

Rapport RVP2

**PE 65 : Conception et réalisation du châssis équipé
aérodynamique d'un véhicule de compétition du Formula
Student**

Membres :

Camille SIMON
Côme ARCHINARD
Tanguy MAURIN
Pierre-Guillaume THOMAS
Calixthe MATTEI

Commanditaires

Patrick SERRAFERO
Simon CHARAUDEAU
Christophe JANOLIN

L'EPSA (Ecurie Piston Sport Automobile) est l'écurie de sport automobile de l'Ecole Centrale de Lyon. Chaque année, l'EPSA conçoit et réalise un véhicule de course monoplace et l'inscrit au Formula Student, une compétition internationale de sport automobile pour étudiants.

Sommaire

Présentation de l'EPSA	1
Le Formula Student	1
La gestion de projet à l'EPSA	3
Organisation de l'EPSA	4
Jalonnements	5
Nos Partenaires	6
Avancement du Projet Optimus	6
Lancement du Projet Invictus	7
Budget financier	8
Nos Partenaires	9
Département Châssis Equipé	10

Présentation de l'EPSA

Le Formula Student

Le Formula Student est une compétition internationale fondée par la FSAE aux États-Unis en 1981 puis importée en Europe en 1988. Le but est de permettre à des élèves ingénieurs du monde entier de se confronter à la conception d'un système complexe, puis de se mesurer aux autres écoles via des épreuves très exigeantes. Actuellement quatre équipes françaises participent à cet événement: l'ISAT, l'ENIM, l'ESTACA et Centrale Lyon.

Le championnat se déroule sur tous les continents et regroupe plus de 15 compétitions sur des circuits tels que Silverstone en Angleterre ou Hockenheim en Allemagne. Les compétitions regroupent selon les catégories et les pays entre 30 et 150 véhicules. Les véhicules qui participent au Formula Student doivent satisfaire un règlement de 160 pages qui décline les consignes de sécurité ainsi que les



nombreuses spécificités techniques que le véhicule doit remplir. Les véhicules peuvent participer à la compétition dans l'une de ces trois catégories : thermique, électrique et sans pilote. Ces véhicules sont des monoplaces à cockpit ouvert pesant entre 150, pour les meilleurs prototypes, et 250kg.

Les compétitions regroupent deux types d'épreuves : les épreuves statiques, qui permettent une évaluation du respect du règlement et de la qualité de la conception et de la fabrication, puis les épreuves dynamiques, qui permettent une évaluation précise de la fiabilité et des performances de ces voitures de compétition.

Les épreuves statiques sont les suivantes :

- **Le contrôle technique** : Il s'agit d'une inspection poussée du véhicule qui permet de vérifier si le véhicule est conforme à tous les points du règlement. Sont étudiés les capacités de freinage du véhicule, sa résistance aux conditions climatiques (notamment la pluie par un arrosage du véhicule pendant 2 minutes, moteur en marche), les éléments de sécurité, sa capacité à ne pas se retourner à des inclinaisons de 60° ni présenter de fuites, ou encore un test de sonorité. Cette épreuve doit être réussie pour avoir accès à la suite de la compétition.

- **L'épreuve du Design (150 points)** : Cette épreuve propose à l'équipe candidate de présenter et défendre son travail d'ingénierie face à un jury composé de spécialistes du secteur de l'automobile. Chaque partie du véhicule est examinée en détail, et l'équipe est évaluée sur la pertinence des choix de construction et d'architecture qu'elle a réalisés, mais aussi sur sa capacité à les justifier de manière pertinente et construite.

- **L'épreuve de coût et fabrication (100 points)** : L'équipe participante rend un livrable contenant l'ensemble des pièces et de leurs coûts de production correspondants, qui permet un chiffrage détaillé et extrêmement précis du coût total du véhicule. Elle évalue la capacité de l'équipe d'ingénieurs à chiffrer avec rigueur leur réalisation, ainsi que leur maîtrise des différents processus et méthodes de fabrication impliqués dans la production du véhicule.

- **L'épreuve de présentation (75 points)** : Dernière épreuve statique, la présentation consiste en un exposé oral de 10 minutes, durant lesquelles l'équipe doit proposer et défendre un projet de commercialisation fictif de la voiture conçue sur le marché des véhicules de compétition amateurs, devant un jury composé d'investisseurs. Cette épreuve évalue la capacité des élèves ingénieurs à vendre le produit qu'ils ont conçu, et à convaincre des potentiels clients d'acheter ou d'investir dans leur prototype.

Ensuite viennent les **épreuves dynamiques** :

- **L'accélération (75 points)** : L'épreuve d'accélération consiste en la réalisation du meilleur temps possible sur 75 mètres en ligne droite, départ arrêté.

- **Le skid-pad (50 points)** : Épreuve de nature antagoniste avec la précédente, l'épreuve de skid-pad évalue la performance de la voiture sur le critère de la tenue de route en régime stabilisé : un circuit en 8 doit être réalisé dans le meilleur temps.

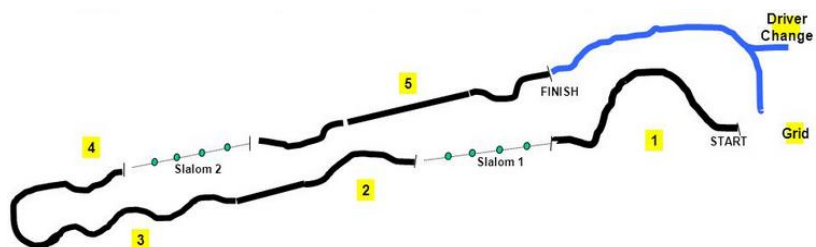
- **L'autocross (150 points)** : Cette épreuve évalue la performance générale du véhicule. Accélération, freinage, maniabilité, tenue de route, comportement général en virage. Cette épreuve consiste en deux tours d'un circuit court, comportant de nombreux virages rapides et serrés.

- **L'endurance (300 points)** : Cette épreuve permet de tester l'endurance du véhicule, et sa fiabilité, c'est-à-dire la stabilité de ses performances dans le temps. Il s'agit d'une course chronométrée de 22km. Cette épreuve constitue traditionnellement la partie la plus difficile du FSAE, tant la terminer représente un challenge important que seule une petite moitié des équipes arrive à relever.

- **L'efficacité (100 points)**

: La dernière épreuve est couplée à celle d'endurance. Elle consiste en une note attribuée au véhicule en fonction de sa consommation de carburant à l'épreuve d'endurance.

Elle favorise les véhicules qui ont le meilleur ratio performance/consommation.

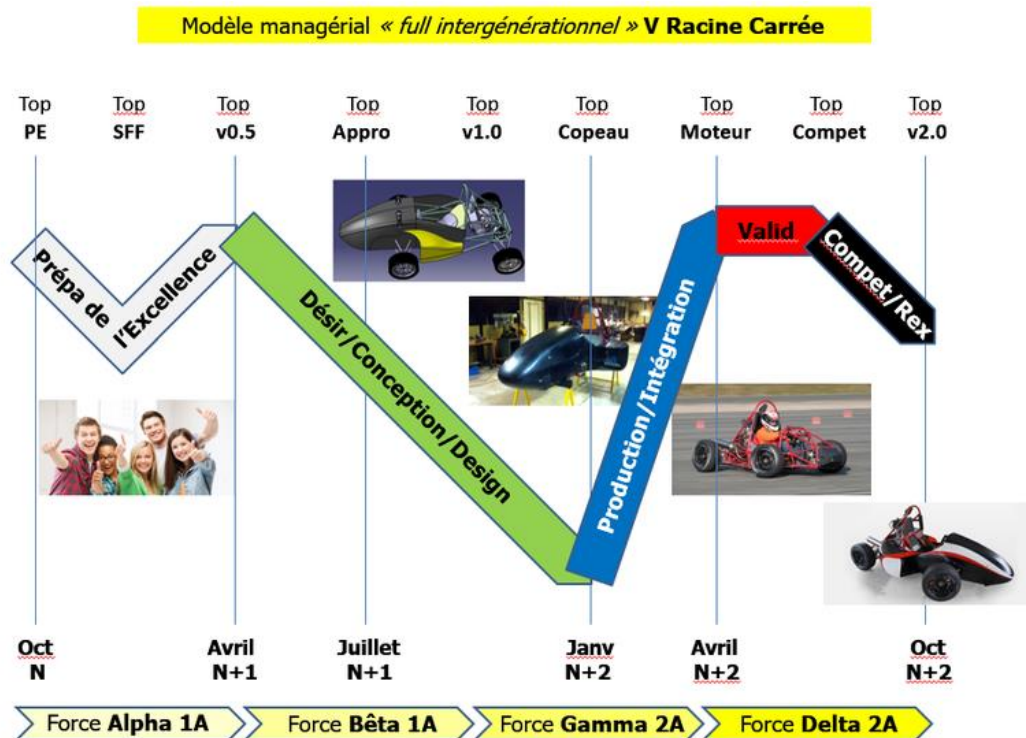


La gestion de projet à l'EPSA

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 ci-dessus. En avril 2019, les 1A lancent la conception de leur véhicule. En septembre, l'équipe de 2A est complétée par des 1A qui oeuvrent, en intergénérationnel, à la conception détaillée jusqu'à fin décembre de la même année. Puis c'est le moment de la production et de l'intégration des systèmes jusqu'en avril 2020 (remontée du cycle)

Le cycle suivi par les élèves est différent, puisqu'ils intègrent le projet en 1A en septembre : ainsi, jusqu'à avril, ils suivent le projet des 2A. Cela correspond à un premier cycle en V, commençant dans la phase de conception détaillée. En avril, ils lancent le nouveau véhicule, effectuant un cycle en V complet, et se terminant par des phases de

validation et d'analyse des résultats ("Valid" et "Compet/Rex" sur le schéma ci-dessous).



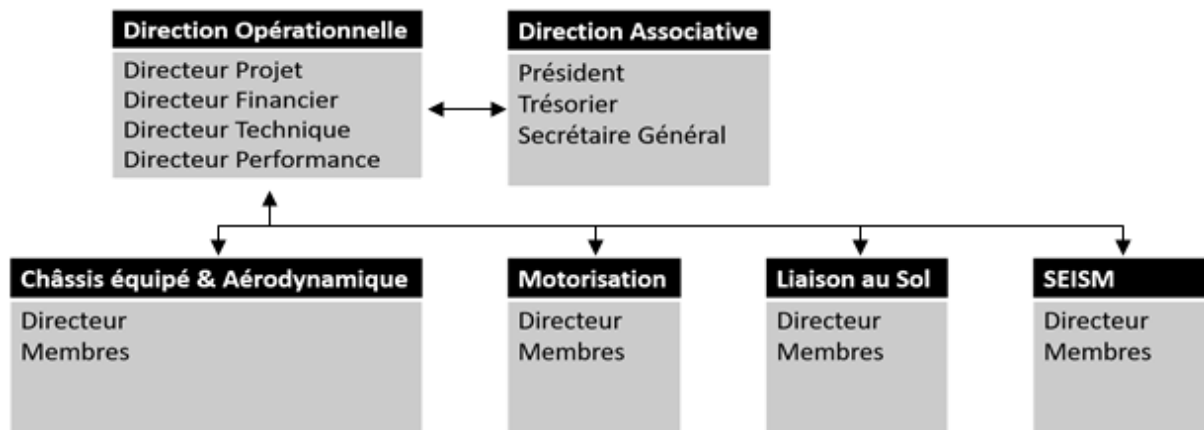
Ainsi, entre septembre et avril, les 1A travaillent de concert avec les 2A, leur apportant une force de travail supplémentaire. De plus, ce fonctionnement intergénérationnel permet la transmission des connaissances en ingénierie automobile et des méthodes de travail de l'ingénieur. Tout ceci contribue fortement à la progression de l'écurie au fil des années.

Dans notre cas, nous avons rejoint les 2A courant Septembre pour travailler avec eux sur le projet Optimus. Nous avons pu être formé chacun sur différents sous-systèmes, et nous avons tous une vue globale du véhicule. Ainsi, nous avons suivi la conception détaillée et la phase de production avec les 2A.

Nous en sommes maintenant au démarrage du projet qui va porter le véhicule pour la saison 2020. Celui-ci s'appellera **Invictus**.

Organisation de l'EPSA

L'EPSA s'organise autour de la structure présentée ci-dessous :



Jalonnements

Le projet est jalonné en amont. Ainsi, nous savons quels sont les impératifs au cours du temps. Respecter ces dates est impératif pour que le véhicule sorte de production à temps et participe à la compétition.

Ci-dessous sont présentés les jalonnements prévisionnels pour la saison 2020.



Voici à quoi correspondent les différents jalons du projet :

- Top projet : lancement officiel du projet Invictus autorisant les ressources humaines à travailler sur le nouveau véhicule
- Top maquette : présentation des premiers concepts autorisant la modélisation physique et l'engagement des ressources logicielles pour le maquettage numérique
- Top Prédim : validation des premières maquettes autorisant l'engagement des ressources logicielles de validation numérique
- Top Appro : présentation des validations de maquettes et lancement des premiers approvisionnements autorisant l'engagement des bons de commandes des approvisionnements matière à cycle long
- Top Saison : lancement de la saison 2019/2020 avec les 1A et les académiciens
- Top Synthèse : présentation de l'avancement du projet autorisant l'engagement des moyens techniques et humains de la plateforme ISYMECA

- Top Copeau : présentation de l'intégralité des choix de conceptions et leur justification autorisant le lancement de la production véhicule, l'engagement des matières premières et la fabrication des pièces unitaires chez les partenaires.
- Top Organe : vérification de l'état d'avancement des kits de montage sur une plateforme partenaire.
- Top Véhicule : autorise l'Intégration véhicule sur la plateforme ISYPRO.
- Top Moteur : démarrage du moteur autorisant la Validation Système du véhicule sur piste d'essais.
- Top Qualif : validation du véhicule par un pilote professionnel
- Top Compet : présentation de l'équipe des pilotes

Nos Partenaires

Pour réaliser un véhicule, l'écurie fait appel à de nombreux partenaires:

- Le lycée automobile Emile Béjuit de Bron: héberge une plateforme EPSA sur laquelle se fait l'intégration et où sont stockés plusieurs anciens véhicules
- L'école La Mache: école et lycée pour la formation technique et industrielle des pièces pour le véhicule
- Les Ateliers d'Apprentissage de la Giraudière: Lycée professionnel à Brussieu, dans le Rhône, qui réalise le châssis de la voiture
- L'École de Production Boisard: école de formation professionnelle qui réalise des pièces pour le véhicule

Avancement du Projet Optimus



Le véhicule Optimus a bien avancé dans son cheminement. Depuis la dernière revue, les mises en plan de chaque pièces ont été faites et envoyées chez nos partenaires pour production. Malgré quelques petites crises à gérer, nous avons réussi à faire parvenir la majorité des pièces sur la plateforme ISYPRO pour intégration.

Au moment du RVP2, le véhicule Optimus est en fin d'intégration. Le véhicule doit être fonctionnel le 10 avril, jour du Roll Out où le véhicule sera présenté aux élèves, à la direction, à nos sponsors et à la presse.

L'équipe Optimus commencera ensuite des essais sur pistes pour vérifier le bon fonctionnement du véhicule, vérifier certains sous-systèmes et faire divers réglages.

Cela nous permettra aussi, en faisant piloter tout le monde, de dégager les élèves qui piloteront le véhicule lors de la compétition, en Juillet 2019, car celui-ci doit forcément être un membre de l'écurie (impératif du règlement).

Lancement du Projet Invictus

Parallèlement à l'intégration du véhicule Optimus, et depuis le début du mois de Mars, certains 1As de l'EPSA ont amorcé le Projet Invictus. Actuellement, le projet en est seulement au stade de la préparation, et sera officiellement lancé le 3 avril lors du Top Projet. Les 1As ont effectué une analyse critique du projet Optimus en repérant les points à améliorer ou à conserver et ont ainsi défini les lignes directrice d'Invictus.

Cette réflexion est faite avec une vision globale sur la compétition du Formula Student et sur l'écurie EPSA. Elle est commune aux 22 élèves 1As et ne fait pas entrer en ligne de compte les spécialisations techniques de chacun et leur appartenance aux quatre départements.

De cette démarche résulte l'esprit général du projet Invictus : un véhicule fiable, ergonomique et ajustable livré par une équipe motivée et soudée.

Afin de lancer correctement le projet, nous avons déjà commencé à réfléchir aux objectifs que l'on se donne pour réaliser notre véhicule. Étant donné que nous participons à une compétition internationale, notre objectif se porte évidemment sur le classement.

Nous avons initialement fixé le nombre de points total visé, correspondant à un classement meilleur que ce que nous faisons jusqu'à maintenant et nous paraissant atteignable en fonction des conseils et retour des membres des années précédentes ayant de l'expérience à la compétition.

Puis nous avons réparti ces points dans les différentes épreuves de la compétition : nous avons dû comparer les performances de nos précédents véhicules, ainsi que les scores des autres écuries ayant des prototypes ne s'éloignant pas trop de ce que nous pouvons réaliser, pour en déduire un nombre de points qui nous semble atteignable pour chaque épreuve. Ainsi, nous visons un classement de 20e au Formula Student Germany, le Formula Student le plus réputé (du moins en Europe).

Ce détail de points est présenté ci-dessous.

Epreuve		Objectifs points	Points max	Performance
Static	Présentation	50	75	0,666666667
	Design	100	150	0,666666667
	Cost	90	100	0,9
Dynamic	Acceleration	50	100	0,5
	Skid-Pad	35	75	0,466666667
	Autocross	40	125	0,32
	Endurance	120	275	0,4363636364
	Efficiency	15	100	0,15
Total		500	1000	0,5

Fig.3 : Objectifs de points au FS 2020 par catégorie pour l'EPSA

Budget financier

Le budget est de l'écurie provient de la taxe d'apprentissage récoltée auprès de nos entreprises partenaires. Ce budget est redistribué en partie chez nos partenaires pour payer la matière et l'usinage de nos pièces sur place. Nous pouvons utiliser la moitié de ces sommes, l'autre moitié servant aux écoles partenaire pour l'entretien des machines, etc. La partie appelée ISYRUN Centrale est utilisée pour les pièces que nous achetons par nous-même.

Voici la répartition finale :

Nom des Budgets principaux	Budget 2018	Budget utilisable	Usages et limitations
ISYRUN - Ecole Centrale de Lyon	45 000 €	45 000 €	Devis généraux
ISYRUN - Lycée de Bron	24 000 €	12 000 €	Devis pour acheter du matériel pour le garage de Bron
ISYRUN - La Giraudière	20 000 €	10 000 €	Production des pièces
ISYRUN - La Mâche	25 000 €	12 500 €	Production des pièces
ISYRUN - Boisard	20 000 €	10 000 €	Production des pièces
ISYRUN - Hector Guimard	0 €	0 €	Spécialité moulage
Total Budgets principaux	134 000 €	89 500 €	
Budget PE	1 200 €	1200 €	Achats de moins 50€ sur internet
Total	135 200 €	90 700 €	

Notons que le budget pour Hector Guimard pour le moment nul, mais qu'un partenariat est en train d'être mis en place pour rajouter un moyen de production à notre panel : le moulage.

Ce budget total est réparti sur chaque département, plus une partie "divers" où certaines dépenses ne rentrent pas dans les autres cases (pneus,...). Voici la répartition prévisionnelle :

Département :	Budget alloué
Châssis équipé :	21 000€
Motorisation :	21 100€
Liaison au sol :	28 200€
Ergonomie et électronique :	6 000€
Divers :	14 000€
TOTAL :	90 300 €

Nos Partenaires

Pour réaliser un véhicule, l'écurie fait appel à de nombreux partenaires apportant un vrai plus au projet et offrant un grand apport pédagogique à tous les membres de l'Ecurie grâce aux échanges humains avec des élèves soudeurs, des entreprises de production, des apprentis, etc. Nos partenaires majeurs sont :

- Le lycée automobile Emile Béjuit de Bron: héberge une plateforme EPSA sur laquelle se fait l'intégration et où sont stockés plusieurs anciens véhicules
- L'école La Mache: école et lycée pour la formation technique et industrielle des pièces pour le véhicule
- Les Ateliers d'Apprentissage de la Giraudière: Lycée professionnel à Brussieu, dans le Rhône, qui réalise le châssis de la voiture
- L'École de Production Boisard: école de formation professionnelle qui réalise des pièces pour le véhicule

Le département châssis équipé

Le département châssis équipé a pour but de concevoir et de réaliser une structure métallique sur laquelle seront fixés tous les sous-systèmes du véhicule. Cette structure métallique est appelée **châssis équipé**. Tous les sous-systèmes sont fixés au châssis équipé à l'aide de chapes.



Fig 1 : Structure tubulaire d'Optimus à côté d'un véhicule précédant

Il est également en charge de l'ergonomie de la voiture, à savoir le confort du pilote et la qualité de l'interface homme-machine, pour maximiser l'efficacité du pilotage.

Enfin, le département est responsable de quelques systèmes périphériques mais non négligeables, comme la carrosserie, enveloppe rigide du véhicule destinée à protéger le pilote et les éléments mécaniques des aléas et intempéries, ou l'aérodynamique, pour améliorer le comportement routier du véhicule en influant sur sa portance et en diminuant les turbulences à haute vitesse.

Les systèmes à concevoir

1 - Le Châssis Equipé, le squelette du véhicule

Le principal système que le département est en charge de concevoir est le **Châssis Equipé**. **Châssis** comme étant la structure métallique qui constitue le support de tous les autres systèmes composant le véhicule, et **équipé** car il comportera des chapes, appendices métalliques permettant d'équiper au châssis les autres systèmes.

Le châssis est développé en deux temps : la conception filaire du châssis d'abord, qui définit et optimise les tracés des différents tubes en positionnant les extrémités des tubes, et la conception tubulaire ensuite, représentation virtuelle de ce que sera le châssis, en volume. Les dimensions des tubes en acier que nous utilisons sont majoritairement fixées par le règlement, c'est pourquoi nous ne trouvons que 4 modèles de tubes différents sur le châssis équipé du véhicule Optimus.

Jalon : après avoir obtenu les exigences du département Liaison au sol quant à la position des triangles de suspension vers fin avril, nous pouvons commencer à préparer le filaire aux mois de mai-juin pour finaliser le tubulaire en novembre.

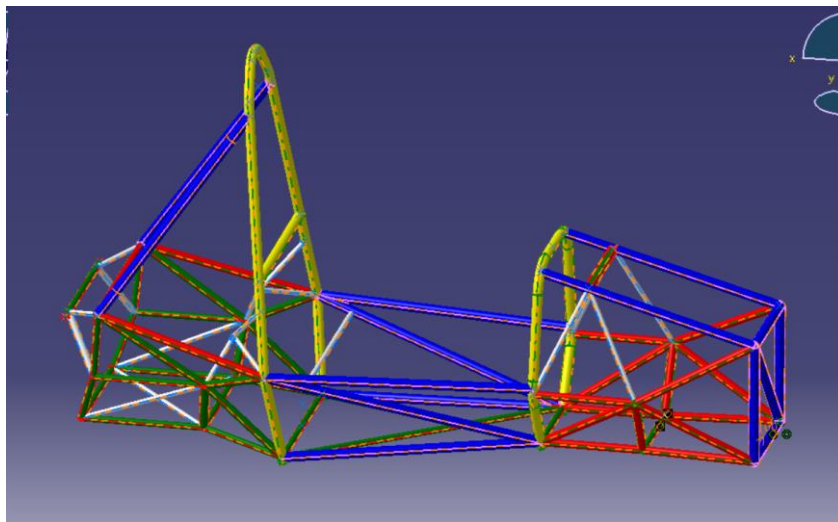


Fig 2 : Structure tubulaire d'Optimus en 3D

2 - L'Ergonomie, le confort et la sécurité du pilote

Le rôle de notre département est également de réfléchir au confort et à la sécurité du pilote. Véritable critère de performance, il faut qu'un département s'attache à cet aspect. Nous allons donc réfléchir à la forme et la position du siège, la hauteur de l'appui-tête, la position du volant, la Crash-box pour atténuer les chocs, etc.

3 - L'Aérodynamique

Un dernier rôle de notre département est de participer à l'amélioration de l'aérodynamique du véhicule. Cet aspect a un effet important sur la performance en course.

- La première partie à refaire est le diffuseur, un plaque métallique qui canalise l'air sous le véhicule. Assemblé sous la voiture, s'il est bien travaillé, il permet d'obtenir un effet de succion vers le sol, ajoutant de la portance, permettant d'améliorer la tenue de route
- Il faudra étudier la mise en place d'ouïes. Situé sur les parties latérales de la voiture, elles permettent de rediriger l'air sur les bords, donc d'éviter les contacts de l'air sur les pneus qui vont freiner le véhicule. Elles permettent également d'améliorer l'esthétique de la voiture tout en permettant de mettre des affiches sponsors
- Il faudra que l'on travaille la carrosserie : esthétisme, diffusion de l'air, sponsors

Réalisations depuis le dernier RVP

Depuis le dernier RVP, le département châssis équipé a réalisé plusieurs éléments constitutifs du véhicule Optimus. De plus, nous avons dû faire face à plusieurs crises au niveau du châssis.

- La Pushbar, outil permettant de déplacer le véhicule en toute sécurité, a été optimisé par notre année. Les années précédentes, elle réalisait les fonctions de Quick Jacking Bar (outil permettant de soulever le véhicule lorsque celui ci est à l'arrêt) et de Pushbar (outil permettant de déplacer le véhicule lorsque le moteur du véhicule n'est pas allumé). Ces deux fonctions sont très différentes et peu conciliables. C'est pourquoi nous avons, à partir des retours des participants aux compétitions Formula Student ainsi que de l'expérience personnelle de certains membres de l'équipe, conçu différemment la pushbar et nous avons pris la décision de concevoir deux sous systèmes indépendants.
- Nous avons aidé à souder les chapes. Nous avons construit des gabarits (outils externes aux véhicules) permettant de placer facilement les chapes pour la soudure
- Nous avons également participé activement, en parallèle avec les autres départements, à l'intégration. En effet, après les phases de conception et de production vient la phase d'intégration. Celle-ci consiste à construire à proprement parler le véhicule, à partir de pièces qui s'emboîtent (normalement) bien et qui ont été (normalement) bien conçues. Cette phase est celle qui aboutit à une voiture terminée et prête à tester. On

manipule donc de vraies pièces qui n'étaient jusqu'alors que des modèles Catia, et on les voit s'agencer et la voiture se monter.

- Enfin, ces dernières semaines ont été l'occasion pour nous d'approfondir notre connaissance du règlement du Formula Student, étape primordiale au développement du véhicule, et particulièrement du châssis équipé. Les caractéristiques du châssis équipé - nombre et placement des tubes, largeurs longueurs, angles, triangulations, .. - sont très encadrées par le règlement et constituent une base pour son développement, sur laquelle nous devons nous appuyer.

Modèles et études à réaliser pour la conception préliminaire

Dans un premier temps, nous étudierons plusieurs cas de charge du véhicule Optimus pour déterminer où est le manque à gagner (ou ici, le surplus) en terme de masse et de rigidité, et ainsi en déduire quels tubes peuvent être allégés voire sont superflus, et quels agencements de tubes sont envisageable pour gagner à la fois en rigidité et en masse.

Notre tâche sera ensuite de proposer un modèle initial de châssis filaire sur CATIA. Nous partirons pour cela du châssis d'Optimus V1 et tenterons de l'améliorer en minimisant les tubes et leurs triangulations selon les résultats des études de cas de charge et dans les limites imposées par le règlement.

Retour d'expérience, objectifs et améliorations par rapport au véhicule précédent

La conception du châssis est particulière : elle est à la fois dépendante et conditionnelle des autres sous-systèmes du véhicules développés par tous les départements. Il est donc nécessaire d'entretenir des retours réguliers avec les autres membres pour s'assurer du bon déroulement des opérations dans les temps.

Cette année, nous avons pour ambition d'alléger le châssis par rapport à l'année précédente (cahier des charges détaillé à définir) tout en garantissant sa rigidité. Nous prévoyons davantage de tests numériques et physiques, notamment des tests en traction sur les nouveaux tubes que nous trouverons et qui permettront d'optimiser leur masse dans les limites imposées par le règlement. Nous réfléchissons également à la faisabilité de chapes réglables avec plusieurs points d'accroche. Enfin, il est nécessaire d'améliorer l'ergonomie du véhicule - primordiale mais trop souvent négligée - en analysant les défauts et les inconforts des véhicules précédents et en interrogeant les pilotes sur les imperfections de la position de conduite.

Pour réaliser ces objectifs, nous avons réorganisé les rôles dans le département en assignant un responsable spécifique à l'ergonomie et un autre au règlement, dont la connaissance pointue est nécessaire à la conception du châssis.

