

L'aérodynamisme en Formule 1

Travail personnel 2020-2021

Maël Fontana 5C5

Tuteur : Pol Scholtes



Lycée Ermesinde

Sommaire

1) Introduction.....	3
A) Pourquoi j'ai choisi ce thème.....	3
B) L'aide que j'ai reçu.....	3
2) Notions aérodynamiques.....	4
A) Cx et SCx.....	4
B) L'incidence de l'aérodynamisme.....	5
C) A quoi sert-il.....	5
3) L'évolution de l'aérodynamisme.....	6
4) Partie Pratique.....	20
5) Test des différentes époques.....	25
6) Conclusion.....	29
7) Sources.....	29

Introduction

A)

J'ai choisi de parler de l'aérodynamisme en F1 car je suis passionné par la Formule 1 depuis mon plus jeune âge. J'ai toujours été intéressé par l'aspect scientifique qui touchait le sport automobile surtout, par l'aérodynamisme. Cette année j'ai donc décidé de faire mon travail personnel sur ce thème qui m'a toujours intéressé. J'ai fait beaucoup de recherches et j'ai même contacté un pilote professionnel pour qu'il puisse m'aider dans mon travail.

B)

Pour ce travail personnel j'ai reçu l'aide d'un pilotes professionnel nommé Grégory Segers.



Voici son historique dans le sport automobile.

Il débute le sport automobile en 2013 en Karting au sein de la CRK (Commission régionale de karting). En 2014 il fait partie de la NSK (National Series Karting). C'est en 2017 qu'il gagne sa première course à bord d'une FR2.0 lors de la coupe de France des circuits. La même année il gagne également plusieurs courses lors de la coupe de France Catheram en R300. En 2018 il finit deuxième du championnat VdeV monoplace avec une FR2.0. En 2019 il participe à l'Ultime Cup Series à bord d'une RS01 ainsi qu'au développement des pneus de la F3R. En 2020 il participe à ses premières courses dans un championnat mondial au sein de la course de support de la Formule électrique le E Pace Trophy. Maintenant il a 20 ans et il coach de jeunes pilotes à bord de GT4, GT3 et des Norma M20 FC.

Notions aérodynamiques

L'aérodynamisme est une branche de la physique des fluides qui consiste à étudier le comportement de l'air en fonction de la forme d'un objet.

L'aérodynamisme joue un rôle fondamental dans la performance d'une monoplace de Formule 1. Pour augmenter le grip (adhérence du véhicule) sans augmenter le poids de la voiture les ingénieurs utilisent l'aérodynamisme. Bien que l'aérodynamisme influe sur le grip de la voiture, elle a aussi un certain impact sur la traînée (la traînée est la résistance de la voiture dans l'air). L'augmentation de l'appui entraînera une traînée plus importante qui va réduire la vitesse de la voiture sur les phases d'accélération et de vitesse de pointe. Il faut donc trouver un bon compromis pour allier la vitesse de pointe et l'appui. L'ensemble des appuis est réalisé par les ailerons mais aussi par l'ensemble des éléments sur la carrosserie.

A)

Pour rendre les choses plus claires, les scientifiques ont traduits beaucoup de processus naturels sous forme d'équations. L'aérodynamisme peut donc être représenté en mathématiques. Le coefficient de traînée est nommé **Cx**. Il s'agit d'un coefficient qui indique la résistance d'une forme face au flux d'air : il est situé entre 0,05 (forme la plus aérodynamique) et 1.4

Pour avoir des calculs plus précis on utilise un autre coefficient nommé **SCx**.

Le **SCx** est tout simplement le coefficient de la traînée multiplié par la surface frontale exposée à l'air (en mètres carré). Avec le **SCx** il est plus facile de comparer deux véhicules différents.



sur cette image on peut voir que la Ferrari Modena et le Mazda CX-5 ont le même **Cx**. Cela peut paraître illogique à cause de leurs gabarits bien différents mais avec le coefficient **SCx** on peut démontrer que la Modena a une meilleure pénétration dans l'air.



Pour connaître la vraie résistance de chaque voiture il faut multiplier le **Cx** a la surface de la voiture, soit :

- CX-5 : $3.07 \times 0.33 = 1.01$
- Modena : $2.32 \times 0.33 = 0.76$

On voit donc que la Modena a nettement moins de résistance que le CX-5. Si je rajoute un aileron sur la Modena alors, ceci va créer plus d'appui ce qui va augmenter le **SCx**. Attention ! Un **SCx** élevé est plus recommandé puisque sans appui les hautes vitesses deviennent périlleuses.

B)

Maintenant parlons un peu de l'incidence qu'a l'air lorsqu'il vient interagir avec l'objet. Si l'air reçue frontalement fait monter l'objet alors on parle de « portance ». Dans le cas inverse on parle alors de « déportance » (appui). Un objet symétrique de face n'aura aucune portance ou déportance. Un objet asymétrique est donc nécessaire comme les ailes des avions ou les ailerons des F1.



C)

L'aérodynamisme sert à beaucoup de choses dans le sport automobile Je vais vous présenter les utilités les plus importantes.

1. L'aérodynamisme sert à augmenter la vitesse d'entrée, de passage et de sortie dans un virage.
2. L'aérodynamisme sert à réduire la distance de freinage.
3. L'aérodynamisme sert à améliorer la stabilité de la voiture dans les zones d'accélération et dans les lignes droites.
4. L'aérodynamisme sert aussi à mieux ajuster le comportement de la voiture sur différents circuits.

L'évolution de l'aérodynamisme des F1 depuis 1968.



Début de la saison de 1968.

La saison de 1968 avait débuté à Kyalami en Afrique du sud. Les voitures utilisées au début de la saison étaient exactement les mêmes que la saison précédente. C'était des voitures avec un moteur atmosphérique de 3000 cm³. Elles avaient une vitesse maximum d'à peu près 280km/h pour 0kg d'appui aérodynamique. Les voitures sont restées dans cette configuration jusqu'au GP de Monaco.



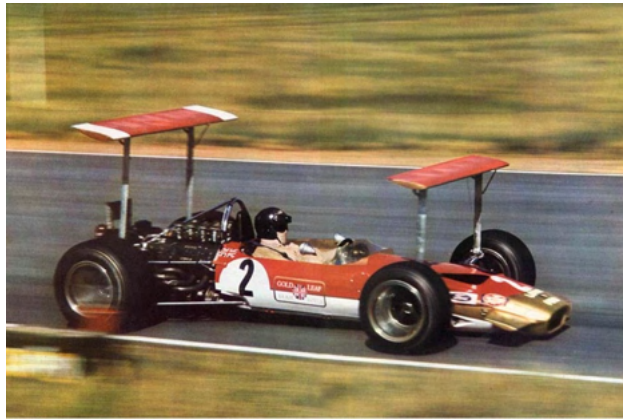
GP de Monaco 1968.

Pour le GP de Monaco de 1968 Lotus est arrivé avec un nouveau châssis pour la Lotus 49. Elle a d'ailleurs été renommée en Lotus 49B. Le châssis comportait des améliorations sur le nez de la voiture. En effet le premier aileron avant de la F1 est apparu à l'arrivée de la Lotus 49B. L'aileron avant donnait un appui à l'avant d'à peu près 40kg. L'arrière de la voiture était un peu relevé vers le haut ce qui donnait un appui très faible mais assez efficace pour augmenter la vitesse dans les virages de la voiture. Malheureusement la voiture perd quelques km/h en vitesse de pointe mais gagne assez de terrain dans les virages pour rester la voiture la plus rapide du GP. La Lotus remporta le GP de Monaco avec une large avance.



GP de Zandvoort 1968.

Plus tard dans la saison (Vers le GP de Zandvoort), Lotus a introduit une nouvelle amélioration aérodynamique. L'équipe anglaise a apporté un nouveau châssis qui comportait un aileron avant plus abaissé vers l'avant et un énorme aileron arrière. L'aileron arrière était juste une aile d'avion à l'envers pour créer un effet opposé à la force de portance. Cet aileron a extrêmement amélioré la vitesse dans les virages mais a réduit la vitesse de pointe. La voiture est passée d'une vitesse de pointe de 280km/h à une vitesse d'environ 276km/h car à cette époque ils n'avaient pas encore compris que plus on rajoutait de l'appui plus la vitesse de pointe descendait. La voiture souffrait de sous virages sévères dus au manque d'appui à l'avant par rapport à l'arrière.



Derniers essais de la saison de 1968.

Pour la prochaine amélioration Lotus a rajouté un aileron sur les suspensions avant de la Lotus 49B. L'équipe avait comme objectif d'améliorer l'appui à l'avant en essayant de régler la balance aérodynamique de la voiture. L'effet voulu fonctionnait mais la voiture n'était pas assez prévisible (surtout dans les virages) car les deux ailerons créaient une perturbation d'air au niveau de la tête du pilote. Ce qui rendait la voiture extrêmement compliquée et dangereuse à conduire sur les circuits sinueux.



Fin de la saison 1968 et début de la saison 1969.

Pour la fin de la saison Lotus est revenu vers le model du GP de Zandvoort mais ils y apportent quelques modifications. L'aileron avant était plus imposant que le précédent et l'aileron arrière aussi. L'appui à l'avant de la voiture avait réussi à être amélioré. Les voitures sont restées dans cette configuration jusqu'au GP d'Espagne de 1969. Pendant le GP d'Espagne plusieurs pilotes ont eu un accident dû à une rupture de l'aileron arrière. C'est après ce GP que le règlement en F1 interdit les ailerons plats et en hauteur (comme sur l'image ci-dessus) pour insécurité. Les équipes ont dû maintenant développer des ailerons arrière plus petits mais aussi inclinés vers l'arrière.



Reste de la saison 1969.

Avec cette nouvelle réglementation les équipes se sont vite rendu compte que les ailerons incurvés vers l'arrière offrent plus d'appui que les ailerons plats. Les temps au tour sur les circuits sinueux ont diminué de plus d'une seconde par rapport au temps du début de la saison 1968. Par exemple : le temps au tour sur le Nürburgring a diminué de 2 secondes depuis la première venue de la F1 sur ce circuit en 1967. Les temps au tour sur les circuits rapides comme Monza en Italie, ont par contre augmenté par rapport au temps du début de la saison 1968.



C'est aussi lors de cette saison que les premiers ailerons arrière à faible appui sont inventés. Ces ailerons étaient utilisés dans les circuits rapides pour améliorer la vitesse de pointe de la voiture sans trop perdre d'appui. L'air passait par les fentes ce qui réduisait le frottement de l'air et donc améliorait la vitesse de pointe d'environ 5/7km/h. Cette technique est toujours utilisée de nos jours avec le DRS.

Ce fut la dernière saison de la Lotus 49, qui fut remplacée par la Lotus 72 à la prochaine saison. La Lotus 49B restera l'une des voitures les plus importantes de l'histoire de la F1 pour la création du premier appendice aérodynamique.



Saison 1970.

Pour la saison de 1970 Lotus a sorti un nouveau modèle qui se nomme Lotus 72. Cette voiture était une révolution aérodynamique pour l'époque car c'était la première voiture de F1 à avoir l'avant de la voiture plus bas que l'arrière. Cette nouvelle forme de la voiture avait comme effet de provoquer une meilleure pénétration dans l'air ce qui augmentait la vitesse de la voiture. C'est aussi la première voiture à comporter des entrées d'air sur le côté du châssis, à la place de l'avant de la voiture. La forme de la voiture permet à l'air de se diriger naturellement vers l'aileron arrière pour générer plus d'appui. La Lotus remporta le championnat du monde de 1970 avec 59 points.



Saison 1971.

Lors de la saison de 1971 la voiture a reçu une amélioration sur les entrées d'air, en effet une entrée d'air est ajoutée sur le haut de la voiture (au dessus de la tête du pilote) pour pouvoir refroidir le moteur de la voiture. Cette nouvelle entrée d'air permet à l'air de refroidir le moteur plus efficacement.



Saison de 1974.

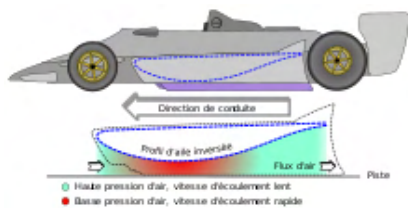
Pour la saison de 1974 Lotus apporte des améliorations majeures sur le châssis de la Lotus 72. Cette Lotus est déjà passée par plusieurs stades d'évolutions depuis 1970. Il y a eu la Lotus 72, la Lotus 72b, la Lotus 72c et la Lotus 72d. Pour la saison de 1974 Lotus sort la Lotus 72e. Cette nouvelle voiture apporte une amélioration majeure sur les ailerons de la voiture. En effet la voiture comporte des ailerons courbés vers l'arrière ce qui augmente considérablement l'appui aérodynamique de la voiture car la force de pression de l'air est plus élevée si les ailerons sont courbés. Cette voiture remporta le championnat du monde constructeurs et pilotes de 1974 avec le pilote Emerson Fittipaldi.



Saison de 1977.

Pendant la saison de 1977 Lotus arrive avec la Lotus 78. Cette voiture comporte une amélioration qui va changer l'histoire de la F1. Cette nouvelle amélioration s'appelle « l'effet de sol ». Cette nouveauté se trouve sous la voiture, sur ce qui s'appelle le « fond plat ». Le « fond plat » est travaillé pour permettre à l'air de créer une dépression sous la voiture, lui permettant de coller à la piste. Le « fond plat » est toujours utilisé de nos jours, c'est même un des éléments les plus important sur une monoplace de F1.

Cette année-là Lotus finit 2^{ième} du championnat constructeur.



Saison 1978.

Après avoir créé la première voiture à effet de sol de l'histoire de la F1, Lotus fabrique avec l'aide de l'ingénieur Colin Chapman la première F1 à avoir été conçue par ordinateur à l'aide d'une soufflerie. C'est aussi la première F1 à utiliser l'effet de sol au maximum de son potentiel. Grâce à ce nouveau fond plat la voiture augmente sa vitesse de pointe car il y a moins de frottements d'air au niveau des

ailerons. La voiture est beaucoup plus large que les années précédentes (dû au fond plat). Elle est aussi beaucoup plus profilée que la Lotus 78. La voiture comporte des entrées d'air qui dirigent l'air directement vers le fond plat. Cette voiture a été magistrale tout le long de la saison 1978. Pendant la saison de 78 elle remporte 7 victoires, 10 pôles positions et 121 points. Elle remporte le championnat de la saison 1978. Des pilotes de F1 modernes qui ont essayé la Lotus 79 sont surpris par la similitude de cette Lotus comparée à des F1 modernes. La voiture était si rapide pendant les qualifications que les ingénieurs de l'équipe devaient rajouter de l'essence dans la voiture pour la ralentir. Bien sûr l'amélioration de la vitesse n'est pas seulement dû au fond plat. Le moteur et les pneus jouent un rôle essentiel même si l'effet de sol a beaucoup aidé.



Saison de 1979

La Lotus 80 est connue comme un échec cuisant. En effet, la voiture était sensée fonctionner comme un énorme aileron. C'est pour cela qu'elle ne comporte ni aileron avant ni arrière. La voiture fonctionnait avec seulement l'effet de sol. Sur le papier cette voiture était idéale mais sur les faits la voiture comportait beaucoup de défauts. Le premier défaut c'est qu'elle avait un châssis en aluminium qui n'arrivait pas à supporter les contraintes de l'effet de sol. La voiture était un vrai cauchemar pour l'équipe surtout pour les mécaniciens, car la moindre intervention nécessitait beaucoup d'effort et de temps. Lorsque la voiture freinait l'arrière de celle-ci se soulevait ce qui rendait la voiture extrêmement dangereuse à piloter.

L'équipe s'est vite rendu compte que la voiture était un échec. Ils greffèrent un aileron avant et arrière sur la voiture dans l'espoir de la stabiliser. Malheureusement la voiture rencontrait encore des problèmes récurrents aux suspensions et aux freins.

La voiture était aussi extrêmement instable car ses suspensions étaient trop souples. Elle avait donc tendance à sauter sur elle-même en ligne droite. Elle sautait tellement que les pilotes avaient du mal à appuyer sur les pédales. La voiture ne remporta aucun point lors du championnat.



Saison de 1982

Lors de la saison de 1982 le règlement sportif de la F1 demande aux équipes de revenir vers une configuration de voiture à peu près similaire à la Lotus 79. Ces voitures utilisent toujours l'effet de sol et la traînée. Cette nouvelle réglementation voit l'arrivée en F1 des diffuseurs. Le diffuseur est un des éléments aérodynamiques les plus importants sur une monoplace de F1. Il est placé à l'arrière de la voiture et son rôle consiste à créer plusieurs tunnels et séparations qui contrôlent le flux d'air pour améliorer l'effet de succion (effet de sol). Le diffuseur sert aussi à rediriger les gaz d'échappement qui passent à cet endroit. A cette époque le diffuseur était en aluminium mais il est de nos jours en carbone.





Saison 1988.

La saison de 1988 est le commencement d'une des aires les plus victorieuses de la F1. Pour les prochaines saisons je ne vais plus parler de Lotus mais d'autres constructeurs comme McLaren, Ferrari et bien d'autres encore, en effet l'évolution chez Lotus n'est plus aussi significative. La saison de F1 de 1988 est dominée par Ayrton Senna dans une McLaren Honda. Depuis 1982 les voitures ont beaucoup changé. Elles sont beaucoup plus basses, plus profilées et sont plus rapides. Pour ce nouveau format de voiture je vais me concentrer sur deux éléments principaux. Le premier élément c'est le diffuseur. Le diffuseur contient plus de passage d'air pour avoir plus d'effet de sol. Le deuxième élément est l'aileron avant. Il comporte sur les deux extrémités des « petits profils » qui servent à dévier l'écoulement de l'air. Les « petits profils » sont orientés différemment en fonction des circuits. Quand ils sont incurvés vers l'intérieur de la voiture ils servent à diriger l'air vers les radiateurs pour refroidir le moteur. Quand ils sont incurvés vers l'extérieur de la voiture ils servent à dévier la trajectoire de l'air en dehors des roues. (voir images ci-dessus). Cela permet de réduire les perturbations d'air au niveau des roues, et donc à améliorer la conductivité du train avant.



Saison 1991.

Pour la saison de 1991 je vais prendre l'exemple de l'équipe roumaine Jordan Grand Prix. Avec la nouvelle réglementation sportive de la F1 de 1988, les voitures entrent de plus en plus vers l'air moderne de la F1. La Jordan 191 est un très bon exemple de l'amélioration aérodynamique depuis 1988.

Elle comporte un aileron avant très astucieux par sa forme spécifique. L'aileron est très près du sol car la voiture s'est abaissée de quelques centimètres. Le nouvel aileron est relevé en son centre pour permettre au flux d'air de se diriger vers le fond plat de la voiture pour pouvoir améliorer l'effet de sol. Sur les deux côtés de l'aileron avant on peut y voir des petites ailettes surélevées. Ces ailettes agissaient comme des ailerons miniatures. Ils amélioraient l'appui aérodynamique et servaient aussi à diriger l'air au-dessus des roues. Le diffuseur est aussi amélioré depuis 1988. Il est entièrement en carbone et il est sculpté d'une façon pour que l'air glisse dessus plus facilement. Il est aussi beaucoup plus bas que les années précédentes ce qui améliore la dépression du flux d'air sous la voiture. Le fond plat est si bas qu'il frotte sur le sol et provoque parfois des étincelles.



Saison de 1994.



Pour la saison de 1994 je vais analyser la Benetton B194. Le châssis de la B194 marque une nouvelle aire de la F1. Le châssis de la voiture est beaucoup plus réfléchi que celui des autres constructeurs. Le châssis est une monocoque en carbone ce qui rend la voiture très légère. L'aileron avant est suspendu des deux coté du nez de la voiture. Il est surélevé pour permettre à l'air de se diriger vers les radiateurs de la voiture. Le nez de la voiture est pointu est droit ce qui permet une meilleure

pénétration dans l'air et donc une meilleure vitesse de pointe. La voiture est aussi équipée de déflecteurs. Les déflecteurs se situent de chaque côté de la voiture juste devant les entrées d'air du radiateur. Leur but est de diriger l'air autour de la voiture. Ils réduisent le volume d'air vers les radiateurs ce qui peut engendrer un gênement pour refroidir le moteur. Par contre ils améliorent la pénétration dans l'air ce qui a comme effet d'augmenter la vitesse de pointe.

La voiture comporte aussi un élément qui arrive encore de nos jours à pénaliser les ingénieurs aérodynamiques. C'est la caméra embarquée. Cette caméra est obligatoire de nos jours car elle permet d'avoir un retour image des incidents pour mieux les analyser. Cependant les caméras sont très imposantes et très lourdes. Elles doivent être sculptée aérodynamiquement pour ne pas gêner la balance aérodynamique de la voiture.



Saison de 1997/1998.

La saison de 1997 est une des saisons les plus étranges en termes d'amélioration aérodynamiques. Cette saison est une course au développement contre les équipes et la FIA (Fédération Internationale de l'Automobile).

Tout commença lors-ce que l'équipe Tyrrell introduit un nouveau concept aérodynamique baptisé X-Wings. Ce nouveau concept vient d'une faille dans le règlement sportif que l'équipe pouvait exploiter. Cette faille permis à Tyrrell de placer des appendices très hauts et larges de chaque côté du châssis afin de capter de flux d'air libre (l'air qui ne passe pas sur la voiture). Cette amélioration a été utilisée par Tyrrell que pendant quelques GP de la saison.

Mais c'est lors de la saison de 1998 que la situation commence à dégénérer. Avec un changement de réglementation les voitures ont des dimensions réduites et ont maintenant des pneus rainurés. Cette nouvelle réglementation rend les X-Wings idéals pour récupérer l'appui perdu. La Tyrrell de 1998 est entièrement conçue pour fonctionner avec les X-Wing. De la sorte, on estimait que les X-Wings ajoutaient une amélioration aérodynamique de 5% sur l'ensemble de la monoplace. Une fois que les autres équipes identifièrent le gain d'appui provoqué par les X-Wings on a commencé à voir apparaitre des solutions similaires sur d'autres monoplaces comme Ferrari, Prost Grand prix, Jordan ou encore Sauber. Face à la prolifération des X Wings, la FIA décida de bannir ces éléments, de peur que la situation ne devienne incontrôlable.



Saison de 2004.

La saison de 2004 est dominée par une des voitures les plus dominantes de l'histoire de la F1, la Ferrari F2004. Elle remporte 15 victoires et seulement 2 abandons sur 19 courses. Elle marque plus de 260 points au championnat constructeurs et remporte le championnat des pilotes avec Michael Schumacher. Cette saison les équipes utilisent un nouvel élément aérodynamique, les « winglets ». Les winglets sont de petits appendices qui se trouvent à l'avant des roues arrière. Leur rôle est de refroidir les pneus arrière mais aussi de faire passer le flux d'air au-dessus des pneus pour offrir la résistance de l'air la plus minime. Ils remplissent ces deux fonctions tout en offrant de l'appui à la voiture. La voiture comporte aussi des « barge-boards ». Les barge-boards sont des petits déflecteurs qui servent à réduire la pression sur le déflecteur principal. La F2004 comporte aussi des petits ailerons centraux. Ils se situent au-dessus de la prise d'air du moteur et servent à améliorer l'appui de l'aileron arrière en canalisant le flux d'air. Ils servent aussi à dissimuler des caméras embarquées.

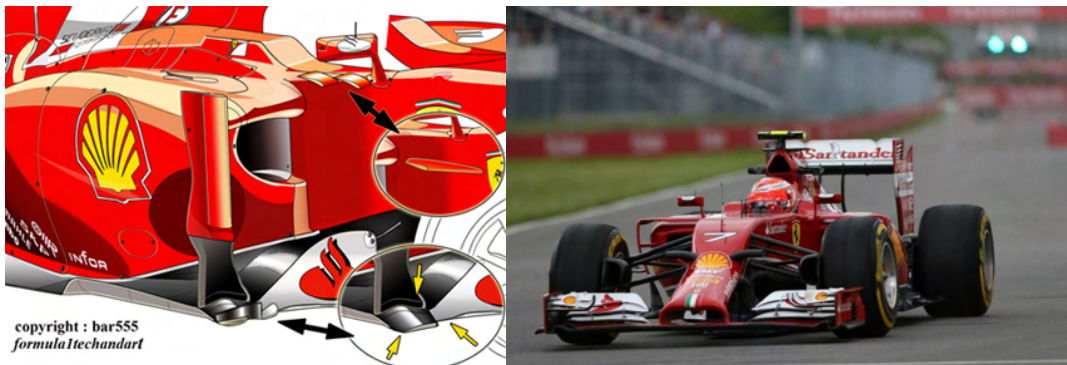
Saison de 2010/2013.



La saison de 2010 est dominée par la Red Bull de Sébastien Vettel. Ces nouvelles F1 comportent beaucoup de nouveautés sur le châssis car elles sont maintenant équipées d'un moteur de V8 de 750 chevaux qui remplace les V10 des années 2000. Le moteur perd en puissance c'est pour cela que le travail sur l'aérodynamisme est primordial. Les voitures ne dépassaient pas les 310 km/h en ligne droite (sans DRS) alors que les F1 équipées de V10 dépassaient les 330 km/h. Les F1 sont beaucoup plus larges et plus longues. C'est aussi avec cette nouvelle réglementation que le travail

aérodynamique devient de plus en plus complexe au fil des années. On peut voir beaucoup de changement par rapport à la Ferrari de 2004. L'aileron arrière est très surélevé et très imposant pour améliorer l'appui de la voiture. L'aileron avant a une forme très développée qui comporte beaucoup de fissure pour pouvoir diriger le flux d'air sous la voiture et au-dessus des roues. L'adhérence de la voiture est bien moins importante que les années précédentes malgré tout le travail sur l'aérodynamisme. C'est pour cela que les pneus lisses reviennent en F1.

Lors de la saison de 2011 une nouvelle amélioration aérodynamique fait son entrée dans la F1 ; c'est le DRS (Drag Reduction System) (Système de réduction de la traînée). Le DRS se situe sur l'aileron arrière. Lorsqu'une voiture est à moins d'une seconde de la voiture devant-elle, elle peut activer le DRS. C'est l'aileron arrière qui va s'ouvrir pour enlever le frottement de l'air au niveau de l'aileron. La voiture gagne donc plus de 20 km/h en vitesse de pointe. Dès que le pilote freine le DRS se ferme automatiquement pour ne pas que la voiture se déséquilibre. Car si le DRS reste ouvert cela peut être très dangereux car la voiture n'a plus aucun appui à l'arrière, donc il serait impossible de tourner sans faire de tête à queue. Les voitures restent dans la même configuration jusqu'à la saison de 2014.



Saison de 2014/2016

La saison de 2014 comporte un des changements majeurs de l'histoire de la F1. Les voitures sont équipées d'un moteur V6 hybride 760 chevaux. C'est l'ère de la F1 où les voitures sont les plus complexes. Cette année, elles sont beaucoup plus larges que celles de la saison d'avant. L'aileron avant est sculpté pour que l'intérieur de l'aileron provoque de l'appui mais que l'extérieur de l'aileron dévie l'air sur le côté des roues. L'aileron avant est aussi doté de beaucoup de petites encoches qui aident à exercer de l'appui à des endroits plus précis. Les barge-boards sont sculptés pour que l'air puisse glisser le long de la voiture sans créer de perturbation. Malheureusement, avec cette nouvelle réglementation les voitures ont augmentées un effet aérodynamique qui s'appelle « air sale ». Cet « air sale » est en fait, des turbulences qui se forment lorsque l'air passe sur la voiture. En s'écoulant sur la surface de la voiture, l'air ralenti et devient turbulent. A cause de cette « air sale » les voitures ne peuvent plus se suivre. L'adhérence de la voiture qui se trouve dans un flux d'air sale est très faible. Les batailles en courses sont donc très réduites.



Saison de 2020



Lors de la saison de 2018 la FIA instaure un nouvel élément de sécurité, le « halo ». Le halo est une protection qui protège la tête des pilotes. Le halo est un vrai défi aérodynamique pour les équipes car il n'a pas le droit d'être changé de forme, il est donc très difficile de l'intégrer à la voiture. Lors de la saison de 2018 les équipes ont essayée d'utiliser le halo pour provoquer de l'appui en le composant d'encoches en carbone, mais aujourd'hui la FIA oblige les équipes à ne plus utiliser le halo comme élément aérodynamique, car cela peut nuire à la sécurité du pilote. Le halo est un élément très perturbateur, c'est pour cela que les voitures sont équipées d'un nouveau châssis. Ces voitures sont les F1 les plus larges depuis 1980. Elles sont équipées d'un énorme aileron avant. L'aileron est très simplement sculpté comparé aux années précédentes, mais il est extrêmement efficace à cause de sa forme qui redirige l'air vers les barge-boards et le fond plat. L'aileron arrière est lui aussi plus imposant ainsi que le DRS, ce qui les rend plus efficaces. Les barge-boards sont très complexes, car ils doivent récupérer l'air turbulent du pneu. Ils sont composés de dizaines de petites encoches qui permettent à l'air de se diriger vers l'extérieur de la voiture pour ne pas créer de perturbations indésirables. Les barge-boards sont aussi utilisés pour générer de l'appui au milieu de la voiture. Avec toutes ces nouvelles améliorations, les turbulences du halo sont canalisées et peuvent être utiliser comme un avantage. Ces F1 ont le système aérodynamique le plus complexe et le plus efficace de toutes les F1 de l'histoire. Elles génèrent plus d'une 1,5t d'appui aérodynamique.

Partie pratique.



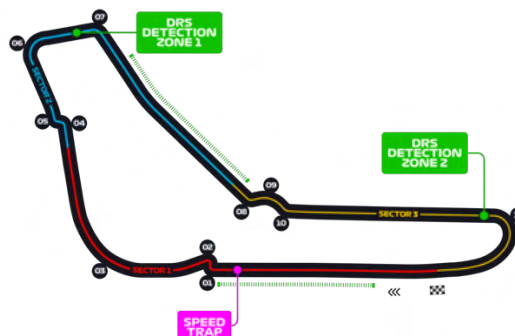
Dans cette partie de mon TraPe je vais mettre en pratique l'aérodynamisme grâce à la simulation Assetto Corsa. Assetto Corsa est la troisième simulation la plus réaliste sur le marché après Iracing et Rfactor2. Dans cette expérience je vais vous montrer comment est-il possible d'améliorer son temps aux tours sans avoir appris par cœur le circuit, mais juste en changeant les configurations aérodynamiques (*setups*). Pour l'expérience j'ai pris la Ferrari de 2004, et j'ai choisi deux circuits.

1. **Le circuit de Monza.** Ce circuit est un circuit *low down force* ce qui veut dire faible appui. Il est divisé en 3 secteurs.

Le secteur **1** comporte une grande ligne droite puis une grande zone de freinage suivie d'une chicane. Après la chicane il y a une autre grande ligne droite et un virage très ouvert.

Le secteur **2** est composé de virage où on a besoin de beaucoup d'appui. Il y a deux virages serrés puis une autre grande ligne droite suivie de la fameuse chicane « Ascaris ». Cette chicane est très rapide, elle demande donc beaucoup d'appui et de stabilité.

Enfin il y a le secteur **3** du circuit qui se compose d'une autre grande ligne droite, puis d'un virage très long. Le circuit de Monza est le circuit avec la vitesse moyenne la plus élevée de toute la saison de F1.



La difficulté avec le circuit de Monza est de trouver un setup aérodynamique optimal qui permet de gagner en vitesse de pointe sans en perdre dans les virages. Pour tester l'aérodynamisme j'ai essayé 4 différents setups aérodynamiques. Dans le jeu l'inclinaison des ailerons est représentée en chiffres de 5 à 35.

1. Le setup sans aucune modification.
 Pour ce setup l'inclinaison de :
 l'aileron avant est de 14
 l'aileron arrière est de 25.
 Avec ce setup la voiture se comporte plutôt bien sur les parties sinueuses du circuit mais manque cruellement de vitesse de pointe. Dans la ligne droite des stands j'ai atteint la vitesse de 311km/h, ce qui est très faible pour ce circuit. Dans les virages la voiture est stable et agréable à conduire. Elle répond plutôt bien aux attentes de mon pilotage.
 Avec ce setup mon temps est de 1'25,998'' (ce qui est très loin des temps réels)

2. Setup aileron arrière diminué de 10.
 Pour ce setup je n'ai pas changé l'inclinaison de l'aileron avant mais j'ai réduit l'inclinaison de l'aileron arrière.
 Mon but est de diminuer le frottement de l'air au niveau de l'aileron arrière de la voiture dans le but de la faire gagner en vitesse de pointe.
 En diminuant l'inclinaison de 10 (l'inclinaison est maintenant de 15) j'ai réussi à augmenter la vitesse de pointe de la voiture de 9km/h. La voiture a donc une vitesse de pointe de 320km/h. Avec ce setup la voiture avait quelques difficultés pour tourner dans les chicanes ou dans les virages serrés. La voiture commençait à avoir l'arrière qui dérapait ce qui m'obligeait à faire beaucoup de corrections au niveau du volant. Je perdais donc quelques dixièmes dans les virages mais je gagnais assez de vitesse dans les lignes droites pour améliorer mon temps de 0,6 seconde. Mon temps est donc de 1'25,316''

3. Setup aileron arrière diminué au maximum.
 Pour ce setup je n'ai toujours pas changé l'inclinaison de l'aileron avant mais j'ai réduit l'inclinaison de l'aileron arrière au maximum (l'inclinaison est maintenant de 5). En diminuant à ce point l'inclinaison j'ai entièrement déréglé la balance aérodynamique de la voiture ce qui la rendais impossible à conduire. J'ai gagné plus de 13km/h en vitesse de pointe donc, j'ai atteint la vitesse de 333km/h qui est une vitesse tout à fait honorable pour ce circuit. Le premier secteur se passait sans problèmes mais dès que j'abordais le deuxième secteur (le secteur le plus sinueux) la voiture devenait incontrôlable. Le moindre petit coup de volant me faisait partir en tête à queue. Avec cette configuration je n'ai pu finir aucun de mes tours chronométrés sans faire d'accident. Car à chaque fois que j'arrivais dans le secteur 2, la voiture dérapait et venait s'accidenter contre les barrières. Je n'ai donc aucun temps dans cette configuration. Si j'avais réussi un de mes tours le temps aurait été plus de trois secondes au tour plus lent que le setup basique. (Ce qui est énorme sur un circuit rapide).

4. Setup les deux ailerons diminués au maximum.

Pour ce setup j'ai réduit les deux ailerons à 5 pour essayer de rétablir la balance aérodynamique de l'auto. Avec ce setup la voiture avait retrouvé une balance plutôt stable. La vitesse de pointe a augmenté de 17km/h, j'ai donc atteint la vitesse très honorable de 350km/h qui est une vitesse idéale pour ce circuit. Malheureusement je n'ai pas réussi à trouver l'harmonie entre les parties rapides du circuit et les parties lentes. La voiture se comportait plus que bien dans les lignes droites mais le secteur 2 restait assez compliqué, bien qu'il soit déjà bien plus facile à passer qu'avec le setup précédent. La voiture manquait cruellement d'appui dans les virages et avait beaucoup de mal à tourner. Malgré tous les problèmes dans le secteur 2 j'ai réussi à m'améliorer sur mon temps au tour de plus de 1,6 seconde par rapport au premier setup.
Mon temps et donc de 1.24.311

2. Le circuit de Laguna Seca.

Le circuit de Laguna Seca est un circuit qui demande beaucoup d'appui aérodynamique. Ce circuit situé en Californie est réputé pour les virages 7,8 et 8A qui ont la particularité d'être en devers. Ce circuit est très vallonné et comporte 11 virages. Le premier virage est un virage qui se passe à fond, il est ensuite suivi du virage 2 qui est un virage très serré. Après, il y a deux virages rapides puis une petite ligne droite suivie d'un virage rapide gauche. Le circuit continue avec une autre petite ligne droite suivie d'un virage très rapide gauche. Ensuite il y a les virages en décente qui demande beaucoup d'appui. Enfin il y a un virage très long à gauche suivi d'un virage rapide droit. Le tour se fini par un virage très lent gauche.



Le circuit de Laguna Seca ne demande pas beaucoup de vitesse de pointe, mais il demande beaucoup d'appui aérodynamique et une excellente balance. Pour ce circuit j'ai encore utilisé 4 différents setups.

1. Setup sans modifications.

Pour ce Setup j'ai réalisé le même processus que lors du circuit de Monza. L'aileron arrière est incliné de 25 et l'aileron avant est incliné de 14. Avec ce setup la voiture se comportait assez bien mais les virages se passaient avec un peu de difficulté et un peu de sous virages, surtout dans le virage N°3 où je manquais d'appui et dans le virage N°9 où je dois légèrement freiner pour passer. Dans ces virages la voiture avait donc un peu de mal à tourner. Dans la ligne droite des stands j'ai atteint la vitesse de 293km/h. Avec ce setup j'ai réalisé le temps de 1'05,996''.

2. Setup avec l'aileron arrière augmenté de 5.

Pour ce Setup j'ai augmenté l'inclinaison de l'aileron arrière de 5 (l'inclinaison est maintenant de 30). En augmentant l'inclinaison j'augmente l'appui aérodynamique sur l'arrière de la voiture pour la faire mieux tourner dans les virages. Avec ce nouveau setup la voiture gagne un peu de vitesse lors des virages mais en perd lors de la ligne droite des stands. La voiture se comporte mieux dans les virages qu'avec le setup précédent. Le virage N°9 se passe maintenant sans freiner mais en lâchant l'accélérateur pendant un bref

instant. Avec ce setup j'ai atteint la vitesse de 290km/h et j'ai réussi à améliorer mon temps de 0,4 secondes.

Mon temps au tour est donc de 1'05,532''.

3. Setup avec l'aileron arrière incliné au maximum.

Pour ce setup j'ai incliné au maximum l'aileron arrière (l'inclinaison est donc de 35) sans toucher à l'inclinaison de l'aileron avant qui reste donc de 14.

Avec ce setup l'appui de la voiture a encore été amélioré, le premier et le deuxième secteur se passent sans problèmes mais lors du virage N°9 la voiture manque d'appui à l'avant, ce qui la rend difficile à contrôler dans ce virage.

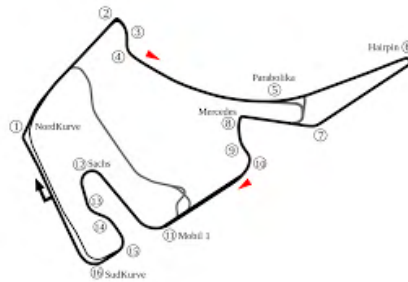
Avec ce setup j'ai atteint la vitesse de 286km/h et j'ai fait un temps de 1'04,978''.

4. Setup avec tous les ailerons inclinés au maximum.

Pour ce setup l'inclinaison de l'aileron avant est de 30 est celle de l'aileron arrière est de 35. Avec ce setup l'adhérence est extrêmement améliorée, ce qui rend la voiture extrêmement rapide dans les virages. Tous les virages se passent sans aucun problème mais la vitesse de pointe est drastiquement diminuée. J'ai maintenant une vitesse de 277km/h dans la ligne droite des stands. Le virage N°9 se passe presque sans lever le pieds, mais avec un léger lift (lâché d'accélérateur).

Avec ce setup j'ai fait un temps de 1'04,694''.

Test des différentes époques.



Lors de ce test j'ai testé les 9 époques les plus importantes que j'ai mentionné dans la partie historique de mon TRAPE. Mon but était de voir s'il y avait une grande différence entre les voitures. Lors de ce test j'ai choisi le circuit de Hockenheimring en Allemagne. C'est un circuit qui comporte une grande ligne droite mais aussi beaucoup de virages. Il est donc idéal pour comparer toutes les voitures.

1. Lotus 49 1968



Cette voiture n'a aucun appui aérodynamique donc sa force est dans les lignes droites, en effet cette voiture atteint les 280km/h en vitesse maximale. A cause de son manque d'appui les virages N° 1,4,7,10,11,15 et 16 se passent avec beaucoup de sous virages. La voiture manque cruellement d'appui à l'avant ce qui donne une impression que la voiture glisse constamment. Avec cette voiture j'ai pu réaliser le temps de **1'45,005**.

2. Lotus 49C 1969



Cette voiture a déjà beaucoup plus d'appui que la Lotus 49. Les virages se passent beaucoup plus vites et plus facilement qu'avec la Lotus 49. La voiture sous vire toujours mais les sous virages sont moins prononcés qu'avec le modèle précédent. La voiture perd beaucoup de vitesse de pointe. Avec cette voiture j'ai atteint la vitesse de 256km/h mais, grâce à son aileron la voiture a une distance de freinage beaucoup moins importante que celle de la Lotus 49. Avec cette voiture j'ai réalisé le temps de **1'43,002**.

3. Lotus 72D 1973



Cette voiture est très rapide dans les virages grâce à sa forme et à ses aileron. Les virages se passent très bien et la voiture est assez stable. À cause du poids de la voiture, elle sous vire assez dans les virages rapides surtout dans le virage N° 16. La voiture a beaucoup d'appui mais elle a aussi des pneus tendres qui améliorent l'adhérence. Avec cette voiture j'ai réalisé de temps de **1'34,744**.

4. Lotus 79 1978



Cette voiture était une énorme révolution aérodynamique pour l'époque et J'ai été très surpris en testant cette voiture. Avec l'effet de sol la voiture n'est plus ralentie dans les lignes droites et elle gagne beaucoup en vitesse dans les virages. La voiture a beaucoup d'adhérence donc, les virages se passent à grande vitesse. La voiture a toujours un petit peu de sous virages mais ce n'est presque plus gênant. Avec cette voiture j'ai réalisé le temps de **1'30,139**.

5. McLaren MP4/4 1988



cette voiture se comporte presque comme une F1 moderne. Elle est équipée d'aides électroniques et elle est équipée d'un V10 atmosphérique de 3500 cm³. La voiture a beaucoup d'appui donc les virages rapides se passent très rapidement. Le seul problème de cette voiture c'est qu'elle n'est pas très stable lors de la ré accélération. Il y a une grande différence de ressenti entre cette voiture et la Lotus 79. La McLaren MP4/4 ne sous vire presque plus dans le virage Nr 16. Avec cette voiture j'ai réalisé le temps de **1'25,785**.

6. Williams FW18 1995



Cette voiture possède une boîte de vitesse séquentielle ce qui lui fait gagner un peu de temps dans les lignes droites. Son moteur est aussi beaucoup plus puissant que la McLaren MP4/4. Les virages se passent avec souplesse et la voiture est assez stable sauf dans le dernier virage où je dois un peu corriger ma trajectoire lors de l'accélération. Avec cette voiture j'ai réalisé le temps de **1'23,098**.

7. Ferrari F2004 2004



Cette voiture est incroyable à conduire. Elle a un moteur surpuissant qui dépasse les 310km/h et elle a un appui aérodynamique qui est magistral. Les virages se passent sans aucune difficulté et la voiture est très stable lors des accélérations. La voiture freine très bien ce qui me permet de freiner beaucoup plus tard qu'avec les voiture précédentes. Avec cette voiture j'ai réalisé le temps de **1'15,074**.

8. Red Bull RB6 2010



Cette voiture est beaucoup moins puissante que la F2004 mais elle a un appui qui est beaucoup plus performant. Dans la ligne droite j'ai seulement atteint 302 km/h. les virages se passent avec beaucoup plus de vitesse mais les lignes droite me font perdre beaucoup de temps. Avec cette voiture j'ai quand même réalisé un meilleur temps de **1'14,890**.

9. Mercedes W09 EQ Power + 2018



Cette voiture est équipée du DRS ce qui lui fait gagner plus de 15km/h en ligne droite. Son appui est aussi très évolué. Tous les virages du circuit se passent très rapidement. La voiture est littéralement collé au sol, grâce à ses ailerons la voiture génère un appui de plus de 1,5t . Le virage N° 7 se passe a plus de 280km/h. Avec cette voiture j'ai réalisé le temps de **1'12,672**.

Conclusion.

Les recherches que j'ai fait mon beaucoup plus et j'ai beaucoup aimé écrire ce travail personnel sur ce sujet si passionnant. J'ai appris beaucoup de nouvelles choses passionnantes. Je tiens encore à remercier Grégory Segers pour m'avoir aidé a perfectionner mon travail.

Sources.

<http://www.laberezina.com/technique/aerodynamique.htm>
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus 49](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus_49)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus 49B](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus_49B)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus 49C](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus_49C)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus 72](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus_72)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus 77](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus_77)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus 79](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lotus_79)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/McLaren MP4/4](https://fr.wikipedia.org/wiki/McLaren_MP4/4)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Jordan 191](https://fr.wikipedia.org/wiki/Jordan_191)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Benetton B194](https://fr.wikipedia.org/wiki/Benetton_B194)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Ferrari F2004](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ferrari_F2004)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Red Bull RB6](https://fr.wikipedia.org/wiki/Red_Bull_RB6)
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Mercedes-AMG F1 W09 EQ Power%2B](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mercedes-AMG_F1_W09_EQ_Power%2B)
<https://www.unracedf1.com/20-years-ago-the-x-wings-got-banned/>
[https://en.wikipedia.org/wiki/Tyrrell 025](https://en.wikipedia.org/wiki/Tyrrell_025)
<https://fr.motorsport.com/f1/news/innovations-bannies-pingouins-saison-1998/4776790/>