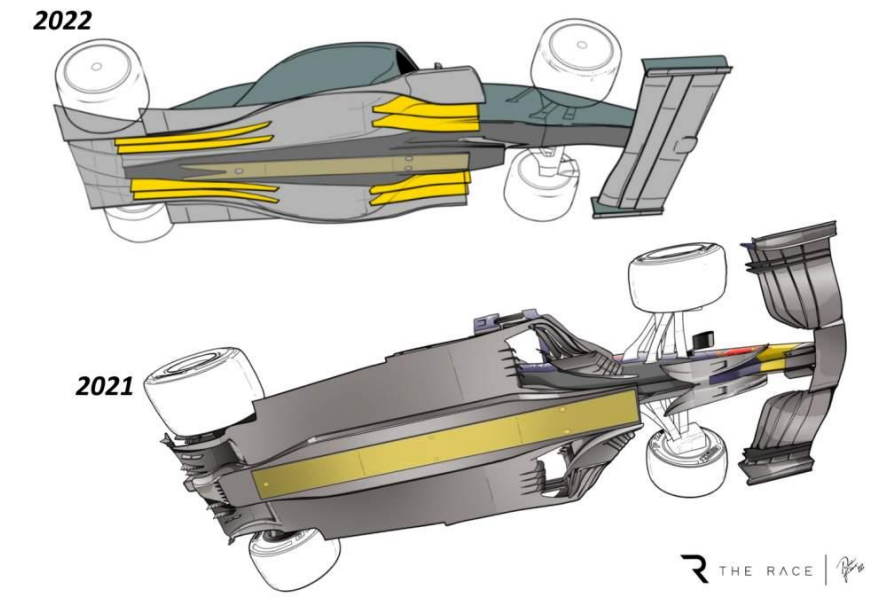


QU'EST-CE QUE LE PHENOMENE DE MARSOINAGE ?

Le phénomène de **marsouinage**, aussi appelé « **porpoising** » en anglais, apparaît sur les **F1** en ligne droite et se manifeste par une oscillation verticale des monoplaces sur une amplitude de plusieurs centimètres et une fréquence de 4 Hz à 5 Hz à haute vitesse. Apparu suite au changement de règlement technique FIA en 2022, ce phénomène a pour origine l'augmentation de l'importance de l'effet de sol dans le mix d'appui aérodynamique de la voiture, provoqué par le changement de la géométrie du « fond plat » des F1, qui aspire la monoplace vers le sol. Le marsouinage résulte en une diminution de la performance globale de la monoplace, ainsi qu'une gêne importante pour le pilote. S'en affranchir est alors un enjeu majeur pour les équipes engagées depuis 2022.



OBJECTIFS ET HYPOTHESES DE L'ETUDE :

Notre objectif est de mettre en évidence ce phénomène et de comprendre les causes de son apparition. On cherche pour cela à isoler chacun des phénomènes physiques interagissant avec la voiture liés au marsouinage, et en conséquence bâtir un modèle simulant le comportement de la monoplace subissant des oscillations verticales. Il est également nécessaire pour des raisons techniques de simplifier l'aérodynamisme. On cherche donc à étudier l'interaction entre l'appui aérodynamique généré par effet de sol, lorsque l'air s'engouffre sous le fond plat, et garde au sol (étude aérodynamique), ainsi que la suspension (étude mécanique). On cherchera finalement à reproduire le marsouinage par simulation numérique.

ETUDE AERODYNAMIQUE : Etude numérique (CFD)

Objectifs :

- Étudier le comportement d'un **aile inversée** soumise à l'effet de sol.
- Déterminer la courbe portance / hauteur

Conditions de la simulation :

L'aérodynamique du fond plat de la monoplace est assimilé à une aile inversée, à défaut de raisonner sur un modèle de F1 complet, trop complexe à traiter. Le but de la simulation est de mesurer l'évolution de l'appui généré dans cette configuration, et de reproduire de façon numérique l'expérience en soufflerie menée en parallèle. L'aile est placée dans une veine de 26x26x26 cm avec une vitesse de vent de 100 km/h.

Aile: profil GOE801, 20 cm de large pour 10 cm de long.

Modèle :

On se place dans un mode turbulent car ce sont les turbulences qui vont créer la perte de portance.



Figure 1 : Simulation du profil de l'aile
L'intensité de couleur varie selon la pression

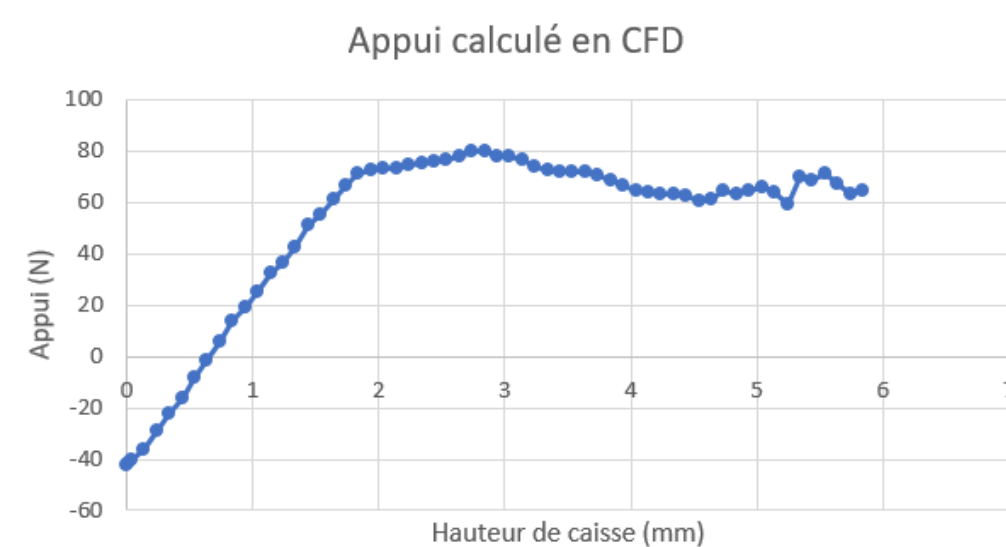


Figure 2 : Graphique de la force verticale en fonction de la distance au sol (CFD)

ETUDE MECANIQUE :

Objectif :

- Bâtir un modèle dynamique d'une monoplace, focalisé sur la suspension

Modèle retenu :

Un quart de voiture, c'est-à-dire avec une seule suspension (déplacements verticaux 2DDL étudiés uniquement)

Avec m_s : masse suspendue (châssis)

m_n : masse non suspendue (roue et triangles de suspension)

Equations du mouvement

$$\begin{bmatrix} m_n & 0 \\ 0 & m_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{z}_n \\ \ddot{z}_s \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} c_s & -c_s \\ -c_s & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{z}_n \\ \dot{z}_s \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} k_t + k_s & -k_s \\ -k_s & k_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} z_n \\ z_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -F(z_s) \end{pmatrix}$$

On néglige l'amortissement du pneu devant celui de l'amortisseur.

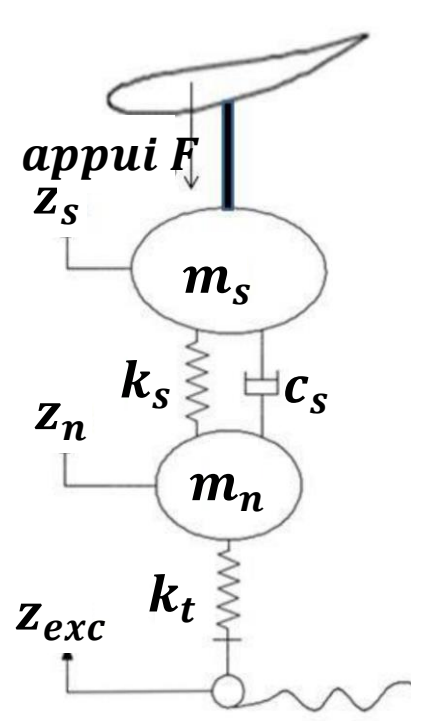


Figure 6 : schéma du système mécanique

Non linéarité - Butée de suspension

Lorsque la compression de la suspension est trop importante, à haute vitesse de compression, elle heurte la butée de suspension (« bump stop »).

Cette non linéarité peut se traduire ainsi:

$$k_s = \begin{cases} k_{s,nom} & \text{si } L_{suspension} > L_{butee} \\ \infty & \text{si } L_{suspension} < L_{butee} \end{cases}$$

INTERPRETATION DU PHENOMENE:

Nous pouvons observer des oscillations en accord avec le phénomène observé de marsouinage. Celui-ci peut s'interpréter ainsi : la vitesse du véhicule augmente et l'appui aussi. De ce fait, la garde au sol est abaissée. Pour maximiser la performance, la garde au sol est réglée de façon à générer un maximum d'appui (max de la courbe) et en s'abaissant trop, celle-ci peut décrocher, décompresser brutalement la suspension, baisser l'appui, qui augmente à nouveau. Le phénomène se répète et oscillations se produisent.

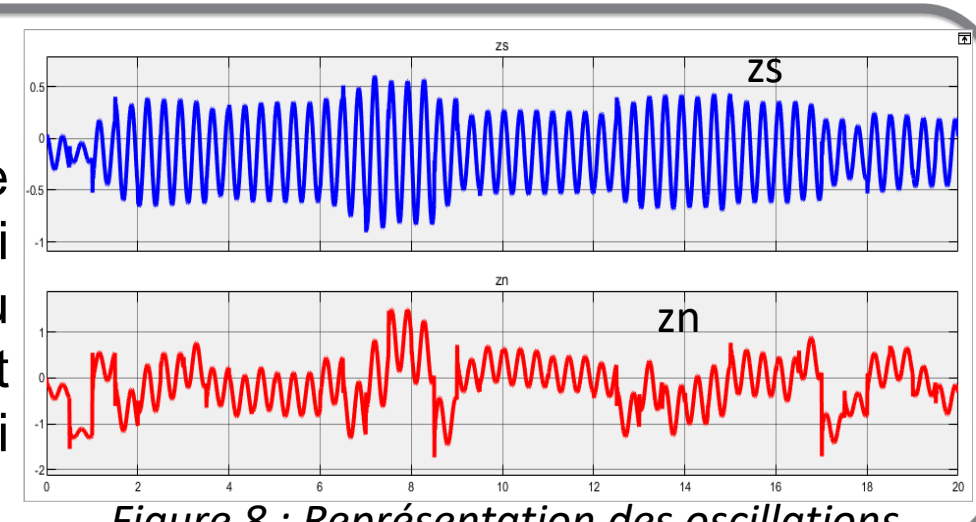


Figure 8 : Représentation des oscillations

Conclusions et perspectives

Cette étude a permis de décrire le phénomène de marsouinage à travers différents modèles et simulations. Les différentes études nous ont mené à comparer les modèles et les résultats entre eux afin d'obtenir une simplification qui pouvait permettre une exploitation correcte des résultats. Une étude aéro complète, sur un modèle 3D de F1 complet est à envisager. Du côté mécanique, il s'agirait d'utiliser un modèle à deux essieux, avec les effets aéro de l'assiette de la F1. Dans l'avenir, l'étude du phénomène de marsouinage impliquerait de réduire les oscillations et donc l'écrasement du véhicule sur le sol afin de réduire les pertes aérodynamiques ce qui engendre également des pertes énergétiques.

Etude en soufflerie

Simplification expérimentale :

L'aérodynamique de la F1 est modélisée par une aile inversée de profil GOE801. Elle est installée dans la soufflerie de sorte que la partie supérieure de la veine agisse comme le sol. Le montage est donc retourné pour libérer le flux d'air le long de l'extrados.

Fabrication du modèle :

Aile fabriquée par impression 3D en PLA, maintenue en l'air par une tige filetée visée dans un insert dans l'aile et collée sur un capteur de force (encastrement).

Paramétrage expérimental :

Le système est placé sur un plateau réglable pour faire varier la distance aile/paroi supérieure reliée à un capteur de force qui nous permet de déterminer l'appui aérodynamique.

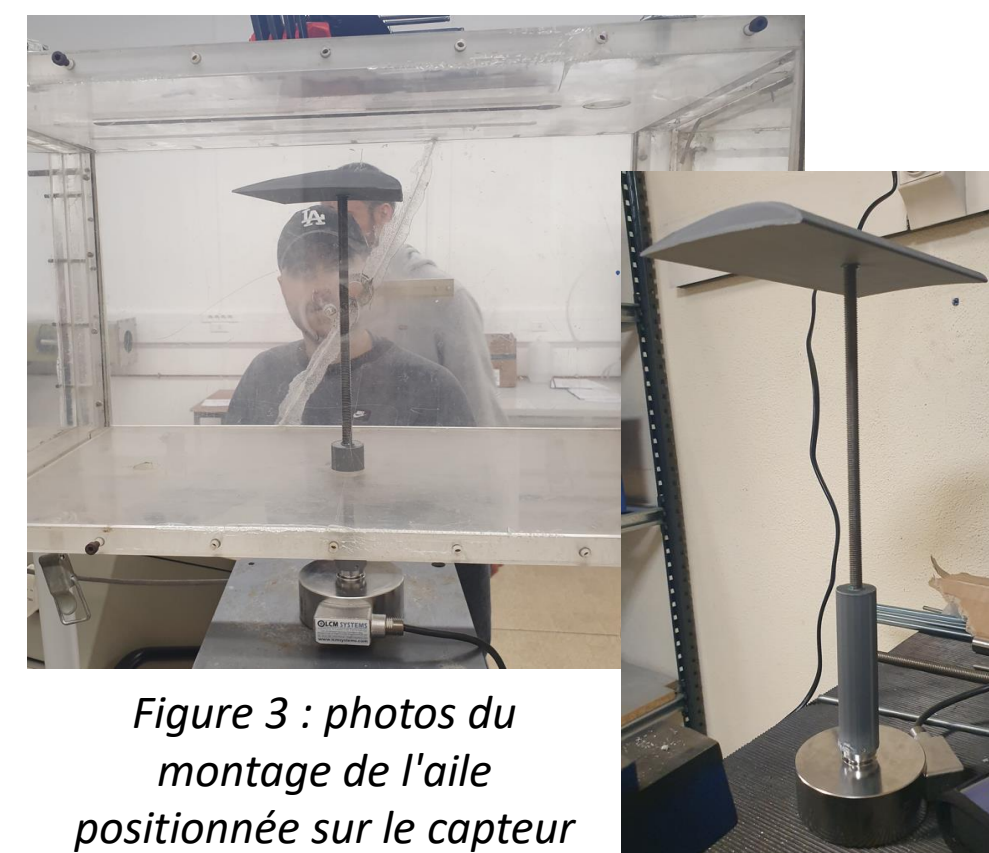


Figure 3 : photos du montage de l'aile positionnée sur le capteur de force

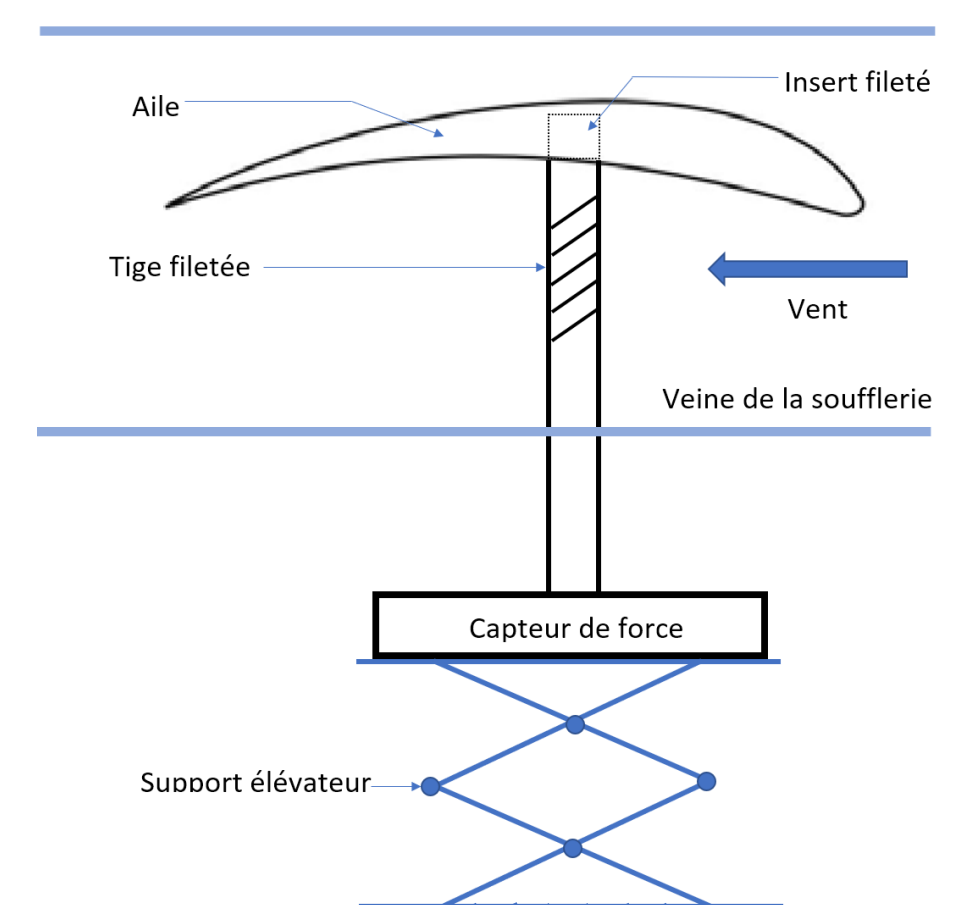


Figure 4 : Schéma du modèle expérimental

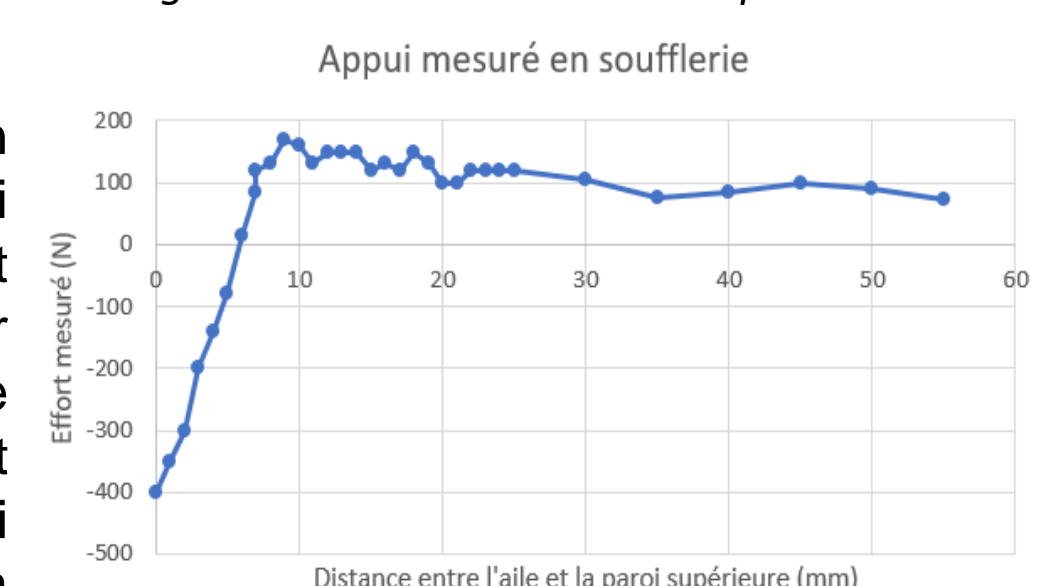


Figure 5 : Graphique de la force verticale en fonction de la distance au sol (expérimental)

Exploitation des résultats:

La courbe de la force d'appui (N) en fonction de la distance aile / paroi supérieure présente un maximum atteint pour une distance de référence. Par analogie, sur une F1, un simple décalage initié par une irrégularité de la piste peut entraîner une instabilité vibratoire. L'appui aéro subit une variation en fonction de la garde au sol du véhicule.

MODELE MATLAB Simulink :

Tous les éléments sont implémentés sous MATLAB Simulink dans le but de visualiser une oscillation simulant le marsouinage. Le bloc orange résout les équations du mouvement et le bloc rose assure la rétroaction en faisant varier l'appui en fonction de la garde au sol.

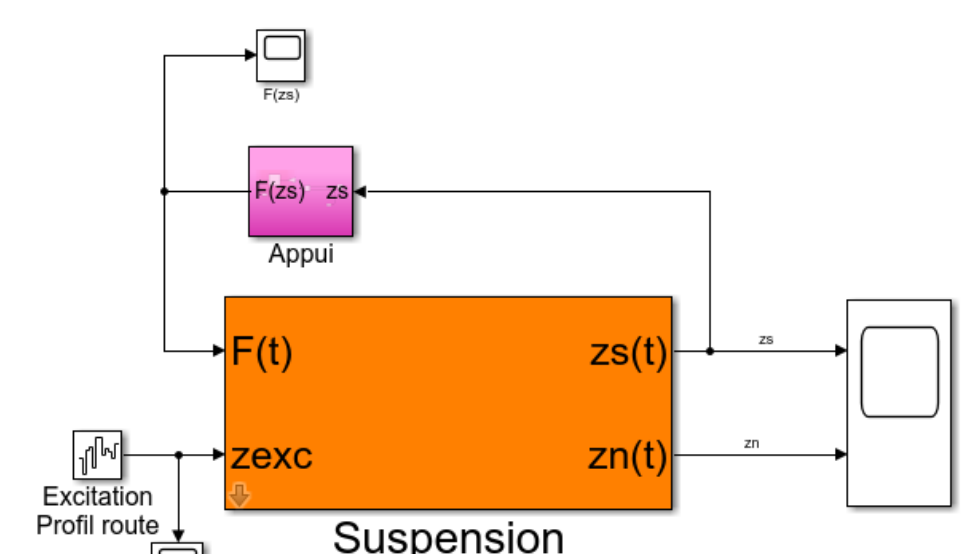


Figure 7 : Schéma bloc du système sous Simulink

Une source de type bruit assure une légère excitation, semblable au profil de la route.

Références bibliographiques :

- [1] : Timoteo Briet Blanes ; On the influence of transient aerodynamic heave vibrations on racing car suspension parameters : aero post rig in a quarter car test ; Aerodynamics Research Group ; 11/09/2018
- [2] : Gadola M., Chindamo D., Magri P., Sandrini G. ; Analyzing porpoising on high downforce race cars : causes and possible setup adjustments to avoid it ; Energies 2022 ; 13/09/2022
- [3] : Nacho Suarez-PhD, Timoteo Briet and Enrique Scalabrini ; Tech Explained: Simulating Porpoising on a quarter-car suspension model, 09/2022