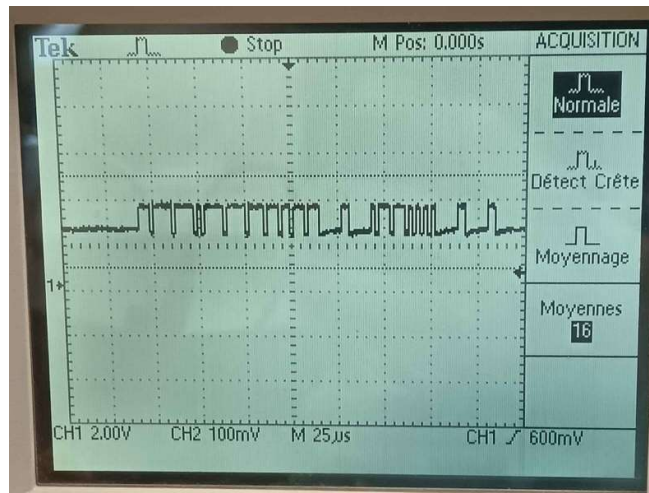
Communication des Données (Bus CAN)

Un protocole **CAN (Controller Area Network)** est utilisé pour transmettre les données.

La fonction **CANTransmitTest()** prépare et envoie un message de test contenant :

- Un **identifiant de trame (ID 0x100)**
- **8 octets de données** correspondant aux mesures des capteurs

Les données envoyées permettent au système central de surveiller en temps réel l'état des batteries et d'agir en conséquence.



Analyse du bus can à l'oscilloscope

II.2.4. Gestion et Organisation des Données

Les données des capteurs sont stockées sous forme de **tableaux organisés** pour faciliter l'analyse et le diagnostic en cas de problème.

Chaque cellule de la batterie est associée à une **position spécifique** dans un tableau structuré en **cinq groupes P1 à P5**, chacun correspondant à une rangée de cellules connectées en série.

L'organisation de ces données permet :

- **Un accès rapide aux mesures critiques**, simplifiant l'analyse des performances du pack batterie.
- **Une détection efficace des anomalies**, grâce à une structuration claire et facilement exploitable par le programme.
- **(Perspective) Une transmission optimisée sur le bus CAN**, en indiquant précisément quelle cellule est en défaut.

II.2.5. Déploiement et Mise en Œuvre

Le programme a été déployé sur le **microcontrôleur PIC18F46Q83** en suivant un processus précis.

Tout d'abord, les fichiers sources ont été compilés et testés sous **MPLAB X IDE**. Le programme a ensuite été chargé sur le microcontrôleur à l'aide du **programmeur PICKit 4**.

Les tests finaux ont été effectués directement sur le banc d'essai, permettant de vérifier :

- Le bon fonctionnement de l'acquisition des mesures.
- La réactivité du programme face aux dépassements de seuils.
- (Perspective) Efficacité de la transmission des données sur le **bus CAN**.

Une **documentation utilisateur** a été rédigée pour faciliter la mise en service et l'exploitation du système.



Connection du PicKit4 au BMS

II.2.6. Résultats et Perspectives

Le programme développé constitue une solution **fiable et robuste** pour la gestion des batteries. Il permet :

- **Une surveillance continue** grâce à la prise de mesures en temps réel.
- **Une détection rapide des anomalies** et l'activation immédiate des réponses de sécurité.
- **Une structuration claire des données**, simplifiant le diagnostic des problèmes de batterie.

Des améliorations sont prévues pour perfectionner le système. Une **optimisation du protocole CAN** est en cours afin de transmettre plus efficacement les informations aux autres systèmes du véhicule. Une **meilleure gestion des interruptions** sera également mise en place pour réduire la charge du microcontrôleur.

À terme, le programme pourra être enrichi de nouvelles fonctionnalités comme :

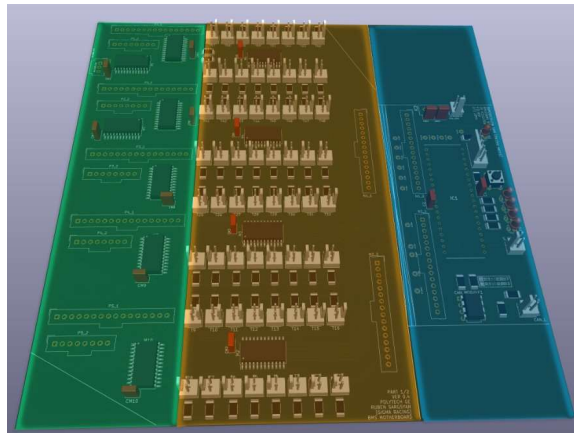
- Une gestion avancée des profils de charge/décharge.
- Un algorithme d'apprentissage automatique pour anticiper les pannes.

II.3. Structure hardware de la carte BMS

II.3.1. Introduction

Cette partie présente en détail le fonctionnement de la carte PCB dédiée au système de gestion de batterie (BMS), intégrant le microcontrôleur PIC18F46Q83. Elle met en lumière les différents modules et circuits de la carte, conçus pour surveiller les paramètres critiques des batteries, assurer la sécurité du système et transmettre les données via un bus de communication. L'accent est mis sur l'organisation des composants, les interconnexions et les fonctionnalités principales qui garantissent un fonctionnement optimal et fiable de l'ensemble.

II.3.2. Présentation générale de la carte



La carte est divisée en **trois zones fonctionnelles** identifiées par des couleurs pour simplifier leur repérage :

- **Zone orange** : Branchement des capteurs de température.
- **Zone verte** : Branchement des cellules batteries et du capteur de courant.

- **Zone bleue** : Partie alimentation et puissance de calcul.

Note : La plupart des informations nécessaires sont inscrites directement sur le PCB afin de faciliter la compréhension du fonctionnement sans recourir à ce document.

II.3.3. Partie Alimentation et Puissance de Calcul

Alimentation :

- **Connecteur : [PSU_12V]**
La carte nécessite une alimentation entre **5 V** et **18 V**, avec une intensité d'au moins **1 A**.
L'alimentation doit être stabilisée.

2.2 Programmation et Débogage

- **Connecteur : [PIC_Flash1]**
Permet de programmer et déboguer le contrôleur **PIC** via un **Pickit**.
 - **Photo d'illustration** (montrant le sens de branchement d'un Pickit 3).

Communication :

1. **Série** : Deux broches "SERIAL" pour la communication série (TX - broche 25, RX - broche 26).
2. **CANBUS** :
 - a. Le module de communication (MCP2551) peut être remplacé par un modèle équivalent.
 - b. Configuration basée sur la sérigraphie du PCB :
 - i. **R_RX1, R_TX1** : Remplacer par des câbles ou des résistances de **0 Ω** .
 - ii. **RCAN1** : Remplacer par des câbles ou des résistances de **0 Ω** .
 - iii. **R_CANBUS** : Résistance de **120 Ω** .

Sorties d'Alerte :

- Deux sorties configurables selon le programme implémenté.
- **Tension maximale** : 5 V, **Intensité limitée** : 20 mA.
- Recommandation : Utiliser un relais à faible consommation ou un système via MOSFET pour alimenter des relais plus puissants.

Bouton Reset et LEDs :

- **Bouton Reset** : Remet le contrôleur à zéro.
- **LEDs** :
 - Rouge (D0) : Indique la présence de 5 V sur la carte.

- Quatre jaunes (D1, D2, D3, D4) : Reliées aux broches contrôlant la sélection des multiplexeurs.

Séparation Physique :

- La partie **alimentation et puissance de calcul** peut être séparée du reste de la carte en coupant le PCB selon une ligne prédéfinie.
- Une fois séparée, il faudra relier les connecteurs suivants :
 - N1_1 ↔ N1_2
 - N2_1 ↔ N2_2

Recommandation : Croiser les câbles selon l'illustration fournie en annexe.

II.3.4. Gestion de la Température

Résistances :

- Le programme est validé avec des résistances identiques pour tous les capteurs de température.
- **R_VARx (x = 0 à 64)** : Remplacer par des résistances de **2500 ohms** pour un fonctionnement optimal.

Capteurs NTC :

- Modèle validé : **[NTCLE213E3103FLB0]**.
- Possibilité de varier le modèle et les résistances sans problème particulier, à condition d'adapter le programme au nouveau matériel et de vérifier que les caractéristiques du capteur coïncident avec la réglementation en vigueur.

Gestion des Cellules Batteries

Branchement des Cellules :

- Respecter impérativement le **schéma de liaison des cellules** fourni :
 - **P2_C0** : Masse de la 1ère cellule du bloc parallèle 2 (~0 V).
 - **P1_C1** : Première cellule du bloc parallèle 1 (~2,5 V).

Capteur de Courant :

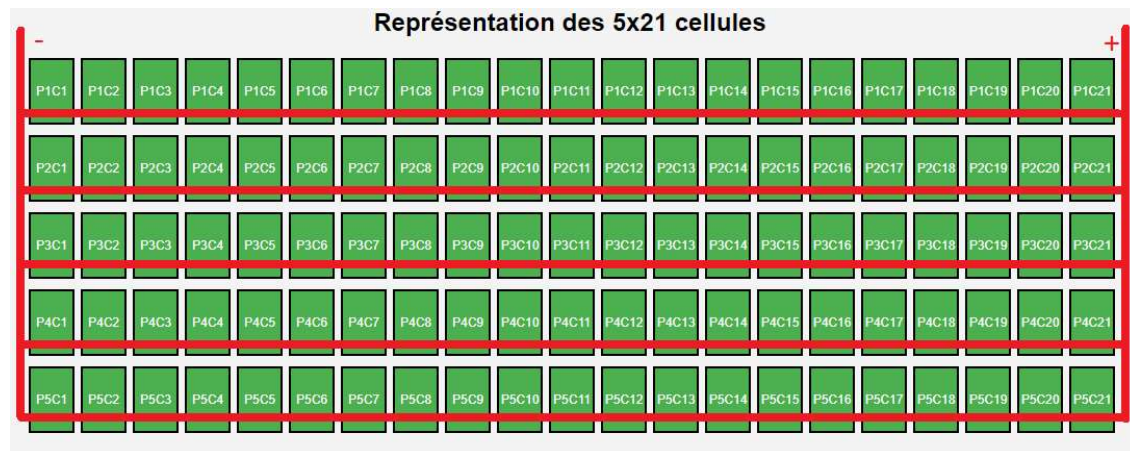
Connecteur : [HALL1]

Brancher directement le capteur sur cette prise.

II.3.5. Structure de la batterie

Dans le cas le plus général, chaque cellule est reliée aux cellules ayant la même plage de tension.

Cependant, dans notre cas, la batterie est conçue de manière que seules les masses et les tensions maximales soient reliées entre elles comme c'est le cas ci-dessous :



II.3.6. Câblage en cas de séparation de la carte en deux

Nous recommandons de torsader les fils par paire, en respectant les combinaisons de couleurs spécifiées dans le schéma, afin d'améliorer la compatibilité électromagnétique (CEM).

Voir annexe 4

II.3.7. Tableau de liaison du microcontrôleur

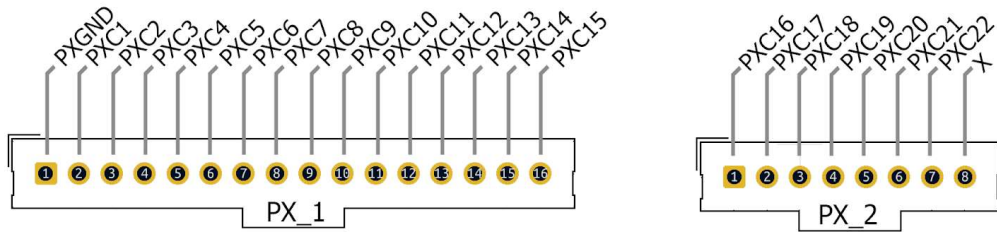
Voici un tableau structuré pour organiser les informations concernant les pins :

Numéro Pin MCU	Nom Pin	Fonction Pin	Composant connecter	Gestion Cellule Batterie	Gestion Température	Commentaire
2	RA0	AN0	M0	OUI	NON	
3	RA1	AN1	M1	OUI	NON	mesure alimentation 5v et mesure capteur courant

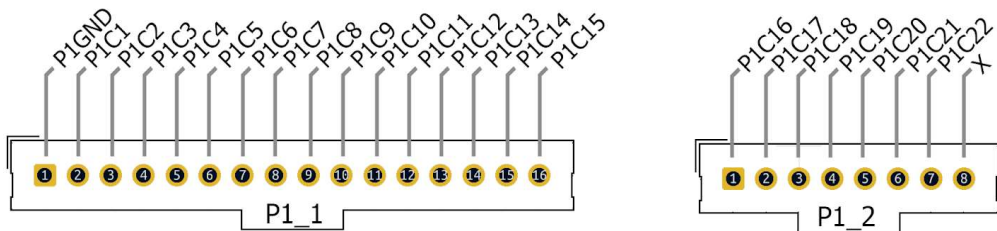
4	RA2	AN2	M2	NON	OUI	
5	RA3	AN3	M3	NON	OUI	
7	RA5	AN4	M4	NON	OUI	
8	RE0	AN5	M5	NON	OUI	
9	RE1	AN6	M6	OUI	NON	
10	RE2	AN7	M7	OUI	NON	
34	RB1	AN8	M8	OUI	NON	
37	RB4	AN9	M9	OUI	NON	
33	RB0	AN10	M10	OUI	NON	
30	RD7	M_S3 (Bus de sélection bit 0)	M0 à M10	NON	NON	
29	RD6	M_S2 (Bus de sélection bit 0)	M0 à M10	NON	NON	
28	RD5	M_S1 (Bus de sélection bit 0)	M0 à M10	NON	NON	
27	RD4	M_S0 (Bus de sélection bit 0)	M0 à M10	NON	NON	
26	RC7	RX CAN	MCP2551	NON	NON	
25	RC6	TX CAN	MCP2551	NON	NON	
22	RD2	Sortie_urgence 1	connection externe 1	NON	NON	
21	RD3	Sortie_urgence 2	connection externe 2	NON	NON	

II.3.8. Schéma de liaison des cellules batterie

Sur la carte, vous trouverez des connecteurs portant la sérigraphie PX_1 ou PX_2, avec X allant de 1 à 5. Il faut suivre le schéma de câblage suivant pour brancher correctement les cellules :



Voici un exemple avec X = 1 :



II.3.9. Schémas de la carte BMS

Voir annexe 5

II.3.10. Routage de la carte BMS

Voir annexe 6

II.3.11. Validation effectuée :

Gestion Tension Batterie :

1. Mesure de tension sur toutes les broches

Le routage a été validé avec succès.

Tests réalisés :

- Test de continuité** : Vérification au multimètre, point par point, pour garantir la connectivité de toutes les broches.
- Test en conditions réelles** : Application d'une tension continue sur chaque point d'entrée, séparément, puis simultanément, avec lecture et validation des valeurs mesurées sur le microcontrôleur.

2. Temps de mesure pratique

Les temps de mesure respectent la limite définie dans le règlement.

Tests réalisés :

- Réalisation de mesures en rafales sur tous les points de l'unité de mesure.
- Utilisation de l'outil de débogage du microcontrôleur pour vérifier que les temps mesurés restent dans les limites spécifiées.

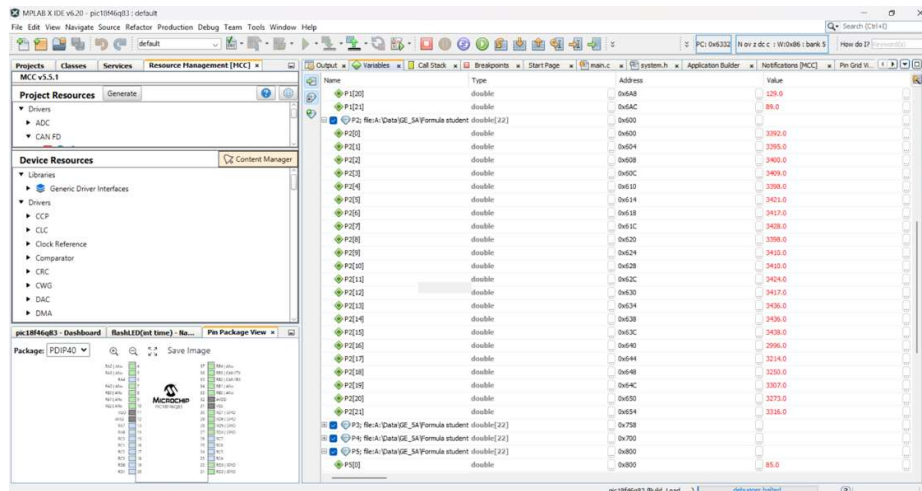
3. Vérification de la disparité des mesures

Aucune incohérence n'a été détectée dans les relevés de tension.

Tests réalisés :

- Test en conditions réelles** : Application d'une tension continue sur tous les points d'entrée simultanément.
- Lecture des valeurs sur le microcontrôleur et analyse pour détecter d'éventuelles disparités ou incohérences.

4. photo et preuve de fonctionnement



L'image ci-dessous permet de vérifier les tensions des 21 cellules connectées en série et reliées à la deuxième rangée de parallélisation de la batterie.

Gestion Température :

1. Mesure de tension sur toutes les broches

Le routage a été validé avec succès.

Tests réalisés :

- a. **Test de continuité :** Vérification au multimètre, point par point, pour garantir la connectivité de toutes les broches.
- b. **Test en conditions réelles :** Application d'une tension continue sur chaque point d'entrée, séparément, puis simultanément, avec lecture et validation des valeurs mesurées sur le microcontrôleur.

2. Temps de mesure pratique

Les temps de mesure respectent la limite définie dans le règlement.

Tests réalisés :

- a. Réalisation de mesures en rafales sur tous les points de l'unité de mesure.
- b. Utilisation de l'outil de débogage du microcontrôleur pour vérifier que les temps mesurés restent dans les limites spécifiées.

3. Vérification de la disparité des mesures

Aucune incohérence n'a été détectée dans les relevés de tension.

Tests réalisés :

- a. **Test en conditions réelles :** Application d'une tension continue sur tous les points d'entrée simultanément.
- b. Lecture des valeurs sur le microcontrôleur et analyse pour détecter d'éventuelles disparités ou incohérences.

4. Disparité de l'unité de mesure

Validation de la fiabilité des mesures

Tests réalisés :

- Les relevés ont été effectués en utilisant une caméra thermique comme valeur de référence.
- Référence de la caméra thermique : FLIR-E64501

Rapport sur les choix des composants électroniques :

1. Capteur de température :

Modèle : NTCLE213E3103FLB0

Technologie : Thermistance NTC (Negative Temperature Coefficient).

Critères de sélection :

- **Taille réduite :** La technologie NTC permet d'utiliser des capteurs de petite taille, adaptés aux contraintes physiques du système.
- **Coût abordable :** Le capteur doit rester économiquement viable pour une production en série, tout en offrant des performances adéquates.
- **Vitesse de détection :** Les capteurs sélectionnés doivent répondre rapidement aux variations de température, permettant une remontée rapide des informations au système.

2. Multiplexeur :

Modèle : CD74HC4067 (Multiplexeur analogique 16 canaux).

Critères de sélection :

- **Nombre de voies élevé :** Le choix d'un multiplexeur 16 canaux permet de réduire le nombre de broches nécessaires sur le microcontrôleur, tout en assurant la capacité de traiter un grand nombre de mesures.
- **Absence de filtres internes :** Les multiplexeurs audio, souvent équipés de filtres spécifiques, ont été écartés pour éviter toute perturbation ou distorsion des mesures analogiques.

3. Contrôleur :

Modèle : PIC18F46Q83

Critères de sélection :

- **Module CAN intégré :** Permet d'assurer la communication des données avec des systèmes externes, répondant aux besoins d'interconnexion.
- **Nombre de broches analogiques suffisant :** Garantit la possibilité d'échantillonner plusieurs signaux analogiques provenant des capteurs.
- **Temps d'échantillonnage adéquat :** Le microcontrôleur doit offrir une fréquence d'échantillonnage suffisante pour répondre aux besoins théoriques du système, en tenant compte du temps de basculement des multiplexeurs et des broches analogiques.

Calcul du temps d'échantillonnage total :

$t_{\text{total}} = (t_{\text{chantillonnage_mesure}} + t_{\text{bascule_mux}} + t_{\text{bascule_pin_analogique}}) \times N$

Où N représente le nombre total de mesures à effectuer.

4. Capteur de courant :

Modèle : Tamura L06P800S05

Critères de sélection :

- **Compatibilité avec les tensions du contrôleur :** La plage de sortie du capteur doit être lisible par le microcontrôleur sans nécessiter de conversion complexe.
- **Courbe de réponse linéaire :** Essentielle pour garantir la précision des mesures de courant.
- **Temps de réponse rapide :** Le capteur doit être capable de répondre en moins de **5 μ s** pour suivre les variations rapides du courant.
- **Alimentation asymétrique :** Adaptée aux contraintes d'alimentation du système.
- **Lecture maximale de 800 A :** Le capteur doit permettre une mesure fiable des courants allant jusqu'à 800 A.

III. Brake System Plausible Device

III.1. Introduction & contexte

Le Dispositif de Plausibilité du Système de Freinage (**BSPD**) est un mécanisme de sécurité Essentiel, particulièrement dans des véhicules de haute performance tels que les monoplaces Utilisées dans le cadre de la compétition **Formula Student**.

Cette année, il nous a été demandé de développer une carte électronique BSPD de A à Z, Conformément au règlement Formula Student 2025.

III.2. Rôle principal et fonctionnement du BSPD

Le rôle principal du Brake System Plausibility Device (**BSPD**) est de garantir que le contrôleur moteur ne fournit pas de courant au moteur lorsque la pédale de frein est pressée. Ce mécanisme de sécurité permet d'éviter des situations critiques où le véhicule pourrait continuer à accélérer ou rester actif malgré l'action de freinage.

Selon le règlement Formula Student 2025, le BSPD est défini comme :

"Un circuit autonome et non programmable, conçu pour ouvrir le Shutdown Circuit (SDC) lors d'un freinage brusque, à condition qu'une puissance égale ou supérieure à 5 kW soit délivrée aux moteurs."

Conditions de d'implausibilité(défaut) :

1. Freinage brusque détecté

- a. Un capteur de pression dans le système de freinage mesure l'intensité du freinage.
- b. Le seuil est fixé pour détecter une pression de freinage ≤ 30 bars, afin de garantir que le système identifie un freinage brusque sans provoquer de blocage des roues.

2. Puissance élevée délivrée aux moteurs

- a. La puissance mesurée dans le système électrique (Tractive System, TS) est calculée à partir du courant détecté par un capteur sur le circuit DC.
- b. Si la puissance délivrée atteint ou dépasse 5 kW, cela indique une forte sollicitation des moteurs.

Ces deux conditions combinées sont détectées dans le BSPD, qui ouvre alors le ShutDown Circuit (SDC). Cette action coupe immédiatement l'alimentation haute tension du système, mettant ainsi le véhicule en sécurité.

III.3. Cahier de charge basé sur le règlement.

Catégorie	Exigence	Description
Alimentation	Le BSPD doit être alimenté directement par le LVMS sans passer par d'autres dispositifs.	Alimentation de 12 V
Autonomie	Le BSPD doit être un circuit autonome et non programmable.	Aucun logiciel ou microcontrôleur intégré.
Conditions de déclenchement	Le BSPD doit ouvrir le SDC lorsque les deux conditions suivantes sont remplies :	Détecté par un capteur de courant.
	• Une puissance ≥ 5 kW est délivrée aux moteurs.	Valeur : 700 Ampère. Précision : + ou - 10A
	• Un freinage brusque est détecté (pression ≤ 30 bars).	Détecté par un capteur de pression.

		Sensibilité réglée à ≤ 30 bars. Précision : + ou – 1bar
Détection de la persistance	Une implausibilité persistante pendant plus de 500 ms déclenche l'ouverture du SDC .	Un délai analogique doit être intégré dans le circuit.
Détection de Panne	Système critique de signaux (SCS) pour surveiller en permanence les conditions de panne.	Détecter des conditions anormales comme des tensions hors seuils, un fil cassé ou un court-circuit. Envoyer un signal d'erreur pour activer une LED d'alerte dans le cockpit.
Conditions de réinitialisation	Une réinitialisation automatique si les conditions d'ouverture ne sont plus présentes pendant au moins 10 secondes.	Un délai analogique doit être intégré dans le circuit.

Table 1 : Cahier des charges reposant sur le règlement FS2025

Explication de quelques terminologie clés selon le règlement :

⇒ L'autonomie du BSPD implique :

- **Fonctionnalité minimale** : Le circuit doit inclure uniquement les connexions essentielles (alimentation, capteurs, SDC).
- **Absence d'intermédiaires** : Les signaux d'entrée (capteurs et alimentation) doivent arriver directement au BSPD, sans passer par d'autres dispositifs.

⇒ Circuit non programmable :

Le **BSPD** est également défini comme un circuit "**non programmable**". Contrairement à ce que l'on pourrait penser, cela ne signifie pas nécessairement l'utilisation d'un **ASIC** (*Application-Specific Integrated Circuit*). Le règlement interdit l'utilisation de composants programmables, comme les microcontrôleurs, mais autorise l'emploi d'autres circuits intégrés.

⇒ System Critical Signals (SCS) :

Les **System Critical Signals (SCS)** sont des signaux électriques essentiels qui jouent un rôle crucial dans la sécurité et la performance d'un véhicule électrique. Ils influencent plusieurs aspects critiques, notamment :

- Le fonctionnement du **circuit de coupure de sécurité (SDC)**.
- Le **contrôle du couple des roues**.
- La gestion des **indicateurs critiques du véhicule**.

Ces signaux sont directement liés à la sécurité globale du système. Ils interviennent également dans le contrôle des dispositifs comme l'AMS (Accumulateur Management System) en surveillant des paramètres tels que les tensions, les courants et les températures des batteries et l'IMD (Isolation Monitoring Device).

Dans un système complètement analogique comme le **BSPD (Brake System Plausibility Device)**, les erreurs peuvent provenir de multiples sources. Par exemple, les capteurs de courant et de pression de frein doivent être surveillés en permanence pour détecter des anomalies comme un fil cassé ou un court-circuit.

Le rôle des SCS est donc de garantir une détection rapide et fiable de ces pannes.

Exemple d'intervention : Si une tension anormale est détectée (hors des seuils définis), le système doit être capable :

1. De couper immédiatement l'alimentation du moteur pour garantir la sécurité.
2. D'allumer un indicateur LED pour signaler la nature de la panne.

Maintenant que nous avons bien compris les terminologies clés de cette carte, passons au développement.

Mais avant cela, vous verrez que, pour rendre le travail plus facile et compréhensible, il m'a semblé nécessaire de diviser les différents éléments du cahier des charges en petites fonctions à développer une par une et à tester individuellement.

III.4. Développement sur Breadboard et Fonctionnalités Testées

Avant la conception/réalisation d'un circuit imprimé (PCB), le développement initial a été réalisé sur une breadboard pour valider les fonctionnalités spécifiées dans le cahier des charges.

Objectif : Créer une architecture fonctionnelle respectant les exigences du cahier des charges avant de passer à une conception matérielle définitive. Voici le schéma architectural suivi.

Code couleur :

 : Conception ok.

 : Pas de conception

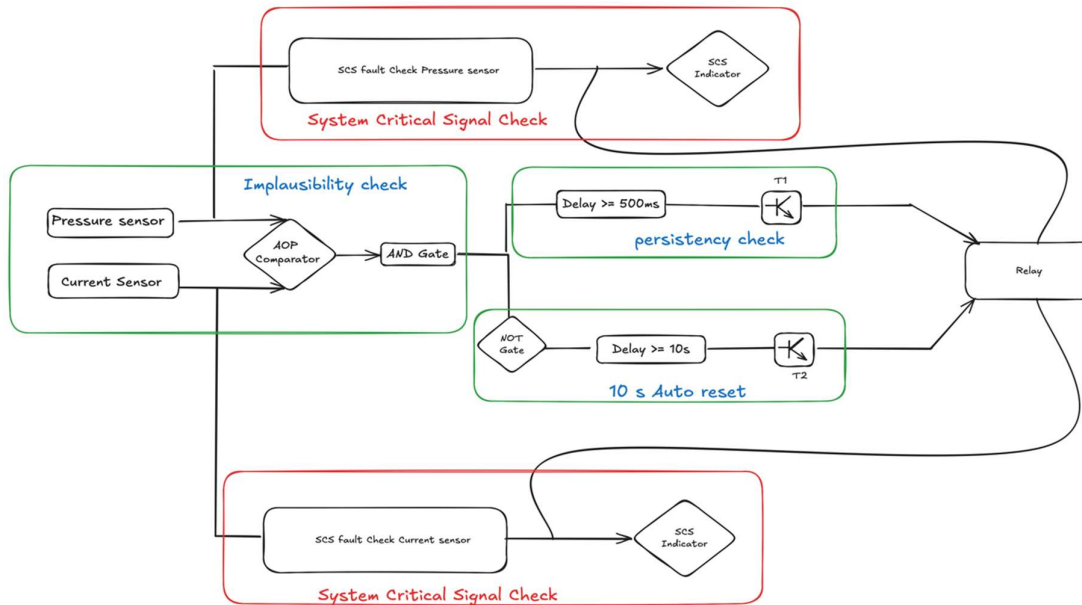


Figure 1 : architecture d'un BSPD

III.4.1. Fonctionnalités Clés Validées :

Les fonctions sont divisées en 4 blocs :

1. **Conversion des signaux analogiques vers numériques :**
 - Utilisation d'un comparateur pour transformer les signaux des capteurs (pression et courant) en données numériques permettant de détecter le défaut ou implausibilité.
2. **Détection de la persistantes du défaut (≥ 500 ms) :**
 - Conception d'un délai analogique avec un circuit **NE555** en mode monostable pour déclencher l'ouverture du relais.
3. **Réinitialisation après 10 secondes sans défaut ou implausibilité :**
 - Utilisation du même **NE555** pour générer une temporisation garantissant la fermeture du relais après une période de 10 secondes.
4. **Détection de scs ou erreurs de capteurs :**
 - Vérification des données pour éviter des défaillances du système.

III.4.2. Méthodologie et Matériel Utilisé

Pour développer ces fonctions, nous avons acquis différents équipements que nous allons vous présenter dans cette section.

Équipements de test :

- **Générateur de tension/ courant** : Permet de simuler les comportements des capteurs (tension max de 10 V et courant max de 30 A).
- **Oscilloscope** : Utilisé pour observer les signaux analogiques et numériques,
- Un **comparateur** LM393B dual,
- Porte AND (SN74HC08),
- **Porte inverseuse**.
- **Multimètre** : Permet de mesurer les valeurs des résistances, capacités, etc.

Alimentation et protection :

- En réalité la carte BSPD doit être alimentée par une batterie basse tension de 12 V. Cependant, les composants choisis nécessitant une tension inférieure, un **convertisseur DC-DC** a été commandé pour abaisser la tension et protéger les composants.

III.4.3. Analyse et choix des Composants Clés

Gestion des comparaisons de seuils :

- Un comparateur **LM393B dual** de chez **Texas Instrument** a été utilisé pour fixer les seuils de tension. Ce composant est particulièrement adapté grâce à :
 - **Gamme étendue de tension d'alimentation** : Compatible avec des tensions jusqu'à 36 V, réduisant le risque de dommages lors des tests.
 - **Plage de température étendue** : Permet un fonctionnement fiable dans des conditions extrêmes (-40 °C à 125 °C).

Test : La sortie du comparateur fournit une tension haute (+Vcc) si la valeur du capteur dépasse le seuil fixé, ou une tension basse (-Vcc) dans le cas contraire. Cela permet une intégration facile avec des circuits logiques tels que des portes logiques.

Tension seuil	Capteurs (courant ou Pression)	Sortie du LM393
5V	2,5 V	+Vcc = 5V
5V	6V	-Vcc = 0V

La tension seuil est fixée par un **pont diviseur de tension** installé sur l'entrée **non-**

inverseuse

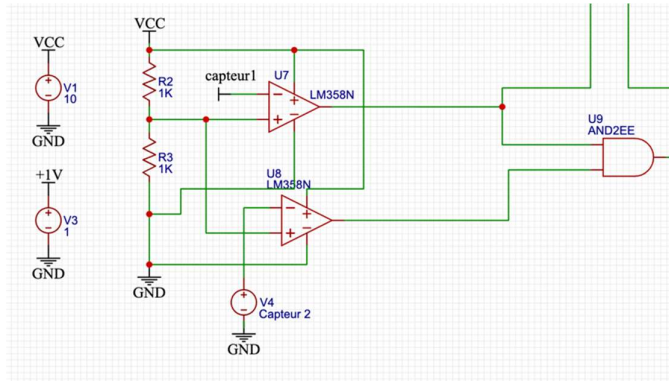


Table 2 : Illustration de la connexion entre le comparateur et la porte AND

Pour simuler les comportements du capteur nous faisons varier la tension au niveau de générateur de tensions.

Porte AND (SN74HC08) :

Pourquoi ce choix ?

1. **Fiabilité élevée** : Sa conception CMOS garantit un traitement précis des signaux.
2. **Compatibilité des tensions** : Plage de fonctionnement de 2 V à 6 V, idéale pour notre circuit.
3. **Faible consommation énergétique** : Critique pour une application embarquée.
4. **Plage de température étendue (-40 °C à 85 °C)** : Essentielle pour les environnements automobiles.
5. **Format compact** : Intègre quatre portes AND, optimisant l'espace sur le PCB.

La porte AND permet de combiner les signaux des comparateurs pour générer un état logique haut seulement si toutes les conditions critiques sont remplies.

Test : La tension de sortie de LM393 est liée au capteur de courant (1) et l'autre au capteur de pression (2).

Tension de sortie LM393 (1)	Tension de sortie LM393 (2)	Sortie de la porte
0V	0 V	0V
0V	5V	0V
5V	0V	0V
5V	5V	5V ((défaut))

Table 3 : Table de vérité de la porte AND cas du projet

Temporisation Analogique :

Pour effectuer la temporisation analogique, deux solutions se sont présentées : d'une part, l'utilisation d'un simple circuit **RC**, et d'autre part, un **RC** associé à un circuit intégré **NE555**.

Problèmes d'un circuit RC simple :

1. **Précision insuffisante** : Les tolérances des résistances et condensateurs peuvent entraîner des variations significatives dans les temporisations.
2. **Sensibilité thermique** : Les variations de température affectent fortement les composants passifs.
3. **Vibrations** : Les environnements dynamiques (comme un monoplace de course) peuvent compromettre la stabilité mécanique des composants.

Solution adoptée : Circuit intégré NE555

- **Avantages :**
 - **Précision** : Indépendant des variations des composants passifs.
 - **Robustesse** : Résistant aux interférences électromagnétiques.
 - **Large plage de tension (4,5 V à 15 V) et température (-40 °C à 125 °C)** : Assure une compatibilité parfaite avec le circuit.
 - **Flexibilité** : Idéal pour générer des temporisations fiables dans des applications critiques.

Le **NE555** en mode monostable a permis de créer une temporisation déclenchée par des événements spécifiques, comme la détection simultanée d'accélération et de freinage dans notre cas.

Nous allons maintenant nous attarder sur le fonctionnement du **NE555** en mode monostable ainsi que sur le choix du circuit **RC** afin de générer les tempos appropriés.

III.5. Temporisation avec le NE555 en Mode Monostable

III.5.1 Introduction

Le **NE555** (voire figure 2) est un circuit intégré couramment utilisé pour la génération de signaux de temporisation. Il peut fonctionner en différents modes, notamment **monostable** et **astable**. Dans ce rapport, nous nous intéressons au mode **monostable**, où une impulsion de durée déterminée est générée en réponse à un signal de déclenchement. Notre signal de déclenchement est celle qui sort de la porte AND comme le montre la figure 1.

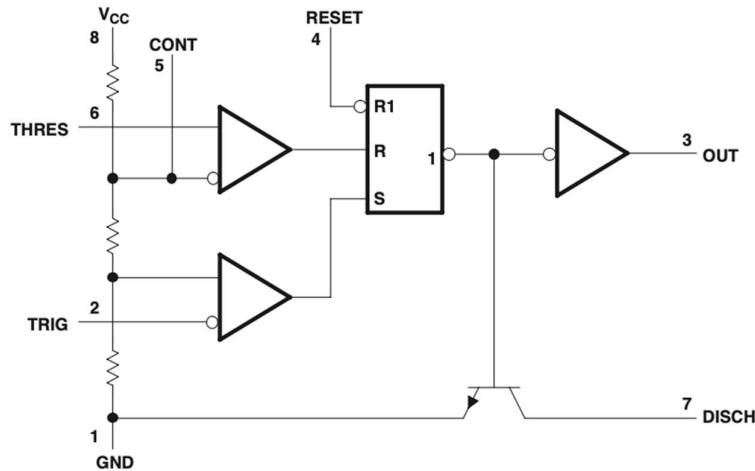


Figure 2 : schéma simplifié d'un NE555 Texas Instrument

III.5.2. Fonctionnement en Mode Monostable

En mode **monostable**, une impulsion est générée lorsque l'entrée **TRIG** est déclenchée par une transition de niveau **haut vers bas** (front descendant). L'impulsion reste **active (niveau haut)** pendant une durée déterminée par les composants **R_A** et **C** avant de revenir automatiquement à l'état **bas**.

D'après la documentation du **NE555**, la durée de l'impulsion est donnée par la formule :

$$t_w = 1.1 * R_A * C$$

Où :

- **t_w** est la durée de l'impulsion en secondes,
- **R_A** est la résistance en ohms (Ω),
- **C** est la capacité en farads (F).

Nous souhaitons **t_w qui vaut 10s ou >= 500ms**.

III.5.3. Choix des Valeurs pour la Temporisation

Temporisation de 10 secondes :

Nous devons choisir **R_A** et **C** pour obtenir une durée de **10 s** :

$10s = 1.1 * R_A * C$ En fixant **C = 1μF soit 10e-6 F**, nous obtenons :

$$R_A = \frac{10s}{1.1 * C} = 9,09M\Omega$$

Temporisation de 500 ms (0.5 s) les mêmes démarches ont été suivi.

Nous pouvons également nous baser sur les courbes fournies dans la datasheet (cf. figure 3 ci-dessous), ce qui confirme les valeurs choisies (voir la Figure 11).

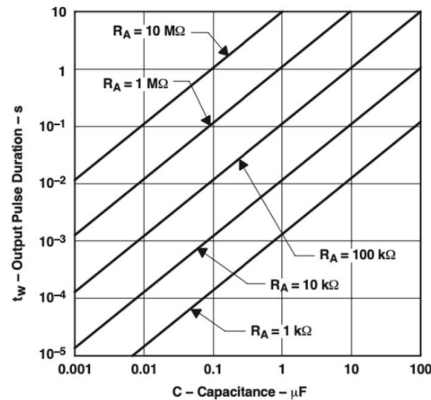


Figure 11. Output Pulse Duration vs Capacitance

Figure 3 : tempo de sortie en fonction de la capacité et résistance

III.6. Fonctionnement Ré-déclenchable ou Non Ré-déclenchable

D'après la documentation :

- Une impulsion est déclenchée uniquement si **TRIG** passe sous un certain seuil.
- Une nouvelle impulsion ne peut être générée qu'après la fin du cycle en cours.

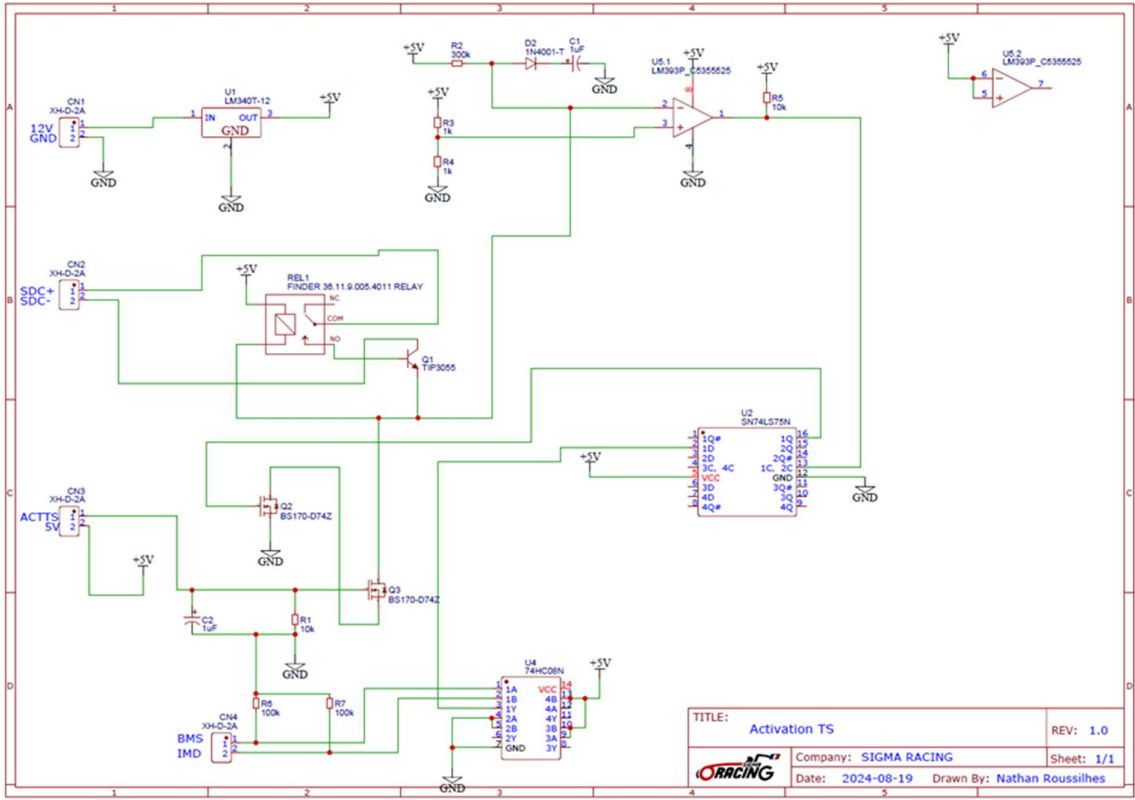
Cela signifie que le **NE555 en mode monostable est non-ré-déclenchable**, car une nouvelle impulsion ne peut être initiée tant que la précédente n'est pas terminée.

Conclusion

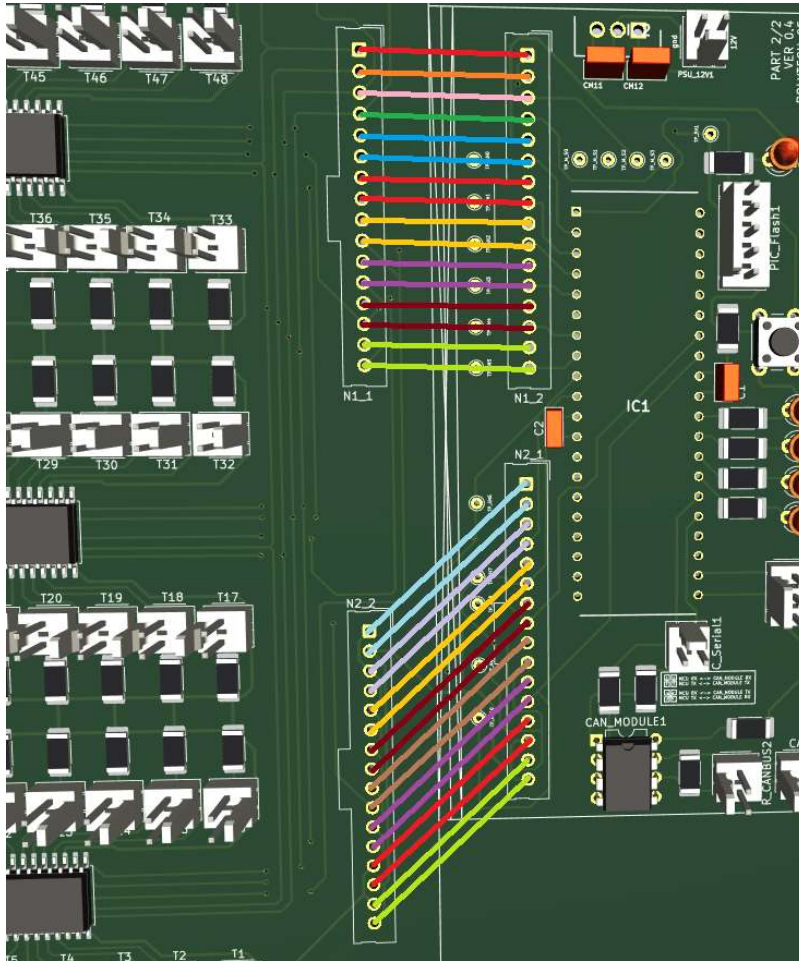
Malgré certaines contraintes liées aux **retards de livraison et aux tests incomplets**, ce projet a permis d'aboutir à des avancées significatives dans le développement des **systèmes électroniques de sécurité du véhicule Formula Student**. Le **BMS a été validé théoriquement**, démontrant sa capacité à **mesurer avec précision la tension, la température et le courant** des batteries, le bus CAN est resté en phase de développement. La **carte d'activation**, bien qu'incomplète, intègre des optimisations visant à **renforcer sa fiabilité et sa robustesse**, notamment grâce à une **conception assistée par ordinateur (CAO) optimisée**. Pour le **BSPD**, les **fonctions critiques de comparaison et de délais ont été validées**, confirmant le bon fonctionnement des composants utilisés, même si la validation finale du

système complet reste à effectuer. Ces avancées constituent une **base solide** pour finaliser et tester les cartes une fois les composants manquants reçus. L'approche adoptée, mêlant **optimisation schématique, simulations et tests expérimentaux**, garantit une intégration fluide des systèmes dans le véhicule et ouvre la voie à des **améliorations futures**. Ainsi, ce travail pose les fondations d'un **prototypage avancé**, essentiel pour assurer la conformité aux exigences de la Formula Student et pour renforcer la compétitivité du véhicule sur circuit.

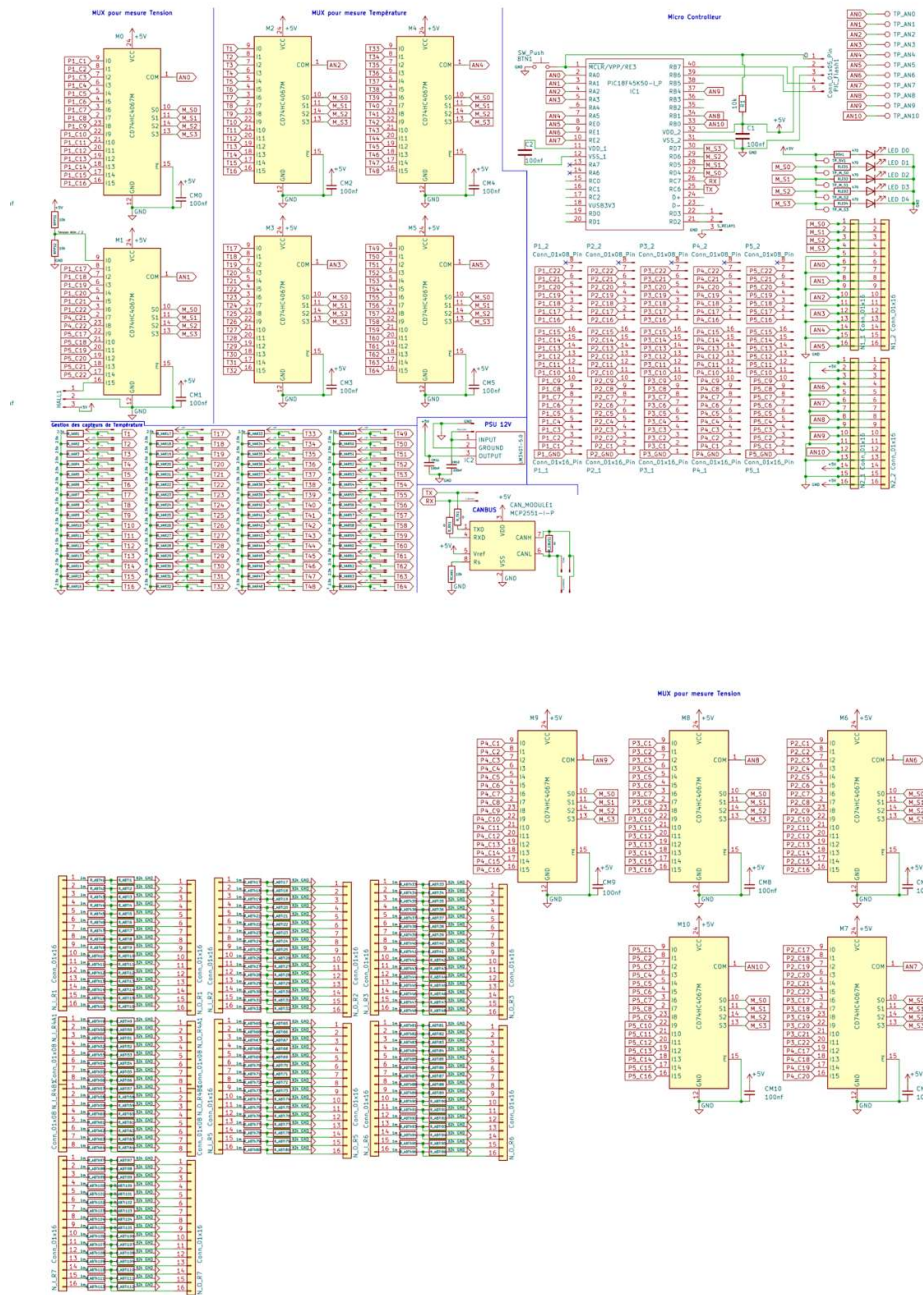
Annexes



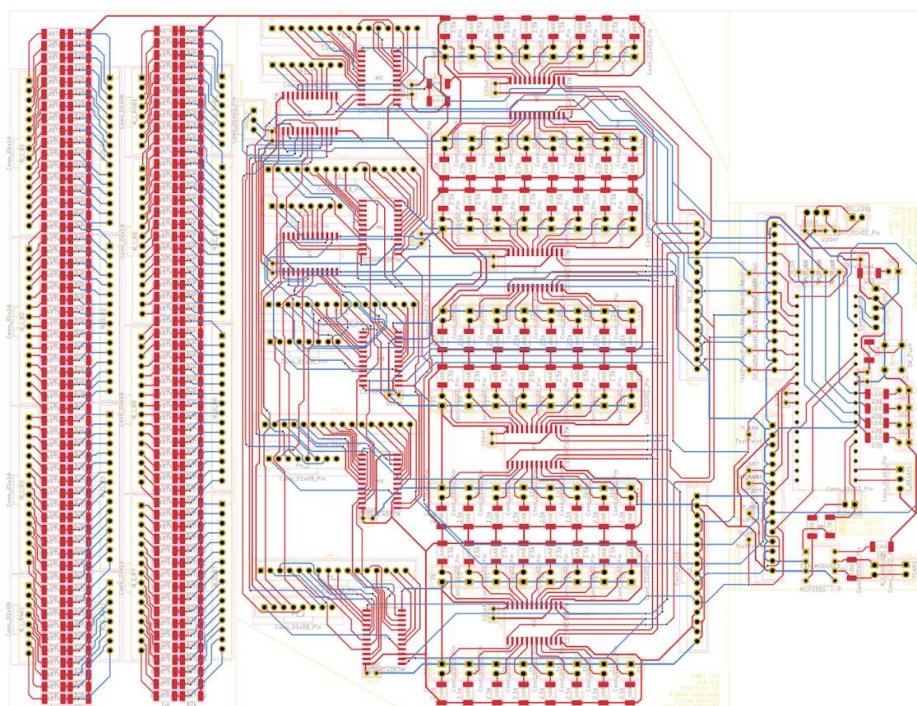
Annexe. 1 [Carte d'activation] Schéma électrique original



Annexe. 5 [BMS] Câblage en cas de division de la carte



Annexe. 5 [BMS] Schéma électrique



Annexe. 6 [BMS] Routage électrique