

République Algérienne Démocratique et Populaire  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR,  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

## Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Automatique

### Mémoire de Master en Automatique

Thème

**Véhicule autonome : Développement d'un nouvel  
Algorithme de régulation de vitesse par mode glissant**

**MELLAH Brahim Redouane**

Sous la direction de

M. H.CHEKIREB

M. N.OUADAH

Présenté et soutenu publiquement le 29 juin devant le Jury composé de

Président	M. R.ILLOUL	(ENP)
Examineur	M. O.STIHI	(ENP)
Promoteur	M. H.CHEKIREB	(ENP)

ENP 2017



République Algérienne Démocratique et Populaire  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR,  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

## Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Automatique

### Mémoire de Master en Automatique

Thème

**Véhicule autonome : Développement d'un nouvel  
Algorithme de régulation de vitesse par mode glissant**

**MELLAH Brahim Redouane**

Sous la direction de

M. H.CHEKIREB

M. N.OUADAH

Présenté et soutenu publiquement le 29 juin devant le Jury composé de

Président	M. R.ILLOUL	(ENP)
Examineur	M. O.STIHI	(ENP)
Promoteur	M. H.CHEKIREB	(ENP)

ENP 2017

## ملخص:

حوادث المرور عبر الطرقات في العالم تقتل كل عام حوالي 2.1 مليون شخص. انخفاض اليقظة يعد السبب الأول في هذه الحوادث. خاصة على مستوى الطرق السريعة، لهذا السبب فإن دمج أنظمة مساعدة على القيادة أصبح ضروريا. نظام تثبيت السرعة هو أحد أهم الأنظمة المساعدة على القيادة، الذي يمكنه أن يلعب دورا مفتاحيا من أجل التقليل أو حتى القضاء التام على حوادث الطرقات.

الهدف من هذا المشروع هو تطوير وظيفة (CC نظام التحكم في السرعة) ، باستعمال ماتلاب CC. Matlab هو نظام تثبيت السرعة للمركبة المستقلة من طرف السائق أو لافقتات الحد الأقصى للسرعة في الطرقات. سيتم تطبيق استراتيجية السيطرة أولا على نماذج مركبة ديناميكية في SIMULINK ومن ثم التحقق من صحتها على جهاز محاكاة قيادة " TORCS " الذي يحتوي على نماذج معقدة للسيارات. **كلمات مفتاحية:** نموذج سيارة، التحكم في سرعة السيارة، القيادة المستقلة.

## Abstract:

Road accidents worldwide kill about 1.2 million people each year. The decline in vigilance is the main cause of accidents especially on motorways, which is why the integration of driving assistance systems has become indispensable. Cruise Control (CC) is one of the leading driving assistance systems that can play a key role in minimizing and even eliminating traffic accidents.

This objective of this work is to develop, under Matlab / Simulink, the CC (Cruise Control) function, which is a cruise control for autonomous vehicles. The control strategy will be applied first on dynamic models of vehicles under Simulink and then validated on the "TORCS" driving simulator which integrates complex models of cars.

**Keywords:** Distance adjustment, stop and go, TORCS, vehicle model, feedback linearization, sliding control.

## Résumé :

Les accidents de la route dans le monde tuent chaque année environ 1,2 million de personnes. La baisse de vigilance est la première cause d'accident surtout sur autoroute, c'est pourquoi l'intégration de systèmes d'aide à la conduite est devenue indispensable. Le Cruise Control (CC) est l'un des principaux systèmes d'aide à la conduite, qui peut jouer un rôle clé pour la minimisation et même l'élimination complète des accidents de circulation.

Ce projet consiste à développer, sous Matlab/Simulink, la fonction CC (Cruise Control), qui est un régulateur de vitesse pour véhicule autonome. La stratégie de contrôle sera appliquée en premier sur des modèles dynamique de véhicules sous Simulink et ensuite validé sur le simulateur de conduite « TORCS » qui intègre des modèles complexes de voitures.

**Mots-clés :** CC, Réglage de vitesse, TORCS, modèle de véhicule, Lyapunov, mode glissant.

# Remerciement

Tout d'abord nous tenons à remercier dieu, le tout puissant de nous avoir donné la force morale, physique et l'aide pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer tous nos vifs remerciements et nos profondes Gratitudes à nos promoteurs : Pr H.CHEKIREB, Dr D.REGUIEG, Pr N.OUADAH, pour leurs disponibilités, aides et bonnes humeurs durant toutes les étapes de ce projet. Leurs dévouements, conseils scientifiques et suivis, nous ont permis de mener notre travail à terme.

Nous remercions également Monsieur R.KECHAD pour ses conseils et son aide.

Notre sincère remerciement et notre profonde gratitude vont également au président et aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous accordent, en acceptant de juger notre travail.

Nous adressons nos remerciements au Centre de Développement des Technologies Avancées de nous avoir accueillis chaleureusement dans leurs établissements et de nous avoir permis de mener à bien ce travail dans les meilleures conditions.

Nous souhaitons aussi remercier tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, et en particulier, Nos professeurs d'Automatique qui nous ont encadrées auparavant et tous nos enseignants pour les connaissances qu'ils nous ont transmis, leur disponibilité et leurs efforts. Et enfin merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail.

# Table des matières

## Table des figures

<b>Introduction générale</b>	<b>6</b>
<b>1 Généralités</b>	<b>7</b>
2 Les systèmes d'aide à la conduite . . . . .	7
2.1 Définition . . . . .	7
2.3 Les avantages des systèmes d'aide à la conduite . . . . .	9
3 Adaptive Cruise Control . . . . .	9
3.2 Synoptique de la fonction ACC . . . . .	10
3.3 Fonctionnement . . . . .	11
4 Conclusion . . . . .	11
<b>2 Modélisation du véhicule selon TORCS</b>	<b>12</b>
1 Introduction . . . . .	12
2 Modélisation d'un véhicule . . . . .	12
3 Les logiciels de simulation . . . . .	13
4 Modèle dynamique . . . . .	14
5 Comparaison TORCS-modèle . . . . .	23
6 Conclusion . . . . .	24
<b>3 Réglage de vitesse (Cruise Control)</b>	<b>25</b>
1 Introduction . . . . .	25
1.1 Réglage de vitesse (Cruise Control) . . . . .	25
1.2 Limites physiques et limites de confort . . . . .	25
2 Réglage de Vitesse par Mode Glissant . . . . .	26
2.1 Introduction . . . . .	26
2.2 Synthèse de régulateur . . . . .	27
<b>Conclusion générale et prespective</b>	<b>29</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>30</b>
<b>A Paramètres du modèle</b>	<b>32</b>

# Table des figures

1.1	Synoptique de la fonction ACC . . . . .	10
2.1	The Open Racing Car Simulator (TORCS) . . . . .	13
2.2	Lien entre Matlab et Torcs . . . . .	14
2.3	Les différentes excitations au véhicule . . . . .	15
2.4	Le diagramme des forces dynamique appliquées aux roues . . . . .	17
2.5	Le modèle dynamique dans Simulink . . . . .	18
2.6	Les forces aérodynamiques . . . . .	19
2.7	variation de couple en fonction de la vitesse de rotation du moteur . . . . .	20
2.8	Modèle du moteur sous Simulink . . . . .	21
2.9	Boite de Vitesse . . . . .	21
2.10	Graficet montre le fonctionnement de la boite de vitesse utilisée dans le modèle . . . . .	22
2.11	Schéma Simulink du modèle dynamique, pour son mouvement longitudinal	23
2.12	Comparaison des résultats de modèle et TORCS . . . . .	24
3.1	Résultats de la simulation du régulateur de vitesse par mode glissant avec limitation de l'accélération et du jerk . . . . .	28

# Introduction générale

Selon l’OMS, en 2003, les accidents de la route ont fait dans le monde 1,2 millions et 50 millions de blessés, avec un cout estimé à 407 milliards d’euros. Quant à l’union européenne, chaque année, plus de 40000 personnes meurent à cause des accidents de la route et 1.7 million sont blessés avec un coût de prise en charge des soins et des personnes qui perdent une partie de leur mobilité estimé à 160 milliard d’euros.

La réduction des accidents de la route est un des objectifs de la politique des transports de l’ensemble des pays européens est également dans les pays en voie de développement tel que l’Algérie. Les mesures traditionnelles de prévention se sont focalisées sur le comportement du conducteur et sur l’amélioration de la sécurité passive dans les véhicules, (ESP, Frein à main automatique). Toutefois, ces mesures conventionnelles ont atteint leur limites et ce sont les nouveaux systèmes d’aide à la conduite ou les nouvelles technologies introduites dans le véhicule pour assister le conducteur et dans certain cas le substitué. Ces systèmes ont contribué d’une manière significative à la réduction des accidents de la route dans les pays développé où ils sont obligatoires.

Dans ce manuscrite, on s’intéresse principalement à l’un des principaux systèmes d’aide à la conduite, qui est l’Adaptive Cruise Control (ACC), où la première version de cette fonction est déjà commercialisée, une version qui est contrôlée complètement par conducteur, c’est lui qui l’active et la désactive, et c’est lui aussi qui donne la consigne en vitesse.

La nouvelle version a pour objectif de donner une certaine autonomie à la fonction et en conséquence au véhicule [1]. L’objectif est de contribuer au développement d’un nouvel algorithme de régulation de vitesse adaptatif de cette fonction.

On commence ce mémoire de Master par une brève description des ADAS, notamment l’Adaptive Cruise Control (ACC), puis on fait une modélisation global du véhicule en basant sur ces principaux éléments constitutifs, et on expose les logiciels utilisé Simulink et TORCS, et enfin on réalise le mode de réglage de vitesse de la fonction ACC par une des techniques les plus utilisés, il s’agit de la commande par mode glissant, avec des simulations de validation à la fin.



# Chapitre 1

## Généralités

### 1 Introduction

La sécurité routière a toujours été une grande préoccupation de tous les gouvernements à travers le monde. Le nombre d'accidents sur les routes et les congestions des autoroutes des grandes villes mondiales, causés par le nombre important de véhicules de transport et autres, ne cessent d'augmenter. Ce type d'accidents est classé dans les accidents évitables, que l'on cherche à réduire par l'amélioration technique des véhicules [2].

Le développement actuel de la technologie automobile prévoit l'intégration de systèmes de sécurité de plus en plus nombreux, et de plus en plus complexes. Ces systèmes sont conçus dans le but d'une part d'améliorer la sécurité de conduite en réduisant le risque d'erreur humaine et d'autre part d'augmenter le confort et la détente du conducteur [3].

Les systèmes d'aide à la conduite ont pour objectif d'améliorer la sécurité relative à la conduite d'un véhicule en aidant le conducteur à éviter un accident ou une situation à risque ou encore en minimisant les conséquences des erreurs fatales de conduite.

### 2 Les systèmes d'aide à la conduite

#### 2.1 Définition

Les systèmes d'aide à la conduite, en anglais on les appelle les ADAS pour "Advanced Driver Assistance Systèmes", il s'agit de dispositifs qui apportent une aide au conducteur en termes de sécurité ou de confort. Ces dispositifs sont trop nombreux, certains sont déjà largement commercialisés alors que d'autres font l'objet de démonstration de savoir-faire de la part des constructeurs automobiles, des équipementiers ou également des laboratoires de recherche.

## 2.2 Classification

Parmi la grande variété de systèmes d'aide à la conduite déjà commercialisés nous pouvons citer à titre d'exemple [4] :

**ABS : Anti-lock Braking System** : c'est un système anti blocage des roues en cas de freinage dure, ce système, à sa sortie était réservé uniquement aux véhicules haut de gamme, il est devenu obligatoire sur toutes les voiture produites pour le marché européen depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2004.

**ESC : Electronic Stability Control** : ce système permet de maintenir la contrôlabilité du véhicule dans le cas d'un début de perte d'adhérence. Depuis 2012, l'ESC est obligatoire sur toutes les voitures produites pour le marché européen.

**Surveillance de pression des pneus** : ce système permet d'alerter le conducteur de baisse de pression dans les pneus. le gonflage correct des pneus contribue à la sécurité routière, aux économies d'énergie et à la réduction de la pollution. Pour un sous gonflage de 0.2 Bar la consommation d'essence augmente de 100% et également l'émission de gaz à effet de serre.

**AEB : Automatic Emergency Braking** : ou Freinage d'urgence Automatique, ce système d'avertissement de collision actionne automatiquement les freins en cas de situation critique et agit indépendamment du conducteur pour éviter ou atténuer l'accident.

**Régulateur Automatique de vitesse** : est un système capable de prendre le contrôle de la voiture, il est activé par le conducteur après avoir fixé la consigne de vitesse. Même si la voiture est contrôlé par le régulateur de vitesse, le conducteur reste le premier responsable de son véhicule vis-à-vis la loi et il doit rester vigilant pendant que ce dernier est activé. Ce système est cependant inadapté aux conditions de circulation difficiles, en gros le régulateur de vitesse est parfait sur autoroute quand la voie est dégagée.

**ACC : Adaptive Cruise Control** : ce système est un régulateur automatique de vitesse amélioré, en plus de la vitesse souhaité, il prend en compte les conditions de la circulation en surveillant les véhicules qui précèdent et ajuste sa vitesse afin de maintenir une distance de sécurité suffisante. Le régulateur de vitesse adaptatif agit sur l'accélérateur et le frein afin d'assurer la régulation de la vitesse et le maintien d'une distance convenable avec le véhicule de devant pour assurer la sécurité du conducteur et des passagers.

## 2.3 Les avantages des systèmes d'aide à la conduite

Les systèmes d'aide à la conduite présentent plusieurs avantages. En effet, ils aident le conducteur dans diverses situations de conduite, afin de lui offrir un confort de conduite accru. De plus, ils améliorent la sécurité en aidant le conducteur dans des situations critiques nécessitant une réaction rapide et fiable du conducteur (ce dernier peut être probablement dans un état ne lui permettant pas de réagir convenablement). Aussi, ces systèmes peuvent intervenir dans les cas suivants :

- Éviter l'apparition d'une situation dangereuse risquant d'aboutir à un accident.
- Libérer le conducteur d'un certain nombre de tâches qui pourraient atténuer sa vigilance.
- Assister le conducteur pour atteindre une meilleure perception de l'environnement (détecteurs de dépassement, de piéton ... etc).
- Assurer une conduite plus confortable.

## 3 Adaptive Cruise Control

L'Adaptive Cruise Control (ACC ou Régulateur de vitesse adaptatif) est l'un des principaux systèmes d'aide à la conduite qui est utilisé actuellement et disponible sur le marché. Ce système a pour objectif de maintenir le véhicule à une vitesse sélectionnée par le conducteur lorsque la voie est libre, mais si un véhicule plus lent apparaît en avant, le système change d'objectif en réduisant la vitesse pour assurer une distance de sécurité [5]. L'ACC est devenu un équipement standard dans la plupart des véhicules produits récemment. De plus, ce dispositif peut être considéré comme une première étape vers la conduite autonome.

### 3.1 Historique

C'est dès 1999 qu'un tel système fut introduit initialement dans la conduite des voitures par les constructeurs automobiles Jaguar, Lexus et Mercedes-Benz. A cette même époque, plusieurs constructeurs japonais ont commencé à introduire ce dispositif sur leurs modèles de voiture. En effet, les données (relatives à l'état dynamique du véhicule) sont utilisées par le régulateur de vitesse afin de diminuer les gaz et rétrograder les vitesses sans utiliser les freins.

Par ailleurs, les Lexus de Toyota, destinées au marché nord-américain, ont été les premières voitures équipées de détecteur au laser. Ce capteur permet de connaître la distance entre ce véhicule et un obstacle éventuel. D'autres constructeurs ont suivi, dont Volkswagen qui utilise un appareil d'Autocruise.[6]

## 3.2 Synoptique de la fonction ACC

Le fonctionnement du système ACC nécessite plusieurs dispositifs (ou modules) physiques [1]. La Figure 1.1 schématise l'environnement de la fonction ACC que nous souhaitons développer, elle est composée de :

1. Blocs de perception : il s'agit d'un radar pour mesurer la vitesse de la voiture de devant, et des caméras pour la reconnaissance de l'environnement et notamment les panneaux de limitation de vitesse.
2. Un bloc de calcul des consignes.
3. Un bloc véhicule autonome avec fonction ACC.
4. Un bloc du véhicule obstacle.

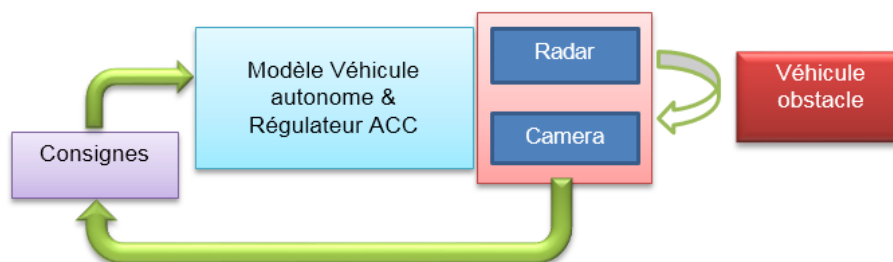


FIGURE 1.1: Synoptique de la fonction ACC

### Radar

Dans un système réel le Radar est placé au niveau du pare-choc du véhicule, il mesure la vitesse et la position du véhicule obstacle par effet doppler. L'objectif de ce bloc est de réaliser un modèle simplifié afin de tenir compte de l'erreur de mesure et du retard lié au temps d'émission/Réception du signal.

### Camera

L'objectif de cette fonction est de générer des consignes à partir d'une perception de l'environnement (panneaux de signalisation, l'état de la route ...etc).

### Consignes

L'objectif de ce bloc est de traduire les actions du conducteur en consignes tel que : Activation de la fonction ACC Accélération/décélération Freinage.

### Véhicule autonome

Ce bloc a pour objectif de développer un modèle dynamique du véhicule proche de la réalité avec trois entrées (Accélération en %, freinage en % et angle volant) et une

sortie (Vitesse). Ce modèle de véhicule est utilisé pour valider la fonction ACC et également toutes les fonctions du véhicule que nous envisageons développer par la suite. Le modèle doit également prendre en considération les perturbations aérodynamiques et les interactions au sol.

### **Véhicule obstacle**

Le modèle du véhicule obstacle sert à transmettre ses données afin d'adapter la régulation de vitesse par rapport à sa vitesse et sa position. Aucune activité n'est prévue sur ce bloc. Sa vitesse et sa position sont considérées comme donnée d'entrée.

## **3.3 Fonctionnement**

Un capteur radar est généralement au coeur du système ACC. Installé à l'avant du véhicule, le capteur surveille en permanence la route, il mesure la distance et la vitesse d'approche d'un véhicule dans sa plage de détection. Ceci lui permet d'ajuster la vitesse automatiquement afin d'assurer une distance de sécurité et d'éviter la collision, puis de ré-accélérer et de reprendre la vitesse initiale de consigne lorsque le véhicule précédent accélère ou change de voie.

En outre, il y a une variante importante qui agit sur le fonctionnement du système ACC, c'est l'information issue des panneaux de signalisations. Comme il a été montré précédemment, un véhicule ACC actuel est équipé d'une caméra qui représente un système de reconnaissance automatique des panneaux par une perception de l'environnement, une fois la vitesse limite du panneau est détectée, l'information est envoyée au système, pour qu'il agit automatiquement afin de ne pas dépasser la vitesse limite indiquée [7].

## **4 Conclusion**

A travers ce chapitre, nous avons présenté de façon générale les systèmes d'aide à la conduite ADAS, ainsi que la robotisation des véhicules. Nous avons notamment insisté sur l'Adaptive Cruise Control ACC, son fonctionnement, ces avantages et ses inconvénients, et sur sa nouvelle version dite Stop & Go. Nous avons présenté les différents modules d'un système ACC et la relation qui existe entre eux.

Dans ce qui va suivre, nous allons détailler sur le modèle du véhicule, le système ACC et ces principaux modes de fonctionnement.

# Chapitre 2

## Modélisation du véhicule selon TORCS

### 1 Introduction

La modélisation d'un système physique a pour objectif de déterminer un modèle mathématique permettant de reproduire son fonctionnement. C'est une étape fondamentale dans la commande des systèmes, la connaissance du modèle mathématique permet d'analyser, d'expliquer et de prédire certains aspects.

Trouver un modèle représentatif ce n'est pas toujours évident, il existe plusieurs méthodes d'identification pour le faire. Dans certains cas, la synthèse est très complexe voire impossible à cause de la complexité des systèmes réelles et l'existante des plusieurs paramètres.

### 2 Modélisation d'un véhicule

Afin de connaître le fonctionnement du véhicule, une modélisation globale de celui-ci est nécessaire. Cette modélisation a pour but d'établir, au moins approximativement un modèle dynamique du véhicule qui nous servira par la suite à l'élaboration de lois de commandes.

Le véhicule est un système dynamique assez complexe . Son comportement est influencé par des facteurs dépendants ou indépendants de sa structure et de ses différents organes.

L'objet de ce chapitre est de présenter les principaux éléments du véhicule pour caractériser ainsi les variables dynamiques du modèle. Pour la caractérisation, nous nous limitons à un aspect global du comportement du véhicule.

### 3 Les logiciels de simulation

Pour évaluer le comportement du modèle et les performances des lois de commande que nous allons élaborer dans le cadre de ce travail, nous allons recourir aux deux logiciels MATLAB & TORCS. Ces deux logiciels nous permettront également de valider nos résultats.

#### 3.1 Simulink

Simulink est une plate-forme de simulation et de modélisation des systèmes, il fournit une interface graphique permettant de construire des modèles sous forme de diagrammes blocs. Il offre l'avantage de construire des modèles hiérarchisés qui permettent la représentation du système à différents niveaux. Simulink offre l'avantage de construire des modèles modulaires qu'on peut facilement reliés entre eux. Cette fonctionnalité permet à l'utilisateur d'aborder aisément la simulation de systèmes complexes [8].

Comme Simulink est intégré à MATLAB par conséquent, il a le privilège d'un accès direct aux nombreuses ressources de MATLAB relatives à l'analyse et la visualisation de données [8].

#### 3.2 TORCS

Un simulateur de voiture 3D est très avantageux pour la détermination du comportement des véhicules réels et la validation des lois de commandes développées. Pour notre cas, le choix s'est porté sur le simulateur TORCS (Figure 2.1), pour deux raisons fondamentales, premièrement ce logiciel peut fonctionner en duo avec Matlab et, deuxièmement de par sa qualité open source, il offre l'avantage de pouvoir développer ses propres applications [9].



FIGURE 2.1: The Open Racing Car Simulator (TORCS)

Grâce à son ouverture, sa modularité et son extensibilité, TORCS a été adopté comme base pour de nombreux projets de recherche dans le domaine de la conduite des voitures, par exemple : le calcul automatisé des configurations de voiture, la conduite des robots. Depuis 2008, TORCS a également joué un rôle important dans divers domaines de recherche au sein de la Conférence IEEE sur l'intelligence et les Jeux Informatiques [8].

### 3.3 Lien entre Matlab et TORCS

L'un des plus grands avantages de TORCS réside dans sa facilité d'intégration et de liaison avec Matlab et c'est la raison principale pour laquelle nous l'avons choisi comme plateforme de simulation pour tester par la suite les algorithmes et les lois de commande développés dans le cadre de ce travail.

Le principe est simple, Matlab récupère les données et les informations à partir de TORCS via un bus de données. Ensuite après le calcul des lois de commande, TORCS récupère les commandes à partir de Matlab via un bus de commande (Figure 2.2).

**Le bus de données :** transmet vers MATLAB les informations du véhicule en temps réel, telles que : l'accélération, la vitesse, la distance, l'angle d'inclinaison...

**Le bus de commande :** transmet vers TORCS les ordres et les commandes à donner au véhicule, tels que : accélérer, freiner, tourner.



FIGURE 2.2: Lien entre Matlab et Torcs

## 4 Modèle dynamique

Un véhicule automobile est soumis fondamentalement à deux types de mouvement : le mouvement longitudinal (dynamique longitudinale) et le mouvement latéral (dynamique



latérale). Ces deux dynamiques doivent être bien étudiées pour assurer une commande viable du véhicule dans son environnement de circulation.

En outre, le véhicule automobile est une structure mécanique très complexe, composé de plusieurs éléments, il est quasiment impossible de le modéliser dans toute sa totalité et avec précision. De ce fait, nous allons établir un modèle simplifié en tenant compte des hypothèses communément admises dans ce contexte [10]. Ces hypothèses simplificatrices sont comme suit :

- Le véhicule évolue dans un plan horizontal, et de ce fait ne sont prises en considération que les forces et les mouvements horizontaux du véhicule.
- Le glissement des roues n'est pris en considération.
- La masse de véhicule est constante.
- Les deux roues avant et les deux roues arrière sont identiques.
- Le frottement du roulement est ignoré car il est insignifiant par rapport à la traînée d'air surtout à des vitesses.

Le comportement dynamique du véhicule est en fait une réponse à plusieurs excitations (solicitations) appliquées au véhicule (Figure 2.3). Ces excitations sont représentées globalement par les manœuvres du conducteur (accélération, freinage ou/et braquage des roues) et les interactions du véhicule avec son environnement (perturbations aérodynamique et forces de contact pneu-chaussée) [1].

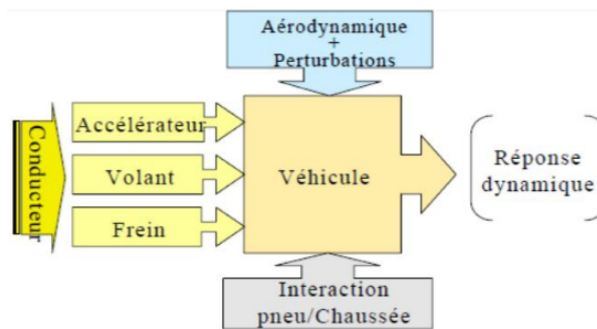


FIGURE 2.3: Les différentes excitations au véhicule

## 4.1 Stratégie de modélisation

La modélisation de la dynamique du véhicule comprend généralement la modélisation de ces éléments constitutifs, notamment le moteur, les freins, et le système de direction. Une modélisation qui est assez complexe pour exprimer le comportement du véhicule

d'une manière détaillée, Cependant pour des raisons de simplicité, la modélisation peut être réduite pour cibler une application bien définie.

D'autre part, selon notre recherche bibliographique, plusieurs modèles de véhicule ont été proposés, Or, nous dans le cadre de ce projet nous allons établir un modèle physique décrivant le véhicule à base des équations mathématiques (autrement dit des équations dynamiques), un modèle exploité de celui proposé par le simulateur TORCS, et qu'il a été utilisé par plusieurs chercheurs voir [10, 11].

Notre choix est porté sur ce modèle par ce que, non seulement est un modèle relativement proche du modèle réel, vu qu'il représente les dynamiques les plus importantes, mais surtout par ce qu'il va nous permettre de l'implémenter et de l'analyser sur un simulateur 3D (TORCS), puis d'observer les résultats de nos algorithmes lors des chapitres suivants.

D'après les travaux déjà effectués auparavant, nous avons constaté que tous les modèles proposés représentent le véhicule que pour un seul niveau de vitesse, ce qui limite le travail réalisé et les scénarios de simulation, car il y a ceux qui ont fait des simulations autour d'un seul point de fonctionnement (une seule plage de vitesse), voir [10] où ses travaux sont que pour le niveau (5) c'est-à-dire dans l'intervalle [80 km/h , 120 km/h] , et ceux qui ont fait des simulations pour toutes les vitesses mais avec un seul palier, à titre d'exemple [12].

La particularité de notre travail, est qu'il présente l'initiative de modéliser le véhicule pour tous ces paliers de vitesse, une modélisation qui contient un tout nouveau dispositif, il s'agit de la boîte de vitesse automatique, qui fait varier tous les paramètres nécessaires en changeant le niveau de vitesse. Chose qui est très importante, car elle permet de voir le comportement du véhicule dans tous les vitesses possibles, et donc de simuler n'importe quel scénario, et dans toute situation souhaitée.

## 4.2 Dynamique longitudinale

Le mouvement longitudinal d'un véhicule routier est fondamentalement influencé par les trois dynamiques suivantes :

- l'aérodynamique.
- la dynamique de groupe motopropulseur.
- la dynamique de système de freinage.

## Les équations dynamiques de mouvement

Les deux roues avant et les deux roues arrière sont identiques, donc seul un diagramme de corps est représenté pour chaque paire de roues (Figure 2.4) [10].

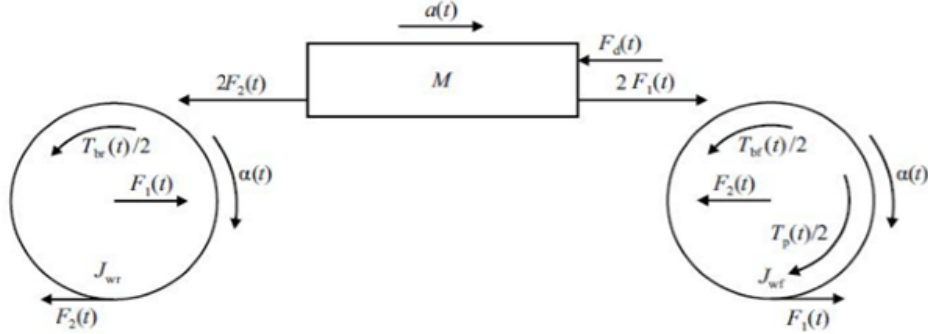


FIGURE 2.4: Le diagramme des forces dynamique appliquées aux roues

En se basant sur les lois fondamentales de la mécanique, notamment le principe fondamental de la dynamique de Newton, le mouvement de translation du véhicule est représenté par les équations suivantes :

$$Ma(t) = 2F_1(t) - 2F_2(t) - F_d(t) \quad (2.1)$$

$$J_{wf}\alpha(t) = \frac{T_p(t)}{2} - \frac{T_{bf}(t)}{2} - rF_2(t) \quad (2.2)$$

$$J_{wr}\alpha(t) = rF_1(t) - \frac{T_{br}(t)}{2} \quad (2.3)$$

Où les notations, apparaissant dans ces équations, sont définies telles que :

- $F_1(t)$  et  $F_2(t)$  désignent les forces reliant le mouvement de rotation et de translation.
- $F_d(t)$  dénote la force aérodynamique.
- $a(t)$  représente l'accélération du véhicule.
- $J_{wf}$  and  $J_{wr}$  est le moment d'inertie d'une seule roue respectivement avant et arrière.
- $M$  indique masse totale de véhicule.
- $r$  est le rayon d'une roue.
- $T_{bf}(t)$  et  $T_{br}(t)$  représente le couple appliqué par les freins respectivement sur la roue avant et sur la roue arrière.
- $T_p(t)$  correspond au couple de propulsion développé par le moteur.
- $\alpha(t)$  désigne l'accélération angulaire d'une roue.

Il est possible de combiner les équations (2.1) à (2.3) en une seule équation. Pour cela, on utilise la relation liant le mouvement de translation et de rotation :  $a(t) = ar(t)$ . De ce fait on obtient :

$$Ma(t) = \frac{T_p(t) - T_{bf}(t) - T_{br}(t)}{r} - \frac{2(J_{wr} + J_{wf})a(t)}{r^2} - F_d(t) \quad (2.4)$$

Et voici le schéma Simulink (Figure 2.5) correspondant à l'équation dynamique précédente :

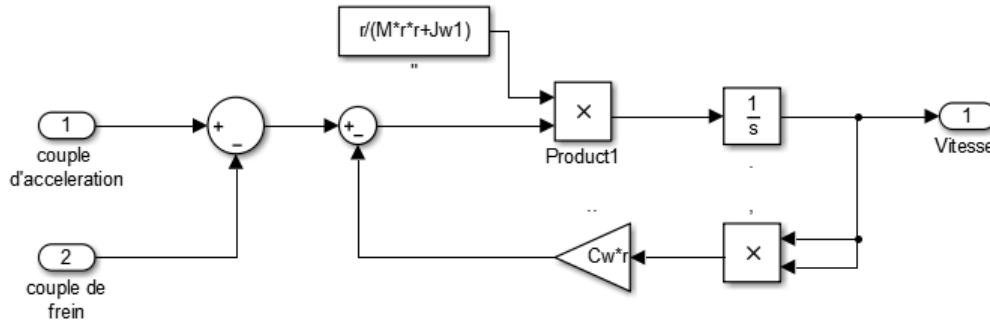


FIGURE 2.5: Le modèle dynamique dans Simulink

## Modèle aérodynamique

L'aérodynamique concerne l'étude des forces engendrées par le mouvement relatif d'un objet mobile en contact avec un fluide environnant. Les forces aérodynamiques, montrées sur la Figure 2.6 , sont représentées par :

**Force de trainée :** qui est générée par la résistance de la surface du véhicule et des ailerons .

**force de portance :** qui est une force perpendiculaire au mouvement du véhicule. Cette force est générée par la différence de pression de l'air au-dessus et au-dessous de la surface. Dans le cas d'un véhicule, les forces de portance dépendent de la forme du véhicule, de la surface du sol, du diffuseur et des ailerons.

La plus importante des forces aérodynamiques est la force de trainée ; celle-ci est due à la forme de la surface frontale du véhicule. La force de trainée est déterminée par [10] :

$$F_d = -sign(v) \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (2.5)$$

Où  $C_d$ ,  $\rho$  et  $A$  représentent respectivement le coefficient de trainée du véhicule et la masse volumique de l'air et la projection de la surface frontale du véhicule.

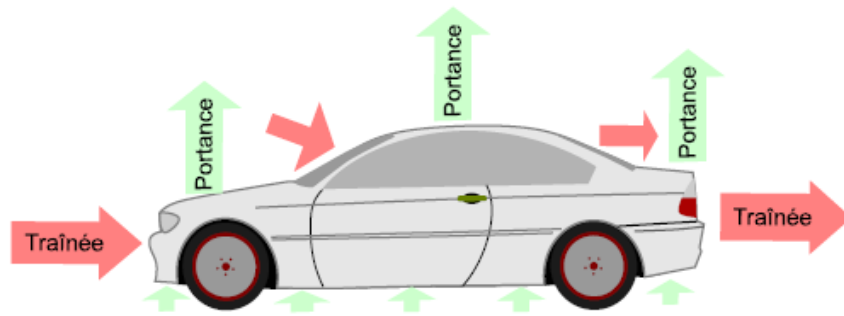


FIGURE 2.6: Les forces aérodynamiques

### Modèle des freins et de moteur

Jusqu'à présent, le modèle développé du véhicule nous révèle que l'entrée du système est le couple. Par ailleurs, on sait que la commande d'un véhicule s'effectue en actionnant la pédale de l'accélérateur et celle du frein, ce qui se traduit alors par l'application d'un certain couple aux roues.

Par conséquent, selon la mise en oeuvre dans TORCS [13], nous allons spécifier le couple délivré aux roues en fonction de la position de l'accélérateur et celle relative à la pédale de frein.

**Modèle des freins :** Un frein est un dispositif mécanique qui sert à ralentir ou arrêter un objet en mouvement.

En général, il utilise la friction entre deux surfaces pour convertir l'énergie cinétique en énergie thermique. Le système de freinage est constitué principalement des éléments suivants [11] :

- Une pédale de frein.
- Un maitre-cylindre.
- Flexibles.
- Freins à disque (plaquette, disque ventilé) ou freins à tambour...

Pour le système de freinage utilisé dans TORCS, le couple de freinage est proportionnel à la position de la pédale de frein, avec le couple de freinage maximal comme facteur de proportionnalité [13] :

$$T_b = C_{brk} * T_b(max) \quad (2.6)$$

Le retard n'est pas pris en compte. Donc le freinage peut atteindre sa valeur maximale instantanément en faisant passer le coefficient  $C_{brk}$  de 0 à 1.

**Modèle du moteur :** Plusieurs modèles ont été proposés pour le moteur. Ces modèles sont complexes et nécessitent la connaissance de nombreux paramètres, ce qui peut compliquer la commande et nécessiter des capteurs onéreux.

Le modèle du moteur dans TORCS est un modèle simplifié qui ne prend pas en compte les retards [11].

Le couple fourni par le moteur, en fonction de la position de l'accélérateur, est plus compliqué à calculer que le couple de freinage en fonction de la position de la pédale de frein. Ceci est dû au phénomène de freinage du moteur. Si la pédale est relâchée, le véhicule ralentira d'une façon rapide, et on ne peut pas expliquer ça par une perte due à l'aérodynamique et au frottement roulant.

$$T_p = T_{p.max}(A_{cmd}(1 + k) - k) \quad (2.7)$$

avec :

- $T_{moteur}$  : couple généré par le moteur.
- $T_{max}$  : valeur maximale du couple généré par le moteur.
- $A_{cmd}$  : commande d'accélération.
- $k$  : coefficient de freinage.

La valeur de  $T_{max}$  est donnée en fonction de la vitesse de rotation du moteur ce qui correspond à une caractéristique mécanique du moteur (i.e. couple-vitesse). (Figure 2.7 ) [13].

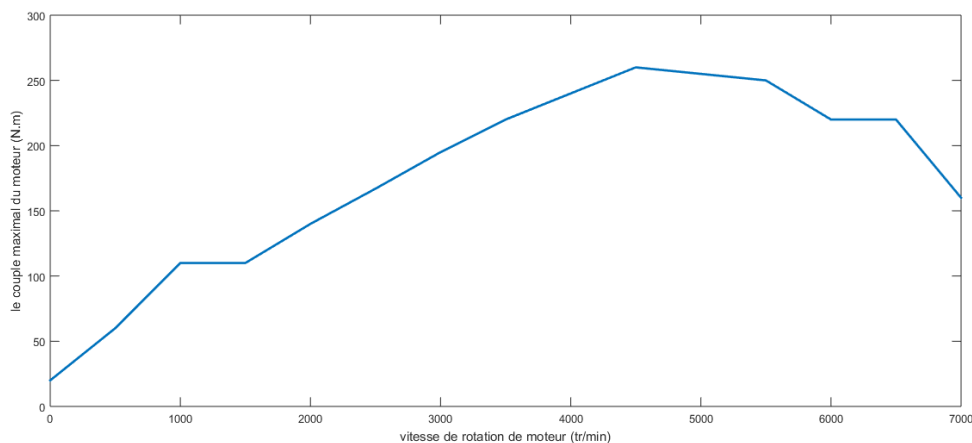


FIGURE 2.7: variation de couple en fonction de la vitesse de rotation du moteur

Voici le modèle du moteur sous Simulink (Figure 2.8).

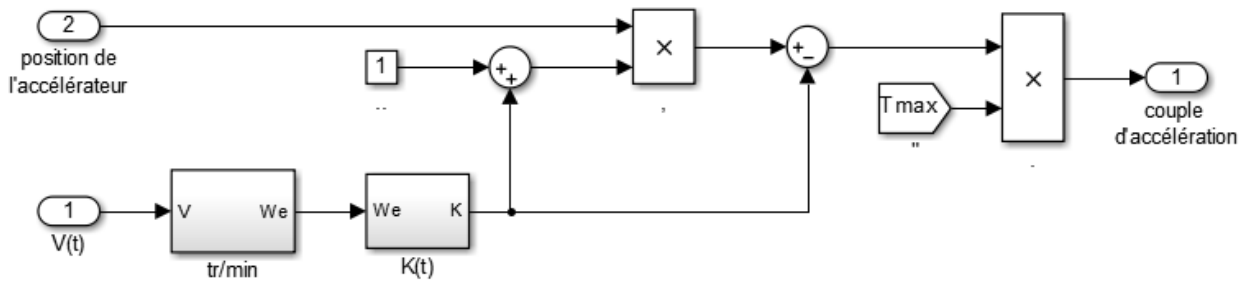


FIGURE 2.8: Modèle du moteur sous Simulink

### Boite de vitesse

Une boîte de vitesses est un dispositif mécanique, ou plus généralement mécatronique, permettant d'adapter la transmission d'un mouvement entre un arbre moteur et un arbre récepteur. L'usage le plus fréquent correspond à la transformation et la transmission de la puissance d'un moteur afin d'augmenter le couple sur l'arbre récepteur. Cela fait que, de par la démultiplication, les pièces entraînées tournent moins vite que l'axe moteur lui-même. Cela a pour effet de multiplier le couple transmis à ces pièces [14].

Comme d'une part le système ACC est un système autonome et du fait que le conducteur n'intervient pas lors de changement de vitesse par conséquent le système ACC nécessite que la voiture soit équipée d'une boîte de vitesse automatique.

Dans le cas réel, le changement de vitesse automatique s'opère en tenant compte de la puissance et de la vitesse de rotation du moteur.

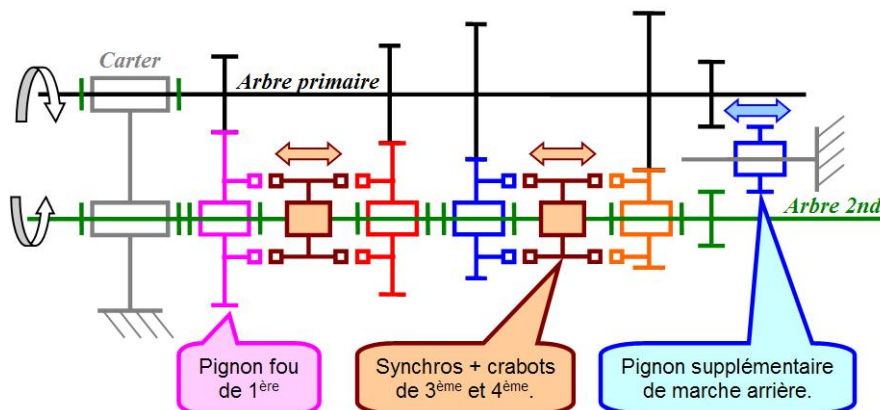


FIGURE 2.9: Boite de Vitesse

Cependant pour notre étude et pour des raisons de simplicité, le changement de vitesse s'effectue uniquement sur la base de la vitesse de rotation du moteur.

Donc, il faut tout d'abord définir les vitesses de rotation du moteur appropriées en ( $tr/min$ ) qui correspondent au changement de niveau de vitesse, dans le sens de la montée ou de la rétrogradation relative à vitesse.

Pour modéliser la boîte de vitesse automatique, nous avons constitué un Grafcet caractérisé par six états (Figure 2.10), où chaque état est associé à un palier de vitesse (exp : l'état 3 correspond au 3<sup>ém</sup> palier de vitesse). De plus, les conditions de transition sont les valeurs de la vitesse idéale de passage d'un niveau à l'autre.

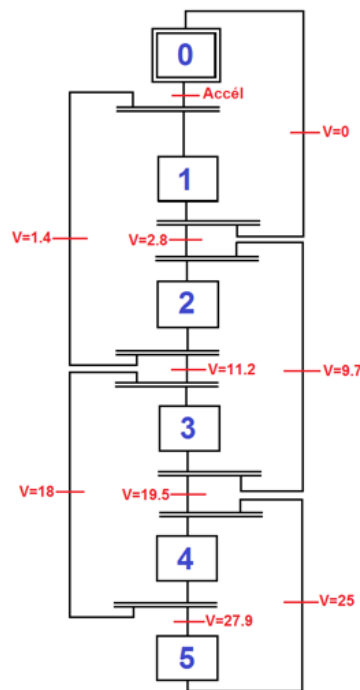


FIGURE 2.10: Grafcet montre le fonctionnement de la boîte de vitesse utilisée dans le modèle

En changeant le niveau de vitesse, plusieurs paramètres doivent être modifiés, notamment le rapport (vitesse de moteur-vitesse des roues), le rapport des couples et aussi le moment d'inertie.

Pour déterminer le palier de vitesse adéquat, on a besoin de connaître la vitesse du véhicule ainsi que la vitesse de rotation du moteur. A chaque niveau de vitesse, on actualise le modèle du système avec les paramètres correspondants (Figure 2.10).



## Construction de modèle

Nous avons fait jusqu'à présent une représentation et une modélisation de chaque dynamique principale dans la structure du véhicule. Pour construire le modèle complet du véhicule pour son mouvement longitudinale, ces éléments vont être reliés et combinés entre eux comme montre la Figure 2.11.

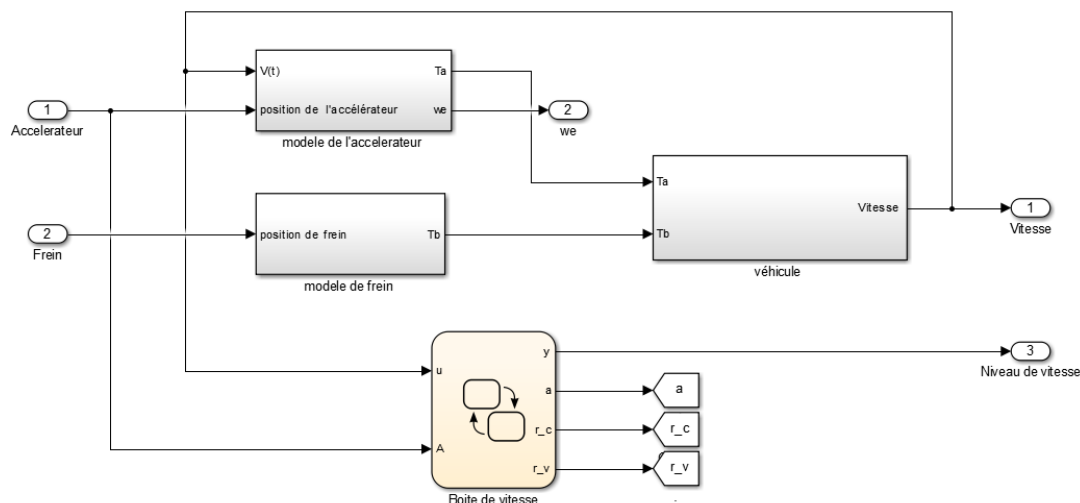


FIGURE 2.11: Schéma Simulink du modèle dynamique, pour son mouvement longitudinal

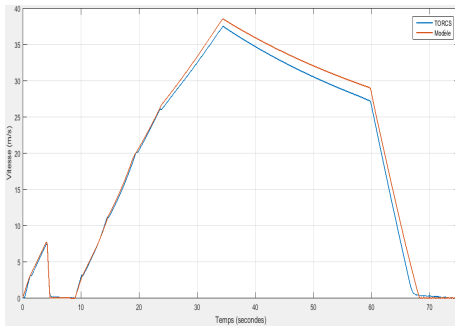
## 5 Comparaison TORCS-modèle

Afin de pouvoir valider le modèle établi dans ce chapitre, il est important de procéder à une comparaison avec un véhicule de TORCS, pour ce faire nous avons effectué une simulation, en donnant aux deux modèles une même excitation à l'entrée, c'est-à-dire une même valeur d'accélération et de freinage, et en observant le résultat de vitesse obtenu nous déduisons la fiabilité du modèle proposé.

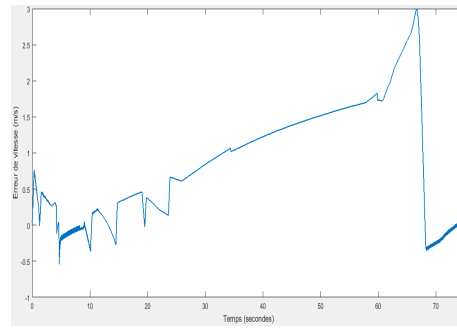
### Discussion

A partir de la figure de vitesse (Figure 2.12) nous remarquons que la vitesse des deux modèles est quasiment identique (une superposition) surtout entre 0s et 25s, où l'erreur entre les deux ne dépasse pas  $1m/s$  ( $0.278km/h$ ), cette erreur augmente un petit peu en augmentant la vitesse, notamment en régime libre (absence d'excitation à l'entrée) à partir de 35s, ceci est dû à la force aérodynamique qui devient beaucoup plus importante devant celle du moteur et des freins.

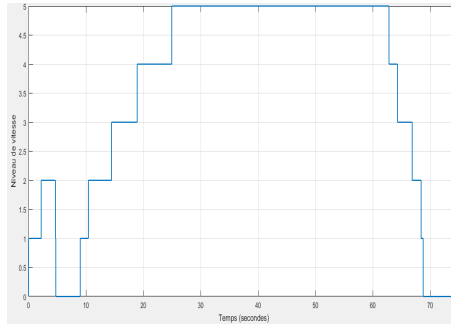
Cette simulation nous montre bien à travers la Figure 2.12c le changement des paliers lors de l'évolution de la vitesse du véhicule (le modèle proposé), ce qui affirme le bon fonctionnement de ce modèle dans tous les niveaux de vitesse.



(a) La vitesse



(b) L'erreur de vitesse



(c) Le niveau de vitesse

FIGURE 2.12: Comparaison des résultats de modèle et TORCS

Nous concluons que le modèle proposé lors de ce chapitre, représente bien le modèle de simulateur TORCS, ce qui nous permet de le valider et de l'élaborer par la suite.

## 6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté, les principaux éléments dans la structure du véhicule, qui servent à développer par la suite un modèle dynamique complet, en tenant compte quelques hypothèses de simplification admissibles. La modélisation d'un véhicule est divisée en deux à cause des deux mouvements différents, le premier qui est le mouvement longitudinal (ou la dynamique longitudinale) qui est le plus important dans notre travail dans les chapitres suivants, et le deuxième qui est le mouvement latéral (ou la dynamique latérale). Nous avons aussi présenté brièvement les deux logiciels utilisés dans le cadre de ce projet, le premier qui est une plateforme d'implémentation (Matlab/Simulink), tandis que le deuxième est un environnement de simulation 3D (TORCS). Ces deux outils représentent notre interface de visualisation, d'observation, et de validation du modèle proposé, puis des algorithmes élaborés dans les chapitres suivants.

A la fin du chapitre nous avons pu valider le modèle établi, qui est un modèle similaire à celui proposé par TORCS, et cela en faisant une comparaison entre les deux, à l'aide d'une simulation qui a donné un résultat satisfaisant en terme de réponse en vitesse.

# Chapitre 3

## Réglage de vitesse (Cruise Control)

### 1 Introduction

La commande Adaptive Cruise Control d'un véhicule, est dotée de deux principaux modes de fonctionnement, le fonctionnement Cruise Control (régulation de vitesse), et le fonctionnement du mode de suivi (réglage de l'inter-distance).

De ce fait, dans ce chapitre nous allons entamer l'étude du mode Cruise Control (réglage de vitesse), et de clarifier son fonctionnement, afin de réaliser l'objectif de réglage de vitesse souhaité. Tout en supposant le long de ce chapitre qu'on est devant une voie complètement libre, c'est-à-dire absence de véhicule ou d'obstacle en avant, où aucune collision n'est possible.

#### 1.1 Réglage de vitesse (Cruise Control)

Le régulateur de vitesse est un système destiné à stabiliser automatiquement la vitesse des véhicules automobiles. Le conducteur fixe la vitesse à laquelle il veut rouler puis l'automatisme prend le relais et maintient la vitesse définie.

Cependant, en libérant le conducteur de la hantise du dépassement des vitesses limites autorisées et, en lui permettant de reporter la partie de son attention, autrefois dévolue à cette tâche, aux autres aspects de la conduite automobile, et d'adopter une conduite confortable et nettement plus détendue, le régulateur de vitesse apporte aussi un grand progrès dans le domaine de la sécurité (voir [4]).

#### 1.2 Limites physiques et limites de confort

Lors de la conduite d'un véhicule, c'est la sensation clé de confort et de sécurité qui intéresse le plus les conducteurs du fait que cette qualité de conduite permet à l'automobiliste de profiter pleinement de son trajet en voiture en terme d'une optimisation de son temps ou de son bien-être.

Dans cette partie du mémoire notre objectif sera donc de synthétiser un régulateur de vitesse qui doit non seulement assurer la poursuite de la vitesse de référence, mais doit également améliorer la qualité du confort et la sécurité de la conduite.

L'accélération et le Jerk représentant la variation de l'accélération (déterminant la force subie par le passager) et mesurée en  $m/s^3$  qui caractérisent la qualité de confort de la conduite.

Une conduite confortable est définie généralement par des valeurs admissibles de ces deux grandeurs (accélération et Jerk). Les critères retenus varient d'une source à l'autre et d'un constructeur automobile à l'autre.

Cependant, les valeurs de l'accélération sont généralement limitées dans un intervalle de  $[-5m/s^2, 5m/s^2]$  et celles du jerk sont confinées dans l'intervalle de  $[-2m/s^3, 2m/s^3]$  [15]. Le confort est également défini comme étant la capacité de ralentir ou d'accélérer le véhicule avec un faible jerk tout en respectant la distance d'arrêt sûre. Cette définition a l'avantage de permettre de quantifier le confort d'un passager lors de la mise en mouvement du véhicule.

## 2 Réglage de Vitesse par Mode Glissant

### 2.1 Introduction

La commande par mode glissant a largement prouvé son efficacité à travers plusieurs études théoriques, ses principaux domaines d'application sont la robotique [16] et le réglage de vitesse pour les véhicules urbains [17]. L'avantage que procure une telle commande, qui la rend aussi importante, est sa robustesse vis-à-vis des perturbations et des incertitudes du modèle.

Cependant, ces performances sont obtenues au prix de certains inconvénients : l'apparition du phénomène de chattering ou broutement provoqué par la partie discontinue de la commande qui peut avoir un effet néfaste sur les actionneurs ; le système est soumis à chaque instant à une commande élevée afin d'assurer sa convergence vers l'état désiré et ceci n'est pas souhaitable.

Parmi les solutions proposées à ces problèmes on peut citer la commande par mode glissant à bande limite qui consiste à remplacer la fonction de commutation par une fonction de saturation. Mais, cette solution n'est qu'un cas particulier de la commande par mode glissant flou, d'où l'intérêt à utiliser une commande qui combine la logique floue et le mode glissant avec gain adaptatif afin d'obtenir une commande robuste et lisse.

## 2.2 Synthèse de régulateur

Considérons notre système non linéaire décrit par la représentation d'état suivante :

$$\begin{cases} \dot{v} &= \left(\frac{r}{Mr^2+J_w}\right)T - \left(\frac{C_w r^2}{Mr^2+J_w}\right)v^2 \\ y &= v \end{cases}$$

Si on pose :

$$\begin{cases} f(v) &= -\left(\frac{C_w r^2}{Mr^2+J_w}\right)v^2 \\ g(v) &= \frac{r}{Mr^2+J_w} \\ h(v) &= v \end{cases}$$

Alors le système s'écrit sous la forme non linéaire affine en la commande :

$$\begin{cases} \dot{v} &= f(v) + g(v)T \\ y &= h(v) \end{cases}$$

Le but de la commande est de trouver une loi de commande telle que les trajectoires du vecteur d'état tendent vers le trajectoire désiré, malgré la présence des perturbations, pour notre cas c'est la vitesse du véhicule qui va converger vers la vitesse désirée.

La surface de glissement dite de "LIE" est donnée par :

$$S = e = v - v_d \tag{3.1}$$

L'objectif de la commande et de réaliser deux choses :

**L'attractivité** : est définie par :  $S\dot{S} < 0$ .

**L'invariance (le maintien)** : est défini par :  $S = \dot{S} = 0$ .

La commande  $T$  qui permet de ramener le plus rapidement possible les états et sur la surface , puis de les y faire glisser jusqu'au point d'équilibre est la suivante :

$$T = \left(\frac{\partial S}{\partial v}g(v)\right)^{-1}\left(-\frac{\partial S}{\partial v}f(v) - k\text{sign}(S)\right) \tag{3.2}$$

$k$  est une constante positive.

Afin d'améliorer encore plus la conduite de véhicule et la rendre plus confortable, on introduit un limiteur d'accélération qui vas la limiter entre  $[-5m/s^2 , -5m/s^2]$  et aussi un limiteur de jerk pour le limiter entre  $[-2m/s^3 , 2m/s^3]$ .

## 2.3 Simulation

Pour démontrer l'efficacité de la méthode on l'a utilisé pour régler la vitesse de véhicule à plusieurs vitesses désirées Figure 3.1

- entre  $[0s , 50s]$  :  $v_d = 40km/h$ .
- entre  $[50s , 105s]$  :  $v_d = 120km/h$ .
- entre  $[105s , 150s]$  :  $v_d = 0km/h$ .

Les paramètres de véhicule utilisés dans la simulation se trouvent dans l'annexe A.

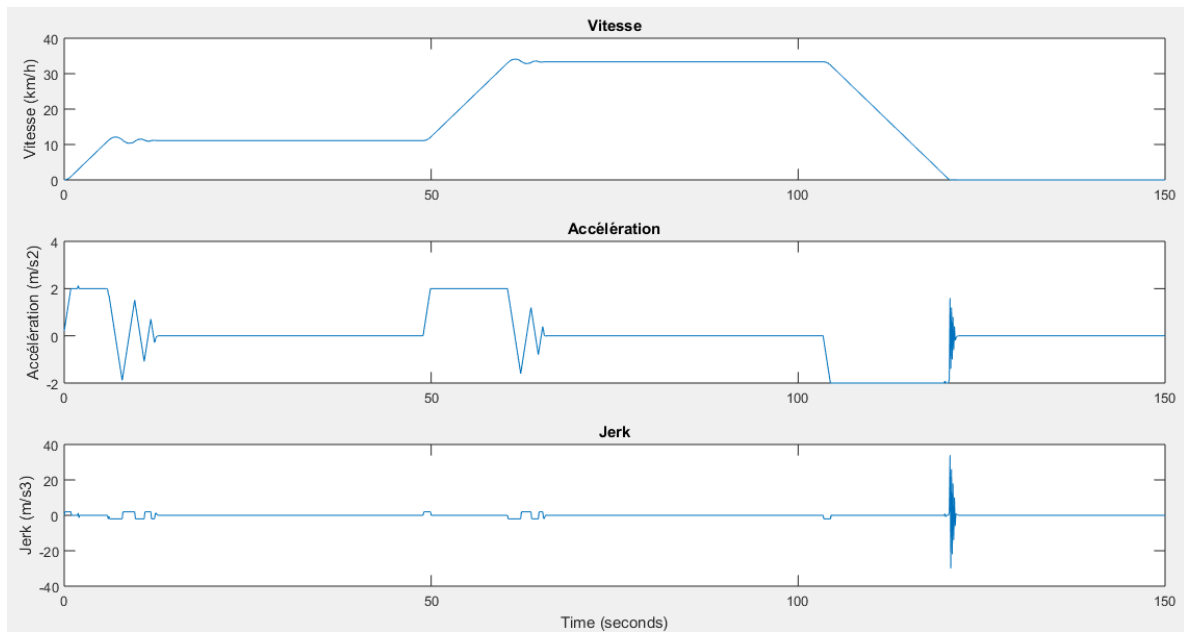


FIGURE 3.1: Résultats de la simulation du régulateur de vitesse par mode glissant avec limitation de l'accélération et du jerk

Initialement le véhicule est à l'arrêt avec une vitesse nulle, puis d'après la réponse obtenue et comme la référence est affichée au palier de  $40\text{km/h}$ , le véhicule ralentit jusqu'à atteindre cette vitesse de consigne à l'instant  $t = 6\text{s}$ . Au second palier de vitesse, le véhicule accélère pour faire passer sa vitesse de  $40\text{km/h}$  à la nouvelle vitesse de référence de  $120\text{km/h}$  qu'il accroche d'ailleurs à l'instant  $t = 63\text{s}$ . Cette vitesse du véhicule reste maintenu car ce palier de vitesse de référence dure jusqu'à l'instant  $t = 106\text{s}$  où celle-ci passe au dernier palier de vitesse de  $0\text{km/h}$ . En ce dernier palier de vitesse de référence, le véhicule décélère pour passer sa vitesse de  $120\text{km/h}$  à la nouvelle valeur de référence de la vitesse de  $0\text{km/h}$  qu'il atteint à l'instant  $t = 122\text{s}$  et donc le véhicule stoppe tout simplement.

## Remarques

- L'application de cette commande sur un exemple de simulation a donné des résultats très satisfaisants pour le réglage de vitesse tout en respectant les critères de confort.
- Parmi les inconvénients de la commande par mode glissant est l'apparition du phénomène de chattering que l'on peut remarquer sur la réponse de l'accélération et de Jerk. Une des solution pour ce problème est de remplacer la fonction *sign* par une saturation.

# Conclusion générale et perspective

L'Adaptive Cruise Control (ACC) est l'un des principaux systèmes d'aide à la conduite qui est utilisé actuellement et disponible sur le marché, et qu'il est devenu un équipement standard dans la plupart des véhicules produits récemment. De plus, ce dispositif peut être considéré comme une première étape vers la conduite autonome.

Avant d'aborder les aspects techniques, notamment la synthèse de régulation et de modélisation, nous avons présenté brièvement les systèmes ADAS, et particulièrement l'ACC.

La modélisation du véhicule est une étape importante et cruciale dans ce projet, elle a été faite en présentant les principaux éléments de la structure véhiculaire, tels que le moteur, les freins, la boîte de vitesse et le système de direction. Plusieurs modèles ont été proposés dans la littérature, la raison pour laquelle le choix a été relativement large. Or, lors de ce projet le choix est porté sur l'exploitation du modèle du simulateur TORCS, dans le but de pouvoir simuler et observer les résultats dans un environnement 3D.

Après avoir un modèle adéquat, qui est similaire à celui de TORCS. Ceci conduit à une deuxième étape qui consiste à intégrer la fonction CC (cruise control) à ce modèle. Nous avons développé un régulateur de vitesse par mode glissant, et nous avons pu confirmer sa performance ainsi que sa robustesse en basant sur la simulation.

## Perspectives

Ce travail de mémoire a ouvert de nombreuses perspectives à cibler et qui se résument ainsi :

- La génération automatique du code d'un fichier C exploitable et implémentable à partir des fichiers Simulink. (ce qui est connu par le Prototypage Rapide).
- La validation pratique des résultats de la simulation.
- Proposition des nouvelles régulateurs et lois de commande, dans le but de faire une étude comparative, afin d'aboutir à des résultats peut être bien meilleurs.

# Bibliographie

- [1] D. REGUIEG, « Plan de développement technologique du projet véhicule autonome ». Fonction ACC, 2016.
- [2] WIKIPEDIA, « Accident de la route — Wikipedia, the free encyclopedia », 2017. [en ligne ; téléchargé le 14-06-2017].
- [3] r. MASA, *Utilisation des simulateurs de conduite pour l'évaluation des systèmes d'aide à la conduite en situation d'urgence*. Thèse doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers ParisTech, 2012.
- [4] *Le siècle de la voiture intelligente*. Edition MINES ParisTech, 2009.
- [5] A. MOUHCINE, « Commande de l'inter-distance dans un convoi de véhicules autonomes par l'imposition d'impédances virtuelles d'interaction », Mém. D.E.A., Université du Québec, 2010.
- [6] WIKIPEDIA, « Radar de régulation de distance — Wikipedia, the free encyclopedia », 2017. [en ligne ; téléchargé le 14-06-2017].
- [7] K. ROHAN et P. RAJAN, « Adaptive cruise control - towards a safer driving experience », *International Journal of Scientific and Engineering Research*, vol. 3, 2012.
- [8] MATHWORKS, « Boîte de vitesses — Wikipedia, the free encyclopedia », 2017. [en ligne ; téléchargé le 14-06-2017].
- [9] WIKIPEDIA, « Torcs — Wikipedia, the free encyclopedia », 2017. [en ligne ; téléchargé le 14-06-2017].
- [10] T. ESBENSEN, B. THORARINS JENSEN, O. N. MICHAEL et C. SLOTH, « Comparison of longitudinal control of vehicles with and without inter-vehicle communication », rap. tech., Department of Electronic Systems, AALBROG University, 2007.
- [11] A. ALAN, *Modélisation et commande d'un convoi de véhicules urbains*. Thèse doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 2015.
- [12] R. MULLER et G. NOCKER, « Intelligent cruise control with fuzzy logic », *in Proceedings of the Intelligent Vehicles '92 Symposium*, p. 173–178, Jun 1992.
- [13] B. WYMANN, *T.O.R.C.S. Manual installation and Robot tutorial*.
- [14] WIKIPEDIA, « Boîte de vitesses — Wikipedia, the free encyclopedia », 2017. [en ligne ; téléchargé le 14-06-2017].



- [15] G. NAUS, J. PLOEG, R. van de MOLENGRAFT et M. STEINBUCH, « Explicit mpc design and performance-based tuning of an adaptive cruise control stop-and-go », *in 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, p. 434–439, June 2008.
- [16] J. GULDNER et V. I. UTKIN, « Stabilization of non-holonomic mobile robots using lyapunov functions for navigation and sliding mode control », *in Proceedings of 1994 33rd IEEE Conference on Decision and Control*, vol. 3, p. 2967–2972 vol.3, Dec 1994.
- [17] G. BARTOLINI, A. FERRARA et P. PISU, « Longitudinal control design of passenger vehicles with second order sliding modes », *in Proceedings of the 2000 American Control Conference. ACC (IEEE Cat. No.00CH36334)*, vol. 1, p. 120–124 vol.1, Sep 2000.

# Annexe A

## Paramètres du modèle

Dans cette annexe, Nous allons déterminés les paramètres de modèle dynamique du véhicule utilisé dans la simulation, ces paramètres sont utilisé par TORCS pour le véhicule Peugeot 406 (p406),

Spécification	Symbole	Valeur	unité
Voiture en général			
Constante aérodynamique	$C_w$	0.3886	$kg/m$
La masse totale de véhicule	$M$	1500	$kg$
Moteur			
Moment d'inertie	$Je$	0.5	$kg.m^2$
Rotations maximales	$W_{e,max}$	890	$rd/s$
Boite de vitesse			
1 <sup>er</sup> palier de vitesse	$N_g1$	3.363	/
2 <sup>èm</sup> palier de vitesse	$N_g2$	1.947	/
3 <sup>èm</sup> palier de vitesse	$N_g3$	1.3	/
4 <sup>èm</sup> palier de vitesse	$N_g4$	1.029	/
5 <sup>èm</sup> palier de vitesse	$N_g15$	0.97	/
Moment d'inertie des roues			
1 <sup>er</sup> rapport	$J_{wt1} = J_{wr} + J_{wf1}$	105.022	$kg.m^2$
2 <sup>èm</sup> rapport	$J_{wt2} = J_{wr2} + J_{wf2}$	36.7877	$kg.m^2$
3 <sup>èm</sup> rapport	$J_{wt3} = J_{wr3} + J_{wf3}$	21.8197	$kg.m^2$
4 <sup>èm</sup> rapport	$J_{wt4} = J_{wr4} + J_{wf4}$	15.2054	$kg.m^2$
5 <sup>èm</sup> rapport	$J_{wt5} = J_{wr5} + J_{wf5}$	11.6829	$kg.m^2$
Système de freinage			
Couple maximum de freinage	$T_{b,max}$	11582	$N.m$