

SYSMER 2A

LUCAS CARPENTIER, THIBAUT COURTOIS

27 OCTOBRE 2024

Performance et comportement dynamique des véhicules

Professeur encadrant :
Mathieu RICHIER



Table des matières

1	Obtention du modèle de simulation	4
1.1	Modèle cinématique du véhicule	4
1.2	Modèle dynamique du véhicule	4
1.2.1	Stabilité du modèle	6
2	Programmation du simulateur	7
2.1	Interface graphique	7
2.2	Explication du code réalisé pour la simulation	10
3	Analyse des résultats obtenus	11
3.1	Cas du scénario d'un virage à vitesse constante	11
3.2	Cas du scénario du freinage brusque	15
3.3	Cas du scénario de l'évitement d'obstacle	18
	Conclusion	22
	Bibliographie	23

Introduction

La simulation dynamique des véhicules routiers est une composante essentielle dans le domaine de l'ingénierie automobile. En effet, celle-ci permet de modéliser le comportement complexe des véhicules mis en mouvement. Dans le cadre de ce projet, notre objectif principal est de développer une simulation dynamique et cinématique d'un véhicule routier en utilisant l'outil de programmation MatLab, tout en intégrant une interface graphique qui permet ainsi de réaliser ces simulations de manière plus intuitives.

Le véhicule sera modélisé en tenant compte de divers paramètres tels que sa masse, les caractéristiques de dérive, la géométrie, et d'autres facteurs influents. La simulation prend en compte les dynamiques du véhicule, y compris les mouvements de lacet, les angles de dérive avant et arrière, la trajectoire du véhicule, ainsi que la vitesse instantanée. Afin de simplifier le problème étudié, nous prendrons ces hypothèses suivantes comme toujours vraies :

- Les effets de roulis sont négligeables.
- Le véhicule est supposé symétrique dans le plan de lacet.
- Le déplacement latéral du centre de gravité est négligé.
- Le sol est considéré comme localement plan.

Pour rendre cette simulation plus accessible et interactive, nous avons créé une interface graphique à l'aide du module App Designer intégré à MatLab. Cette interface permet ainsi à l'utilisateur de définir les différents paramètres du véhicule, de déclencher la simulation puis d'observer les résultats.

Ce rapport détaille donc le processus de modélisation du véhicule, la mise en œuvre de la simulation dynamique et cinématique, la création de l'interface graphique.

1 Obtention du modèle de simulation

Dans un premier temps, nous chercherons à déterminer le modèle cinématique du véhicule avant le modèle dynamique. En effet, le modèle cinématique est une version simplifiée du modèle dynamique dans laquelle la vitesse ne dépassera pas $5km.h^{-1}$.

1.1 Modèle cinématique du véhicule

Pour calculer l'évolution de l'angle de lacet, on utilise la vitesse au point B qui est le point de contact entre les roues arrières et le sol par rapport au centre instantané de rotation O. Ainsi on a :

$$u_r = r\dot{\theta}\vec{x}_1 \quad (1)$$

Puis avec les relations trigonométriques on sait que :

$$\tan\beta = \frac{L}{R}$$

Ce qui, grâce à l'équation (1) nous donne cette relation :

$$\dot{\theta} = u_r \frac{\tan\beta}{L} \quad (2)$$

Nous avons donc déterminé la relation donnant l'évolution de l'angle de lacet ce qui nous permet alors d'étudier le modèle cinématique, ceci à une vitesse inférieure à $5km.h^{-1}$

1.2 Modèle dynamique du véhicule

L'objectif de notre simulation est d'étudier le comportement du véhicule en mouvement donc bien au delà de $5km.h^{-1}$. La réalisation d'un modèle dynamique s'explique donc. Dans cette simulation on introduit les notations suivantes :

- u et u_f sont respectivement les vitesses du centre de gravité (i.e de rotation) et du milieu de l'essieu avant.
- δ_f , δ_r et δ sont les angles de dérive avant, arrière et global.
- I_z est le moment d'inertie autour de l'axe vertical passant par G.
- m est la masse du véhicule.
- F_r et F_f sont les forces latérales arrière et avant.

On applique ensuite le principe fondamentale de la dynamique dans le repère R_0 et on obtient

$$m\vec{u} = \vec{F}_r + \vec{F}_f$$

De plus, d'après la figure (2) on a :

$$\vec{F}_r = \begin{pmatrix} 0 \\ F_r \end{pmatrix} \text{ et } \vec{F}_f = \begin{pmatrix} -F_f \sin(\beta) \\ F_f \cos(\beta) \end{pmatrix}$$

27 octobre 2024

Enfin on sait que : $\vec{u} = u.\cos(\delta)\vec{x}_1 + u.\sin(\delta)\vec{y}_1$

Nous allons donc dériver ce vecteur en appliquant la formule de Bour :

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{u}}{dt}\bigg|_{R_0} &= \frac{d\vec{u}}{dt}\bigg|_{R_1} + \boldsymbol{\Omega}_{R_0/R_1} \times \vec{u} \\ &= \begin{pmatrix} -u\dot{\delta}\sin(\delta) + \dot{u}\cos(\delta) \\ u\dot{\delta}\cos(\delta) + \dot{u}\sin(\delta) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -u\dot{\theta}\sin(\delta) \\ u\dot{\theta}\cos(\delta) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -u\dot{\delta}\sin(\delta) + \dot{u}\cos(\delta) - u\dot{\theta}\sin(\delta) \\ u\dot{\delta}\cos(\delta) + \dot{u}\sin(\delta) + u\dot{\theta}\cos(\delta) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

En utilisant les valeurs de \vec{F}_r et \vec{F}_f on trouve :

$$\begin{cases} -u\dot{\delta}\sin(\delta) + \dot{u}\cos(\delta) - u\dot{\theta}\sin(\delta) = -F_f\sin(\beta) \\ u\dot{\delta}\cos(\delta) + \dot{u}\sin(\delta) + u\dot{\theta}\cos(\delta) = F_r + F_f\cos(\beta) \end{cases} \quad (3)$$

De plus l'équation du mouvement autour de l'axe vertical au centre de gravité est :

$$I_z\ddot{\theta} = L_f F_f \cos(\beta) - F_r L_r$$

En faisant ces opérations :

$$\begin{cases} -u\dot{\delta}\sin(\delta) + \dot{u}\cos(\delta) - u\dot{\theta}\sin(\delta) \\ u\dot{\delta}\cos(\delta) + \dot{u}\sin(\delta) + u\dot{\theta}\cos(\delta) \end{cases} \times \begin{pmatrix} \cos(\delta) \\ -\sin(\delta) \end{pmatrix}$$

Puis en soustrayant ces deux lignes on obtient donc :

$$\dot{\delta} = \frac{F_r \cos(\delta) + F_f \cos(\beta + \delta)}{mu} - \dot{\theta} \quad (4)$$

Grâce à la simplification des petits angles, on trouve l'évolution de l'angle de dérive global et de la vitesse de lacet :

$$\begin{cases} \ddot{\theta} = \frac{L_f F_f - L_r F_r}{I_z} \\ \dot{\delta} = \frac{F_r + F_f}{mu} - \dot{\theta} \end{cases} \quad (5)$$

D'autre part, en utilisant les relations données par la modélisation cinématique, on peut déterminer les angles de dérive avant et arrière tel que :

$$\tan(\delta_f + \beta) = \tan(\delta) + \frac{L_f \dot{\theta}}{u \cos(\delta)}$$

ainsi que

$$\tan(\delta_r) = \tan(\delta) - \frac{L_r \dot{\theta}}{u \cos(\delta)}$$

On applique ainsi la simplification des petits angles :

$$\delta_f = \delta + \frac{L_f \dot{\theta}}{u} - \beta \quad (6)$$

puis

$$\delta_r = \delta - \frac{L_r \dot{\theta}}{u}$$

De plus, on pose le modèle linéaire de pneumatique :

$$\begin{cases} F_f = -C_f \delta_f \\ F_r = -C_r \delta_r \end{cases} \quad (7)$$

Enfin, en combinant l'équation (5) avec la (7), on obtient un système d'équations non linéaires décrivant l'évolution de la dynamique du véhicule qui prends en compte les phénomènes de glissements longitudinal et latéral :

$$\begin{cases} \ddot{\theta} = \frac{-L_f C_f (\delta + \frac{L_f \dot{\theta}}{u} - \beta) + L_r C_r (\delta - \frac{L_r \dot{\theta}}{u})}{I_z} \\ \dot{\delta} = \frac{-C_r (\delta - \frac{L_r \dot{\theta}}{u}) - C_f (\delta + \frac{L_f \dot{\theta}}{u} - \beta)}{mu} - \dot{\theta} \end{cases} \quad (8)$$

Ou C_f et C_r sont respectivement les rigidités de dérive avant et arrière. Il est important de préciser que la vitesse ne doit pas être nulle, sinon le système d'équation (8) n'est plus viable. Finalement, on peut mettre (8) sous la forme d'un système linéaire à coefficients variables de la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \delta \end{bmatrix} + B\beta \quad (9)$$

Ce qui donne :

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-C_f L_f^2 + C_r L_r^2}{u I_z} & \frac{C_r L_r - C_f L_f}{I_z} \\ \frac{C_r L_r - C_f L_f}{mu^2} - 1 & -\frac{C_r + C_f}{mu} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \delta \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{C_f L_f}{I_z} \\ \frac{C_f}{mu} \end{pmatrix} \beta \quad (10)$$

Notons que les résultats que nous obtiendrons ont une précision qui diminue quand les angles augmentent du fait de l'approximation des petits angles réalisée précédemment.

1.2.1 Stabilité du modèle

Le modèle d'évolution de la dynamique latérale (10) est sous la forme d'un système linéaire à coefficients variables dont il faut étudier la stabilité. Nous émettrons ces hypothèses pour la

réalisation de cette étude :

- L'angle de dérive global est considéré faible tel que $\cos(\delta) \approx 1$.
- Les conditions de contact restent constantes soit $C_f = C_r = \text{constante}$.
- Les commandes de braquage β et de vitesse u sont constantes.

Pour discuter de la stabilité, on calcule les valeurs propres de la matrice A :

$$\chi_A = \det(\lambda I_2 - A) = \begin{vmatrix} \lambda + \frac{-C_f L_f^2 + C_r L_r^2}{mu I_z} & -\frac{C_r L_r - C_f L_f}{mu} \\ -\frac{C_r L_r - C_f L_f}{mu^2} + 1 & \lambda + \frac{C_r + C_f}{mu} \end{vmatrix}$$

On trouve :

$$\lambda_1 + \lambda_2 = -\frac{C_r(I_z + mL_r^2) + C_f(I_z + mL_f^2)}{mu I_z}$$

$$\lambda_1 \lambda_2 = \frac{C_r C_f (L_f + L_r)^2 + mu^2 (C_r L_r - C_f L_f)}{mu^2 I_z}$$

On sait que pour avoir un système stable, il faut :

$$\lambda_1 + \lambda_2 < 0 \quad (11)$$

$$\lambda_1 \lambda_2 > 0$$

On peut aisément affirmer que l'hypothèse (1) est toujours vraie car C_r et C_f sont tous deux positifs. La stabilité va donc dépendre de la valeur de $\lambda_1 \lambda_2$. On a $\lambda_1 \lambda_2 > 0$ si et seulement si :

$$\begin{cases} C_f L_f < C_r L_r \\ C_r C_f (L_f + L_r)^2 > mu^2 (C_f L_f - C_r L_r) \end{cases} \quad (12)$$

La première condition nous place dans un cas sous-vireur donc la stabilité est assurée. La deuxième condition nécessite d'imposer une vitesse limite car nous sommes dans un cas sur-vireur. On introduit alors :

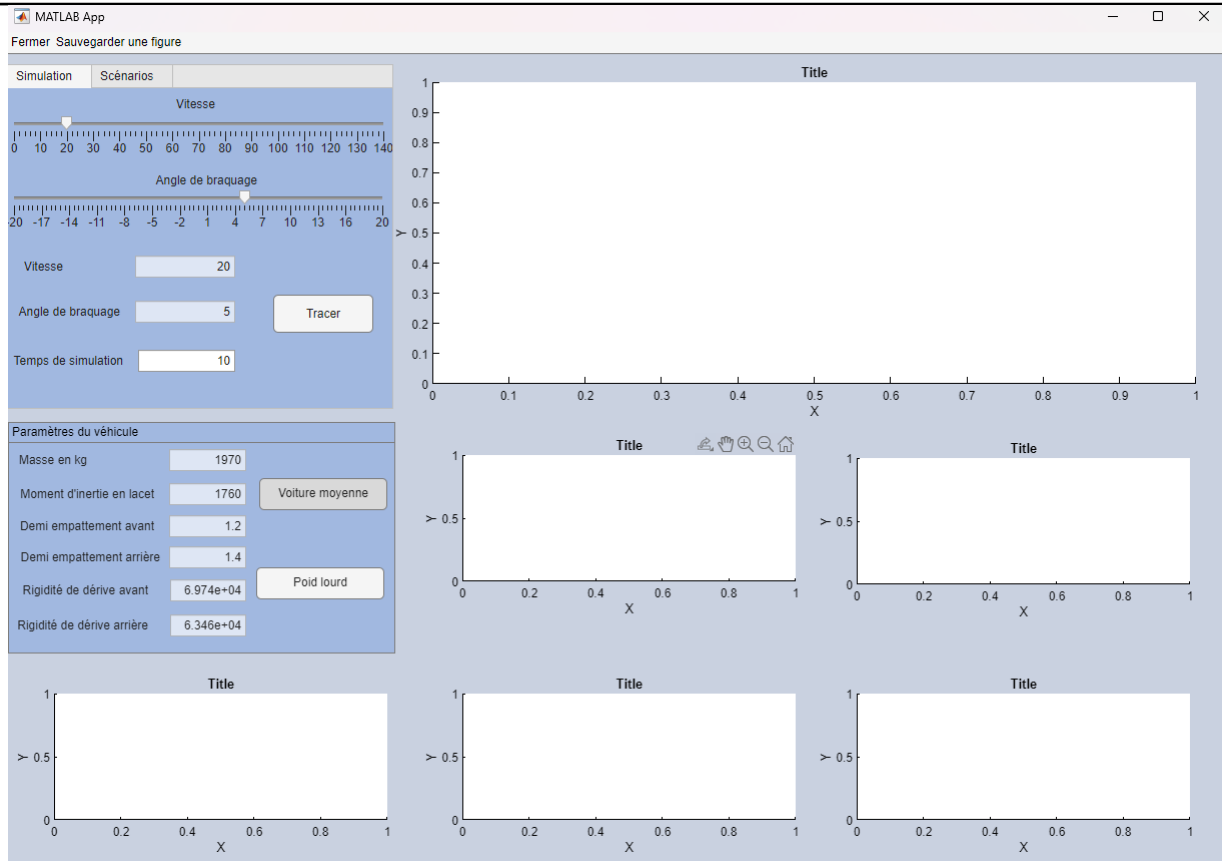
$$U_{limite} = \sqrt{\frac{C_r C_f (L_f + L_r)^2}{m(C_f L_f - C_r L_r)}} \quad (13)$$

Nous avons donc réunis les différents éléments nécessaires afin d'obtenir un système stable.

2 Programmation du simulateur

2.1 Interface graphique

Pour réaliser l'interface graphique du simulateur, nous avons utilisé l'environnement Designer de Matlab qui permet d'obtenir une interface à partir d'un fichier en langage Matlab pré-remplie. Cela peut ainsi permettre un gain de temps et rendre l'expression des résultats du script plus plaisante.(voir l'image ci-dessous).



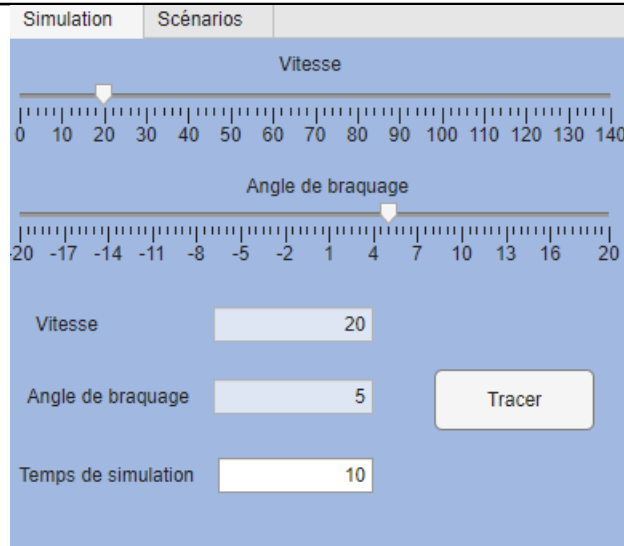
Interface graphique du simulateur

Nous allons alors vous présenter cette interface et son fonctionnement.

Paramètres du véhicule		
Masse en kg	1970	
Moment d'inertie en lacet	1760	Voiture moyenne
Demi empattement avant	1.2	
Demi empattement arrière	1.4	
Rigidité de dérive avant	6.974e+04	Poid lourd
Rigidité de dérive arrière	6.346e+04	

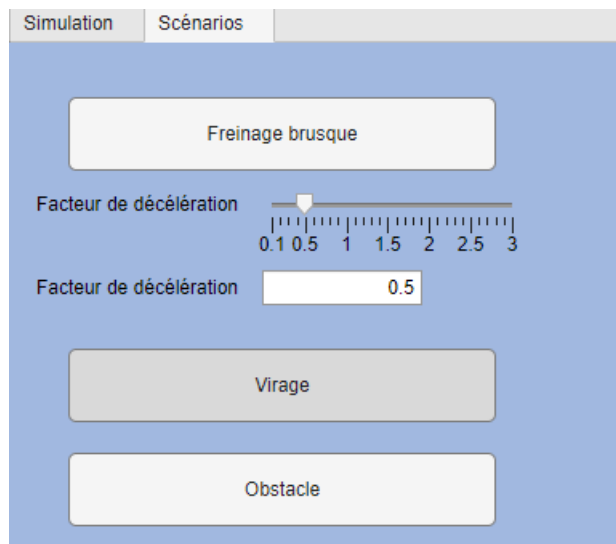
Informations du véhicule

En partant du haut à gauche, nous avons dans cet encadré les informations du véhicules sur lequel nous réalisons la modélisation. En premier nous avons la masse en kilogramme de l'ensemble du véhicule, le moment d'inertie en lacet, le demi empattement avant et arrière, la rigidité de dérive avant et arrière. Ces données sont établies dans le script AppDesigner et ne peuvent pas être modifiées. Ceci est alors uniquement à but informatif.



Saisie des paramètres variables

A l'intérieur de l'encadré du milieu, c'est ici que l'utilisateur va indiquer les paramètres variables de la simulation. Il doit indiquer la vitesse du véhicule en km/h à l'aide d'un slider dont la plage de valeurs est définies entre 0 et 140 km/h. Puis le même type de slider est également utilisé pour la saisie de l'angle de braquage au roue. La plage de valeur donnée va de -20° à $+20^{\circ}$. Les valeurs de vitesse et d'angle de braquage sont par la suite affichées dans les fenêtres portant le même nom. L'encadré "Temps de simulation" indique à l'utilisateur le temps qu'il souhaite pour la simulation. Il est important de rappeler que ces données doivent être cohérentes et comparable à un scénario réel sinon le modèle de simulation donnera un résultat aberrant. Un dernier bouton "Tracer" permet comme son nom l'indique de tracer les courbes pour la simulation souhaitées.



Saisie des paramètres variables

Enfin, dans le dernier encadré, l'utilisateur choisit le scénario qu'il souhaite voir être réalisé. Ceux-ci sont les suivants :

- Freinage brusque
- Virage normal
- Évitement d'un obstacle

Pour le cas du freinage brusque, un slider permet de gérer la puissance du freinage, plus le facteur de décélération est fort est plus le freinage sera puissant.

Aussi, l'utilisateur à le choix entre le modèle étudié lors de nos séances de cours où bien un autre véhicule de type poids-lourd pour lequel les paramètres changent.

Pour pouvoir lancer une simulation, l'utilisateur doit suivre ces étapes :

- 1) Choisir une vitesse.
- 2) Choisir un angle de braquage.
- 3) Choisir le scénario
- 4) Appuyer sur 'tracer'

Dès que l'utilisateur change de scénario, tous les graphes sont effacés.

2.2 Explication du code réalisé pour la simulation

Dans cette partie nous allons expliquer le programme Matlab utilisé pour cette simulation. Notre but n'est pas de revenir sur chaque ligne présente dans le script mais plutôt de donner une idée de la structure de celui-ci. Commençons par la création et l'initialisation des variables :

— Paramètres du Véhicule :

- Le code commence par initialiser les paramètres du véhicule tels que la masse, le demi-empattement avant et arrière, le moment d'inertie en lacet, et les rigidités de suspension avant et arrière.

— Paramètres de Simulation :

- Certains paramètres de simulation sont définis, tels que le temps total de simulation (`Paras.tf`) et l'intervalle de temps entre chaque itération (`Paras.dt`).

— Variable d'entrée :

- Les variables d'entrée du modèle sont initialisées, notamment la vitesse longitudinale (u) et l'angle de braquage (β).

— Plusieurs scénario sont possibles pour la simulation, voici une explication :

- Si l'option d'obstacle est activée (`comp.ObstacleButton.Value == 1`), le code simule une détection d'obstacle après un certain temps, modifiant ainsi le comportement du véhicule.
- Si l'option de virage est activée (`comp.VirageButton.Value == 1`), le code simule un scénario de virage avec des virages avec une vitesse et un angle de braquage des roues indiqués par l'utilisateur.
- Si l'option de freinage brusque est activée (`comp.FreinagebrusqueButton.Value == 1`), le code simule un freinage brusque comme il pourrait y avoir lors d'un cas d'urgence

— Initialisation des Variables :

- Les variables initiales, telles que les angles, positions, vitesses, et accélérations, sont définies pour la première itération de la simulation.

— Boucle de Simulation :

- La boucle principale de simulation calcule les états du véhicule à chaque itération en fonction du modèle choisi. Les équations du mouvement sont résolues pour obtenir les nouvelles positions, angles, vitesses, et accélérations. Le calcul de chaque valeur à chaque pas de temps nous permet d'obtenir toutes les informations du véhicule et ce à chaque instant. Nous permettons alors une meilleure précision du modèle, cependant, il est

important de rappeler que cela engendre plus de calcul. Dans notre cas la complexité temporelle n'est pas très élevée et cela ne pose pas de problème, en revanche, pour des problèmes plus complexes et demandant plus de calculs, cette méthode peut nécessiter des ajustements pour l'optimiser. Le code sera donné en annexe afin d'éviter de surcharger ce rapport.

Ce code a été premièrement réalisé avec l'aide d'un fichier Matlab *.m* pour nous assurer du bon fonctionnement de la boucle de simulation et donc du code en général. Une fois ceci assuré, nous avons transféré ce code dans le module AppDesigner intégré à Matlab. Nous avons fait le choix d'utiliser AppDesigner plutôt que Guide du fait de sa meilleure prise en main et son aspect plus moderne.

AppDesigner est un outil permettant de réaliser des interfaces graphiques (GUI) directement depuis Matlab. Ce module est alors très intéressant car il permet aisément de les réaliser et ce sans formations préalables dans le domaine de l'interface homme-machine. Cependant, il est important de préciser que AppDesigner est exclusivement dédié à Matlab. Son utilisation semble alors limitée et la personnalisation l'est également. Pour la réalisation d'interfaces plus complexes, nous pourrions utiliser la bibliothèque Tkinter de Python ou bien React de Javascript.

3 Analyse des résultats obtenus

3.1 Cas du scénario d'un virage à vitesse constante

Le premier modèle que nous allons étudier correspond au scénario d'un virage. La situation est la suivante : la voiture accélère jusqu'à la vitesse indiquée par le slider, tout en accélérant, l'angle de braquage augmente pour atteindre sa valeur maximale. On peut donc voir la trajectoire. Pour cet exemple, les paramètres de la simulation sont les suivants :

Paramètres du véhicule	
Masse en kg	1970
Moment d'inertie en lacet	1760
Demi empattement avant	1.2
Demi empattement arrière	1.4
Rigidité de dérive avant	6.974e+04
Rigidité de dérive arrière	6.346e+04

Voiture moyenne
 Poid lourd

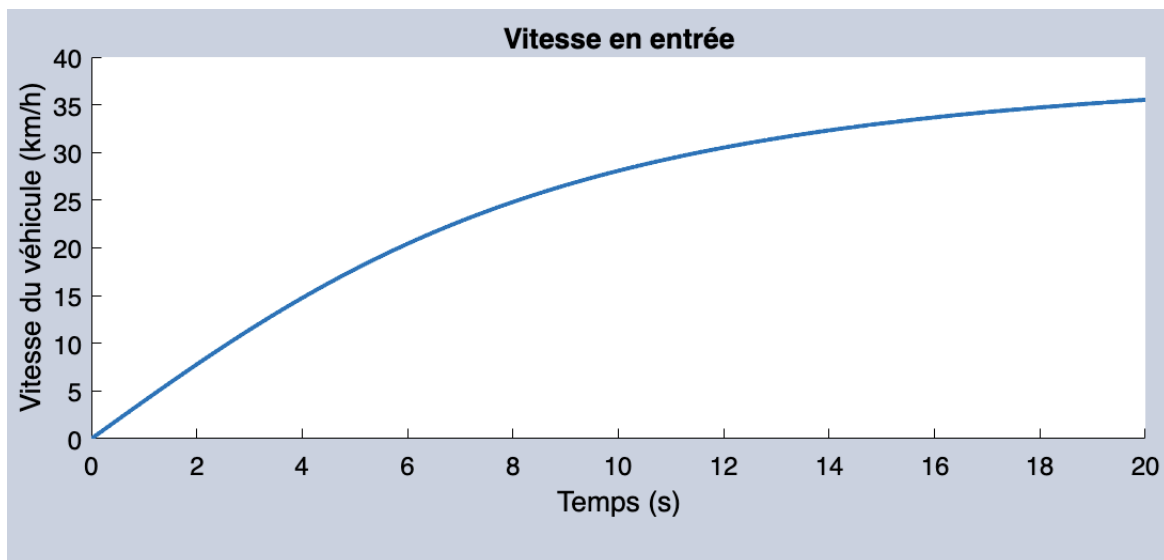
Informations du véhicules

Ceux-ci correspondent à un véhicule de tourisme lambda. Pour cette simulation, nous avons choisi une vitesse d'environ 40 km.h^{-1} et un angle de braquage aux roues de 8.5 degrés. Cela correspond à $8.5 * 20 = 170$ degrés sur le volant soit presque un arc de cercle. Nous avons fait en sorte de simuler la prise d'un rond-point de manière légèrement forte mais en restant tout de même réalisable. Le temps de simulation choisi est de 20 secondes.

Vitesse	<input type="text" value="39.9"/>
Angle de braquage	<input type="text" value="8.658"/>
Temps de simulation	<input type="text" value="20"/>

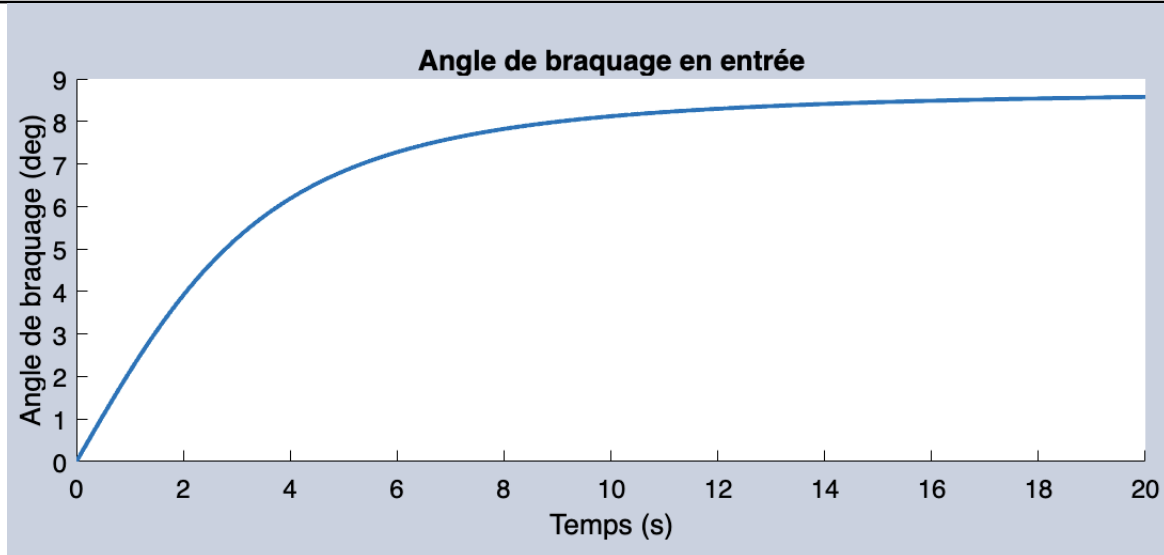
Saisie des paramètres variables

Sur notre interface, nous affichons la valeur de la vitesse, nous voyons alors que celle-ci augmente graduellement de 0 à la valeur d'entrée soit 40km.h^{-1} . Le but est de simuler un comportement normal d'un conducteur qui entre dans un giratoire. Par ailleurs, cette vitesse est atteinte au bout d'environ 15 secondes.



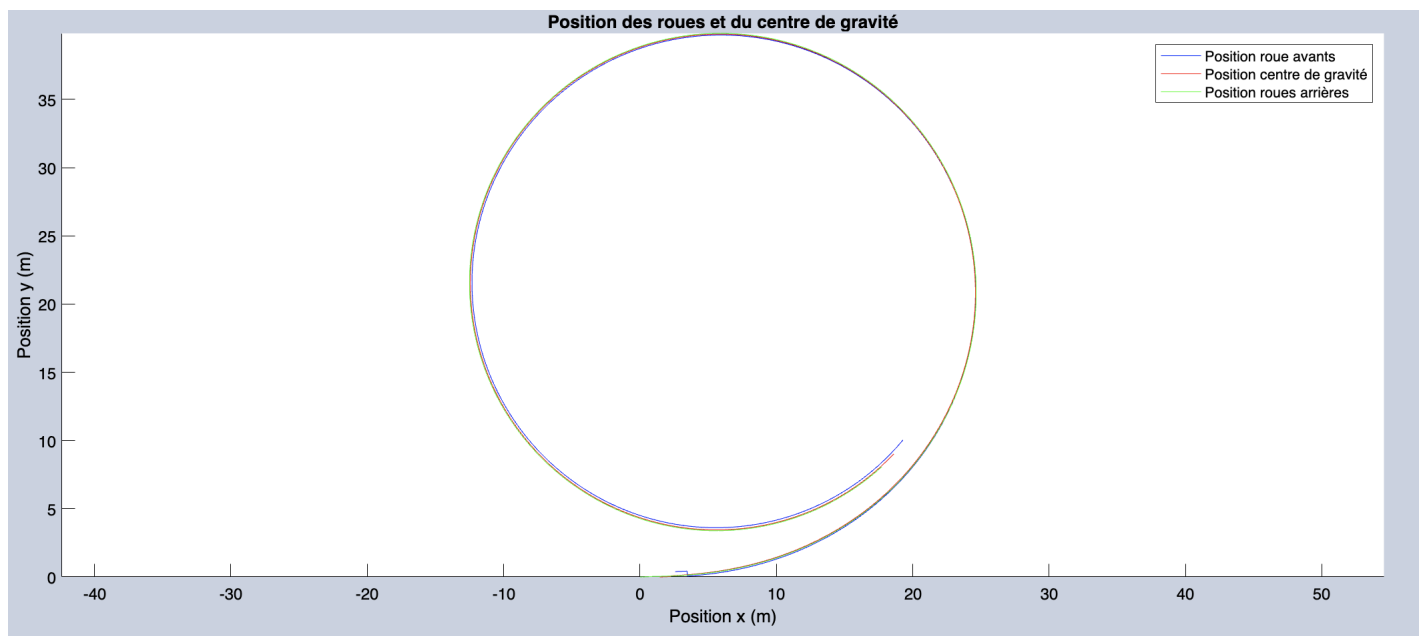
Courbe de vitesse

Ensuite, nous affichons la valeur de l'angle de braquage en fonction du temps, on voit que au bout de 10 secondes, l'angle vaut environ 9 degrés comme indiqué par le slider. Notre objectif était également de mettre une valeur qui augmente progressivement comme il serait le cas dans une situation réelle faite par un conducteur.



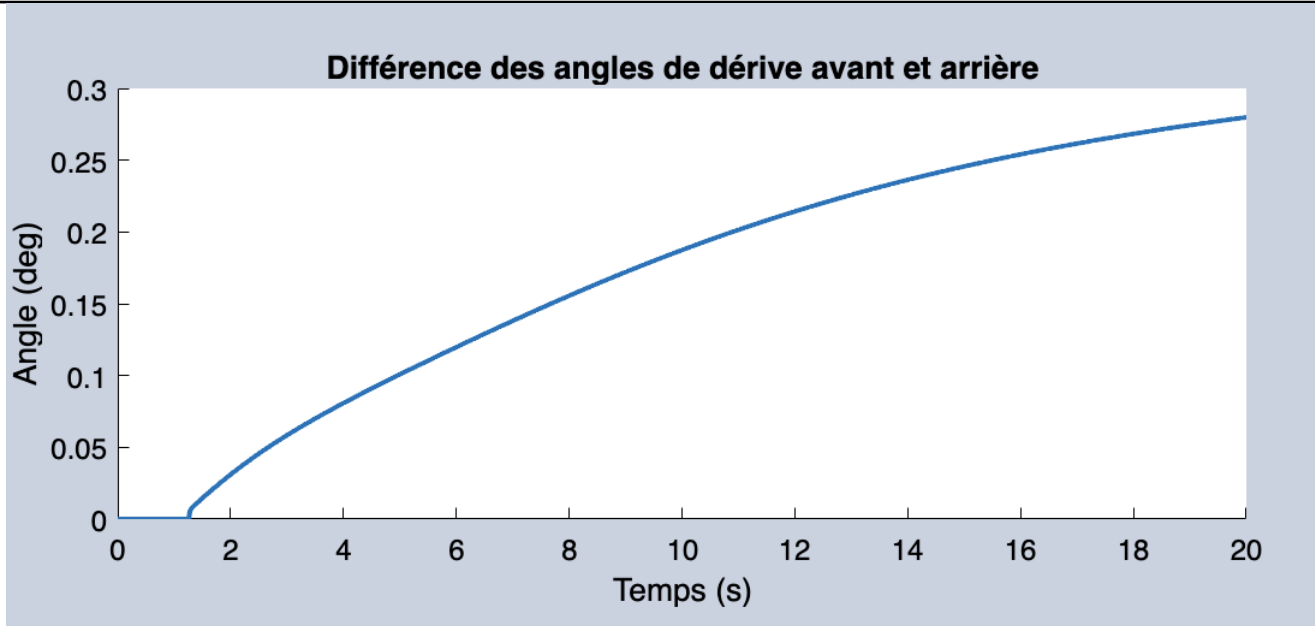
Courbe d'angle de braquage

Le prochain graphe correspond à l'affichage de la position des roues avant, arrières et du centre de gravité. Comme nous pouvons le constater, la trajectoire du véhicule s'apparente à un cercle ce qui était attendu car les valeurs d'entrées ont été choisis pour cela. Nous pouvons aussi remarquer que le véhicule effectue un peu plus d'un tour, ceci est dû au fait que le temps de simulation est de 20 secondes et que le véhicule a alors le temps de faire un trajet plus long. On voit que les courbes se superposent quasiment, cela signifie que le véhicule garde une trajectoire contrôlée et possède ainsi un caractère sous-vireur.



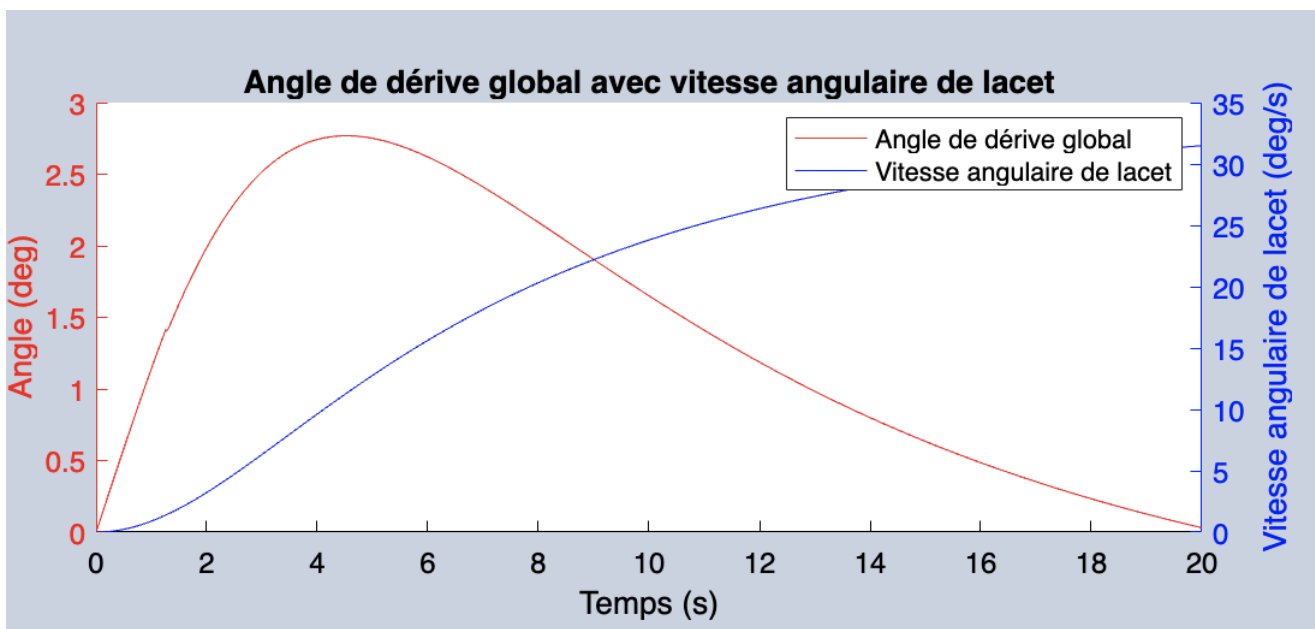
Courbe de la trajectoire

Comme indiqué sur le graphe, la valeur de DA est toujours supérieure à 0. Cela signifie que la valeur absolue de l'angle de dérive avant est supérieure à la valeur absolue de l'angle de dérive arrière. Par conséquent, nous pouvons conclure que le véhicule a un comportement sous-vireur. Cela nous rassure car un véhicule de tourisme doit toujours être sous-vireur sous peine d'avoir un comportement dangereux pour les passagers et les autres usagers de la route.



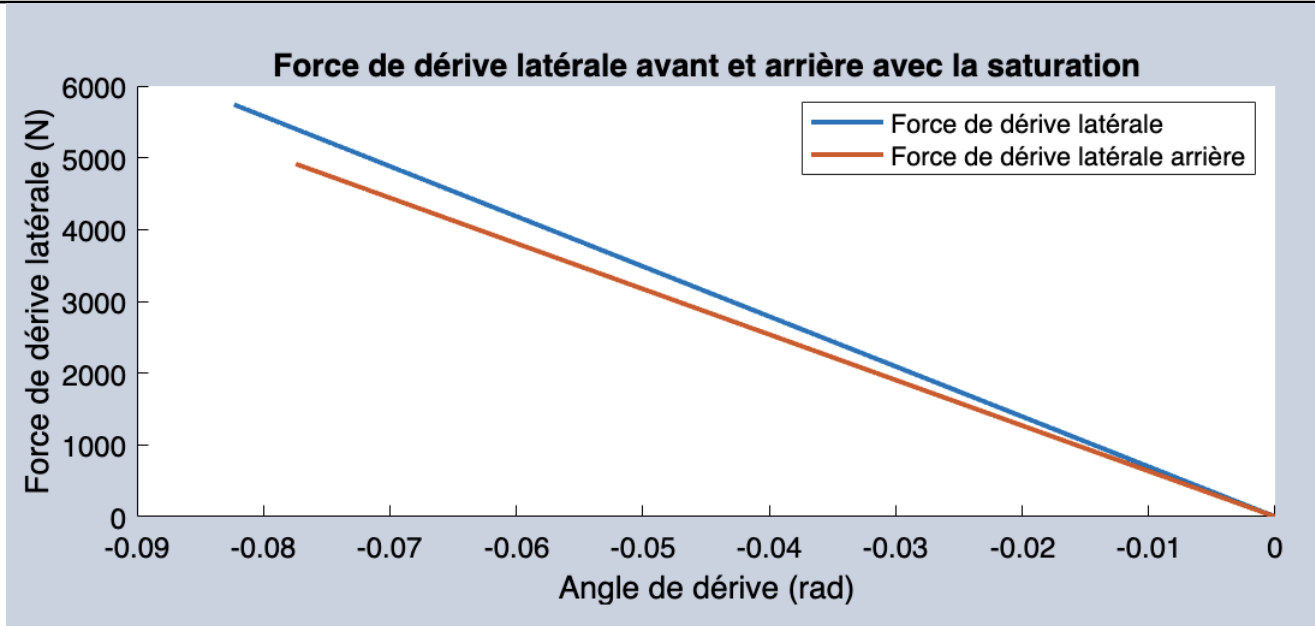
Différence entre la dérive avant et arrière

Sur le graphe suivant, nous affichons l'angle de dérive global ainsi que la vitesse angulaire de lacet. Nous voyons que la vitesse angulaire de lacet augmente de manière continue au cours du temps. Elle atteint un maximum de 30 degrés par seconde. La valeur de l'angle de dérive global présente un pic à 3 degrés au temps $t = 5$ secondes et diminue ensuite jusqu'à la valeur 0. Nous rappelons également que l'angle de dérive global est indépendant de l'angle de dérive avant et arrière. Cela se voit bien lorsque l'on réalise l'épure de Jeantaud.



Angle de dérive global et vitesse angulaire de lacet

Enfin, le dernier graphe représente la force de dérive latérale avant et arrière. Nous voyons que la force est décroissante.



Force de dérive saturée

En résumé, la simulation du véhicule dans un rond-point avec une vitesse croissante et un angle de braquage progressif présente une réponse cohérente et réaliste par rapport au modèle. La trajectoire circulaire observée confirme le comportement attendu du modèle, soulignant la fiabilité de la simulation.

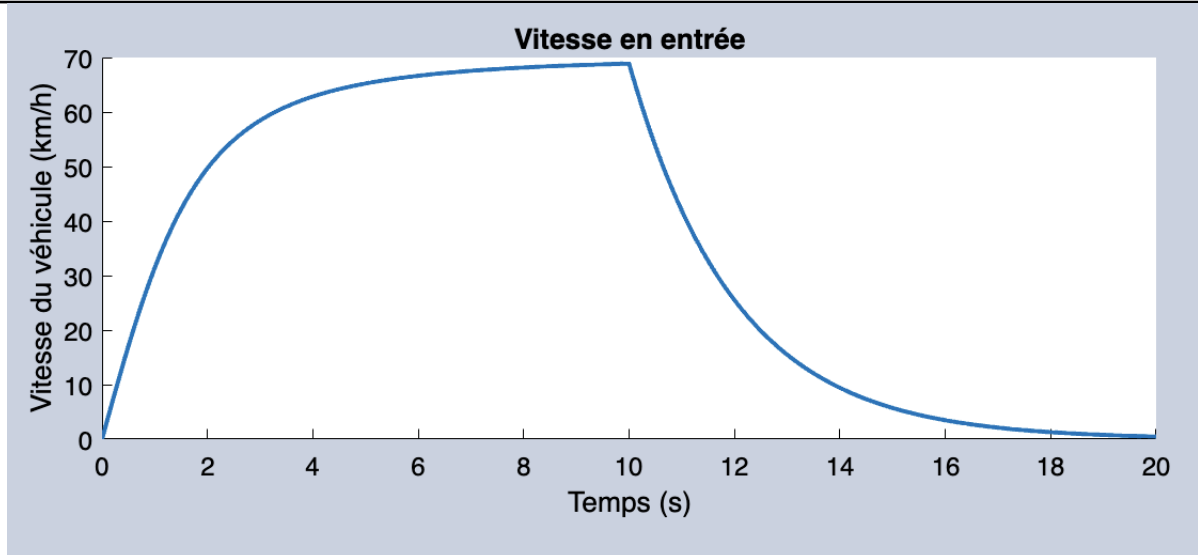
3.2 Cas du scénario du freinage brusque

Pour ce scénario, nous allons expliquer nos résultats obtenus pour le cas du scénario d'un freinage brusque. Nous avons choisis pour cette situation une vitesse d'entrée de 70 km.h_{-1} et un angle de braquage de 8.50 degrés. Le temps de simulation choisi est de 20 secondes. Voici la fenêtre correspondant à l'affichage des paramètres.

Vitesse	70
Angle de braquage	8.507
Temps de simulation	20

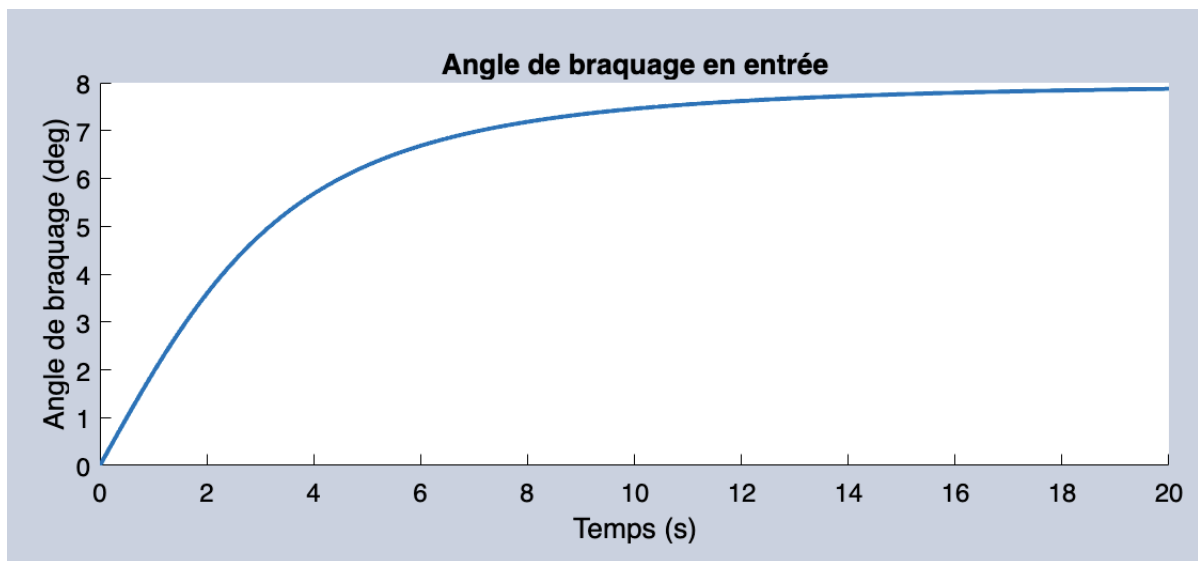
Saisie des paramètres variables

La première chose à vérifier pour s'assurer du bon fonctionnement du scénario est de vérifier si la vitesse diminue bien au cours du temps. Comme nous pouvons le voir sur ce graphe, la vitesse augmente jusqu'à 70 km.h_{-1} et d'un seul coup elle chute rapidement jusqu'à atteindre 0. Par ailleurs, le coefficient de décélération utilisé vaut ici 1. Cela nous rassure dans un premier temps sur le scénario étudié.



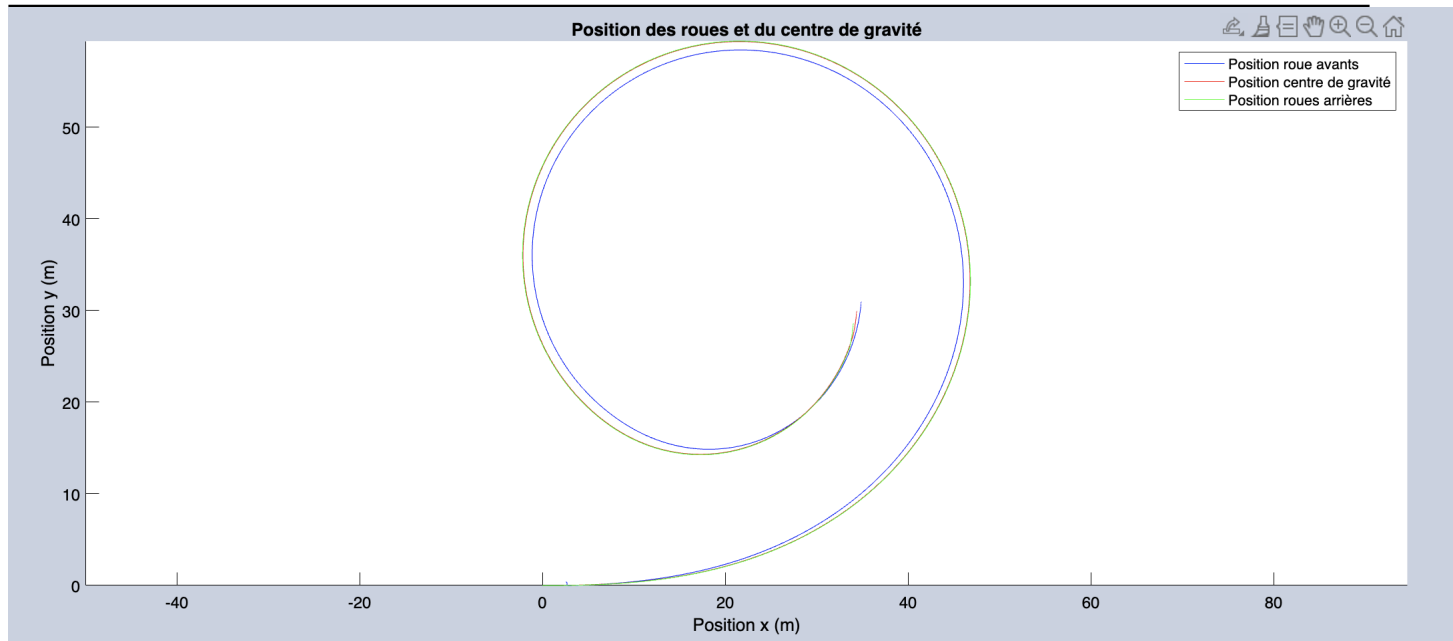
Courbe de vitesse

Pour l'angle de braquage en entrée, nous avons choisi comme dit précédemment une valeur de 8 degrés. Comme nous pouvons le voir sur le graphe, l'angle augmente graduellement jusque sa valeur finale. Par ailleurs, il atteint cette valeur au bout de 10 secondes.



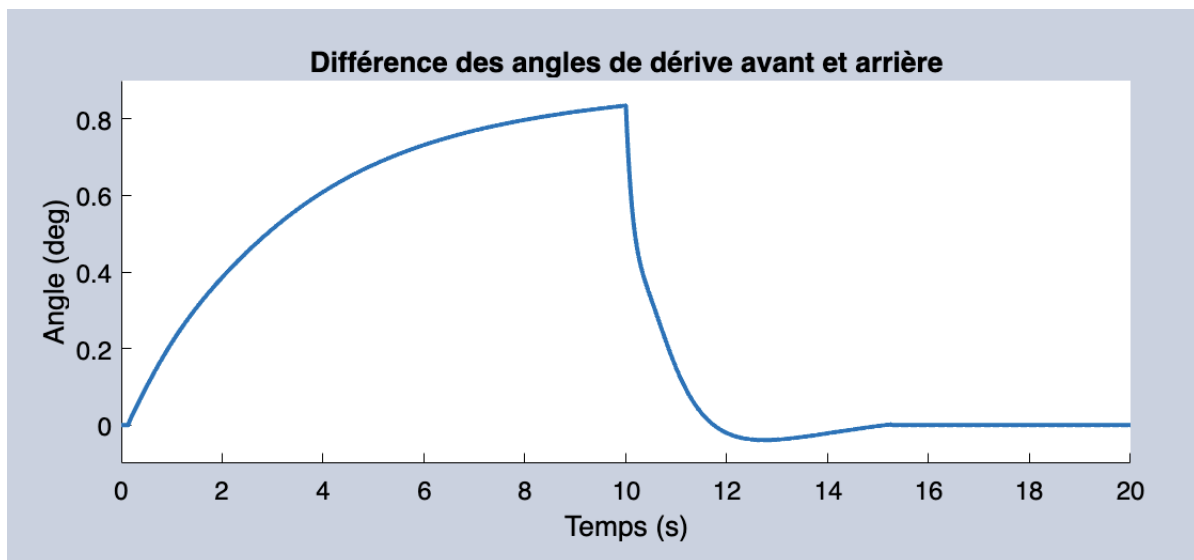
Courbe d'angle de braquage

Ensuite, nous affichons la position des roues et du centre de gravité en fonction de x et y. Nous voyons bien ici que par rapport à la situation étudiée juste avant, le trajet est différent et le véhicule rentre vers l'intérieur. Cela est dû au fait qu'il perde de la vitesse. De plus, nous pouvons remarquer un léger décalage entre les roues avant et arrière, cela met sûrement en lumière le fait que le véhicule soit passé d'un comportement sous-vireur à sur-vireur car il y a eu une perte de contrôle dû à la saturation des pneumatiques dans le sens longitudinal. En effet, nous savons que lorsqu'un pneu est saturé dans une direction, il ne peut plus transmettre d'effort dans une autre direction.



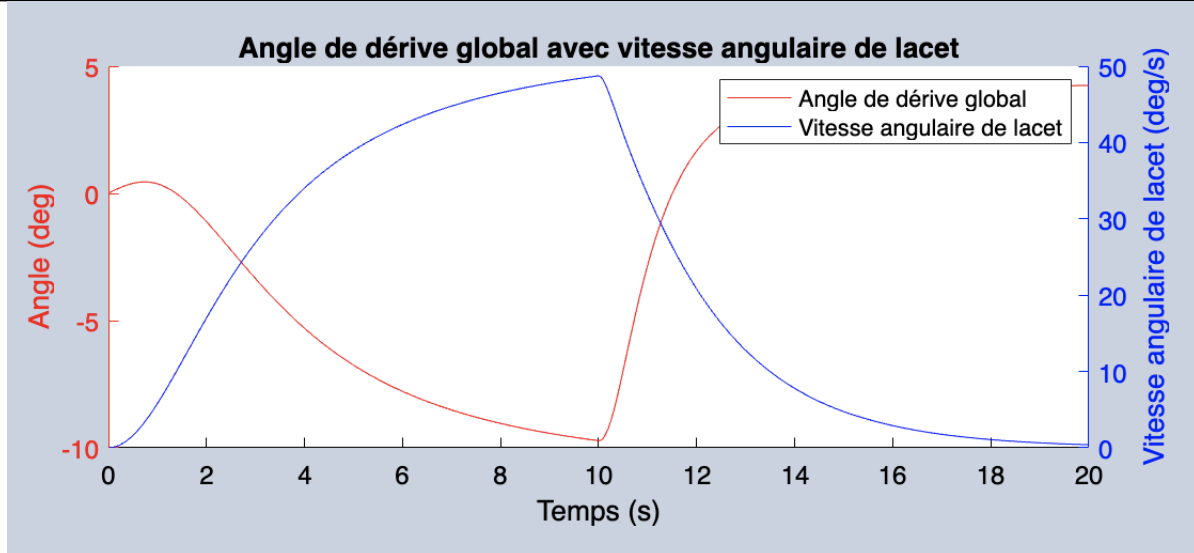
Courbe de la trajectoire

Pour en savoir plus sur le comportement de notre véhicule durant cette simulation, nous affichons ensuite la différence d'angle de dérive avant et arrière (DA). On voit que la différence est en premier lieu légèrement positive donc le véhicule est dans un comportement sous-vireur. En revanche, nous voyons que à $t = 10$ secondes, soit au moment où la vitesse est diminué, nous pouvons apercevoir que la courbe passe sous l'axe des abscisses et donc DA devient alors négatif. Nous mettons alors ici en lumière le caractère sur-vireur du véhicule. Nous voyons que après ce léger pic négatif, la valeur revient vers 0 et de manière stable, cela est normal car le véhicule est sur le point de s'arrêter.

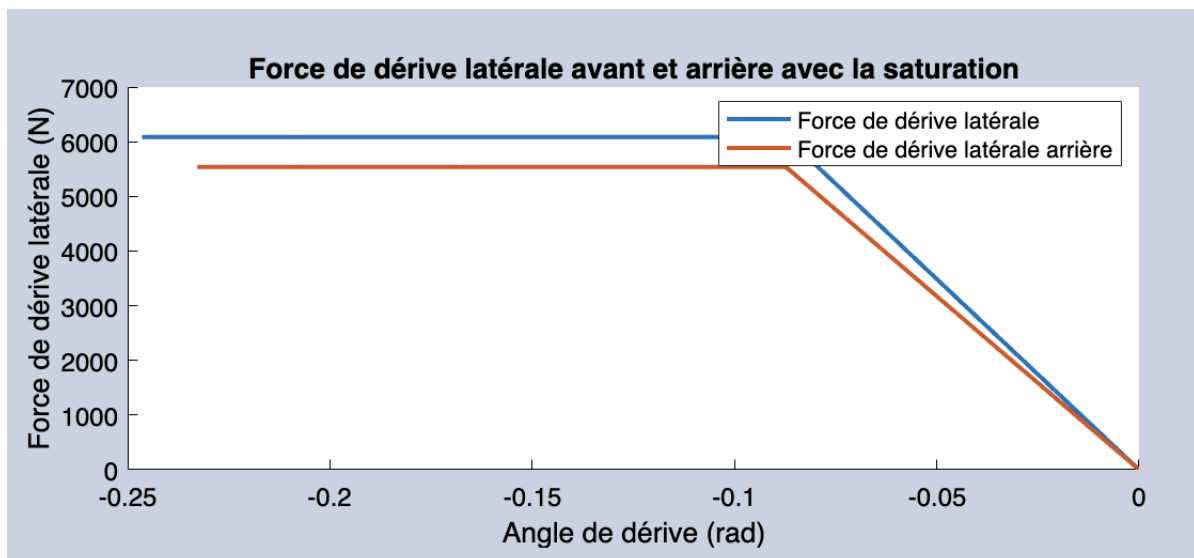


Différence entre la dérive avant et arrière

Ensuite, nous pouvons nous pencher sur l'angle de dérive global et la vitesse angulaire de lacet. Nous voyons que le signe de l'angle de dérive global est négatif, cela signifie que le véhicule n'arrive pas à suivre la consigne de braquage que l'on lui donne et c'est de la que le décalage des roues avant et arrières provient. Pour la vitesse angulaire de lacet, nous pouvons observer une chute de sa valeur, passant de 5 à 0 degrés et ce au moment où le freinage a lieu. Cela met en évidence le ralentissement de la rotation du véhicule sur son axe de lacet. Cela est dû à la perte de l'énergie cinétique rotative causée par le freinage.



Angle de dérive global et vitesse angulaire de lacet



Force de dérive saturée

Enfin, pour les forces de dérive latérales avant et arrières, on voit que les forces sont constantes jusqu'à un angle de dérive de -0.1 degrés puis elles chutent jusqu'à une valeur nulle. On voit que cette valeur est maximale pour une valeur de l'angle de dérive qui est la plus basse. Cela montre que lorsque le véhicule perd le contrôle, les forces s'exercent d'autant plus sur les côtés de notre véhicule.

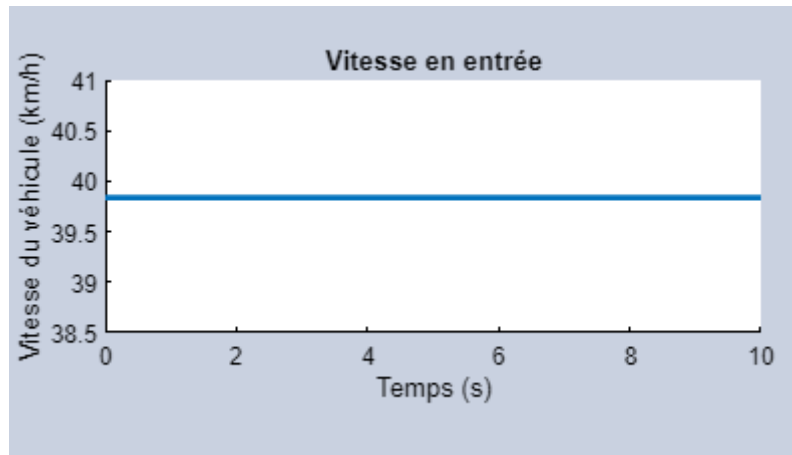
Ce scénario nous a alors permis de mettre en évidence un cas où le véhicule était sur-vireur. Nous allons également présenter dans la section suivante un autre scénario où le véhicule devient aussi sur-vireur.

3.3 Cas du scénario de l'évitement d'obstacle

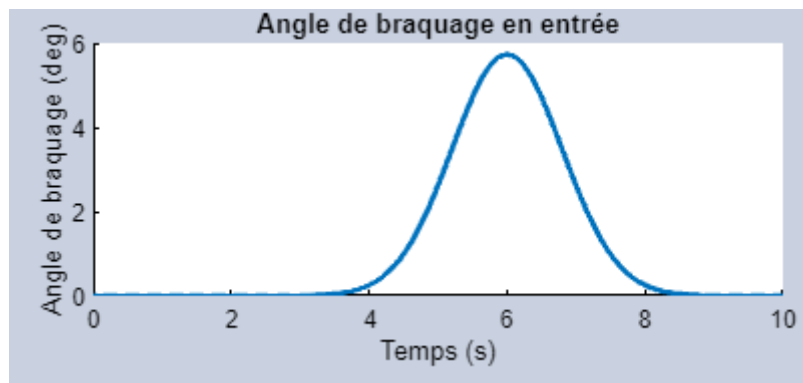
Pour ce dernier scénario, nous avons choisis de représenter une situation dans laquelle le conducteur évite un obstacle. Cela pourrait s'apparenter à un changement de voie brutal. Nous avons choisis une vitesse de 40 km.h_{-1} , l'angle de braquage pour ce scénario n'est pas modifiable car le véhicule va dans un premier temps en ligne droite, puis évite l'obstacle et enfin doit revenir sur sa

trajectoire initiale. Le temps de simulation est de 10 secondes. Cette situation pourrait s'apparenter au cas où un conducteur évite un piéton ou autres en ville.

Premièrement nous affichons encore une fois la vitesse d'entrée et l'angle de braquage. La vitesse part de environ 40 km.h_{-1} et reste stable pendant toute la durée de la simulation. Concernant l'angle de braquage, nous voyons qu'il est premièrement nul jusqu'à 4 secondes. Puis il augmente jusqu'à 6 degrés à 6 secondes. Enfin il revient à 0 au bout de 8 secondes. Nous avons eu des problèmes pour la réalisation de cette commande car nous n'avons pas réussi à trouver une série de valeur de Bêta tel que cela représenterait notre scénario. Cette erreur sera bien entendu expliquée lors de l'explication de la trajectoire.

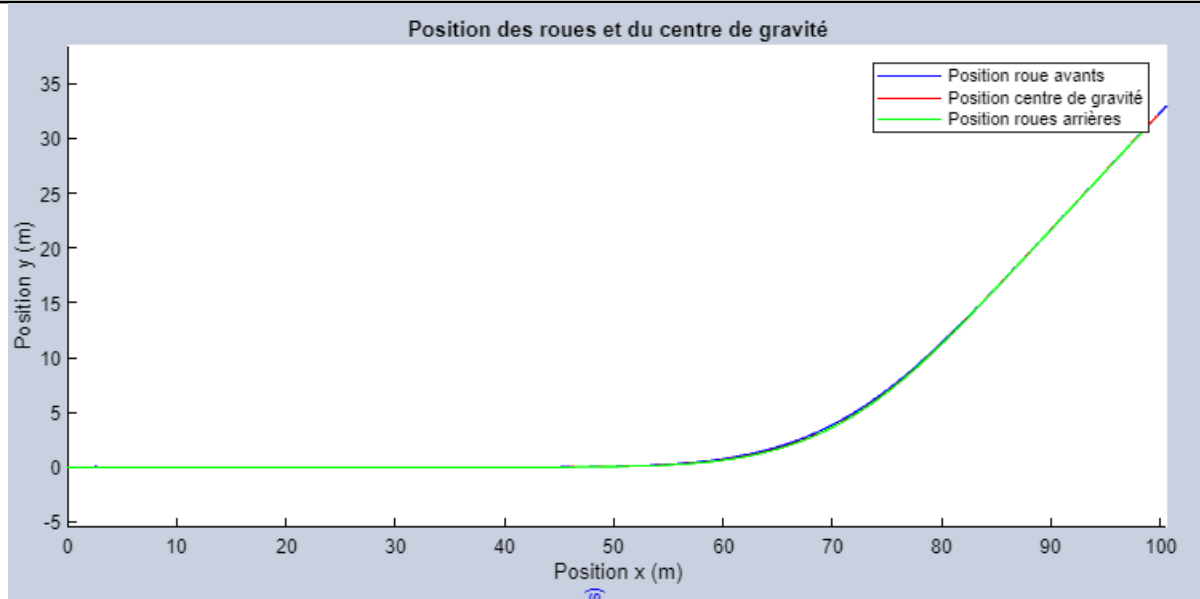


Courbe de vitesse



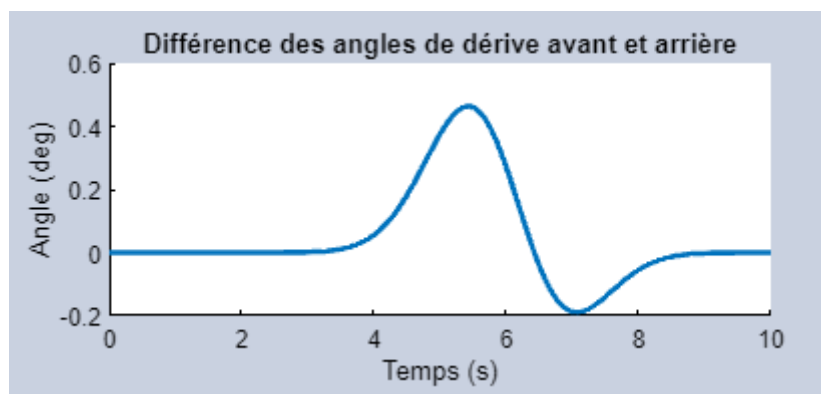
Courbe d'angle de braquage

La figure suivante représente la position des roues en fonctions de x et y . Comme vous pouvez le constater, la trajectoire décrite n'était pas celle que nous voulions implémenter. Malgré ceci, nous avons décidé de la conserver car elle permet tout de même des analyses. Nous voyons que le véhicule avance linéairement jusqu'à $x = 50$ mètres puis qu'il commence à tourner vers la gauche jusqu'à $x = 80$ mètres, et enfin il reprend une trajectoire linéaire mais mal orientée. Cependant, nous voyons que lors du braquage des roues, les courbes bleues, vertes et rouges ne sont plus superposées, cela indique alors qu'il y a eu une perte de contrôle du véhicule à ce moment précis. Pour en être sûr, nous allons inspecter la courbe représentant la différence d'angle de dérive avant et arrière.



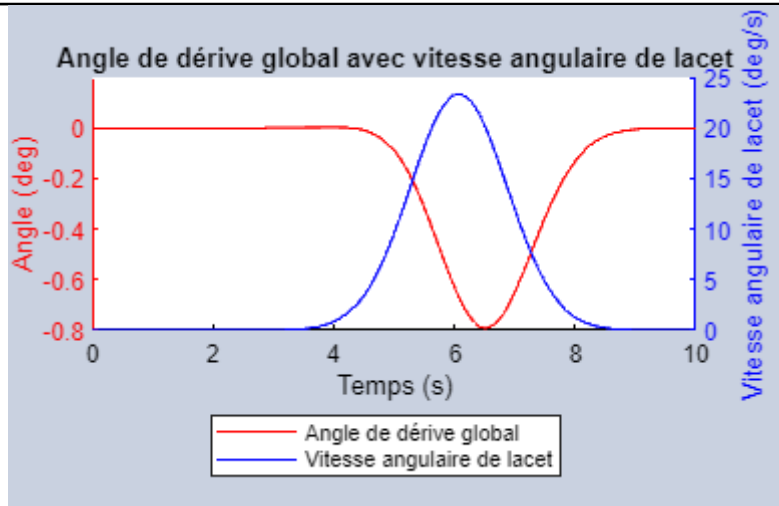
Courbe de la trajectoire

Nous voyons ici que lorsque le véhicule se met à tourner, la différence devient légèrement positive, puis elle chute jusque -0.2 degrés. C'est à ce moment précis que le véhicule a perdu son caractère sous-vireur et qu'il a alors adopté un comportement sur-vireur.

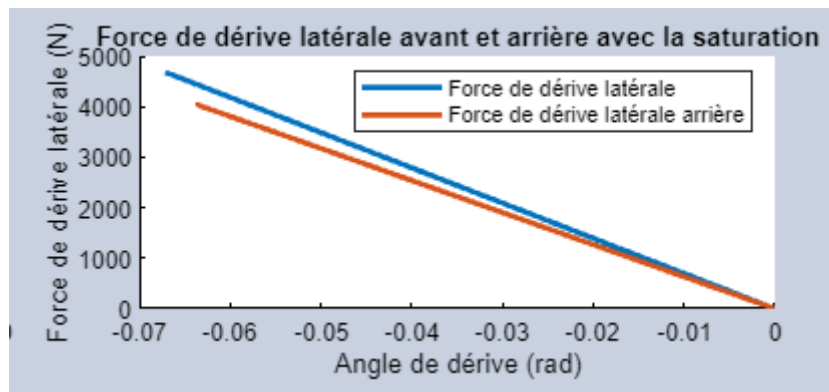


Différence entre la dérive avant et arrière

Ensuite, nous pouvons nous pencher sur l'angle de dérive global et la vitesse angulaire de lacet. Nous voyons que le signe de l'angle de dérive global est négatif, cela signifie que le véhicule n'arrive pas à suivre la consigne de braquage que l'on lui donne et c'est de là que le décalage des roues avants et arrières provient. Pour la vitesse angulaire de lacet, nous pouvons observer une chute de sa valeur, passant de 5 à 0 degrés et ce au moment où le freinage a lieu. Cela met en évidence le ralentissement de la rotation du véhicule sur son axe de lacet. Cela est dû à la perte de l'énergie cinétique rotative causée par le freinage.



Angle de dérive global et vitesse angulaire de lacet



Force de dérive saturée

Enfin, pour les forces de dérive latérales, nous pouvons remarquer qu'elles possèdent un maximum quand la différence entre l'angle de dérive avant et arrière est négative et est la plus petite. Ce qui signifie que les forces sont maximales au moment où le véhicule devient sur-vireur. De plus nous voyons qu'elles valent 0 une fois que l'angle de dérive est nul.

Pour conclure, nous avons pu tirer des conclusions intéressantes de ce modèle et ce même si nous ne sommes par parvenu à faire ce que nous voulions.

Conclusion

La simulation dynamique des véhicules routiers joue un rôle crucial dans le domaine de l'ingénierie automobile. Ce projet s'inscrit dans cette perspective, visant à développer une simulation dynamique et cinématique d'un véhicule routier à l'aide de MATLAB, tout en intégrant une interface graphique conviviale.

Le modèle du véhicule prend en compte divers paramètres tels que la masse, les caractéristiques de dérive, la géométrie, et d'autres facteurs influents. L'objectif est de modéliser les dynamiques du véhicule, y compris les mouvements de lacet, les angles de dérive avant et arrière, la trajectoire et la vitesse instantanée. Certaines hypothèses simplificatrices ont été formulées pour rendre le problème étudié plus gérable.

Afin de rendre la simulation plus accessible, une interface graphique a été créée à l'aide du module AppDesigner de MATLAB. Cette interface permet à l'utilisateur de définir les différents paramètres du véhicule, de déclencher la simulation et d'observer les résultats de manière intuitive.

Le processus de modélisation du véhicule, la mise en œuvre de la simulation dynamique et cinématique, ainsi que la création de l'interface graphique ont été détaillés dans ce rapport.

En ce qui concerne l'analyse des résultats, un scénario de virage à vitesse constante a été étudié.

Les courbes de vitesse, d'angle de braquage, de trajectoire, d'angle de dérive global, de vitesse angulaire de lacet et de forces de dérive latérale ont été présentées et discutées. Les résultats de la simulation reflètent un comportement cohérent avec les attentes du modèle, renforçant ainsi la validité de la simulation.

Ce projet offre une base solide pour la simulation dynamique des véhicules routiers, avec la possibilité d'étendre et d'améliorer le modèle en tenant compte de scénarios plus complexes et de paramètres plus spécifiques. L'interface graphique facilite l'utilisation de la simulation, rendant cette approche accessible à un public plus large.

Nous tenons tout de même à rappeler que le modèle bicyclette que nous avons utilisé simplifie grandement les calculs mais engendre aussi une forte altération de la réalité. Le simple fait d'avoir les roues collées au sol idéalise fortement le comportement du véhicule. En effet, nous savons que dans un virage pris de manière forte, il y aura un transfert de masse transversal et que l'on risque d'avoir une roue qui se surélève légèrement. Toutes les hypothèses simplificatrices prises ont donc rendues le comportement de notre véhicule 'idéal', les résultats doivent donc être exploités en tenant compte de cela.

Bibliographie

[1] Mathieu RICHIER