



## ÉCOLE CENTRALE LYON

### UE PRO RAPPORT DE PROJET D'ÉTUDES ENTRANTS 2018

# EPSA – Conception et réalisation de l'électronique embarquée et du cockpit d'un véhicule de compétition du Formula Student

*Projet d'Etude n : 66*

**Élèves :**

Arthur RODRIGUEZ  
Romain MARTIN  
Martin GOMEZ PINTADO  
Corentin LEPAIS  
Bruno MOREIRA  
NABINGER

***Commanditaire :***

Écurie Piston Sport Auto  
(EPSA)

***Tuteurs Scientifiques :***

Patrick SERRAFERO

Pierre-Louis JAEGER

David NAVARRO

***Conseiller en***

***Communication :***

Nicolas HOURCADE

***Conseiller en Gestion de***

***Projet :***

Baptiste CELLE

***Département d'Accueil :***

MSGMGC

6 juin 2019  
Version 1.8

## Résumé

L'Ecurie Piston Sport Auto (EPSA) propose chaque année plusieurs projets d'étude et d'application industriels qui leur font suite. Chaque PE se trouve, lors du début d'année, en soutien du PAI responsable de la conception, fabrication et intégration d'un des 4 systèmes principaux du véhicule de compétition et qui concernait plus particulièrement l'électronique du véhicule pour notre groupe de PE.

Cette année, le prototype Optimus participera au Formula Student Netherlands et Italy, compétitions étudiantes d'ingénierie qui rassemblent des universités du monde entier.

Une fois ce véhicule intégré, les quatre groupes de PE se séparent des groupes de PAI afin de commencer la conception du véhicule successeur d'Optimus : Invictus.

Ce rapport présente la démarche d'ingénierie mise en place au cours de l'année depuis la phase de conception détaillé en partenariat avec le PAI jusqu'au début de la conception de notre propre véhicule.

## Abstract

Each year, the Ecurie Piston Sport Auto (EPSA) carries out several first and second year projects. Each first year project support its PAi for the design, manufacture and integration of a competition vehicle system. Our project group is responsible for the vehicle electronics.

This year, the Optimus prototype will participate in the Formula Student Netherlands and Italy, engineering student competitions that bring together teams from all over the world.

Once this vehicle is integrated, the first year students separate from the PAi groups to begin the design of Optimus's successor vehicle : Invictus.

This report presents the engineering approach implemented during the year since the detailed design phase in partnership with the PAI until the beginning of the design of our own vehicle.

## Table des matières

<b>1 Introduction</b>	<b>7</b>
1.1 Le Formula Student . . . . .	7
1.2 Les compétitions . . . . .	9
1.2.1 Les épreuves statiques . . . . .	9
1.2.2 Les épreuves dynamiques . . . . .	10
1.3 Ecurie Piston Sport Automobile - EPSA . . . . .	11
1.3.1 Ecurie Piston Sport Automobile - EPSA . . . . .	11
1.3.2 La structure de l'écurie . . . . .	11
1.3.3 Partenaires . . . . .	12
1.3.4 Sponsors . . . . .	13
<b>2 La gestion de projet à l'EPSA</b>	<b>16</b>
2.1 Problématique . . . . .	18
2.2 Objectifs . . . . .	19
2.2.1 Objectifs techniques . . . . .	19
2.2.2 Objectifs pédagogiques . . . . .	19
2.2.3 Annonce du plan . . . . .	19
<b>3 Formation intergénérationnelle</b>	<b>21</b>
3.1 Secteur d'activité du département SEISM (Système Électronique Instrumenté Sécurisé et Monitoré) . . . . .	21
3.2 Tableau de bord . . . . .	22
3.2.1 Fonctionnalités . . . . .	22
3.2.2 Développement . . . . .	23
3.2.3 Retour d'expérience . . . . .	23
3.3 Carte avant . . . . .	24
<b>EPSA – Conception et réalisation de l'électronique embarquée et du cockpit d'un véhicule de compétition du Formula Student</b>	<b>2</b>

3.4 CAN . . . . .	25
3.5 Passage de vitesse . . . . .	27
3.6 Acquisition de données . . . . .	29
3.6.1 Choix de capteurs . . . . .	29
3.6.2 Acquisition de données . . . . .	30
3.7 Brake System Plausibility Device - BSPD . . . . .	31
3.8 Bilan de connaissances et compétences techniques, méthodologiques et organisationnelles . . . . .	33
<b>4 Lancement du projet Invictus</b>	<b>34</b>
4.1 Gestion de projet . . . . .	34
4.2 Cahier des Charges Fonctionnelles . . . . .	36
4.2.1 Cahier des Charges Fonctionnelles d'Invictus . . . . .	36
4.2.2 Cahier des Charges Fonctionnelles du SEISM . . . . .	37
<b>5 Conclusion</b>	<b>41</b>
<b>6 Bibliographie</b>	<b>42</b>
<b>7 Annexe</b>	<b>44</b>
7.1 Code de la carte avant . . . . .	44
7.2 Code de la carte arrière . . . . .	46

## Table des figures

1	Photo de la compétition internationale de sport automobile Formula Student. Source : E-Motion Rennteam Aalen . . . . .	7
2	Vulcanix - EPSA - Ecole Centrale de Lyon : Véhicule thermique. Source : EPSA . . . . .	8
3	AMZ - Polytechnique Zurick : Vehicule sans pilote. Source : E-Motion Rennteam Aalen . . . . .	8
4	Vulcanix - EPSA - Ecole Centrale de Lyon : Tilt Test. Source : EPSA . . .	9
5	Olympix - EPSA - Ecole Centrale de Lyon : Brake Test. Source : EPSA . .	10
6	Circuit pour le Skidpad Event. Source : Formula Student Germany, 2018 .	10
7	Circuit pour l'autocross en Autriche (à droite) et en Allemagne (à gauche). Source : OptimumLap . . . . .	11
8	Organigramme EPSA. Source : EPSA . . . . .	12
9	Sponsors EPSA. Source : EPSA . . . . .	15
10	Modèle managérial "full intergénérationnel" V Racine Carrée arrêté pour la saison 2019. Source : EPSA . . . . .	16
11	Modèle de cycle en V appliqué à chaque véhicule. Source : EPSA . . . . .	17
12	Architecture du faisceau de données. Source : EPSA . . . . .	21
13	Photo du tableau de bord d'Optimus au Roll Out. Source : EPSA . . . . .	22
14	Prototype du tableau de bord. Source : EPSA . . . . .	23
15	Arduino Uno. Source : Arduino, . . . . .	24
16	Maquette architecturale du Bus CAN d'Optimus. Source : EPSA . . . . .	25
17	Données présentes sur le Bus. Source : EPSA . . . . .	25
18	Shield de la carte avant et intégration dans sa boîte. Source : EPSA . . . .	26
19	Shield CAN. Source : Watterott Electronic, 2019 . . . . .	26
20	Motoréducteur BG45x15 PI (entreprise Dunkermotoren GmbH). Source : EPSA . . . . .	27
21	Schéma shield passage du vitesse. Source : EPSA . . . . .	28

22	Choix des capteurs sur les voitures de circuit. Source : OptimumG Seminar : Data Driven Performance Engineering . . . . .	29
23	RaceCapture MK3. Source : Autosport Labs . . . . .	30
24	Application MatLab de post-traitement des données. Source : EPSA . . . . .	30
25	Soudure de la carte BSPD. Source : EPSA . . . . .	31
26	Jalonnement prévisionnel du véhicule Invictus. Source : EPSA . . . . .	34
27	Distribution des points aux différentes épreuves. Source : EPSA . . . . .	36
28	Cahier des charges du département SEISM. Source : EPSA . . . . .	37
29	Cahier des charges du système d'acquisition de données. Source : EPSA . . . . .	38
30	Cahier des charges du tableau de bord et carte avant inclus. Source : EPSA . . . . .	38
31	Cahier des charges du faisceau. Source : EPSA . . . . .	39
32	Cahier des charges du passage de vitesse. Source : EPSA . . . . .	40

## Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement les équipiers EPSAmen qui participent, d'une façon ou d'une autre, au déroulement du projet Invictus. Cela inclue les deuxièmes années qui continuent de nous soutenir et de nous donner des conseils après nous avoir formés pendant une bonne partie de l'année ainsi que nos camarades des autres départements qui font un travail remarquable. Nous remercions également Arthur Rodriguez et Thibaud Lassus nos directeurs qui nous permettent d'avancer sereinement dans le projet, ainsi que Nicolas Gameiro, le directeur projet d'Optimus, qui a su nous impliquer dans leur projet. Ils savent nous motiver et nous diriger depuis le début de notre projet, nous en sommes reconnaissants. Nos remerciements s'adressent également à Patrick Serrafero qui a permis que trois générations avancent ensemble sur un même projet. Cela nous a permis d'entamer encore plus rapidement et de manière sereine notre propre véhicule Invictus, forts des savoirs théoriques et techniques que nos aînés nous ont transmis. Nous tenons à mettre en lumière l'aide préciseuse de Pierre-Louis Jaeger ainsi que Bob Aubouin-Pairault pour la conception des cartes électroniques et plus généralement l'ensemble du SEISM. Nous remercions Nicolas Hourcade et Baptiste Celle, qui ont pris le temps de nous aiguiller au cours des RVPs et des TDs de PE. Merci à David Navarro et Lotfi Boussetta qui nous ont apportés de précieux conseils et consacrés du temps pour la soudure des composants CMS. Merci également à Béatrice Chervet et Isabelle Tixier pour toutes nos commandes. Nous remercions ensuite nos partenaires, les élèves des lycées La Giraudière, de Boisard, de La Mache et du lycée automobile Émile Béjuit. Cette année encore, ils ont fourni un travail exceptionnel produisant des pièces d'une grande qualité pour l'équipe d'Optimus et qui renouvellent leur soutien au projet Invictus. Nous remercions particulièrement Mr Debouck, Mme Galland et l'équipe financière et pédagogique de l'ECL qui soutiennent notre projet. Enfin, nous remercions nos sponsors dont la liste est donnée dans la section Sponsors, ils nous fournissent un soutien financier et technique primordial à la réalisation d'Optimus et nous renouvellent leur confiance pour Invictus.

# 1 Introduction

## 1.1 Le Formula Student

Crée en 1980 aux États-Unis par la Society of Automotive Engineers (SAE) pour promouvoir l'industrie automobile au travers d'une compétition entre les universités, le Formula Student s'est exporté partout dans le monde grâce aux sociétés d'ingénieurs des différents pays. Il rassemble aujourd'hui plus de 800 équipes faisant partie des plus prestigieuses universités du monde, servant de véritable vitrine pour ces dernières.



FIGURE 1 – Photo de la compétition internationale de sport automobile Formula Student.

Source : E-Motion Rennteam Aalen

La philosophie de cette compétition peut être résumée par les deux citations suivantes :

“It’s not about getting faster ; it’s about getting smarter” - Formula Student Germany

“Courses taught me theory, competitions made me an engineer” - Phillip Tischler [HAHN, 2018]

Le championnat officiel compte 9 compétitions sur des circuits tels que Silverstone ou Hockenheim. Les compétitions regroupent entre 30 et 150 véhicules. Les véhicules qui participent au Formula Student doivent satisfaire un règlement très strict qui décline les consignes de sécurité ainsi que les nombreuses spécificités techniques que chaque véhicule doit remplir. Les véhicules peuvent participer à la compétition dans l'une de ces trois catégories : thermique (Figure 2), électrique ou sans pilote (Figure 3). Ces véhicules sont des monoplaces à cockpit ouvert pesant entre 150kg, pour les meilleurs prototypes, et 250kg.



FIGURE 2 – Vulcanix - EPSA - Ecole Centrale de Lyon : Véhicule thermique.  
Source : EPSA



FIGURE 3 – AMZ - Polytechnique Zurick : Vehicule sans pilote.  
Source : E-Motion Rennteam Aalen

## 1.2 Les compétitions

Les compétitions comportent huit épreuves statiques puis dynamiques qui évaluent les performances du prototype conçu, mais également la démarche d'ingénierie et de commercialisation.

### 1.2.1 Les épreuves statiques

Les épreuves statiques sont les suivantes :

- **Design Event**, 150 points

Il s'agit de l'épreuve reine. Les étudiants doivent défendre et justifier, devant des ingénieurs spécialisés, l'ensemble des choix et concepts de la voiture.

- **Cost and Manufacturing Event**, 100 points

Cette épreuve évalue les aspects reliés aux coûts de fabrication et comment les réduire en affectant le moins possible la performance du véhicule.

- **Presentation Event**, 75 points

Pour cette épreuve, les équipes doivent réaliser un Business plan autour du prototype conçu et le présenter devant des juges-investisseurs.

- **Scrutering**, 0 points

Il s'agit de la vérification technique du véhicule. A ce moment de la compétition, le véhicule doit satisfaire l'ensemble du règlement afin de participer aux épreuves dynamiques. Plus précisément, le scrutering se compose d'une vérification statique du véhicule, du noise test (le niveau de décibel en sortie de l'échappement est limité), du tilt test (Le véhicule est incliné sur une planche à 45 degrés puis à 60 degrés et les roues ne doivent pas se décoller. Cela revient à mesurer la capacité du véhicule à prendre un virage à 1.5G) (Figure 4) et du brake test (Le véhicule doit s'arrêter dans une zone délimitée) (Figure 5).



FIGURE 4 – Vulcanix - EPSA - Ecole Centrale de Lyon : Tilt Test.

Source : EPSA



FIGURE 5 – Olympix - EPSA - Ecole Centrale de Lyon : Brake Test.  
Source : EPSA

### 1.2.2 Les épreuves dynamiques

Ensuite viennent les épreuves dynamiques :

- **Acceleration Event**, 75 points

Il s'agit d'une épreuve en départ arrêté de 75 mètres qui évalue l'accélération du véhicule.

- **Skidpad Event**, 75 points

Le véhicule doit faire deux tours d'un cercle de 16m de diamètre à gauche puis à droite (Figure 6). Cette épreuve évalue la maniabilité des prototypes.

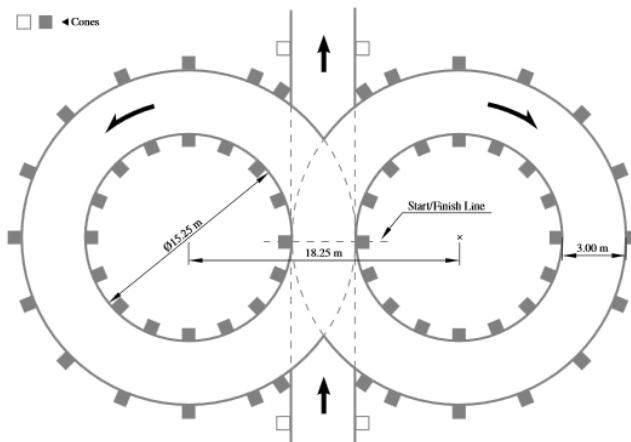


FIGURE 6 – Circuit pour le Skidpad Event.  
Source : Formula Student Germany, 2018

- **Autocross Event**, 100 points

Le véhicule réalise un tour de circuit d'une longueur de 1 km (Figure 7).

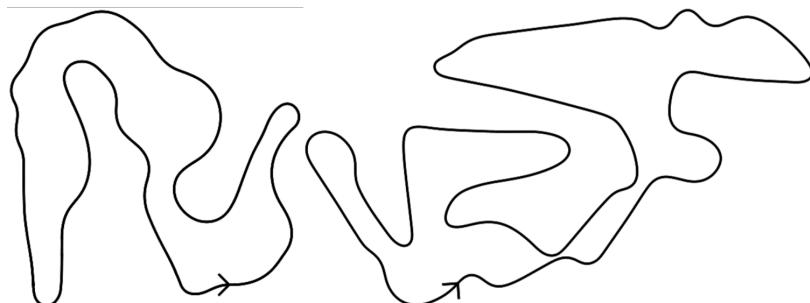


FIGURE 7 – Circuit pour l'autocross en Autriche (à droite) et en Allemagne (à gauche).

Source : OptimumLap

- **Endurance and Efficiency Event**, 325 et 100 points

Les véhicules doivent parcourir 22 km sur le circuit de l'Autocross. Le temps et la consommation énergétique sont évalués. Cette épreuve est la plus difficile à terminer.

## 1.3 Ecurie Piston Sport Automobile - EPSA

### 1.3.1 Ecurie Piston Sport Automobile - EPSA

L'Ecurie Piston Sport Auto (EPSA) est une association de l'école Centrale Lyon, qui chaque année, construit une voiture prototype pour participer à la compétition internationale du Formula Student (FS). L'objectif est de concevoir, fabriquer et piloter un véhicule de compétition, en respectant un règlement strict et d'obtenir les meilleurs résultats possibles aux différentes épreuves de la compétition. Chaque année l'objectif du véhicule est d'améliorer les performances de 20 pourcents par rapport au véhicule de la saison précédente. Pour ce faire, l'écurie est divisée en 4 PE et 3 PA qui travaillent ensemble pour concevoir et créer ce véhicule de compétition. L'écurie se focalise sur le travail intergénérationnel entre les nouveaux arrivants et leurs aînés pour contribuer à la création du véhicule.

### 1.3.2 La structure de l'écurie

L'écurie se divise en quatre départements :

- Châssis équipé et aérodynamique
- Motorisation instrumentée
- Liaison au sol
- SEISM (Système Électronique Instrumenté Sécurisé et Monitoré)

De ces quatre départements sont issus les différents membres de la direction de l'écurie. En ce qui concerne la communication, celle-ci était assurée par l'ensemble de l'équipe cette année. L'an prochain, nous avons la volonté d'ouvrir un PE Communication.

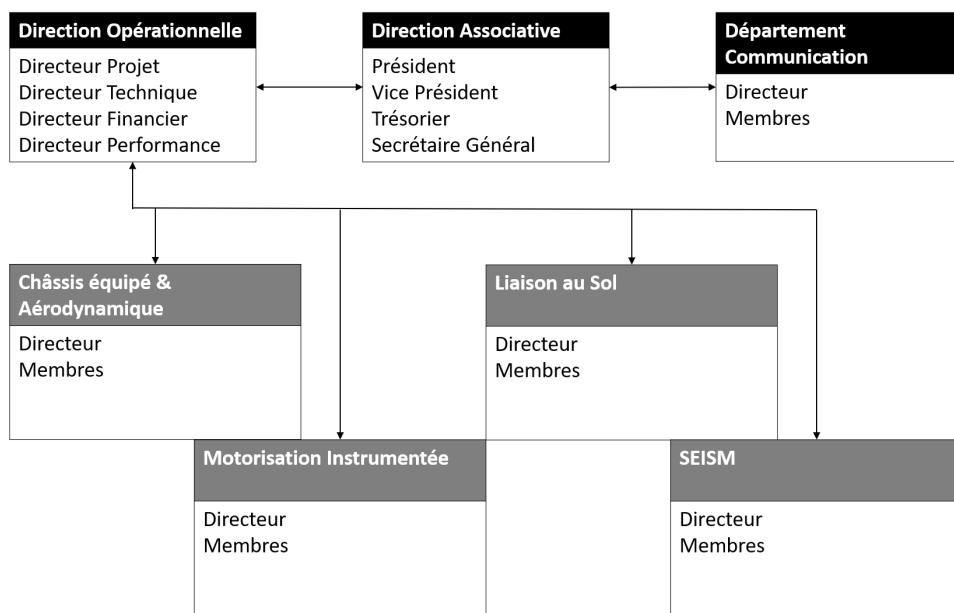


FIGURE 8 – Organigramme EPSA.

Source : EPSA

### 1.3.3 Partenaires

L'EPSA est une association qui fonctionne en collaboration avec des lycées professionnels et des écoles de production de la région lyonnaise. Ces Lycées, en échange d'un financement de la part de Total dans le cadre du projet, réalisent une majorité de la production du véhicule.

A la différence d'une entreprise, les lycées, principalement le personnel enseignant, apporte au projet une expertise technique ainsi qu'un soutien dans les situations de crise. L'objectif est, pour ces lycéens d'apprendre leur métier dans le cadre d'un projet stimulant. Cela fait maintenant plus de 10 ans que ces partenaires suivent l'écurie et font partie intégrante du projet.

#### L'école de production de Boisard

*Boisard* est une école de production située à Vaulx-en-Velin qui forme chaque année des CAP et des lycéens professionnels dans les domaines de la métallurgie, de la mécanique automobile, de l'usinage, ... Dans le cadre du projet, ce sont essentiellement avec l'atelier d'usinage que nos membres sont en interaction.

Pour la saison 2019, l'école de production de Boisard a réalisé, comme chaque année, l'ensemble des pièces de la roue équipée du véhicule Optimus ainsi que d'autres pièces intégrées à la voiture (inserts de triangles, transmission secondaire, ... ).

#### L'école de production LA MACHE

L'école de production de *La Mache*, située dans Lyon, réalise, chaque année, pour le projet toute la découpe laser et le pliage du véhicule ainsi que l'usinage de certaines pièces. Cette année, *La Mache* a notamment réalisé l'ensemble des pièces composant le pédalier.

### **Les ateliers d'apprentissage de LA GIRAUDIÈRE**

La Giraudière est en charge, chaque année, de la réalisation de la soudure du châssis et des équipements (sur lesquels viendront s'attacher les autres sous-systèmes). Deux élèves de La Giraudière s'occupent, sous la supervision de M. Vernay, de souder l'intégralité du châssis. Cette année, ce sont Alexis et Thibaud qui se sont chargés de souder Optimus.

### **Le lycée professionnel Emile-Béjuit**

Le lycée Emile-Béjuit, situé à Bron, est un lycée professionnel consacré aux métiers de l'automobile. Chaque année, le lycée apporte, à l'association, son expertise dans le domaine de la mécanique automobile. Il met également à disposition des élèves son matériel (banc de réglage statique 3D du véhicule, déjantage et rejantage des pneus...). C'est dans l'enceinte de ce lycée que se trouve la plateforme d'intégration de l'EPSA. Cette année, elle a d'ailleurs été rénovée et réorganisée.

#### **1.3.4 Sponsors**

En plus des partenaires, l'association peut également compter sur le soutien de nombreux sponsors. Cette année, le nombre total de sponsors s'est encore agrandi et ce dernier devrait s'accroître d'ici la fin de l'année. Tous les sponsors se trouvent sur la page internet de l'EPSA.

Ces sponsors se regroupent principalement autour de 2 types de sponsoring : le versement de la taxe d'apprentissage et les dons en matériel, matières premières et services.

### **Le versement de la taxe d'apprentissage**

Chaque année, l'Ecole Centrale de Lyon met à disposition du projet un budget contrôlé. En échange, l'écurie doit démarcher des entreprises pour qu'elles versent leur taxe d'apprentissage à l'ECL. En fonction de la taxe d'apprentissage récoltée chaque année, le budget peut être réévalué à la hausse ou à la baisse.

C'est de ce type de soutien et de ce budget que l'écurie est principalement dépendante. Chaque année, Total verse à l'École Centrale de Lyon une somme conséquente et finance nos partenaires, ce qui fait de cette entreprise le plus important sponsor de l'écurie depuis 2002 et les débuts de l'EPSA. Alten également soutient de manière importante le projet, tout comme Alpentech ou Volvo.

### **Les dons**

C'est vers ce type de financement que l'association cherche désormais à se tourner pour plusieurs raisons. Tout d'abord, cela représente moins de frais pour les entreprises qui sont plus aptes à accepter un partenariat. De plus, ces dons seront ensuite directement intégrés sur le véhicule, ce qui représente une vitrine pour l'entreprise.

Les dons concernent des pièces (SKF pour les roulements, Souriau pour les connecteurs, ARRK pour l'admission imprimé en 3D), les dons de matières premières (Textreme pour de la fibre carbone) mais également les dons de services (PSEP industrie pour la réalisation de la peinture).

On peut également noter que certaines entreprises réalisent à la fois des versements de TA et des dons comme par exemple *Alpentech* qui a réalisé les inserts doubles des triangles ou encore *Volvo Truck* qui prête à l'EPSA sa piste à Saint-Priest lors de la période d'essai.

### Préserver les sponsors et démarcher

Préserver les sponsors représente une partie du travail de l'association afin d'assurer la pérennité de l'EPSA. Cela passe par la réalisation d'événements sur mesure (journée Total, Epsalten), par la communication autour des entreprises (sur les réseaux sociaux, sur la newsletter), par la mise en avant des entreprises lors de forums (salon Carnot, salon de l'industrie),..

Le démarchage est lui aussi partie prenante du projet. Lors de la réalisation des devis pour les commandes, chaque équipier du projet cherche à démarcher de nouvelles entreprises pour obtenir des réductions voir des dons. Lors des salons également, les personnes représentant l'association cherchent à obtenir des contacts...

## Ils nous soutiennent



FIGURE 9 – Sponsors EPSA.  
Source : EPSA

## 2 La gestion de projet à l'EPSA

La réalisation d'un véhicule de l'EPSA suit un chemin particulier. Elle est guidée par un cheminement dit “cycle en V racine carrée”, comme illustré sur la Figure 10.

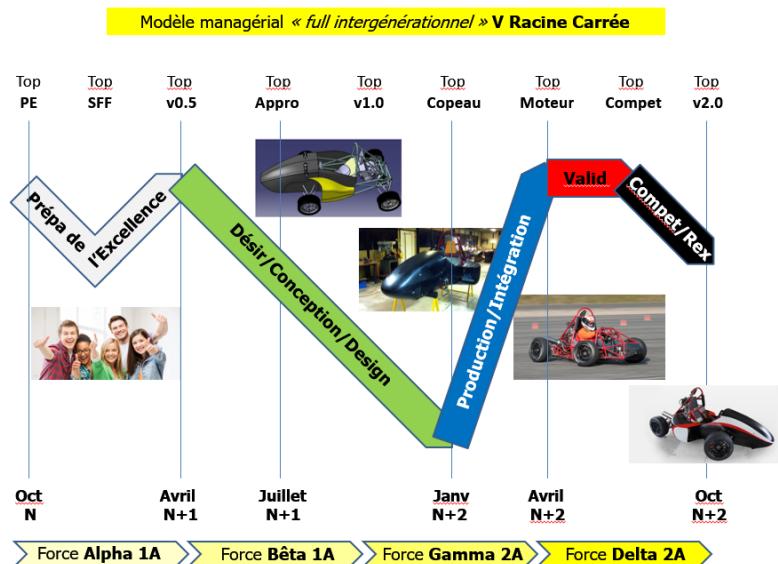


FIGURE 10 – Modèle managérial "full intergénérationnel" V Racine Carrée arrêté pour la saison 2019.

Source : EPSA

En Octobre 2018, lorsque les élèves de première année intègrent l'EPSA, ils aident les élèves de deuxième année dans la phase de conception détaillée et de production de leur véhicule Optimus, lancé en Avril 2018. La flèche blanche coudée n'est en fait que le bas des flèches verte et bleue du chemin des élèves de deuxième année (Figure 11). Cette phase permet de familiariser les élèves-ingénieurs à la gestion d'un projet tel que celui de l'EPSA en commençant par la manipulation des outils nécessaires à la conception d'un tel véhicule. Durant cette phase des formations délivrées par d'anciens membres de l'EPSA permettent d'approfondir la théorie autour de la dynamique véhicule ainsi que d'autres sujets en rapport avec le comportement d'un véhicule de course.

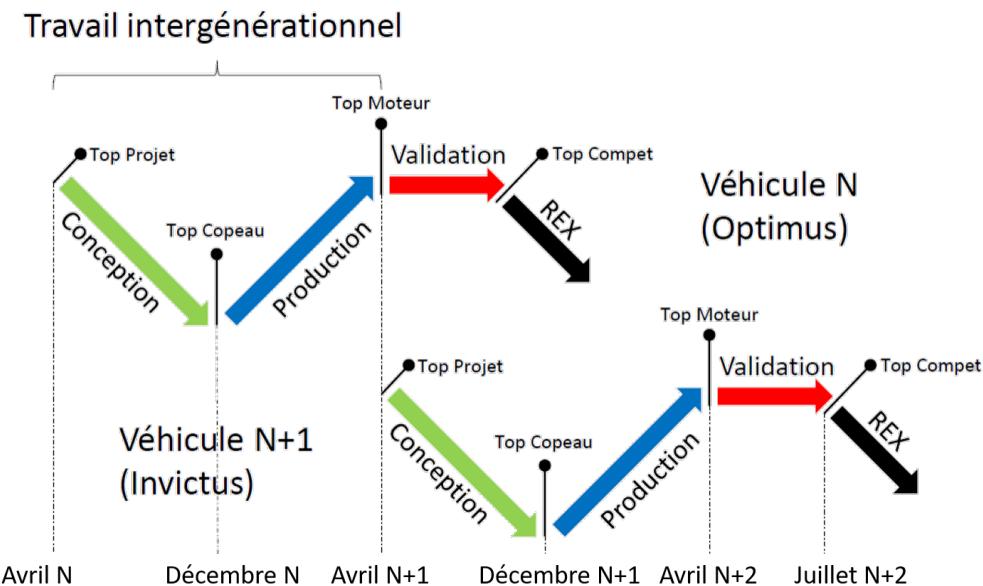


FIGURE 11 – Modèle de cycle en V appliqué à chaque véhicule.

Source : EPSA

Le véhicule Optimus, présenté lors du Roll Out le 10 avril 2019, est actuellement en phase de validation. Cette phase se compose principalement d'essais et de réglages. Il participera en juillet 2019 à deux compétitions : aux Pays-Bas et en Italie.

Depuis le 1<sup>er</sup> avril, le projet Invictus, le successeur d'Optimus, est officiellement lancé. La descente du cycle en V a ainsi commencé avec la phase de conception préliminaire qui se terminera en juillet 2019, suivie de la phase de conception détaillée dont la fin est fixé à décembre de la même année (flèche verte descendante). A partir de janvier 2020 on entamera la remonté du cycle en V, avec la production et l'intégration des systèmes, jusqu'en avril 2020 (flèche bleue ascendante). Enfin la validation du véhicule se fera via des tests et des essais (flèche rouge) puis arrivera la compétition en juillet 2020 (flèche noire).

## 2.1 Problématique

Le sujet de PE est de participer à la conception de l'électronique embarquée et du cockpit d'Optimus, le véhicule STUF de la saison 2019 puis de concevoir intégralement ceux du prochain véhicule STUF'2020.

Ce sujet inclut donc la conception et la réalisation de systèmes électriques/électroniques (ie : faisceau électrique, systèmes d'acquisition de données, contrôle moteur, ...) ainsi que du cockpit ergonomique (ie : tableau de bord électronique, passage de vitesse, baquet, harnais, ...). Ce travail s'effectue en collaboration avec les équipes des autres PE EPSA et est coordonné par l'équipe 2A Optimus qui viendra apporter ses connaissances techniques et le savoir-faire déjà acquis en lien avec l'EPSAC, l'Académie des Anciens Membres de l'École Centrale de Lyon de l'Écurie.

L'objectif principal est de trouver le meilleur compromis entre performance et fiabilité, complexité technique et fabricabilité du système, en agissant sur l'architecture, les procédés de fabrication, les matériaux... Le prototype STUF'2019-Optimus proposera 20% de performance supplémentaire par rapport au véhicule Vulcanix de 2018. La fin de la conception, la fabrication et la validation du prototype STUF'2019 seront réalisées en 2<sup>ème</sup> Année.

## 2.2 Objectifs

Les objectifs de ce projet sont divers et ne concernent pas uniquement l'aspect technique de celui-ci. Ils sont détaillés ci-dessous.

### 2.2.1 Objectifs techniques

Concernant l'aspect technique, l'objectif est de réaliser l'électronique embarquée et le cockpit de la voiture. Plus précisément, cela consiste à concevoir :

- **Le faisceau électrique** : c'est l'organe de la voiture qui relie les différentes systèmes électriques et électroniques, incluant l'alimentation.
- **Le tableau de bord** : sa réalisation doit être la plus ergonomique possible car le pilote va interagir avec la voiture par son biais.
- **Le passage de vitesse** : il faut concevoir un système assurant le changement de vitesse quand le pilote appuie sur l'une des palettes situées derrière le volant. Contrairement à celui d'une moto ou d'une voiture, il doit être commandé à distance pour des raisons de performances massiques.
- **L'acquisition de données** : de nombreux modèles numériques sont utilisés durant la phase de conception. Ces modèles doivent donc être vérifiés et corrélés. De plus, le moteur a besoin d'un minimum de capteur pour fonctionner.

### 2.2.2 Objectifs pédagogiques

La particularité de l'EPSA réside dans la manière dont le projet est organisé d'une année sur l'autre. Cette organisation existe pour répondre à des objectifs pédagogiques précis.

- **La gestion d'une équipe de 40 personnes** : le travail intergénérationnel 1A/2A/3A implique de travailler en collaboration avec de nombreuses personnes qui peuvent nous faire bénéficier de leur expérience.
- **La communication à des personnes extérieures** : les TOPS ainsi que les différents livrables demandés par notre tuteur ou le règlement, nous apprennent à synthétiser tout en restant assez clair.

### 2.2.3 Annonce du plan

La ligne de ce rapport est celle que nous avons suivie au cours de l'année. Tout d'abord la formation intergénérationnelle au sein de l'EPSA : quels ont été les principaux axes de formations au département SEISM ainsi que les systèmes sur lesquels nous avons

travaillé. Dans un second temps, nous vous présenterons le lancement de notre propre projet Invictus et son avancement depuis le Top projet du 1<sup>er</sup> avril.

### 3 Formation intergénérationnelle

Le fonctionnement intergénérationnel permet la transmission des connaissances en ingénierie automobile et des méthodes de travail de l'ingénieur. Tout ceci contribue fortement à la progression de l'écurie au fil des années.

#### 3.1 Secteur d'activité du département SEISM (Système Électronique Instrumenté Sécurisé et Monitoré)

Le département SEISM est responsable de la réalisation de l'ensemble du faisceau électrique et de l'électronique du véhicule.

Les principaux secteurs d'activité du département sont les suivants (Figure 12) :

- le faisceau électrique
- le tableau de bord
- la carte de contrôle du tableau de bord (carte avant)
- l'acquisition de données et les capteurs
- le passage de vitesse (carte arrière)

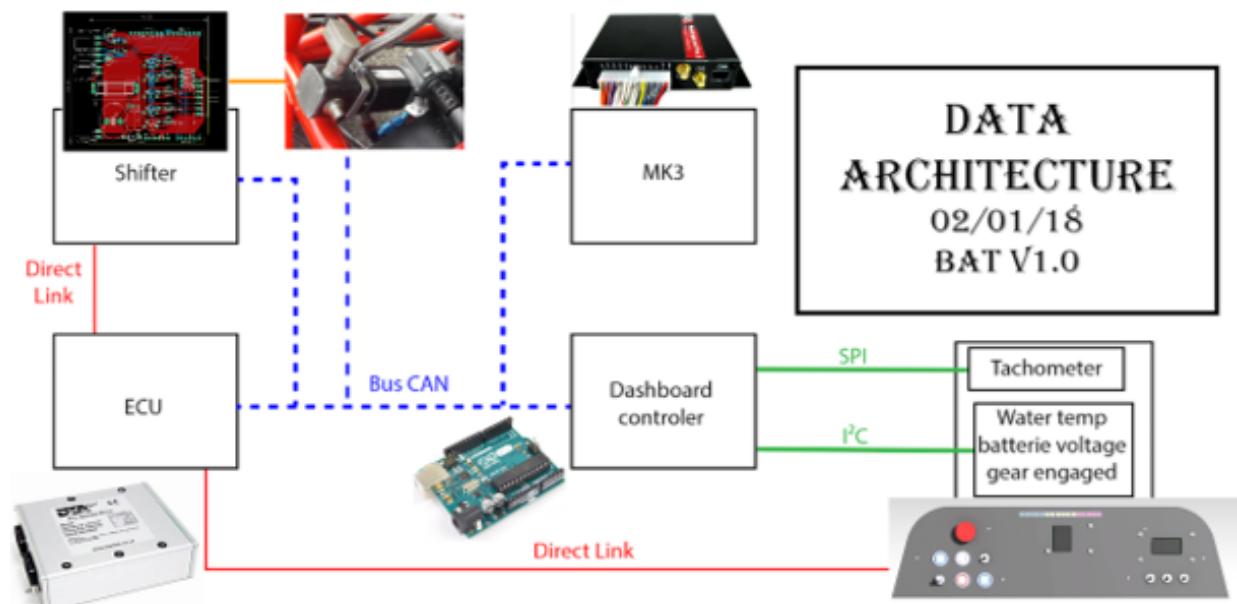


FIGURE 12 – Architecture du faisceau de données.  
Source : EPSA

### 3.2 Tableau de bord

Le tableau de bord est l'interface Homme-Machine. Ce dernier doit retransmettre l'information au pilote et lui permettre d'agir sur la voiture. Le tableau de bord est, comme les années précédentes, constitué d'une plaque sur laquelle les divers boutons et afficheurs sont placés. L'an passé, Vulcanix, a été la première voiture à présenter un tableau de bord dont l'esthétique était soignée. Le tableau de bord d'Optimus reprend la base de Vulcanix et l'améliore tant sur les fonctionnalités que sur l'ergonomie et l'esthétisme.



FIGURE 13 – Photo du tableau de bord d'Optimus au Roll Out.

Source : EPSA

#### 3.2.1 Fonctionnalités

Le tableau de bord comporte notamment les fonctions suivantes :

- arrêter en urgence la voiture
- mettre le contact "low power" pour alimenter l'électronique de la voiture afin de pouvoir consulter les enregistrements de données
- mettre le contact "high power" pour alimenter l'ensemble des organes de puissance (systèmes d'allumage, pompe à essence, ventilateur)
- démarrer la voiture
- mettre la boîte de vitesse au point mort
- réinitialiser le passage de vitesses
- activer le contrôle de traction (contrôle de glissement)
- activer le "launch control" (aide au démarrage en départ arrêté)
- afficher le régime moteur
- afficher le rapport de vitesse engagée
- afficher la tension de la batterie

- afficher la température d'eau du moteur
- changer les paramètres du DTA (contrôleur moteur) en fonction de la piste
- activer l'enregistrement des données moteur

### 3.2.2 Développement

Tout au long du développement, la forme du tableau de bord s'est adaptée aux évolutions du châssis tubulaire. Sa forme a varié au cours de la conception du véhicule. Lors de ce processus, de nombreux prototypes (Figure 14) ont été créés afin de tester le tableau de bord. Le dernier prototype, quasi-finale, a été monté sur la voiture (Figure 13). Grâce à cela, la version finale du tableau de bord a bénéficié d'un dernier ajout : un bouton qui permet de couper l'injection d'essence dans le moteur. En effet, lorsque que le moteur cale, il reste un surplus d'essence dans les pistons. Ce surplus peut créer un retour de flamme au prochain démarrage si l'injection n'est pas désactivé. Un tel phénomène s'est produit sur la voiture de l'année précédente ce qui a lourdement endommagé la boîte à air du moteur.



FIGURE 14 – Prototype du tableau de bord.

Source : EPSA

### 3.2.3 Retour d'expérience

La modélisation du tableau de bord sous Catia a été chronophage. A l'avenir, nous reprendrons la maquette Catia de l'année précédente. Finalement, l'approche de prototypage rapide a été très bénéfique pour corriger les erreurs de découpe et de modélisation. Les prototypes bénéficient aussi de retours pilotes qui permettent d'améliorer le tableau de bord final.

### 3.3 Carte avant

La carte avant est la carte électronique qui contrôle certains des éléments du tableau de bord. Sa fonction principale est de permettre la communication entre le pilote et le prototype, grâce aux données qu'il reçoit de différents capteurs via le CAN (expliqué dans la section 3.4) et les boutons et indicateurs sur le tableau de bord.

Pour cela, nous utilisons une carte Arduino Uno, facilement intégrable et programmable en C++ (un langage de programmation). La décision d'opter pour ce type de carte est liée à son faible coût, à sa grande flexibilité et aux nombreuses documentations disponibles sur Internet.



FIGURE 15 – Arduino Uno.

Source : Arduino,

Le flux de données entre le tableau de bord et les différents éléments électroniques du prototype est bidirectionnel. Comme dans une voiture conventionnelle, le conducteur peut donner des ordres à la voiture et la voiture peut informer le conducteur. Dans le cas d'Optimus, les fonctions entre le pilote et le prototype sont celles mentionnées dans la section 3.2.1.

Cependant, certains interrupteurs ne sont pas contrôlés par la carte avant. En effet, certains agissent directement sur le faisceau électrique (c'est le cas de l'interrupteur "high power - low power"), sur la carte arrière (c'est le cas du bouton pour réinitialiser le passage de vitesse) ou sur le DTA. La décision de câbler ce dernier bouton directement sur la carte arrière a été prise afin que ce bouton être fonctionnel en cas de défaillance de la carte avant.

Par conséquent, les fonctions à remplir par la carte avant sont les suivantes :

- informer sur l'activation du "launch control"
- afficher le régime moteur
- afficher le rapport de vitesse engagée
- afficher la tension de la batterie
- afficher la température d'eau du moteur
- communiquer avec le reste de la voiture via le CAN

La structure du code figure en annexe 7.1.

### 3.4 CAN

Voici la définition d'un bus CAN par Ahmed RACHID et Frédéric COLLET sur le site Technique de l'Ingénieur

«Le CAN (Controller Area Network) est un système de communication, en temps réel, par liaison série conçu pour relier des composants intelligents ainsi que des capteurs et des actionneurs dans une machine ou un procédé.

Initialement conçu par et pour l'industrie automobile (Robert BOSCH GmbH, 1983) pour répondre aux besoins de communication interne dans les automobiles : multiplexage de commandes électriques, fiabilité, diagnostic, compatibilité électromagnétique, commandes d'organes (suspension, frein, contrôle moteur), le CAN s'est rapidement imposé dans de très nombreux domaines de l'industrie.»

#### Les interfaces

Dans le cadre de l'EPSA, le bus CAN sert d'interface de communication entre le boîtier de contrôle moteur, la carte de contrôle de la boîte de vitesse, le boîtier d'acquisition de données et la carte avant. Un connecteur supplémentaire a également été ajouté dans le but de pouvoir analyser le bus avec un ordinateur.



FIGURE 16 – Maquette architecturale du Bus CAN d'Optimus.  
Source : EPSA

Les différentes données circulant sur le CAN sont les suivantes (Figure 17) :

System	ID		Data1	Data2	Data3	Data4
	dec	hex				
DTA	2000	7D0	RPM	TPS %	Water Temp C	Air Temp C
	2001	7D1	MAP Kpa	Lambda x1000	KPH x 10	Oil Kpa
	2002	7D2	Fuel P Kpa	Oil Temp C	Volts x 10	Fuel Con. L/Hr x 10
	2003	7D3	Gear	Advance Deg x 10	Injection ms x 100	Fuel Con L/100Km x 10
	2004	7D4	Ana1 mV	Ana2 mV	Ana3 mV	Cam Advance x 10
	2005	7D5	Cam Targ x 10	Cam PWM x 10	Crank Errors	Cam Errors
	2006	7D6	Cam2 Advx x 10	Cam Targ x 10	Cam2 PWM x 10	External 5v
	2007	7D7	Inj Duty Cycle %	Lambda PID Target	Lambda PID Adj	
Carte avant	1000	3E8	Reset Moto red			
	1001	3E9	Homing			
	1002	3EA	Neutre			
Carte arrière	1100	44C	Erreur Motored			

FIGURE 17 – Données présentes sur le Bus.  
Source : EPSA

Les principales difficultés rencontrées se situent au niveau de l'interface entre le bus CAN et les cartes avant et arrière. La solution retenue pour la carte avant est l'intégration du contrôleur CAN sur le shield permettant le contrôle du tableau de bord.

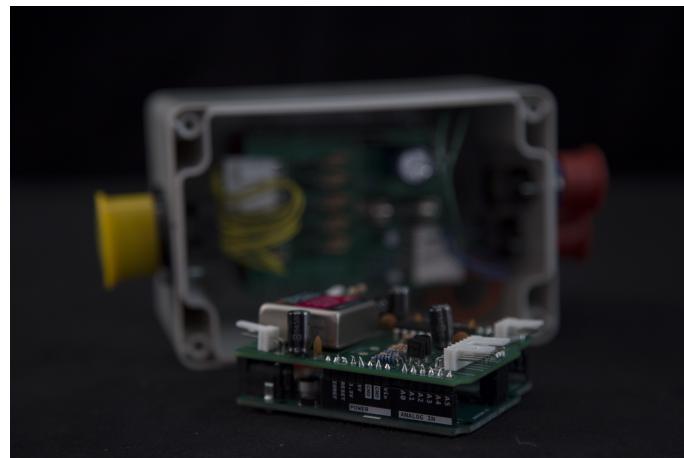


FIGURE 18 – Shield de la carte avant et intégration dans sa boîte.

Source : EPSA

La solution retenue pour la carte arrière est l'utilisation de shield arduino (Figure 19).

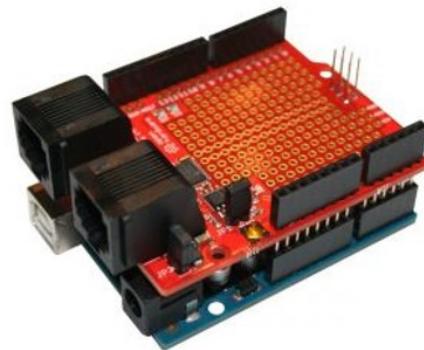


FIGURE 19 – Shield CAN.  
Source : Watterott Electronic, 2019

Dans chaque cas, les données présentes sur le bus sont donc reçues et traitées directement par les cartes.

### 3.5 Passage de vitesse

Le passage de vitesse (commande de boîte de vitesse) du véhicule Optimus, développé cette année, est réalisé par un motoréducteur dont on va piloter la position.



FIGURE 20 – Motoréducteur BG45x15 PI (entreprise Dunkermotoren GmbH).

Source : EPSA

Après Dynamix, qui a utilisé un solénoïde (un dispositif électromécanique) comme actionneur, cela a été le choix technique adopté depuis Atomix, avec quelques petites modifications. Notamment, le véhicule Vulcanix, de 2018, utilise des transistors MOSFETS (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) pour le shield de l'Arduino.

Le choix en conception préliminaire a été de garder les modèles architecturaux de Vulcanix du motoréducteur actionné par des palettes, car au moment de la conception préliminaire il y avait qu'un seul membre au département SEISM. Il a donc choisi de se baser sur ce qui avait déjà été fait. Quand nous sommes arrivés en septembre notre mission a été de dessiner le shield ainsi que de réaliser le programme Arduino dont le but était de le rendre plus performant et plus accessible aux futures générations tout en corrigeant les erreurs qui avaient été commises lors de la compétition 2018.

Nous avons commencé par vérifier la possibilité de changer la plateforme de prototypage électronique qu'était la carte Arduino Mega utilisée l'année précédente par une Arduino Uno, plus petite, plus légère et moins couteuse. Dans ce cadre nous nous sommes assurés que celle-ci serait suffisante pour réaliser la fonction souhaitée car elle a moins d'entrée que l'Arduino Mega.

l'étape suivante a été la conception du code et du dessin de la carte électronique. Nous nous sommes basés sur le schéma de la carte de l'année précédente et l'avons adapté à la nouvelle carte. La conception du nouveau shield a été réalisé en utilisant le logiciel EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor), un logiciel de conception assistée par ordinateur de circuits imprimés.

On a effectué le codage de l'Arduino en langage C/C++. Le code de base a été celui de l'année précédente. Nous en avons amélioré l'organisation des fonctionnalités.

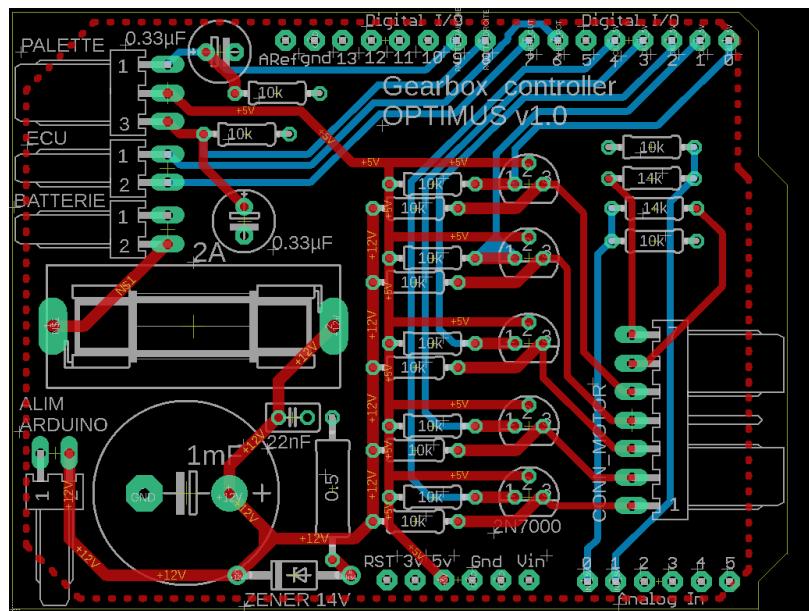


FIGURE 21 – Schéma shield passage du vitesse.

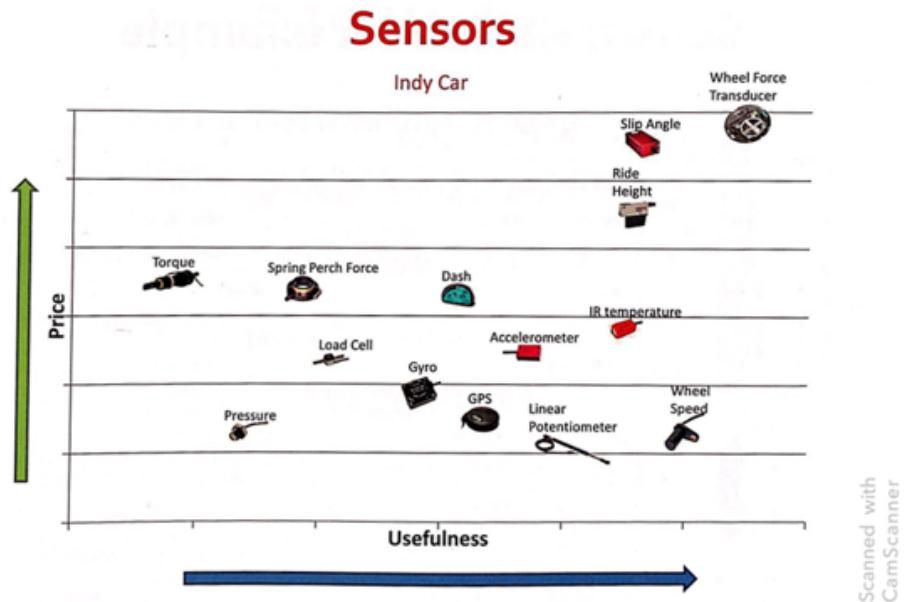
Source : EPSA

La vérification de notre système s'est faite sur une ancienne voiture de l'écurie, Atomix, dont le passage de vitesse était défaillant. Nous l'avons ainsi réparé en intégrant notre système afin de voir comment celui-ci se comportait et quelles étaient les erreurs de notre programme.

## 3.6 Acquisition de données

### 3.6.1 Choix de capteurs

Le choix des capteurs réalisé en début d'année recoupe le graph suivant :



Scanned with  
CamScanner

FIGURE 22 – Choix des capteurs sur les voitures de circuit.

Source : OptimumG Seminar : Data Driven Performance Engineering

Les capteurs installés sur le véhicule à des fins de réglages sont les suivants :

- 4 capteurs de vitesses de roues
  - 4 potentiomètres linéaires qui mesurent les débattements de suspension
  - 1 GPS
  - 1 gyromètre
  - 2 accéléromètres
  - 2 capteurs de pression de frein (avant et arrière)
  - 1 capteur de pression d'essence
  - 3 capteurs de température de pneu (sur une roue)
- L'objectif est de traiter l'ensemble de ces données dans le but de tracer des indicateurs de réglages de liaison au sol.

D'autres capteurs installés sur la voiture permettent de comparer les pilotes dans le but de les faire progresser :

- capteur de position angulaire du volant
- capteur de position de guillotine (admission d'air moteur)

### 3.6.2 Acquisition de données

L'acquisition des données et leur transmission vers un ordinateur est assurée par un dispositif du commerce : le RaceCapture MK3 (Figure 23).



FIGURE 23 – RaceCapture MK3.  
Source : Autosport Labs

Dans un second temps, les données acquises peuvent être analysées directement par le logiciel fourni avec le boîtier. Cependant, étant donné son manque d'ergonomie et de fonction. Nous avons créé une application Matlab (Figure 24) permettant un post-traitement rapide et efficace des données directement en piste.

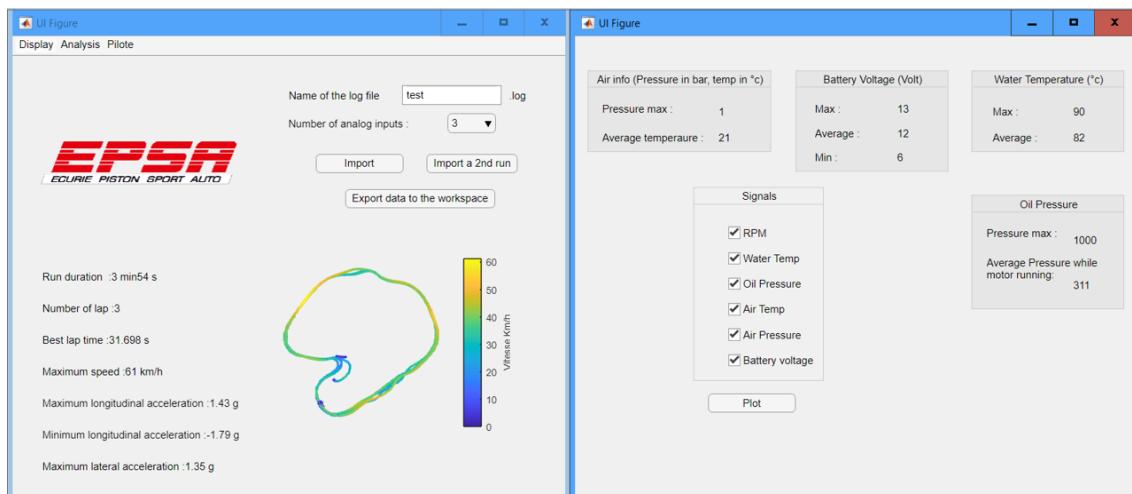


FIGURE 24 – Application MatLab de post-traitement des données.  
Source : EPSA

### 3.7 Brake System Plausibility Device - BSPD

Le Brake System Plausibility Device est un nouveau point obligatoire du règlement du FSG 2019 dont la fonction principale est de couper le moteur en cas de fort appui sur le frein et d'accélération en même temps. Les valeurs concernant ces deux cas sont fixées par le règlement.

4 cartes électroniques identiques ont été fabriquées par le partenaire Cirly.

Sur ces cartes, on utilise des composants montés en surface (CMS), plus petits que les composants *Through hole* traditionnellement utilisés par l'EPSA. Le procédé de soudure était donc un peu différent de celui habituellement utilisé à l'EPSA.

D'abord, on a utilisé les équipements de l'atelier d'électronique au laboratoire F7 de l'École Centrale de Lyon pour placer les composants CMS de manière précise grâce à une machine conçue à cet effet après avoir mis sur chaque endroit une pâte à souder. On a ensuite mis les cartes au four afin de faire fondre la pâte et de réaliser la soudure.

On a soudé les composants restants tels que les potentiomètres de manière traditionnelle avec un fer. Ces composants étaient une nouveauté pour l'EPSA cette année et pourraient être son futur car ils ont l'avantage d'être très petits (de l'ordre du mm) et très légers. Ils pourraient donc conduire à un gain de masse et de volume en réduisant la taille des cartes électroniques. La carte du BSPD durant pour le processus de soudure manuel de quelques composants est montrée ci-dessous.

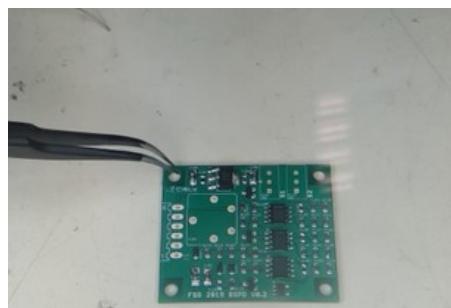


FIGURE 25 – Soudure de la carte BSPD.

Source : EPSA

Cette activité a contribué à la formation technique des membres du SEISM et de l'écurie pour l'aspect de l'apprentissage et de la pratique la soudure de composants CMS.

On peut souligner quelques aspects pratiques comme le nombre important de composants ainsi que leurs genres variés. L'utilisation d'une machine pour placer les composants est aussi à prendre en considération. On a réussi à les souder, cependant la réalisation a été considérablement plus compliquée.

En prenant en compte cela et en considérant le fait que les élèves-ingénieurs qui arrivent à EPSA ont différents niveaux d'expérience de soudure, mais probablement aucune avec les composants CMS, donne lieu à limiter et/ou supprimer lors de la conception des cartes

les encapsulations très petits, pour un gain de temps.

Un autre aspect à prendre en compte est d'ordre économique et logistique (Supply Chain). Nous n'avons pas reçu dans la première commande une valeur de capacité dans le bon encapsulation. En effet, ce composant était en rupture de stock suite à une pénurie globale de ce composant et l'inconvénient est qu'elle pourrait se prolonger cette année encore [Cook, 2018].

### 3.8 Bilan de connaissances et compétences techniques, méthodologiques et organisationnelles

Toutes ces activités ont eu bien évidemment un aspect technique important et sont formatrices pour que les membres du département SEISM soient aptes à réaliser la conception et l'intégration du véhicule Invictus. Aussi, l'expérience obtenue lors de la phase de conception détaillée permet de mieux comprendre les enjeux du choix des composants.

En plus des compétences en conception acquises à l'EPSA, nous avons également développé des connaissances en programmation C++ et en la modélisation sur CATIA. Nous avons également travaillé sur la soudure des cartes électroniques de deux types (des cartes avec composants *Through Hole* et *Composants Monté en Surface* : CMS). Les composants *Through Hole* sont traditionnellement utilisés par l'EPSA et soudés par le biais d'un fe à souder. En revanche, les CMS sont une nouveauté cette année.

Nous avons, par ailleurs, acquis de nombreuses compétences managériales telles que l'aspect organisationnel. Le fait de vivre des crises tels que l'incendie de Boisard est aussi très formateur et nous met face à la gestion de périodes difficiles. Le travail intergénérationnel est primordial car il nous permet de voir des points d'amélioration.

## 4 Lancement du projet Invictus

### 4.1 Gestion de projet

Le projet Invictus, officiellement initié le 1 avril va suivre le jalonnement prévisionnel suivant :



FIGURE 26 – Jalonnement prévisionnel du véhicule Invictus.

Source : EPSA

Les significations des Tops sont les suivantes :

- "Top Projet" : autorisant l'engagement des ressources humaines du projet et ouvrant la phase P1 d' Ingénierie Projet-Perfo de spécification de la performance P10P visée (1er Avril 2019)
- "Top Maquette" : autorisant l'engagement des ressources logicielles de modélisation physique et de maquettage numérique, ouvrant ainsi la phase P2 d' Ingénierie Perfo-Produit conforme à la PO-07-003
- "Top Pré-dim" : autorisant l'engagement des ressources logicielles de validation numérique des Maquette d'Intégration Architecturale (MIA) et Préliminaire (MIP) et ouvrant la phase P3 de Validation Numérique Perfo-Produit
- "Top Appro" : autorisant l'engagement des bons de commandes des approvisionnements matière à cycle long et ouvrant la phase P4 d' Ingénierie Produit-Process de l'ICF, l'ICO et l'ICP
- "Top Saison" : autorisant la présentation de la maquette SID du véhicule détaillé aux partenaires et ouvrant la phase P5 de Validation Numérique Produit-Process de préparation de la production
- "Top Synthèse" : autorisant l'engagement des moyens techniques et humains de la plateforme ISYMECA et ouvrant la phase P6 d' Ingénierie Process-Planning de préparation de la production
- "Top Copeau" : autorisant le lancement de la production véhicule, l'engagement des matières premières, la fabrication des pièces unitaires chez les partenaires et ouvrant la phase P7 d' Ingénierie Pré-prod d'intégration des SFF

- "Top Organe" : autorisant l' Intégration Organe des  $n$  sous-systèmes SFF du véhicule sur les plateformes Partenaires et ouvrant la phase P8 d' Ingénierie Production d'intégration véhicule
- "Top Véhicule" : autorisant l' Intégration Véhicule sur la plateforme ISYPRO et ouvrant la phase P9 d' Ingénierie Piste de préparation des essais de validation BV/MV/HV
- "Top Moteur" : autorisant la Validation Système du véhicule sur piste d'essais et ouvrant la phase P10 d' Ingénierie Pilotes de préparation de l'entraînement des pilotes
- "Top Qualif" : autorisant l'entraînement des Pilotes et ouvrant la phase P11 d' Ingénierie Podium de répétition des épreuves statiques et dynamiques
- "Top Compet" : autorisant le déplacement à la Compétition et ouvrant la phase P12 d' Ingénierie Procédures de capitalisation de la mémoire technique et de synthèse des compétences professionnelles acquises

## 4.2 Cahier des Charges Fonctionnelles

La réalisation du Cahier des Charges Fonctionnelles (CdCF) se fait en plusieurs étapes. On part du système S0, la voiture, puis on précise de plus en plus les fonctions à mesure que l'on réduit la zone considérée jusqu'à atteindre un sous-système tel que le passage de vitesse.

### 4.2.1 Cahier des Charges Fonctionnelles d'Invictus

La réalisation du CdCF global est dictée par différentes paramètres : la politique progrès de l'écurie imposée par notre tuteur qui souhaite +20% d'amélioration chaque année, les performances qu'on souhaite atteindre à la compétition (au départ sous forme de points pour chaque épreuve puis on en déduit les performances requises pour le véhicule), le règlement de celle-ci, les possibilités de l'EPSA en terme de production,...

Cette année, nous nous sommes fixé une position de 20<sup>ème</sup> au FSG ce qui représente un total de 500 points. Par comparaison, Dynamix en version 2, l'un des meilleurs véhicules de l'écurie, avait remporté 480 points sur les 1000 distribués.

Epreuve	Meilleur résultat	Objectif visé par STUF'2020 Invictus
Business Event	63/75 par Atomix v1.0	50/75
Design Event	106/150 par Dynamix v1.0	100/150
Cost Event	94/100 par Vulcanix	90/100
Accélération	60/100 par Dynamix v2.0	50/100
Skid Pad	45/75 par Kinétix	35/75
Autocross	41/125 par Atomix v1.0	40/125
Endurance	160/275 par Dynamix v2.0	120/275
Efficiency	6/100 par Atomix v1.0	15/100
<b>Total</b>	<b>480/1000 par Dynamix v2.0</b>	<b>500/1000</b>

FIGURE 27 – Distribution des points aux différentes épreuves.

Source : EPSA

De ce cahier des charges global, on déduit les cahiers des charges des 4 systèmes principaux de la voiture, ce qui correspond aux 4 départements.

#### 4.2.2 Cahier des Charges Fonctionnelles du SEISM

Ce cahier des charges fixe les objectifs du département SEISM et va servir de base pour construire les CdCF de chaque sous-système du département. Le principe qui est appliqué à chaque niveau de la voiture est le suivant : si chaque CdCF de chaque sous-système est respecté alors le CdCF du département est respecté. En remontant d'un niveau, si chaque CdCF de chaque département est respecté, alors le CdCF du véhicule est validé. Les principaux sous-systèmes du département SEISM sont ceux décris précédemment : passage de vitesse, tableau de bord et carte avant, faisceau électrique, acquisition de données, BSPD (il est intégré au faisceau cette année). Ci-dessous les cahiers des charges du SEISM ainsi que de chaque sous-système :

Cahier des charges SEISM				
Fonctions principales	Fonctions contraintes	Critères	Niveau	Flexibilité
<b>FP1: Respecter le CDCF de S0</b>	FC1.1: Respecter le règlement	Règlement FS	n/a	0%
	FC1.2: Avoir une masse la plus légère possible	Budget massique	10kg	20%
	FC1.3: Avoir un prix le plus bas possible	Budget		20%
	FC1.4: Avoir un encombrement minimal	volume		
<b>FP2: Assurer la communication entre les différents organes de la voiture</b>	cf CDCF faisceau			
<b>FP3: Permettre de changer de vitesse</b>	cf CDCF passage de vitesse			
<b>FP4: Assurer l'interface H/M</b>	cf CDCF tableau de bord			
<b>FP5: Acquérir des données pour valider les modèles</b>	cf CDCF Télémétrie			

FIGURE 28 – Cahier des charges du département SEISM.

Source : EPSA

Ces cahiers des charges sont primordiaux afin d'effectuer nos choix d'architecture.

Cahier des charges Télémétrie				
Fonctions principales	Fonctions contraintes	Critères	Niveau	Flexibilité
<b>FP1: Respecter le CDCF du SEISM</b>	FC1.1: Respecter le règlement	Règlement FS	n/a	0%
	FC1.2: Avoir une masse la plus légère possible	Budget massique	1kg	20%
	FC1.3: Avoir un prix le plus bas possible	Budget	1 500 €	20%
	FC1.4: Avoir un encombrement minimal	volume	a définir	10%
<b>FP2: Enregistrer les données importantes</b>	FC2.1: Prendre des mesures	Capteurs bien choisis		
	FC2.2: Sauvegarder les données	espace de stockage	100Go	20%
	FC2.3: Transmettre les données rapidement	Temps de récupération	<5min	20%
<b>FP3: Traiter les données</b>	FC3.1: Traitement rapide	Temps d'obtention des données voulues	<5 min	20%
	FC3.2: Traitement facile	Interface logiciel facilement installable	<5 min	20%

FIGURE 29 – Cahier des charges du système d'acquisition de données.

Source : EPSA

Fonction Principale	Fonction Contrainte	Critères	Niveau	Flexibilité
FP1 Respecter le CDCF du SEISM	FC1.1 Respecter le règlement	Règlement FS	n/a	0%
	FC1.2 Avoir une masse la plus légère possible	Budget massique	1kg	20%
	FC1.3 Avoir un prix le plus bas possible	Budget		20%
	FC1.4 Avoir un encombrement minimal	volume		
FP2 Assurer l'interface H/M	FC2.1.1 Communiquer les tours moteur	Visibilité	a quantifier	20%
	FC2.1.2 Informer la température du moteur	Visibilité	a quantifier	20%
	FC2.1.3 Informer du voltage de la batterie	Visibilité	a quantifier	20%
	FC2.1.4 Informer de l'engagement du Launch Control	Visibilité	a quantifier	20%
	FC2.1.5 Informer des problèmes de pression d'huile	Rapidité de compréhension	n/a	n/a
	FC2.1.6 Informer des problèmes de température d'eau	Rapidité de compréhension	n/a	n/a
	FC2.2.1 Agir sur la voiture			
	FC2.2.1.1 Arrêter d'urgence la voiture	Règlement FS	n/a	0%
	FC2.2.1.2 Choisir entre le circuit Low Power (LP) ou High Power (HP)	Fonctionnalité	oui	0%
	FC2.2.1.3 Démarrer la voiture	Fonctionnalité	oui	0%
	FC2.2.1.4 Arrêter l'injection au démarrage	Fonctionnalité	oui	100%
	FC2.2.5 Engager le Launch Control	Fonctionnalité	oui	200%
	FC2.2.6 Engager le Traction Control	Fonctionnalité	oui	300%
	FC2.2.7 Changer la vitesse au Neutre	Fonctionnalité	oui	400%
	FC2.2.8 Changer entre les cartographies possibles (wet/dry)	Fonctionnalité	oui	500%
	FC2.2.9 Activer l'enregistrement DTA	Fonctionnalité	oui	600%
FP3 Ergonomie	FC3.1 Access facile aux fonctions	A régler avec les pilotes		
FP4 Protection de l'environnement extérieur	FC4.1 Être étanche	Taux d'humidité	0	0%
	FC4.2 Être protégé des chocs			
	FC4.3 Être protégé des ondes électromagnétiques	Epaisseur de la couche protectrice		5%
FP5 Interaction avec les éléments externes	FCS.1 Pouvoir se raccorder facilement au faisceau électrique			

FIGURE 30 – Cahier des charges du tableau de bord et carte avant inclus.

Source : EPSA

Cahier des charges Faisceau				
Fonctions principales	Fonctions contraintes	Critères	Niveau	Flexibilité
<b>FP1: Respecter le CDCF du SEISM</b>	FC1.1: Respecter le règlement	Règlement FS	n/a	0%
	FC1.2: Avoir une masse la plus légère possible	Budget massique	7kg	20%
	FC1.3: Avoir un prix le plus bas possible	Budget		20%
	FC1.4: Avoir un encombrement minimal	volume		
<b>FP2: Alimenter les différents éléments du véhicule</b>	FC2.1: Contenir une source d'énergie	Volume		
	FC2.2: Transmettre	Intensité	<250A	0%
<b>FP3: Assurer la communication entre les différents équipements</b>		taux de perte	<5%	5%
<b>FP4: Intégrer le BSPD</b>		Règlement FS	n/a	0%
<b>FP5: Se protéger de l'environnement extérieur</b>	FC5.1: être étanche	Niveau d'humidité	0	5%
	FC5.2: Résister aux chocs et aux projectiles			
	FC5.3: Protection contre la pollution électromagnétique	épaisseur de la couche protectrice		5%
	FC5.4: Résister aux vibrations	Aucun fil ne se décroche	n/a	0%
<b>FP6: être accessible</b>	FC 6.1: être facilement compréhensible	Couleurs adaptées, schémas clairs		
	FC 6.2: être facilement démontable	Temps de démontage	15 min	20%

FIGURE 31 – Cahier des charges du faisceau.

Source : EPSA

Cahier des charges du passage de vitesse				
Fonctions principales	Fonctions contraintes	Critères	Niveau	Flexibilité
<b>FP1: Respecter le CDCF du SEISM</b>	FC1.1: Respecter le règlement	Règlement FS	n/a	0%
	FC1.2: Avoir une masse la plus légère possible	Budget massique	1kg	20%
	FC1.3: Avoir un prix le plus bas possible	Budget	1000€	20%
	FC1.4: Avoir un encombrement minimal	volume	1 dm <sup>3</sup>	20%
<b>FP2: Permettre de changer de vitesse</b>	FC2.1: Changer de vitesse rapidement	Temps de réponse	<150ms	10%
	FC2.2: Permettre au pilote de choisir sa vitesse	Facilité de changement (à la main ou avec un outil)		
<b>FP3: Résoudre les problèmes</b>	FC3.1: Informer le pilote des problèmes	rapidité de compréhension	<1s	20%
	FC3.2: Accéder facilement au programme	Ne pas avoir à démonter les boîtes	n/a	0%
	FC3.3: Détecter la position d'une erreur dans le programme	Communication avec l'ordinateur	n/a	0%
<b>FP4: Protéger le système de l'environnement</b>	FC4.1: être étanche	Niveau d'humidité	0	0%
	FC4.2: Protéger les éléments sensibles des chocs et projectiles	Résistance mécanique		
	FC4.3: Protéger des perturbations électro-magnétiques	Epaisseur de la couche protectrice	>1mm	0%
<b>FP5: Se raccorder au faisceau</b>		compatibilité	n/a	0%

FIGURE 32 – Cahier des charges du passage de vitesse.

Source : EPSA

## 5 Conclusion

Faire partie de l'EPSA nous a permis d'apprendre la gestion de projet d'une manière transversale et intergénérationnel. Tout d'abord, l'exécution des décisions de conception de nos 2A, nous a enseigné la dynamique du travail et les compétences nécessaires à la définition des pièces. De plus, ce travail intergénérationnel lors de la phase de conception détaillée a mis en exergue les enjeux du choix des composants, ainsi que des outils nécessaires à la conception d'Invictus.

Cependant, notre projet a officiellement démarré il y a seulement trois mois. Nous travaillons actuellement sur la conception préliminaire, travail qui se poursuivra jusqu'en septembre. Nous commencerons alors la conception détaillée d'Invictus. Pour cela, nous comptons sur l'aide des nouveaux membres de l'EPSA qui nous rejoindront en septembre 2020.

Nous avons, par ailleurs, acquis de nombreuses compétences managériales telles que l'aspect organisationnel. Le fait de vivre des crises tels que l'incendie de Boisard est aussi très formateur et nous met face à la gestion de périodes difficiles. Le travail intergénérationnel est primordial car il nous permet de voir des points d'amélioration.

## 6 Bibliographie

«Arduino Uno Rev3». In : Arduino [En ligne]. Disponible sur : <<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>> (consulté le 5 juin 2019)

Autosport Labs. « RaceCapture/Pro MK3 Lap timer, data logger, telemetry system | Autosport Labs ». Disponible sur : <<https://www.autosportlabs.com/product/racecapturepro-mk3/>> (consulté le 5 juin 2019)

COOK, Jeremy S. «Capacitor Shortage Going into 2019». In : Arrow.com [En ligne]. 11 décembre 2018. Disponible sur : <<https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/capacitor-shortage-going-into-2019>> (consulté le 5 juin 2019)

DUNKERMOTOREN GmbH. BG45 PI : Instruction Manual. Datasheet. Disponible sur : <<https://www.dunkermotoren.com/fr/produits/bg-ec-motors/detail/885450200004/>> (consulté le 5 juin 2019)

Eth Zürich Formula Student Driverless — Resimlere göre ara — [RED]. Disponible sur : <<https://tr.redsearch.org/images/2355603>> (consulté le 29 mai 2019)

«E-Motion Rennteam Aalen ». In : E-Motion Rennteam Aalen [En ligne]. Disponible sur : <<https://www.emotion-rennteam.de/>> (consulté le 29 mai 2019)

HAHN, Christoph. “Courses Taught Me Theory, Competitions Made Me an Engineer” (P. Tischler) [En ligne]. Racing Lounge. 26 septembre 2018. Disponible sur : <[https://blogs.mathworks.com/racing-lounge/2018/09/26/suas\\_competition/](https://blogs.mathworks.com/racing-lounge/2018/09/26/suas_competition/)> (consulté le 1 juin 2019)

FORMULA STUDENT GERMANY. Formula Student Rules 2019. Version : 1.1.. 7 octobre 2018. Disponible sur : <[https://www.formulastudent.de/fileadmin/user\\_upload/all/2019/rules/FS-Rules\\_2019\\_V1.1.pdf](https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2019/rules/FS-Rules_2019_V1.1.pdf)> (consulté le 1er juin 2019)

SERRAFERO, Patrick. « Cycle d’Ingénierie Système intergénérationnel en “V Racine Carrée” — EpsaBox ». 2018. Disponible sur : <[https://epsabox.kad-office.com/w/Cycle\\_d%27Ing%C3%A9nierie\\_Syst%C3%A8me\\_interg%C3%A9rationnel\\_en\\_%22V\\_Racine\\_Carr%C3%A9e%22](https://epsabox.kad-office.com/w/Cycle_d%27Ing%C3%A9nierie_Syst%C3%A8me_interg%C3%A9rationnel_en_%22V_Racine_Carr%C3%A9e%22)> (consulté le 29 mai 2019)

WATTEROTT ELECTRONIC. CAN-Bus Shield for Arduino based on Microchip MCP2515

or MCP2517FD CAN Controller : watterott/CANdiy-Shield [En ligne]. 2019. Disponible sur : < <https://github.com/watterott/CANdiy-Shield> > (consulté le 5 juin 2019)

## 7 Annexe

### 7.1 Code de la carte avant

#### Main

##### **setup**

Initialisation de la carte avant

##### **loop**

Appel périodique des toutes les fonctions tant que la carte est allumée

#### CAN

##### **Recieve**

Réception des informations sur le Bus CAN

##### **Data Update**

Mise à jour des variables des données CAN

##### **Send CA**

Envoi d'un message CAN à la carte arrière

#### Gear Update

##### **Gear Init**

Affichage EPSA sur le tableau de bord lors du démarrage de la carte

##### **Gear Update**

Mise à jour de l'afficheur de rapport engagé

#### Led Strip

##### **Led Init**

Initialisation du bandeau de led

##### **Engine Failure**

Vérification de l'état des variables moteur

##### **Tachometer**

Traduction des RPM en nombre de led à allumer

**Led Update**

Affichage du régime moteur sur le bandeau de led

**State LC****State LC**

Vérification de l'état du launch control

**Temp Volt****Seven Seg Calc**

Calcul des segments à afficher

**TV Update**

Affichage des segments

## 7.2 Code de la carte arrière

### Main

#### **setup**

Initialisation de la carte avant

#### **loop**

Appel périodique des toutes les fonctions tant que la carte est allumée

#### **Engage Vitesse**

Passage du rapport

### Fonct Mot

#### **Motor Is Lost**

Indication d'une erreur du moto-réducteur

#### **No Homing**

Indication d'erreur de homing

#### **Motor Is Turning**

Indication de rotation du moteur

#### **Position Reached Or Homing Done**

Indication de la bonne position de moto-réducteur

### Fonct Palette Homing

#### **Passage Vitesse Is Possible**

Indication de la possibilité du passage de rapport demandé

### mcp can

#### **CAN**

Bibliothèque CAN