

## **Rapport RVP2 v1.0**

### **PE64 : Conception et réalisation de la Liaison au Sol mécatronique d'un véhicule de compétition du Formula Student**

#### **Membres :**

Pierre-Emmanuel Ariaux

Victor Hugo de Oliveira

Arthur Delort

Paul Charkaluk

Michele Schio

Martin Kawczynski

# TABLE DES MATIÈRES

## [Introduction](#)

[Le Formula Student](#)

[La gestion de projet à l'EPSA](#)

## [Organisation de l'EPSA](#)

[L'organigramme](#)

[Jalonnements](#)

[Nos Partenaires](#)

## [Avancement du Projet Optimus](#)

## [Lancement du Projet Invictus](#)

[Budget financier](#)

## [Débuts du projet Invictus pour la L.A.S.](#)

[Optimisations pour les épreuves d'accélération et de freinage](#)

[Suite du TOP Projet: Prévisions budgétaires et temporelles](#)

[Prévision temporelle](#)

[Prévision budgétaire](#)

[Passage d'une roue 13" à 10" et d'une suspension de 2 à 1 amortisseur](#)

[Objectifs de l'étude :](#)

[Etude du gain de masse](#)

# Introduction

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.

## 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 évènement: 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.

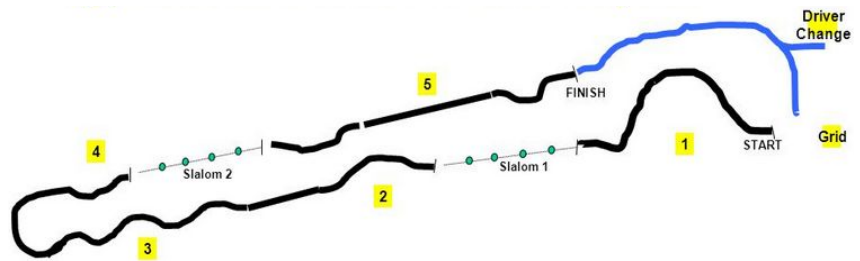
- **L'épreuve de coût et fabrication (100 points)** : L'équipe participante rend un livrable contenant l'ensemble des pièces et de leurs coûts de production correspondants, qui permet un chiffrage détaillé et extrêmement précis du coût total du véhicule. Elle évalue la capacité de l'équipe d'ingénieurs 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.

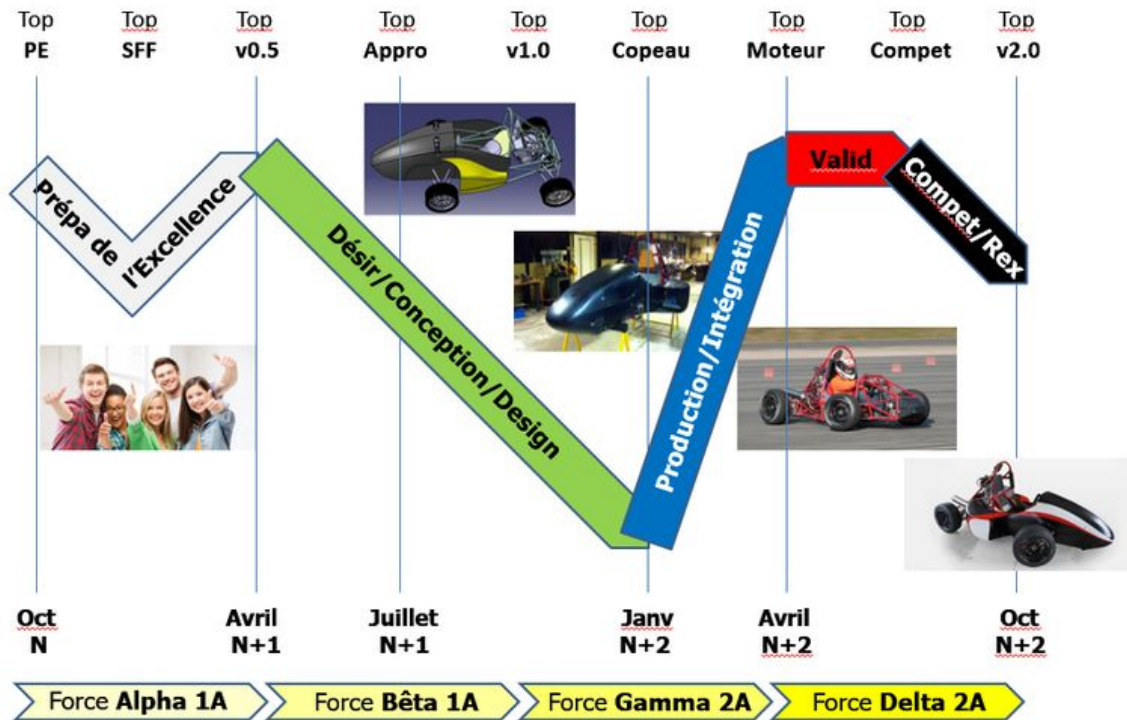


## La gestion de projet à l'EPSA

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).

### Modèle managérial « full intergénérationnel » V Racine Carrée



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.

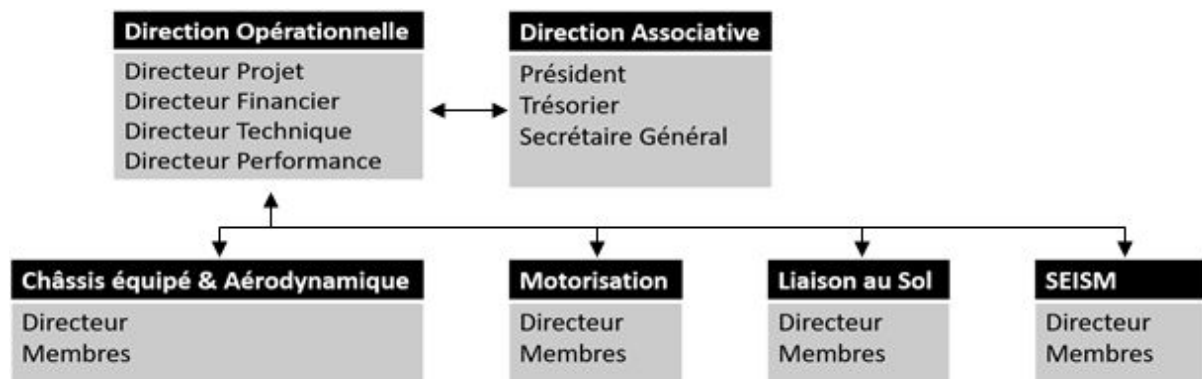
Dans notre cas, nous avons rejoint les 2A courant Septembre pour travailler avec eux sur le projet Optimus. Nous avons pu être formé chacun sur différents sous-systèmes, et nous avons tous une vue globale du véhicule. Ainsi, nous avons suivi la conception détaillée et la phase de production avec les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

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-contre.

| Epreuve |              | Objectifs points | Points max | Performance  |
|---------|--------------|------------------|------------|--------------|
| Static  | Présentation | 50               | 75         | 0,6666666667 |
|         | Design       | 100              | 150        | 0,6666666667 |
|         | Cost         | 90               | 100        | 0,9          |
| Dynamic | Acceleration | 50               | 100        | 0,5          |
|         | Skid-Pad     | 35               | 75         | 0,4666666667 |
|         | Autocross    | 40               | 125        | 0,32         |
|         | Endurance    | 120              | 275        | 0,4363636364 |
|         | Efficiency   | 15               | 100        | 0,15         |
| Total   |              | 500              | 1000       | 0,5          |



## 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 :

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

## Débuts du projet Invictus pour la L.A.S.

Le département Liaison Au Sol (L.A.S.) s'occupe de l'étude de la dynamique véhicule, la conception et la réalisation de nombreux systèmes mécaniques, notamment les roues (moyeux, portes-moyeux, etc.), les triangles (liaisons des roues au châssis), la suspension, la direction, le freinage. Ce département s'occupe donc, de manière très simple, de tous les systèmes situés entre la sortie du moteur et la route.

Les objectifs d'Invictus, décidés par tous les 1As, ont permis de déterminer les scores qu'il fallait atteindre à la compétition pour remplir les objectifs : 4,1 secondes à l'épreuve d'accélération et 5,3 secondes à l'épreuve de skid-pad. Ces épreuves sont les deux épreuves qui seront étudiées théoriquement par la L.A.S. (calculs, modèles numériques), les autres épreuves étant des combinaisons de ces deux épreuves "fondamentales".

Les membres de l'équipe ont eut pour le moment un seul objectif: modéliser le comportement du véhicule pendant les épreuves de la compétition pour définir les grandeurs utiles au cahier des charges: masse du véhicule, position du centre de gravité, empattement, voie. Cette démarche est nécessaire pour délivrer le cahier des charges du véhicule entier au TOP Projet, pas celui de la liaison au sol.

Pour des raisons de clarté et de longueur, on ne présente ici que la modélisation des épreuves d'accélération et de freinage.

## Optimisations pour les épreuves d'accélération et de freinage

L'objectif de l'épreuve d'accélération est de faire le meilleur chrono possible, en départ arrêté, sur 75m. Quant à l'épreuve de freinage, celle-ci n'a pas vocation de donner un score au véhicule, mais plutôt de vérifier que son système de freinage est suffisamment performant. Pour cela, la voiture doit être capable de bloquer les 4 roues, ce qui témoigne d'une bonne répartition avant/arrière de la charge du véhicule. Ainsi, le résultat de cette épreuve est binaire : la voiture est apte à freiner suffisamment, ou non. Le département Liaison au Sol de l'EPSA est alors confronté à des choix sur différents paramètres pour influencer sur le résultat dans ces deux épreuves. Cette année, le temps de

4s à l'accélération a été défini comme objectif à atteindre par Invictus. Cette performance nous attribuerait une note d'environ 50/100 au FSG. A titre de comparaison, Dynamix a remporté 60 points sur cette même épreuve.

A l'aide d'un modèle Matlab, on a pu visualiser et comparer l'influence de différents paramètres sur les performances de la voiture. Les résultats sont utiles pour mettre en évidence les principaux paramètres à considérer et comment ils influent sur le véhicule, néanmoins l'étude reste théorique et omet quelques détails. En effet, on ne peut par exemple pas tenter de modifier la masse totale du véhicule sans bouger le centre de gravité.

De manière évidente, la masse influe sur le résultat de l'épreuve d'accélération. En effet, l'accélération du véhicule est inversement proportionnelle à sa masse, pour une force motrice donnée. Les masses utilisées lors des simulations variaient d'environ 190kg à 210kg. En plus de la masse du véhicule, il faut compter la masse du pilote, qui représente environ un quart de la masse totale.

Le paramètre suivant est l'empattement. Le compromis à faire sur sa valeur dépend du comportement souhaité du véhicule. Alors qu'un empattement court garantit une agilité accrue, un empattement plus long améliore la stabilité, favorisant les portions de circuits en ligne droite. En résumé, un empattement court améliore le résultat au Skidpad, tandis qu'un long est plus favorable à l'épreuve d'accélération.

Le point le plus important du véhicule est son centre de gravité. Une position optimale de celui-ci assure la performance de la dynamique du véhicule. Tout d'abord, il doit être placé au milieu de la voie. Un positionnement désaxé nuit beaucoup à la stabilité du véhicule, que ce soit en freinage ou en accélération. En ce qui concerne le positionnement avant/arrière, il doit être le plus à l'arrière possible pour une accélération optimale car seules les roues arrières sont motrices, ainsi plus elles sont chargées, plus leur adhérence augmente.

Cependant, il faut se rappeler qu'Invictus participera également à l'épreuve de Skidpad, épreuve nécessitant de la maniabilité et donc de la charge sur l'essieu avant. Enfin, l'épreuve de freinage nécessite un réglage plus fin. En effet, lors d'un freinage il y a un transfert de charges sur l'essieu avant, le centre de gravité doit donc être déplacé vers l'arrière pour compenser cet effet. Si le placement est optimal, lors du freinage maximal (blocage des roues), chacun des 4 pneus reçoit la même charge, et le glissement apparaît au même instant sur les 4 pneus.

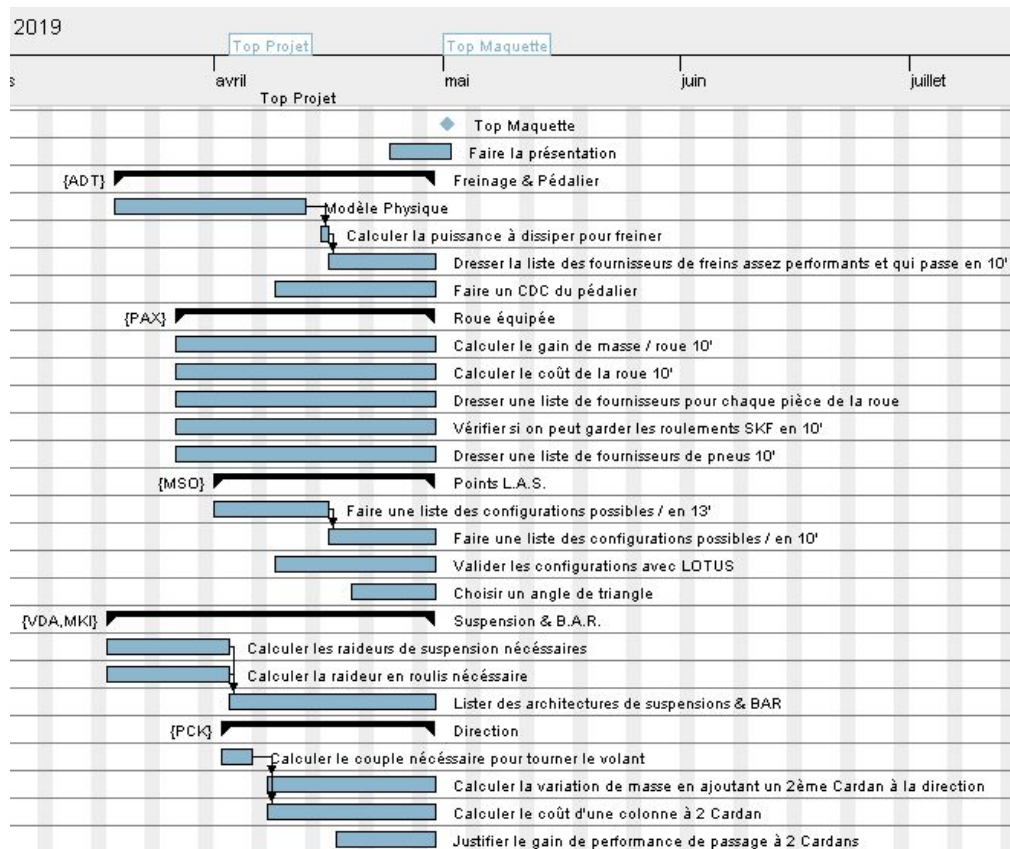
De la même manière que l'empattement, le choix de la hauteur du centre de gravité est un compromis entre le Skidpad et l'épreuve d'accélération. En effet, un centre de gravité haut favorise le transfert de charge, et donc l'adhérence de l'essieu arrière, ce qui améliore l'accélération, mais un centre de gravité haut déstabilise également le véhicule en virage et nuit donc à l'épreuve de Skidpad.

## Suite du TOP Projet: Prévisions budgétaires et temporelles

### Prévision temporelle

A la suite du TOP Projet vient le TOP Maquette. Le département doit y présenter tous les systèmes dont il est responsable, leur modélisations numériques et les résultats qui en découlent. C'est aussi l'occasion de faire des études de faisabilité pour introduire une nouvelle technologie ou une nouvelle architecture de sous-système.

Ci-dessus, un diagramme de Gantt présente toutes les actions à faire entre le TOP Projet et le TOP Maquette.



## Prévision budgétaire

Un tableau ci-dessous rassemble les estimations de différents pièces de la L.A.S. Ce tableau est exhaustif, à ce stade du projet, l'équipe n'a pas toutes les connaissances pour évaluer complètement les prix des différents sous-systèmes.

| Détail                                                          | Quantité | Prix (€) |
|-----------------------------------------------------------------|----------|----------|
| Pneumatiques slick                                              | 8        | 2 000    |
| Pneus wet                                                       | 4        | 1 400    |
| Crémaillère + capteur position + crash box + appui tete +Volant | 1        | 2 400    |
| Amortisseurs                                                    | 4        | 3 700    |
| Roulements haute précision                                      | 8        | 2 500    |

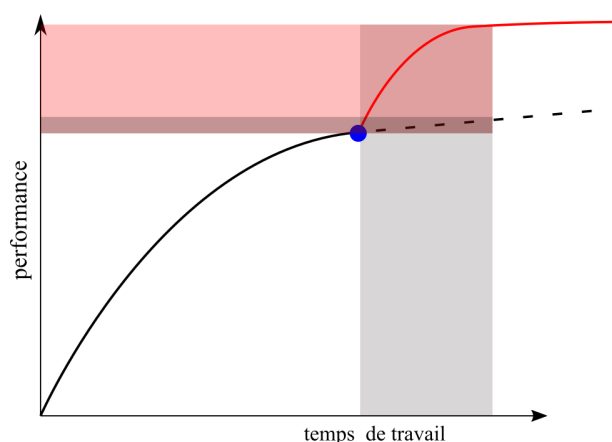
|                                             |    |       |
|---------------------------------------------|----|-------|
| Essais                                      | 25 | 300   |
| Tubes carbonés pour triangles et biellettes | 20 | 900   |
| Pédalier                                    | 2  | 2 000 |
| Freins                                      | 4  | 800   |
| Jantes                                      | 8  | 2 800 |
| Total                                       |    | 9 100 |

## Passage d'une roue 13" à 10" et d'une suspension de 2 à 1 amortisseur

Depuis quatre ans, l'EPSA utilise des roues de 13" de diamètre pour assurer le contact avec la route, cette option est la plus naturelle car il est assez simple vis-à-vis de l'encombrement de réaliser une liaison au sol s'insérant dans des jantes de 13". Au cours des différentes années, les véhicules de l'EPSA ont gagné en performance en gardant pour base des roues de 13" de diamètre. Néanmoins, celles-ci présentent un inconvénient majeur : la masse d'une liaison au sol adaptée pour des jantes de 13" est d'environ 46 kg. De plus, une forte masse au niveau des roues entraîne une grande inertie sur la colonne de direction lors du braquage, ce qui nuit au comportement du véhicule.

Pour satisfaire le cahier des charges du véhicule Invictus, il est nécessaire de gagner de la masse sur la Liaison au Sol du véhicule. Les efforts permettant d'améliorer la performance "masse" de la Liaison au Sol sont assez coûteux, en effet, en suivant la courbe classique présentant la performance du véhicule en fonction du temps de travail consacré, on constate que plus on avance dans le temps et dans la complexité, plus il est difficile de gagner en performance. Au vu de la progression sur les dernières années, il semble qu'Optimus ait atteint une performance frôlant la performance maximale qu'on peut espérer pour un véhicule de l'EPSA utilisant des jantes de 13".

Une option envisageable est d'utiliser des roues de 10" de diamètre. Ce changement permettrait d'obtenir des gains considérables pour un effort raisonnable. Cette situation est illustrée sur la figure ci-dessous.



Cette réflexion nous a mené à réaliser une étude de faisabilité d'un passage à des roues de diamètre de 10". Si à l'issue de cette étude, nous montrons que cette transition nous offre effectivement des gains de performance considérables et si nous montrons que la transition est réalisable par l'EPSA, alors la Liaison au Sol du véhicule Invictus sera basée sur des roues de diamètre de 10".

Nous avons réalisé en parallèle une étude similaire pour imaginer une suspension passant de 2 à 1 amortisseur. L'objectif atteint par la diminution du nombre d'amortisseurs est celui d'un gain de masse, et le gain estimé par rapport au temps de travail fourni est donné par la figure 6, et motivé par les mêmes raisons que celles du passage de 13" à 10".

### Objectifs de l'étude :

L'étude d'un passage de roues de 13" à 10" de diamètre sert premièrement à quantifier les gains en performance qui peuvent être réalisés. Dans un premier temps, on sait que des gains en masse (qui seront quantifiés lors de l'étude) sont nécessaires pour toutes les épreuves du Formula Student, car avec une même puissance, une masse inférieure entraîne une meilleure accélération et donc de meilleurs temps. On imagine aisément que l'épreuve la plus impactée par un gain de masse est l'épreuve d'accélération. De plus, on espère obtenir un véhicule plus maniable en utilisant des roues de diamètre 10".

En effet, les roues peuvent être considérées comme des masses placées aux extrémités des biellettes de direction. Plus ces masses sont faibles, plus l'effort à appliquer dans le volant est faible et plus il est simple de faire braquer rapidement le véhicule. Ce gain permet de remplir un critère considéré comme majeur dans la conception d'Invictus : l'ergonomie.

## Etude du gain de masse

Pour estimer le gain de masse obtenu en changeant de géométrie, nous avons repris le budget massique d'Optimus en remplaçant les masses de tous les composants par celles de leurs équivalents en utilisant des roues 10". Il a fallu au préalable rechercher auprès des différents partenaires si leur pièce existe dans des dimensions compatibles avec des jantes 10". Nous avons fait de même avec un passage de 2 à 1 amortisseur. Les figures 8 et 9 présentent en couleur les composants impactés par les changements de géométrie imaginés (13" - 10" et 2 amortisseurs - 1 amortisseur).