

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ BOUIRA

Faculté des Sciences et Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

en Electromécanique

Présenté par :

ALIOUAT Cylia

**Étude comparative entre la commande floue et la
commande neuronale du système de freinage ABS**

Présenté devant le jury composé de :

Président : M. BENGHENIA Hadj Abdelkader

Examinatrice : Mme. LATRACHE Sadjia

Encadreur : M. AIT ABBAS Hamou

Co-Encadreur: M. MOUHEB Khaled

Année universitaire 2020 – 2021

REMERCIEMENT

Je voudrais d'abord remercier ALLAH le plus puissant de m'avoir donné la force pour réaliser ce travail.

J'exprime mes sincères remerciements à mon promoteur « Dr. Ait Abbas Hammou » pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie également mon co-promoteur « Dr. Mouheb Khaled » pour m'avoir aidé le long de mon travail.

J'adresse mes plus vifs remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant la charge de juger ce travail.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé.

A mes deux chers frères : Fouad et Juba.

A mes chers grands parents qui ne font plus partie de ce monde.

A mes cousines : Inès, Tita, Aya, Kholoud, Wardaet Ahlam.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la
vivacité.

A tous mes amis et collègues.

Résumé

Le but de ce travail est de proposer des contrôleurs robustes basés sur la logique floue et les réseaux de neurones artificiels pour un système de freinage antiblocage (ABS) et comparer les résultats de chaque commande. Les principales difficultés de conception des contrôleurs dans les systèmes automobiles sont liées à des non-linéarités élevées, des incertitudes causées par des perturbations externes et les variations des paramètres qui sont inconnus. L'objectif d'un système de contrôle d'ABS classique consiste à éliminer rapidement l'erreur entre le taux de glissement réel et une valeur de référence afin d'amener le véhicule à un arrêt dans le temps le plus court possible. Cependant, le temps de freinage et la distance d'arrêt peuvent être réduits encore davantage si le même système de contrôle considère également l'état du système de suspension active simultanément.

Abstract

The aim of this presentation is to propose robust controllers based on fuzzy logic and neural network for an Antilock Braking System (ABS) and then compare the results of each command. The main difficulties of controller design in automotive systems are related to high non-linearity, uncertainties caused by external perturbations and parameters variations which are unknown. The objective of a conventional ABS control system is to rapidly eliminate the error between the actual slip ratio and a set reference value in order to bring the vehicle to a stop in the shortest time possible. However, braking time and stopping distance can be reduced even further if the same control system also simultaneously considers the state of the active suspension system.

:

Mots clés: freinage, (ABS) : antilockbraking system, (BB) : bang-bang, (PI) : régulateur proportionnel-intégral, (LF) : logique floue, (RNA) : réseaux de neurones artificiels.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS	
I.1. Généralités sur le système de freinage.....	3
I.1.1. Introduction	4
I.1.2. Le système de freinage classique	4
I.1.3. Les différents types de frein	5
I.1.3.1. Les freins à disque.....	5
I.1.3.2. Les freins à tambour	6
I.1.4. Les inconvénients du frein classique	7
I.1.5. La nécessité du freinage ABS	7
I.2. Le système de freinage ABS.....	8
I.2.1. Historique.....	8
I.2.2. Définition.....	10
I.2.3. Les composants du système.....	11
a) Boîtier de commande électronique (ECU).....	12
b) Ensemble modulateur.....	13
c) Capteurs de vitesse des roues.....	15
d) Témoin ABS.....	17
I.2.4. Principe de fonctionnement.....	17
I.2.4.1. Freinage en mode normal.....	17
I.2.4.2. Freinage en mode antiblocage.....	18
I.2.4.2.1. Phase de maintien de la pression.....	20

I.2.4.2.2. Phase de diminution de la pression	21
I.2.4.2.3. Phase d'augmentation de la pression.....	22
I.2.4.2.4. Phase de desserrage des freins.....	22
I.2.5. Différents types de montage de L'ABS.....	23
I.2.6.Méthode de résolution.....	24
I.2.7. Conclusion.....	25

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

II.1. Introduction.....	27
II.2. Formulation du problème.....	29
II.3. Système de contrôle.....	33
II.3.1. Le contrôleur bang-bang.....	34
II.3.2. Le contrôleur proportionnel intégral (PI).....	35
II.3.2.1. Rôle de l'action proportionnelle (P)	35
II.3.2.2. Rôle de l'action Intégrale (I)	36
II.3.3. La Logique floue.....	38
II.3.3.1. Historique de la commande floue.....	38
II.3.3.2. Les différentes applications de la logique floue.....	39
II.3.3.3. Principe de la logique floue.....	39
II.3.3.4. Système de commande floue.....	42
II.3.3.5. Avantages et inconvénients de la commande par logique floue.....	45
II.3.3.6. Application du régulateur par logique floue sur le système ABS.....	46
II.3.4. Réseaux de neurones artificiels (RNA).....	47
II.3.4.1. Introduction.....	47

II.3.4.2. Définition.....	48
II.3.4.3. Historique	48
II.3.4.4. Neurone biologique.....	49
II.3.4.5. Neurone formel.....	50
II.3.4.6. Fonctions d'activation	52
II.3.4.7. Composition d'un réseau de neurones.....	53
II.3.4.8. Architecture des réseaux de neurones.....	54
II.3.4.9. Apprentissage d'un réseau de neurones.....	55
II.3.4.10. Algorithmes d'apprentissage du perceptron multicouche.....	56
II.3.4.11. Avantages et inconvénients des réseaux de neurones.....	56
II.3.4.12. Mise en œuvre des réseaux de neurones.....	57
II.3.4.13. Commande par réseaux de neurones classiques	60

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.1 Introduction.....	62
III.2. Les résultats du système des équations dynamiques sans contrôleur.....	62
III.2.1. La vitesse de la roue	62
III.2.2. La vitesse du véhicule	63
III.2.3. La distance de freinage	64
III.2.4. Le glissement	64
III.3. Les résultats de système des équations dynamiques avec un contrôleur BB	65
III.3.1. La vitesse de la roue	65
III.3.2. La vitesse du véhicule	66
III.3.3. La distance de freinage	66

III.3.4.Le glissement	67
III.4.Les résultats du système des équations dynamiques avec un contrôleur (PI).....	67
III.4.1.La vitesse de la roue	67
III.4.2.La vitesse du véhicule	68
III.4.3.La distance de freinage	68
III.4.4.Le glissement	69
III.5.Comparaison entre les résultats (sans contrôleur, avec BB et avec PI).....	69
III.5.1.Schéma bloc comparatif (sans contrôleur, avec BB et avec PI).....	69
III.5.2.Les courbes comparatives (sans contrôleur, avec BB et avec PI)	70
III.5.2.1. La vitesse de la roue	70
III.5.2.2. La vitesse du véhicule	71
III.5.2.3.La distance de freinage	72
III.5.2.4.Le glissement	73
III.6. Les résultats de simulation en utilisant la commande floue et la commande neuronale.	75
III.6.1. la commande floue.....	75
III.6.1.1.La vitesse de la roue	75
III.6.1.2.La vitesse du véhicule	75
III.6.1.3.La distance de freinage	76
III.6.1.4.Le glissement	77
III.6.2.la commande neuronale.....	77
III.6.2.1.La vitesse de la roue.....	77
III.6.2.2.La vitesse du véhicule	78
III.6.2.3.La distance de freinage	79

III.6.2.4.Le glissement	79
III.6.3. courbes comparatives des deux commandes.....	80
III.6.3.1.La vitesse de la roue	80
III.6.3.2.La vitesse du véhicule.....	81
III.6.3.3.La distance de freinage	82
III.6.3.4.Le glissement	83
III.7. Conclusion.....	84
CONCLUSION GENERALE.....	86
BIBLIOGRAPHIE.....	88

Liste des figures

Figure I.1. Système de freinage classique.....	4
Figure I.2. Frein à disque (montage rigide).....	5
Figure I.3. Frein à disque (montages flottants).....	6
Figure I.4. Frein à tambour.....	6
Figure I.5. Le Système de freinage ABS.....	8
Figure I.6. Schéma de L'ABS.....	11
Figure I.7. Boîtier de commande électronique.....	12
Figure I.8. Modulateur	13
Figure I.9. Électrovanne en repos.....	14
Figure I.10. Pompe hydraulique.....	14
Figure I.11. Capteur des roues.....	15
Figure I.12. Bague de serrage de capteur.....	16
Figure I.13. Roue dentée.....	16

Figure I.14. Câbles de capteur.....	16
Figure I.15. Témoin ABS.....	17
Figure I.16. Freinage en mode antiblocage.....	18
Figure I.17. Phase de maintien de la pression.....	21
Figure I.18. Phase de diminution de la pression.....	22
Figure I.19. Dispositif 4 canaux – 4 capteurs.....	23
Figure I.20. Dispositif 3 canaux – 3 capteurs.....	23
Figure I.21. Dispositif 3 canaux – 4 capteurs + stratégie.....	24
Figure I.22. Exemple de modèle SIMULINK.....	25
—————	
Figure II.1. Modèle du véhicule trimestre.....	27
Figure II.2. Coefficient de frottement μ en fonction du taux de glissement de la roue.....	31
Figure II.3. Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS sans controleur.....	32
Figure II.4. Schéma de principe de système d'asservissement.....	33
Figure II.5. Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec un controleur BB....	35
Figure II.6. Test en asservissement sur un procédé instable(P).....	36
Figure II.7. Schéma du contrôleur (PI).....	36
Figure II.8. Test en asservissement sur un procédé instable (PI).....	37
Figure II.9. Modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec PI.....	38
Figure II.10. Différentes formes des fonctions d'appartenance.....	40
Figure II.11. Exemple d'opérations sur des ensembles flous.....	41
Figure II.12. Configuration de base d'un régulateur par logique floue (RLF).....	42
Figure II.13. Fonctions d'adhésion pour : (a) les entrées, et (b) la sortie.....	46

Figure II.14. Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec un contrôleur flou..	47
Figure II.15. Représentation schématique d'un neurone biologique.....	50
Figure II.16. Modèle d'un neurone artificiel.....	51
Figure II.17. Représentation matricielle d'un neurone artificiel.....	52
Figure II.18. Composition d'un RNA.....	53
Figure II.19. Structure d'un RNA non bouclé (feed-forward).....	54
Figure II.20. Structure d'un RNA dont les connexions sont récurrentes (bouclées)	55
Figure II.21. Modèle du réseau de neurones utilisé.....	58
Figure II.22. Fenêtre d'entraînement de réseau de neurones du système.....	59
Figure II.23. Régression entre les sorties et les Targets.....	59
Figure II.24. Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec un contrôleur par RNA.....	60

Figure III.1. La vitesse de la roue sans contrôleur.....	63
Figure III.2. La vitesse du véhicule sans contrôleur.....	63
Figure III.3. La distance de freinage sans contrôleur.....	64
Figure III.4. Le glissement sans contrôleur.....	64
Figure III.5. La vitesse de la roue avec un contrôleur BB.....	65
Figure III.6. La vitesse du véhicule avec un contrôleur BB.....	66
Figure III.7. La distance de freinage avec un contrôleur BB.....	66
Figure III.8. Le glissement avec un contrôleur BB.....	67
Figure III.9. La vitesse de la roue avec un contrôleur PI.....	67
Figure III.10. La vitesse du véhicule avec un contrôleur PI.....	68

Figure III.11. La distance de freinage avec un contrôleur PI.....	68
Figure III.12. Le glissement avec un contrôleur PI.....	69
Figure III.13. Schéma bloc comparatif (sans contrôleur, avec BB et avec PI).....	69
Figure III.14. Les courbes comparatives de la vitesse de la roue(sans contrôleur, avec BB et avec PI).....	70
Figure III.15. Les courbes comparatives de la vitesse du véhicule (sans contrôleur, avec BB et avec PI).....	71
Figure III.16. Les courbes comparatives de la distance de freinage (sans contrôleur, avec BB et avec PI).....	72
Figure III.17. Les courbes comparatives du glissement(sans contrôleur, avec BB et avec PI).....	73
Figure III.18. La vitesse de la roue avec un contrôleur par LF.....	75
Figure III.19. La vitesse du véhicule avec un contrôleur par LF	75
Figure III.20. La vitesse du véhicule et la vitesse de la roue avec un contrôleur par LF	76
Figure III.21. La distance de freinage avec un contrôleur par LF	76
Figure III.22. Le glissement avec un contrôleur par LF	77
Figure III.23. La vitesse de la roue avec un contrôleur par RNA.....	77
Figure III.24. La vitesse du véhicule avec un contrôleur par RNA.....	78
Figure III.25. La vitesse du véhicule et la vitesse de la roue avec un contrôleur par RNA...	78
Figure III.26. La distance de freinage avec un contrôleur par RNA.....	79
Figure III.27. Le glissement avec un contrôleur par RNA.....	79
Figure III.28. La vitesse de la roue avec un contrôleur par RNA et par LF.....	80
Figure III.29. La vitesse du véhicule avec un contrôleur par RNA et par LF.....	81
Figure III.30. La distance de freinage avec un contrôleur par RNA et par LF.....	82

Figure III.31. Le glissement avec un contrôleur par RNA et par LF.....	83
---	----

La liste des tableaux :

Tableau I.1. Les composants d'un modulateur.....	13
Tableau I.2. Composants du capteur des roues.....	15
Tableau I.3. Composants du système de freinage en mode antiblocage.....	19
Tableau II.1. Coefficients pour états des routes	30
Tableau II.2. Les paramètres d'entrée.....	31
Tableau II.3. Règles du contrôleur par logique floue.....	47
Tableau II.4. Les différentes fonctions d'activation utilisées dans les RNA.....	53
Tableau III.1. Tableau comparatif entre les résultats sans contrôleur, avec BB et avec PI...	73
Tableau III.2. Tableau comparatif entre les résultats avec RNA et avec LF.....	83

Abréviations:

ABS:antilock braking system.

BB: bang-bang.

PI: proportionnel intégral.

RNA: réseaux de neurones artificiels.

IA : intelligence artificielle.

LF: logique floue.

RLF: régulateur par logique floue.

Introduction générale

Dans ce mémoire de master, nous avons étudié un système de freinage ABS pour véhicules. Ce frein inventé dès le début des années 70 en Allemagne est venu au secours du frein classique où différentes situations de danger de conduite ont été relevées principalement le glissement, la longue distance d'arrêt de freinage et l'instabilité du véhicule lors de freinage[1].

Le frein ABS a pour rôle principal d'annuler ou au moins diminuer ces anomalies qui peuvent mettre le conducteur en danger. La fonction de frein ABS est d'éviter le blocage des roues durant le freinage. Sous des conditions normales de freinage, le conducteur peut contrôler les freins. Cependant durant un freinage intense et difficile ou devant une chaussée glissante, quand le conducteur freine le système anti blocage ne fonctionne plus. Le frein ABS corrige le freinage de la roue indépendamment de la force exercée sur la pédale de frein pour amener la vitesse des roues inférieure à un niveau du taux de glissement qui est nécessaire pour une performance optimale du freinage[1].

Le système anti blocage (ABS) comprend des organes auxiliaires comme les capteurs des roues, un modulateur hydraulique et une unité de contrôle électronique (ECU). Le frein ABS a un système de contrôle qui module la pression du freinage en réponse à la décélération de la roue et de la vitesse angulaire et ce pour prévenir la roue contrôlée d'être bloquée. Le système ne fonctionne pas quand la vitesse du véhicule descend en dessous d'une valeur bien déterminée.

Dans la commande des systèmes non linéaires ou ayant des paramètres non constants, comme le cas de notre système, les lois de commande classique peuvent être insuffisantes car elles sont non robustes surtout lorsque les exigences sur la précision et autres caractéristiques dynamiques des systèmes sont strictes. On doit faire appel à des lois de commande insensibles aux variations des paramètres, aux perturbations et aux non linéarités. Dans cet objectif, plusieurs outils sont proposés dans la littérature, dont on cite la logique floue et les réseaux de neurones artificiels.

L'objectif de ce travail est d'étudier des méthodes avancées appliquées à la commande d'ABS et de les implanter afin d'obtenir un système de commande de haute performance, robuste aux variations des conditions de travail et de paramètres. Le critère de robustesse

Introduction générale

demeure un défi pour les électrotechniciens. Ce critère ne peut être satisfait qu'en appliquant des techniques avancées de commande.

Afin d'atteindre l'objectif d'ABS, on a présenté ce mémoire organisé comme suit :

- Le premier chapitre décrit la bibliographie et l'historique du frein ABS et les travaux sur le fonctionnement et les contrôleurs, ainsi que le fonctionnement de l'ABS par la représentation de ses différents composants.

- Le deuxième chapitre contient la formulation du modèle mathématique du véhicule et les équations dynamiques, la théorie et la description schématique des différents contrôleurs (Bang-bang, PI, Contrôleur flou et contrôleur par réseaux de neurones artificiels) qui ont été utilisés dans notre étude.

- Dans le troisième chapitre, nous avons présenté la résolution de l'ABS sans et avec contrôle. Les résultats sont donnés en fonction du temps par le graphisme de MATLAB.

Donc, notre travail a pour but de faire une étude comparative entre la commande neuronale et la commande floue dans un système de freinage ABS, et déduire la meilleure commande qui offre de meilleurs résultats et une meilleure robustesse.

Chapitre I

Généralités sur le système de freinage ABS

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

I.1.Introduction

La raison de l'utilisation du système de freinage ABS est bien pour que les roues ne soient pas bloquées pendant le freinage. La dynamique du contrôle de ce système de freinage dépend de différents facteurs. Le contrôle ABS nécessite un moment de contrôle nécessaire pour maintenir une valeur optimale du taux de glissement des roues. Le taux de glissement est exprimé au terme de vitesse de déplacement du véhicule et de vitesse de rotation des roues.

Dans ce mémoire toutes les équations de la dynamique de freinage du véhicule sont exprimées en fonction de la vitesse du véhicule ainsi que celle des roues, Elles sont ensuite traduites en modèle SIMULINK [1]. Dans le but de comprendre l'ABS convenablement, nous devons faire une petite introduction sur le freinage classique, puis passer au système de freinage ABS.

I.2.Le système de freinage classique

Lorsque le conducteur applique un appui sur la pédale du frein, il actionne le maître-cylindre, ce dernier est défini comme un système piston cylindre rempli d'huile provenant d'un réservoir d'huile spécial frein, ce qui permet de créer une pression à la sortie du maître-cylindre.

Cette pression est par la suite transmise aux freins (tambour ou disque) par l'intermédiaire d'un circuit hydraulique (figure. I.1).

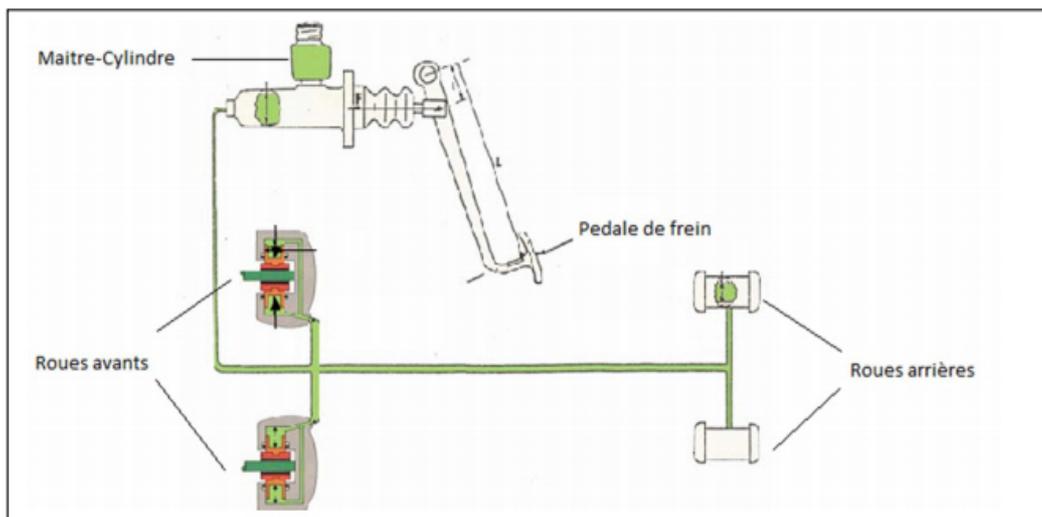


Figure I.1 : Système de freinage classique [02]

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

I.3. Les différents types de frein

Dans la mécanique des véhicules automobiles, on distingue deux types de freins : les freins à tambour et les freins à disque.

I.3.1. Les freins à disque

Il existe deux types de montage :

- Le montage rigide.
- Le montage flottant.

a) Le montage rigide

Deux pistons opposés, chacun possède une plaquette à l'une de ses extrémités [02], chaque piston applique une certaine force pour mettre une plaquette sur le disque. Dans tous les cas, le rappel des plaquettes est effectué par le voile du disque et celui des pistons par le joint d'étanchéité, les joints carrés donnent un "rappel" de 0,3 à 0.5 mm.

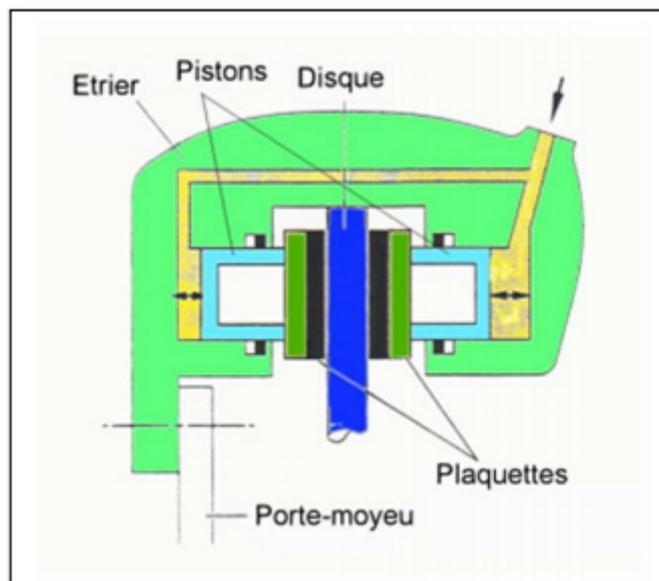


Figure I.2: frein à disque (montage rigide).

b) Les montages flottants

Dans ce type de montage, nous distinguons deux principaux temps. Dans le premier temps, c'est le piston qui applique une force afin de pousser la plaquette contre le disque. Dans le second temps, le piston n'avance guère, c'est à l'étrier d'avancer et se déplacer par rapport à la chape afin de bien pousser la deuxième plaquette contre le disque [02].

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

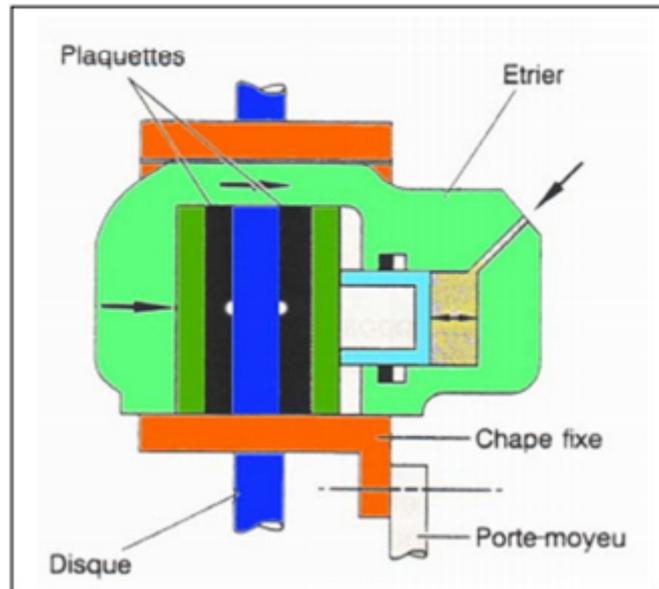


Figure. I.3 : frein à disque (montages flottants).

I.3.2. Les freins à tambour

Un frein à tambour est un système de freinage constitué d'une cloche ou cylindre, à l'intérieur duquel se trouve un mécanisme comportant au moins deux mâchoires en forme d'arc de cercle munies de garnitures. Sous l'action de cames ou de pistons, les garnitures des mâchoires viennent frotter sur l'intérieur du tambour et s'écartent afin de réaliser le freinage. L'écartement est réalisé grâce à une came [02]. Les mâchoires reviennent en position grâce à un ressort.

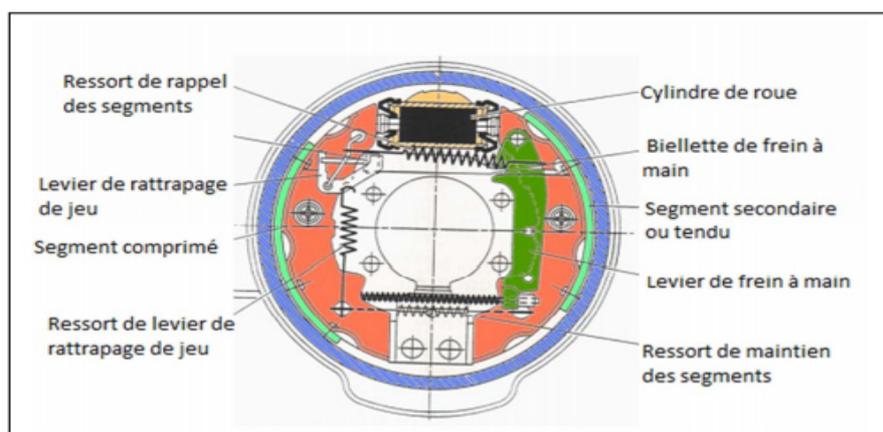


Figure. I.4 : frein à tambour.

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

I.4. Les inconvénients du frein classique

Lors d'un freinage de secours dans le système de freinage classique, lorsque le conducteur appuie fortement sur la pédale du frein de son véhicule suite à un danger [02], un majeur problème se produit instantanément, c'est le blocage des roues. Ce dernier peut provoquer :

- La perte de la stabilité directionnelle et le dérapage du véhicule.
- La perte de la dirigeabilité du véhicule.
- L'augmentation de la distance de freinage.
- L'usure des pneumatiques.

I.5. La nécessité du freinage ABS

Afin de mettre fin ou au moins diminuer les inconvénients du frein classique, un nouveau système de freinage a été inventé en 1977 en Allemagne par Bosch, c'est ce que l'on appelle le frein ABS [03].

Le frein ABS répond aux questions précédentes par :

- La régulation de freinage doit prendre en compte extrêmement et rapidement les variations d'adhérence de la chaussée. Par exemple, sur une route sèche avec des plaques de verglas par endroits, la durée d'un blocage éventuel des roues doit être suffisamment courte pour que la stabilité et la maniabilité ne s'en trouvent pas affectées.
- En phase de freinage ABS, la stabilité du véhicule et la dirigeabilité doivent être assurées, aussi bien lors d'une montée lente de la pression de freinage jusqu'au blocage, que lors d'une montée de pression brutale pour un freinage d'urgence.
- La régulation de freinage doit fonctionner sur toute la plage de vitesse du véhicule.
- Les couples de lacet (rotation autour de l'axe vertical du véhicule), inévitables en phase de freinage sur une chaussée présentant des coefficients d'adhérence gauche droit différents, doivent apparaître suffisamment lentement pour que le conducteur puisse les compenser avec la direction.
- La diminution du risque d'accident.

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

- Lors d'un freinage en virage avec une vitesse du véhicule ne dépassant pas la vitesse limite en virage, la stabilité et la maniabilité doivent être conservées, la distance de freinage réduite au minimum ce qui peut éviter les collisions.

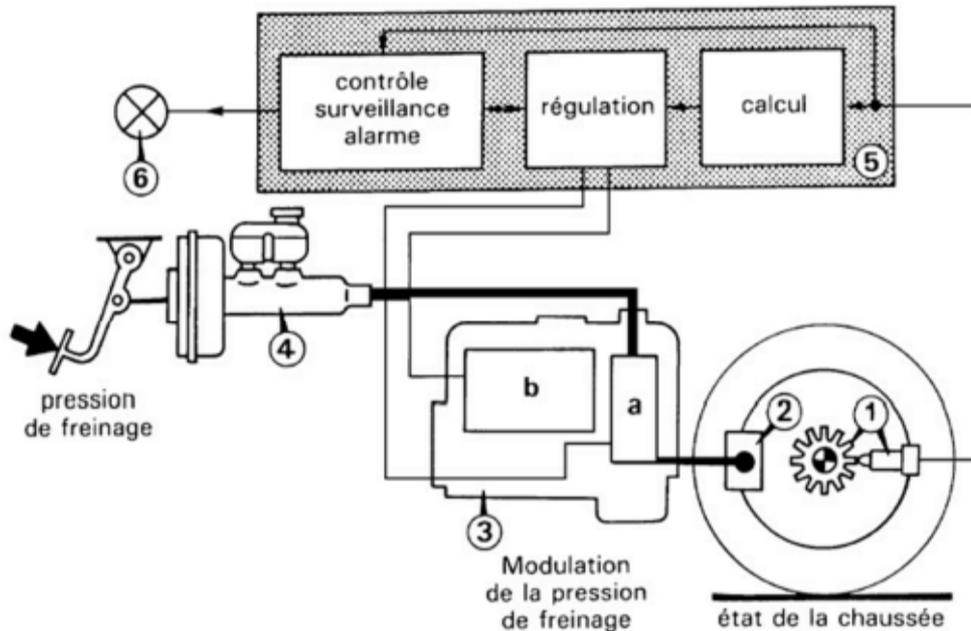


Figure. I.5 : Le Système de freinage ABS [04].

I.2. Système de freinage ABS

I.2.1. Historique

Dans les années 1920, Rémy DOHER pionnier de l'automobile et de l'aviation adapte un système d'antiblocage à fonctionnement hydraulique, ce système permit aux avions d'atterrir sans dérapage sur leurs couloirs, ce qui n'était pas le cas du système de freinage mécanique qui était utilisé [04].

En 1928, l'allemand Karl Wessel obtient une licence pour la conception d'un dispositif de freinage d'urgence pour l'automobile, mais ses travaux ne dépassent pas le stade de l'étude. C'est en 1936 que naît l'idée d'un système de freinage ABS avec Bosch qui dépose un brevet d'invention pour un tel dispositif [05].

Dans les années 1960 les travaux de recherche et développement pour des applications de l'ABS à l'automobile redémarrent à Heidelberg dans la société Teldix (contraction de Telefunken et Bendix, sociétés partenaires du projet). En 1966, la première voiture pourvue

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

d'un ABS mécanique est la Jensen FF équipée d'un ABS de type Dunlop-Maxaret. La société Bendix qui cherchait à commercialiser ce dispositif avait fait réaliser un film de promotion. Le réalisateur en était Claude Lelouch, le présentateur Michel Drucker et le cascadeur n'était autre que Rémy Julienne. Le titre du film était L'Arrêt et comportait quelques très belles images, comme celles qui montraient comment l'homme montant un cheval à cru sans renne, parvenait à stopper celui-ci.

En 1969, la première génération d'un système antiblocage contrôlé électroniquement est présentée au Salon de l'automobile de Francfort (Internationale Automobil-Ausstellung ou IAA) par la compagnie américaine ITT Automotives qui avait racheté Alfred Teves GmbH, 5. Et c'est dans cette version du système que la vitesse d'enfoncement de la pédale de frein est mesurée et indique un freinage d'urgence probable.

En 1970, la Citroën SM a failli être équipée d'un ABS Teldix, mais les difficultés financières d'Automobiles Citroën et le premier choc pétrolier ont raison du projet d'application. Ce dispositif comprenait environ 1 000 composants analogiques, et était donc très lourd et lent au fonctionnement. Grâce à la technologie numérique, la quantité de pièces pourra être réduite à 140 composants et permettra ainsi une production du système en série.

En 1975, Bosch achète les brevets et licences à Teldix sur l'élaboration d'un dispositif visant à éviter le blocage des roues d'un véhicule à moteur à combustion interne [06].

En 1978, Bosch commercialise son ABS électronique (ABS2) et en même temps en fait une marque déposée. Les autres équipementiers et constructeurs utiliseront le terme ABV (AutomatischerBlockierverhinderer). Et les premiers véhicules à en être dotés en option sont les modèles allemands : Mercedes classe S en octobre et BMW série 7 en décembre.

En 1985, la Ford Scorpio est le premier véhicule à en être équipé de série. En 1988, La BMW K1 est la première moto à en être doté en option d'un système du fournisseur FAG Kugelfischer et cela coûtait 1 980 DM.

En 1986, à la demande de PSA à qui Bosch refusait de livrer les volumes d'ABS nécessaires à sa stratégie d'équipement, privilégiant les constructeurs allemand, Bendix recommençait le développement d'un système ABS. Le système fut lancé sur la 405 Mi16, puis étendu aux 605 et XM. Renault fut également client de ce système avec la R19. Ces produits ont été fabriqués à Drancy. Compte tenu des développements commerciaux, un

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

deuxième site de production situé à Moulins (Allier) fut équipé de ligne d'usinage et de montage à partir de 1992. Ce site produisit des systèmes Mécatronic 2 puis 3 pour la Ford Mondéo.

L'histoire bégaya et Bosch se porta acquéreur en 1996 de l'activité de freinage de Bendix devenu entretemps AlliedSignal. Cet achat comprenait l'activité ABS d'AlliedSignal. Bien que disposant d'une usine importante en Europe, Bosch décida néanmoins de poursuivre la production d'ABS à Moulins compte-tenu des performances de cette usine et lança en septembre 1997 la production d'ABS 5.3 à destination des constructeurs français et italiens. Grâce à ce site, la production d'ABS se poursuit aujourd'hui encore sur le sol Français.

En 2003, Daimler-Benz a développé le système, appelé ; BAS Plus, en lui couplant un radar de régulation de distance. L'objectif était d'éviter les collisions par l'arrière ou tout au moins d'en diminuer la vitesse d'impact. Si le véhicule suiveur en est aussi équipé, la distance et la vitesse de rapprochement des deux véhicules sont constamment mesurées. En cas de vitesse différentielle trop élevée, une alarme visuelle est déclenchée et la moindre action sur les freins active le freinage d'urgence assisté [07].

En 2004, l'usine Biria située à Neukirch/Lausitz près de Heidelberg en Allemagne monte le premier système ABS sur un vélo.

Depuis 2004, la législation européenne impose l'équipement en série de l'ensemble des nouvelles voitures commercialisées dans l'Union.

En 2005, le système ABS Plus équipe le modèle Mercedes-Benz Classe S W221.

I.2.2. Définition

Le système de freinage ABS (Antilock Braking System) équipe désormais tous les véhicules récents, c'est un système permettant d'éviter le danger d'instabilité lors du freinage brusque et intense face à un obstacle. Il permet d'éviter le blocage d'une ou plusieurs roues pendant le freinage intense et excessif. Le conducteur qui éprouve des difficultés pour contrôler l'intensité de son freinage doit connaître cependant les dangereuses conséquences d'une conduite sans ABS ou avec un système ABS hors service.

Le système de freinage ABS se rajoute au système de freinage conventionnel, tant que les roues sont stables, l'ABS reste passif, autrement dit ; les pressions admises dans les étriers

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

de frein sont celles générées dans le maître-cylindre par le conducteur. Lorsque le calculateur détecte le début d'instabilité d'une roue, il empêche la poursuite de sa montée en pression, si l'instabilité se poursuit, la pression est rapidement diminuée, lorsque cette roue ré-accélère, la pression de freinage effectue une succession de montée de pression lente jusqu'à ce que la roue présente de nouveau une tendance au blocage, et que le cycle précédent recommence.

Eviter le blocage des roues est primordial, son importance se manifeste comme suit:

- Le conducteur maintient et maîtrise la stabilité de direction du véhicule. Si cette dernière n'est pas produite, l'accident ou percutement d'obstacle est inévitable.
- La distance d'arrêt du véhicule pendant le freinage est réduite, cela est dû à ce que la force de freinage entre le pneu et la route atteint son maximum qui minimise ainsi la distance d'arrêt.

Afin d'obtenir une conduite sans danger, le système ABS utilise une série de composants qui permettent d'assurer la fonction requise en toute complicité. Les capteurs de vitesse de la voiture permettent de déterminer si une roue est sur le point de bloquer. Ensuite, une série de soupapes hydrauliques limite ou réduit le freinage de cette roue. Cela permet au conducteur de garder le contrôle de la voiture et empêche la voiture de partir en vrille, la figure ci-dessous montre un schéma d'ABS (Figure. I.7).

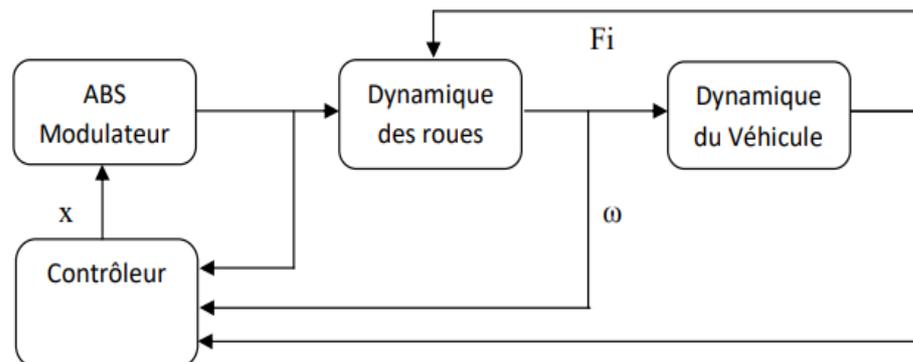


Figure. I.6. Schéma de L'ABS [08].

I.2.3. Les composants du système

Le système de freinage hydraulique est constitué des composants suivants :

- a) L'unité de contrôle électronique (ECU).

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

- b) Le modulateur de pression.
- c) Capteurs de vitesse des roues.
- d) Témoin ABS.

a) Boîtier de commande électronique (ECU)

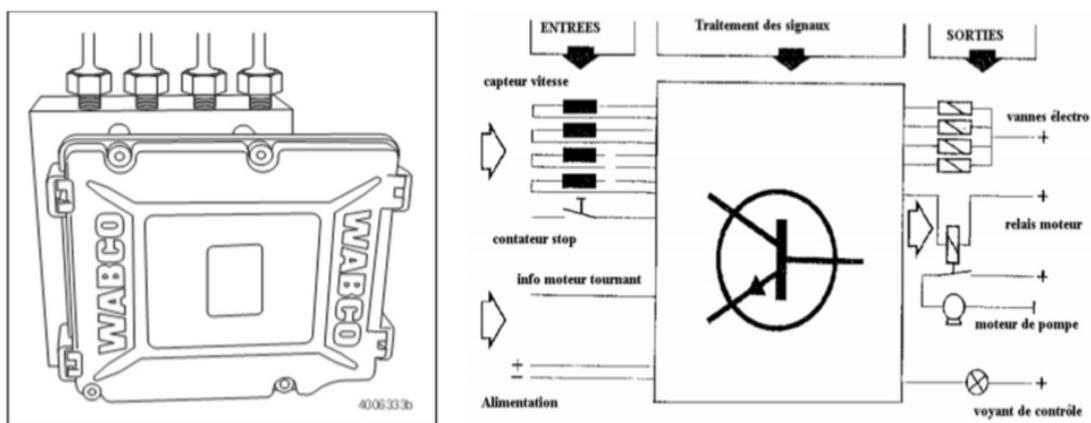
Le calculateur reçoit des informations des capteurs de vitesse de roues et du contacteur stop (pédale : pour faire la différence entre un glissement au freinage et un glissement au démarrage) [09].

Il reçoit également une alimentation électrique et une mise à la masse.

En retour, il pilote les électrovannes, le voyant de contrôle au tableau de bord et le relais de la pompe de réinjection.

A la mise du contact, il effectue un « autodiagnostic » du dispositif. Si un défaut du système apparaît en roulage, le voyant s'allume au tableau de bord et le calculateur met hors service le dispositif A.B.S.

Dans ce cas, on dispose du système de freinage traditionnel. Le calculateur garde également en mémoire tous les défauts et permet la lecture de ceux-ci avec la station diagnostic.



Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

b) Ensemble modulateur

L'ensemble modulateur contient les électrovalves du système hydraulique ABS, une électrovalve d'entrée et une électrovalve de sortie par roue, un moteur à pompe et deux accumulateurs [09].

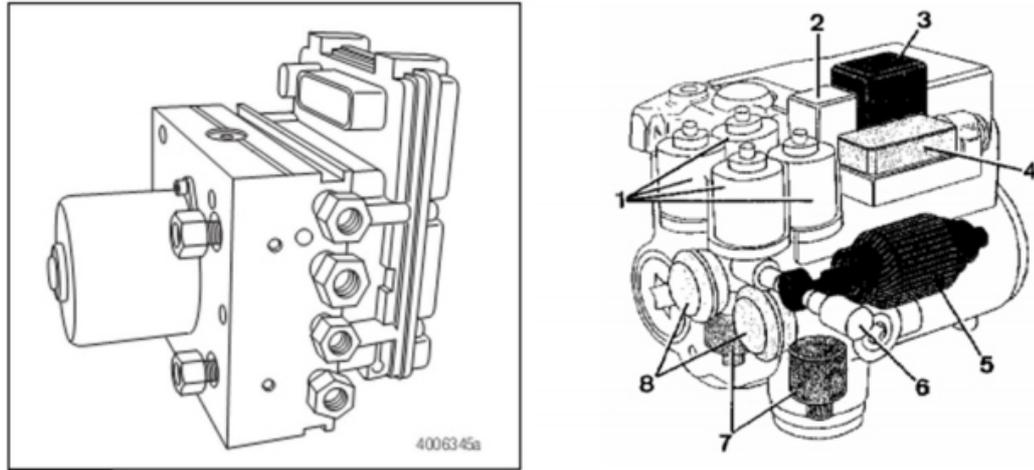


Figure. I.8. Modulateur

1	Electrovannes	5	Moteur électrique de pompe
2	Relais de pompe	6	Élément de pompage
3	Relais des électrovannes	7	Accumulateur hydraulique
4	Connections câblage électrique	8	Chambre de silence

Tableau I.1. Les composants d'un modulateur.

- Électrovannes

Elles permettent de :

- Mettre en communication le maître-cylindre et le cylindre récepteur. (Freinage normal).
- Couper cette communication, interdisant ainsi l'augmentation de pression dans le cylindre.
- Mettre le cylindre récepteur en communication avec une pompe de refoulement, ceci faisant chuter la pression dans le cylindre et donc défreine la roue.

Les électrovannes sont constituées d'un bobinage alimenté et mises à la masse par le calculateur. L'intensité traversée est en fonction du déplacement souhaité du noyau - piston.

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

La course de celui-ci est de quelques dixièmes de millimètres. Les électrovannes peuvent être au nombre de 3 ou 4 [10].

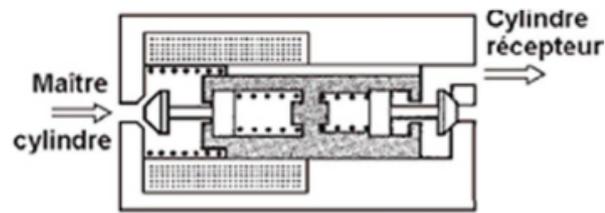


Figure. I.9. Électrovanne en repos [04].

-L'élément de pompage

La pompe hydraulique fournit une haute pression qui va être utilisée comme une source de pression dans le dispositif de freinage. La pression de freinage est proportionnelle à l'action de l'utilisateur sur la pédale de frein.

Cette pompe hydraulique et électrique délivre une pression régulée par deux manocontacts entre 160 et 180 bars.

-Dès que la pression descend au-dessous de 80 bars, les manocontacts alertent le calculateur que la pression est très faible. Celui-ci, par l'intermédiaire d'un relais, alimente la pompe en énergie électrique [10].

-Un accumulateur (sphère) permet de constituer une réserve de pression.

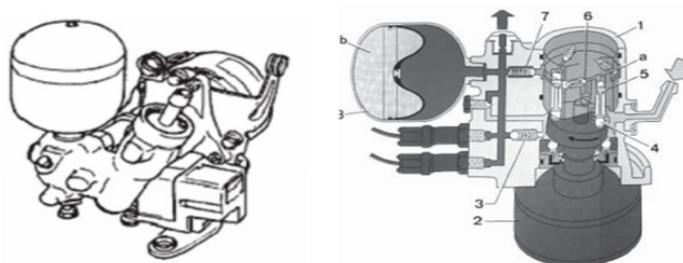


Figure. I.10. Pompe hydraulique [10]

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

c) Capteurs de vitesse des roues

- Capteur à douille moulée

Permet de lire la vitesse d'une roue dentée montée sur le moyeu de la roue du véhicule.

Produit une tension finale proportionnelle à la vitesse de la roue.

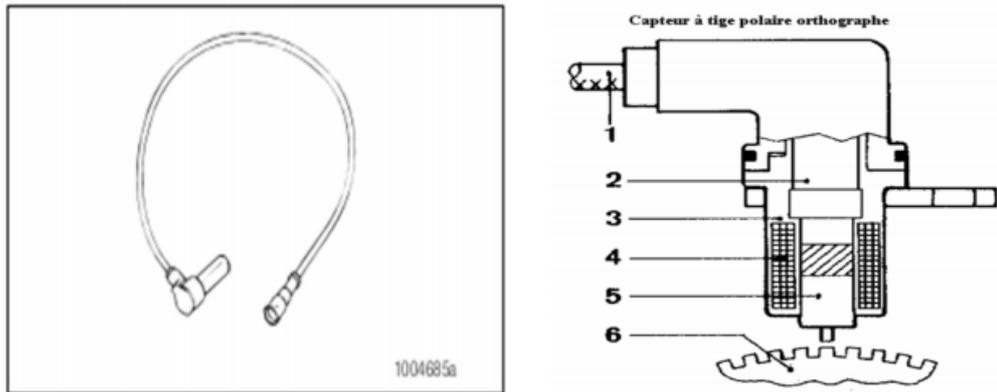


Figure. I.11. Capteur des roues [04]

1	Câble électrique
2	Aimant permanent
3	Boîtier
4	Enroulement
5	Tige polaire
6	Cible

Tableau I.2. Composants du capteur des roues.

- Bague de serrage de capteur

Maintient le capteur de vitesse de roue très près de la roue dentée [09].

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

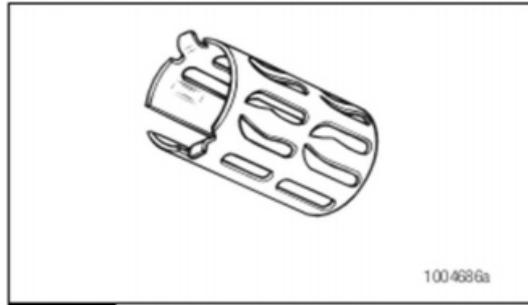


Figure. I.12. Bague de serrage de capteur

- Roue dentée

Une bague usinée ou estampée montée sur une surface usinée sur le moyeu de chaque roue équipée d'un capteur de frein ABS. Elle compte 100 dents.



Figure. I.13. Roue dentée

- Câbles de capteur

C'est un câble à deux fils avec connecteur moulé, il permet de relier le capteur de vitesse au boîtier de commande.

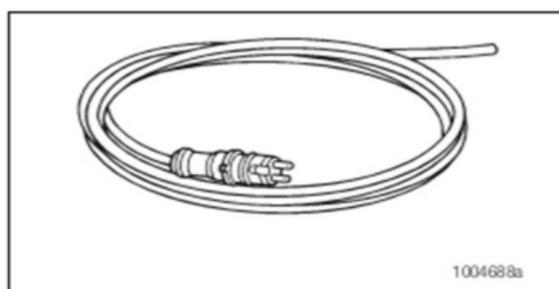


Figure. I.14. Câbles de capteur

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

d) Témoin ABS

Il est situé sur le tableau de bord du véhicule. Il fait la fonction d'avertir le conducteur d'une possible défaillance du système. Utilisé par le personnel d'entretien pour afficher les codes clignotants.

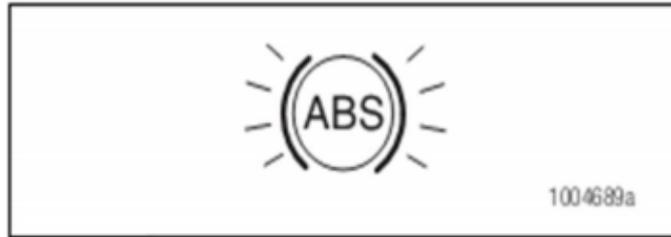


Figure. I.15. Témoin ABS

I.2.4. Principe de fonctionnement

Avant le premier freinage, le système de freinage antiblocage s'assure du bon fonctionnement de ses composants en effectuant les deux autotests suivants:

- Le premier autotest s'effectue lorsque le commutateur d'allumage est à la position «ON». Les témoins du système de freinage antiblocage «ANTI-LOCK» et celui du circuit de freinage «BRAKE» s'allument pendant 2 secondes environ et s'éteignent ensuite. Ce test confirme le bon fonctionnement des témoins des freins.
- Le deuxième autotest s'effectue lorsque le véhicule atteint une vitesse supérieure à 5 km/h environ. À ce stade, le relais interne du module de commande électronique des freins, les six électrovannes et le moteur de la pompe de recirculation sont mis en fonction et hors fonction en alternance et sont vérifiés pour s'assurer de l'absence de courts-circuits ou de circuits ouverts. À noter que la pompe de recirculation produit un son lors de son fonctionnement.

I.2.4.1. Freinage en mode normal

Durant un freinage normal, la pression est exercée par l'intermédiaire de la pédale de frein. Le liquide à frein se déplace du maître-cylindre jusqu'à l'unité de commande électrohydraulique des freins. Une fois dans l'unité [11], le liquide se déplace à travers les électrovannes de maintien de pression normalement ouvertes (N.O.) et les électrovannes de

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

diminution de pression normalement fermées (N.F.) et puis, s'écoule dans les cylindres de roue et/ou les étriers.

Pendant ce mode de freinage, le moteur électrique de la pompe de recirculation n'est pas en fonction. Les accumulateurs de dépressurisation sont vides. Seule la pression résiduelle est accumulée dans ces accumulateurs.

Le module de commande électronique des freins surveille constamment les capteurs de vitesse des deux roues avant (Wheel Speed Sensor – WSS) et celui du calibrateur de vitesse du véhicule (Vehicle Speed Sensor – VSS) pour y déceler une éventuelle décélération rapide. Si le système de freinage antiblocage n'est plus autorisé pour une raison quelconque, le conducteur pourra toujours se servir de ses freins en mode de fonctionnement normal. Les électrovannes de maintien de pression normalement ouvertes et les électrovannes de diminution de pression normalement fermées resteront ouvertes dans ces positions afin de permettre à la pression du liquide à frein d'être transmise aux roues. Le système de freinage antiblocage ne fonctionne pas en l'absence de blocage de roue. Le véhicule doit rouler à une vitesse d'au moins 10 km/h environ pour que le système de freinage antiblocage fonctionne.

I.2.4.2. Freinage en mode antiblocage

Le système de freinage antiblocage vérifie les signaux d'entrée des capteurs de vitesse des roues avant et ceux du calibrateur de vitesse du véhicule et commande les changements de pression hydraulique de chaque roue jusqu'à ce que le véhicule soit complètement immobilisé [11], ou jusqu'à ce que le conducteur ait relâché la pédale de frein.

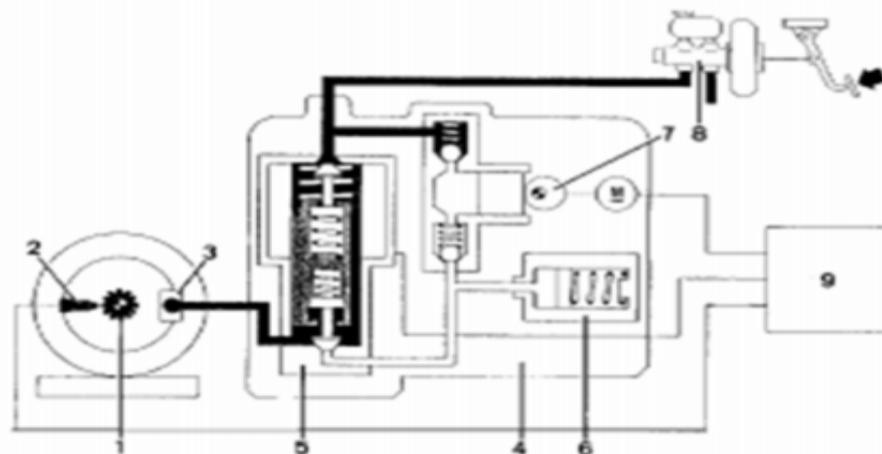


Figure. I.16. freinage en mode antiblocage [04].

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

1	Cible	6	Accumulateur
2	Capteur de vitesse	7	Pompe de retour
3	Cylindre de frein de roue	8	Maître-cylindre de frein
4	Groupe hydraulique	9	Calculateur électronique
5	Electrovanne		

Tableau I.3. Composants du système de freinage en mode antiblocage.

Le système fonctionne en utilisant les procédés suivants :

- Phase de maintien de la pression.
- Phase de diminution de la pression.
- Phased'augmentation de la pression.
- Phase de desserrage des freins.

Séquence des événements

- Première étape

Lorsque le véhicule roule à 10 km/h ou plus, le conducteur appuie sur la pédale de frein.

- Deuxième étape

La vitesse de la roue commence à décroître lorsque la pression du maître-cylindre et la pression de freinage augmentent.

- Troisième étape

Pendant que la vitesse de roue continue de diminuer par rapport à la vitesse du véhicule, l'électrovanne de maintien de pression normalement ouverte pour la canalisation concernée se ferme pour empêcher qu'une pression additionnelle ne parvienne à la roue. La pression du maître-cylindre continue d'augmenter à mesure que le conducteur appuie sur la pédale de frein mais la pression de freinage de roue est maintenant limitée à la pression du système de freinage antiblocage.

- Quatrième étape

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

Lorsque le module de commande électronique des freins détermine que la roue est sur le point de se bloquer, l'électrovanne de diminution de pression normalement fermée s'ouvre. Cette opération purge une partie de la pression à la hauteur du cylindre de roue ou de l'étrier afin de permettre à la roue de retourner à une vitesse plus près de celle du véhicule.

- Cinquième étape

L'électrovanne de diminution de pression est à nouveau fermée et l'électrovanne de maintien de pression reste fermée pour permettre à la vitesse de la roue de se rétablir du blocage.

- Sixième étape

Une fois le véhicule rétabli à la tendance au blocage, l'électrovanne de maintien de pression s'ouvre momentanément par impulsion pour permettre à la pression du maître-cylindre et à la pression de la pompe de recirculation d'atteindre les freins. La pression modulée continue d'augmenter jusqu'à ce que la roue soit à une puissance de freinage optimale ou jusqu'à ce que la pression de freinage égale la pression de sortie du maître-cylindre. Le système de freinage antiblocage permet au liquide à frein de s'écouler jusqu'à la roue, de générer de la pression et d'essayer de forcer un autre départ, en répétant les étapes 3 à 6 d'événements. Les paragraphes suivants décrivent de manière détaillée les différentes phases en mode de freinage antiblocage.

I.2.4.2.1.Phase de maintien de la pression

La phase de maintien de la pression survient lorsque le conducteur exerce une pression excessive sur la pédale de frein par rapport à la situation causant la décélération des roues à une vitesse qui excède la capacité du véhicule [11].

Si l'information transmise par les capteurs de vitesse de roue indique une décélération de roue excessive (blocage imminent), la première étape de la séquence antiblocage consiste à isoler la pression de freinage exercée par le conducteur.

Le module de commande électronique des freins applique une tension au solénoïde de l'électrovanne de maintien pour fermer l'électrovanne de maintien de pression. Cette action empêche qu'une pression de freinage additionnelle soit exercée par le conducteur et atteigne

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

la roue. Lorsque l'électrovanne de maintien de pression est fermée, des augmentations additionnelles de pression de freinage ne sont pas possibles.

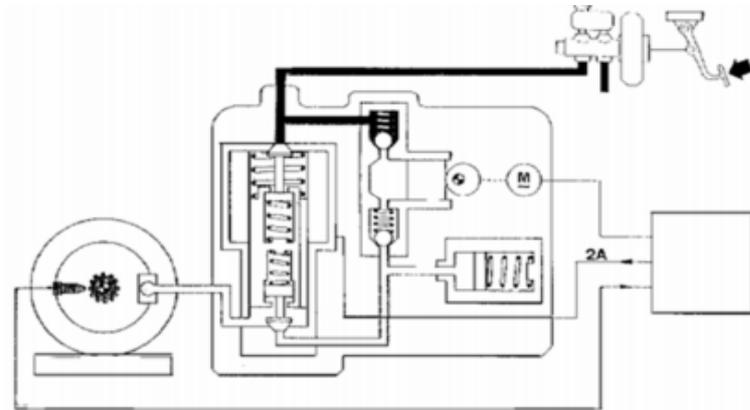


Figure. I.17.Phase de maintien de la pression [04].

I.2.4.2.2.Phase de diminution de la pression

Une fois la pression maintenue, elle peut être réduite pour permettre le roulement des roues à nouveau. La diminution de pression se fait en déchargeant une partie de la pression du liquide à frein dans un accumulateur de dépressurisation. Le module de commande électronique des freins alimente le solénoïde de l'électrovanne de diminution de pression pour l'ouvrir permettant au liquide des roues d'être déchargé dans l'accumulateur de dépressurisation.

De très courtes impulsions d'activation ouvrent et ferment le passage de l'électrovanne de diminution de pression pour moduler cette action. La pression de freinage est ainsi diminuée au niveau de la roue concernée et permet à celle-ci de recommencer à rouler normalement. Le liquide à frein, emmagasiné dans l'accumulateur de dépressurisation, sert à amorcer la pompe de recirculation afin de pouvoir appliquer à nouveau une pression. L'électrovanne de diminution de pression s'ouvre de manière indépendante pour agir sur la décélération de la roue. À partir de cette phase, la pompe de recirculation est mise en service par le module de commande électronique des freins jusqu'à la fin du mode antiblocage [11].

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

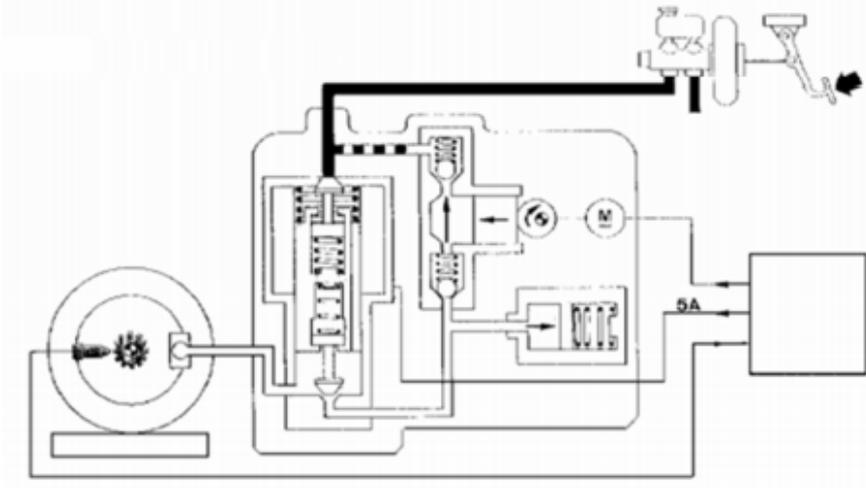


Figure. I.18. Phase de diminution de la pression [04].

I.2.4.2.3.Phase d'augmentation de la pression

La phase d'augmentation de la pression est établie de façon à obtenir un freinage optimal pour chacune des roues. L'électrovanne de maintien de pression s'ouvre momentanément sous l'effet d'une impulsion pour permettre à la pression du maître-cylindre et à la pompe de recirculation d'atteindre les freins. La pression, ainsi modulée, continue d'augmenter jusqu'à ce que la roue soit à la puissance de freinage optimale ou jusqu'à ce que la pression de freinage soit amenée à la pression de sortie du maître-cylindre [11].

Si plus de pression est nécessaire, une plus grande quantité de liquide est retirée du maître-cylindre et appliquée aux freins. À mesure que le liquide à frein est réintroduit, les roues commencent à ralentir à une vitesse optimale. Si les roues sont sur le point de bloquer, le module de commande électronique des freins passe en phase de maintien de pression, de diminution de pression et d'augmentation de pression. Ces cycles de commande (maintien, diminution et augmentation) surviennent par intervalles de millisecondes, ceci permet que plusieurs cycles surviennent par seconde qu'on appelle fréquence.

I.2.4.2.4.Phase de desserrage des freins

À la fin de l'arrêt d'un freinage antiblocage, lorsque le conducteur relâche la pédale de frein, la pompe de recirculation continue de fonctionner pendant une courte période pour permettre à tout liquide à frein emmagasiné dans l'accumulateur de dépressurisation de s'en échapper. À mesure que le liquide s'écoule et retourne au réservoir du maître-cylindre, la tension du ressort dans l'accumulateur de dépressurisation pousse le piston à sa position

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

initiale. Et, enfin, l'électrovanne de maintien de pression cesse de fonctionner et le liquide s'écoule par l'orifice de maintien de pression vers le réservoir du maître-cylindre.

Lors du freinage en mode antiblocage [11], le conducteur sentira des vibrations sur la pédale de frein ou une perte de fermeté de la pédale. Il s'agit d'une situation normale et prévue en mode antiblocage.

I.2.5. Différents types de montage de l'ABS

Les trois principaux systèmes d'ABS, existant actuellement, suivant le nombre de canaux et de capteurs sont représentés sur la figure ci-dessous [04].

- Dispositif 4 canaux – 4 capteurs

Le contrôle indépendant des 4 roues peut entraîner l'apparition de moments de lacet importants peu favorables au contrôle directionnel.

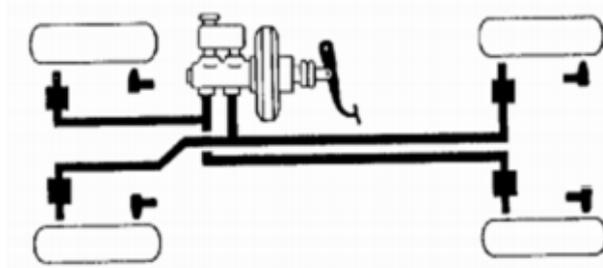


Figure. I.19. Dispositif 4 canaux – 4 capteurs [04].

- Dispositif 3 canaux – 3 capteurs

Train arrière contrôlé par la vitesse moyenne du train arrière. Généralement adopté sur pick-up.

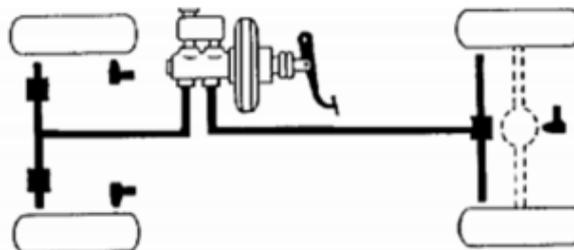


Figure. I.20. Dispositif 3 canaux – 3 capteurs

Chapitre I : Généralités sur le système de freinage ABS

-Dispositif 3 canaux – 4 capteurs + stratégie

Résultat assez semblable aux 4 canaux – 4 capteurs si stratégie

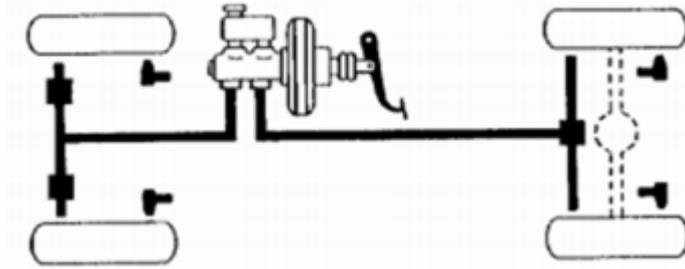


Figure. I.21. Dispositif 3 canaux – 4 capteurs + stratégie

I.2.6. Méthode de résolution

SIMULINK est généralement l'outil le plus utilisé pour la résolution de ce problème de dynamique avec plusieurs variables qui sont : Le taux de glissement, le frottement, la vitesse linéaire du véhicule, la vitesse de rotation de la roue.

SIMULINK

Simulink est une interface graphique permettant de décrire des graphes flots de données dont les blocs sont des fonctions décrites avec Matlab [12]. Ces graphes sont proches de la représentation schéma-bloc utilisée généralement par l'automaticien pour représenter les lois de commande d'un système automatisé. Il permet de spécifier et paramétrer rapidement un prototype grâce à des simulations prenant à la fois en compte le comportement continu du processus et le comportement discret du système temps réel évitant ainsi de longues phases de tests. Son utilisation est proche de celle des outils de C.A.O pour la conception des systèmes électroniques :

- il intègre une importante bibliothèque de blocs prédéfinis (gain, intégrateur, filtre...) comme les outils de C.A.O intègrent des bibliothèques de composants.
- comme pour les outils de C.A.O, il est possible de construire hiérarchiquement de nouveaux blocs, soit en utilisant des blocs existants, soit en créant de nouveaux blocs à partir de fonctions Matlab.

Chapitre II

Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

II.1. Introduction

Ce chapitre consiste à définir les types de commande que nous allons utiliser dans notre étude, ainsi que la modélisation de notre système (système de freinage antiblocage).

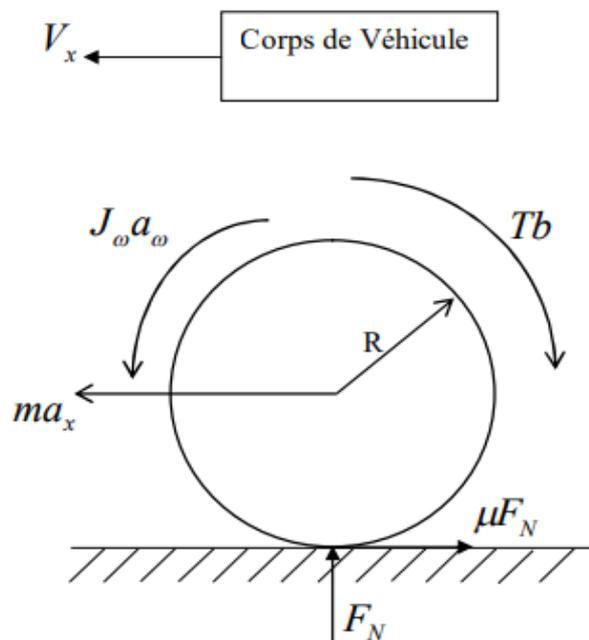
Notre travail est basé sur le contrôle de l'ABS par la logique floue et par les réseaux de neurones artificiels, ces derniers appartiennent à la famille de l'intelligence artificielle (IA), une discipline majeure du génie informatique. L'intelligence artificielle trouve ses applications dans une vaste gamme de domaines, incluant la commande.

En pratique, un modèle de véhicule qui renferme toutes les caractéristiques précédentes est trop compliqué quant à son utilisation dans un système de contrôle de design.

Toutefois, un modèle simplifié qui peut prendre en danger ces paramètres peut être utilisé pour un contrôle de design.

Le contrôle de design considéré ici est le quart du modèle du véhicule comme le montre la figureII.1.

Ce modèle est toujours utilisé pour modéliser l'ABS avec un contrôleur de design.



FigureII.1.Modèle du véhicule trimestre

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

Avec :

V_x : Vitesse linéaire du véhicule.

a_x : Accélération linéaire de véhicule.

a_ω : Accélération de rotation de la roue.

T_b : Moment de freinage.

R : Rayon du pneu.

m : Masse du modèle.

F_N : Réaction du sol sur le véhicule.

$$\sum F_{ext} = m \cdot \gamma_x$$

$$\gamma_x = a_x$$

$$m \cdot a_x = -\mu \cdot F_N \quad (1)$$

$$\rightarrow m \frac{dV_x}{dt} = -\mu \cdot F_N$$

La somme des moments au centre de la roue :

$$J_\omega \cdot a_\omega = \mu \cdot R \cdot F_N = f \cdot R (f = \text{tg}\phi \cdot F_N) \quad \rightarrow \quad J_\omega \cdot \dot{\omega} = f \cdot R - T_b$$

$$J_\omega \cdot \dot{\omega} = \mu \cdot R \cdot F_N - T_b \quad (2)$$

Le taux de glissement est défini par:

$$\lambda = \frac{V_x - \omega \cdot R}{V_x} \quad (3)$$

En dérivant par rapport au temps (t) :

$$\dot{\lambda} = \frac{\dot{V}_x(1 - \lambda) - \dot{\omega}R}{V_x}$$

L'état des systèmes variables sont:

λ : Taux de glissement.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

μ : Coefficient de frottement.

X_1 : Distance d'arrêt.

$X_2 = V_x$ = Vitesse du véhicule.

$X_3 = \lambda$ = taux de glissement.

Le modèle d'état est donné comme suit :

$$\dot{X}_1 = X_2$$

$$\dot{X}_2 = \frac{-\mu \cdot F_N}{m}$$

$$\dot{X}_3 = \frac{-\mu \cdot F_N}{X_2} \left(\frac{1 - X_3}{m} + \frac{R^2}{J_\omega} \right) + \frac{R}{J_\omega \cdot X_2} T_b \quad (4)$$

La variable d'entrée est donc : $T_b = U$

On peut donc écrire :

$$\dot{X}_3 = \frac{-\mu \cdot F_N}{X_2} \left(\frac{1 - X_3}{m} + \frac{R^2}{J_\omega} \right) + \frac{R}{J_\omega \cdot X_2} U$$

En contrôlant le couple de freinage U dans les tests de simulation pour évaluer la performance de frein ABS, en utilisant les différentes méthodes de contrôle.

II.2. Formulation du problème

La relation du coefficient de frottement μ en fonction du taux de glissement λ de la roue fournit les explications du frein ABS pour maintenir le véhicule en stabilité et la dirigeabilité et produira une distance courte de freinage et l'arrêt du véhicule que ceux de frein usuel sans ABS, le coefficient de frottement peut varier dans une large plage qui dépend des facteurs comme :

- Les conditions de la surface de la route (sèche ou humide).
- Angle latéral du pneu (glissement angle pneu).
- Marque des pneus (pneu été, pneu hiver).
- La vitesse du véhicule.
- Le taux de glissement entre le pneu et la route.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

La valeur du coefficient de frottement en fonction de la vitesse linéaire et de taux de glissement est donnée comme suit :

$$\mu(\lambda, V_x) = [C1(1 - e^{C2\lambda}) - C3\lambda]e^{-C4V_x}$$

Où :

C1 : est la valeur maximale de la courbe de frottement.

C2 : les formes des courbes de frottement.

C3 : la courbe de frottement de la différence entre la valeur maximale et la valeur à $\lambda=1$,

C4 : est la valeur caractéristique d'humidité. Il se trouve dans la gamme de 0,02 0.04s / m.

Lorsque, pour asphalte sec comme l'état de surface, les paramètres ci-dessus sont :

Condition de la surface	C1	C2	C3
Asphalte, sec	1.2801	23.99	0.52
Asphalte, mouillé	0.857	33.822	0.347
Béton, sec	1.1973	25.168	0.5373
Grenailles, sec	1.3713	6.4565	0.6691
Grenailles, mouillées	0.4004	33.708	0.1204
Neige	0.1946	94.129	0.0646
Glace	0.05	306.39	0

Tableau II.1. Coefficients pour états des routes [13].

Le coefficient de frottement effectif entre le pneu et la route possède une valeur optimale à valeur particulière du taux de glissement de la roue λ . Cette valeur diffère selon le type de route. De la figure II.2, il est clair que, pour toutes les surfaces de la route de la valeur du coefficient du frottement est optimal quand le taux de glissement de roue est d'environ 0,2 pire et quand le taux de glissement de roue est égal à 1 en d'autres termes quand la roue est bloquée ($\omega=0$). Ainsi, l'objectif de l'ABS contrôleur est de régler le taux de glissement de la roue (λ) à une valeur de 0,2 afin de maximiser le coefficient de frottement (μ) pour n'importe quelle surface de la route.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

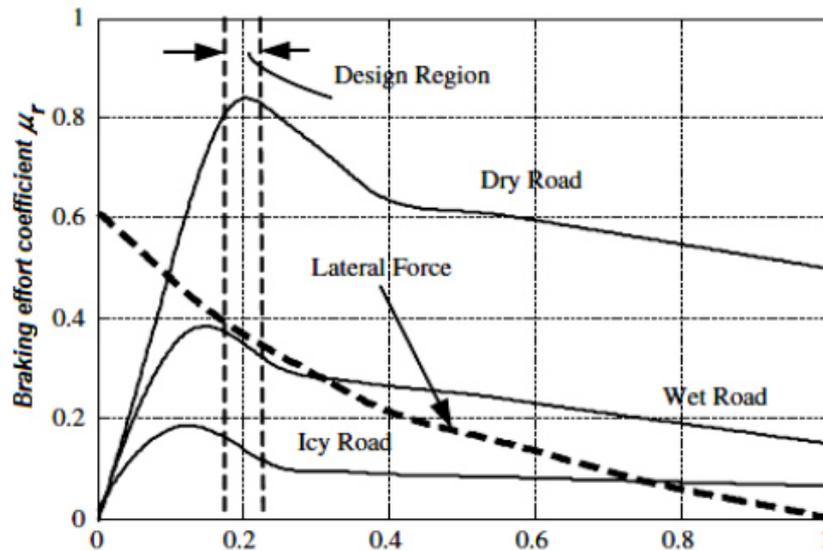


Figure II.2. Coefficient de frottement μ en fonction du taux de glissement de la roue [14]

Les paramètres d'entrée :

Paramètre	Valeur
Le rayon de la roue (R)	1.25 m
La masse du véhicule (m)	75 kg
Moment d'inertie (J_w)	1.13 kg.m ²
La gravité (g)	9.81 m/s ²
Le couple de freinage maximal (T_b)	1200 nm
La vitesse linéaire initiale (V_0)	44 m/s
La vitesse de rotation de la roue (ω)	$\frac{44}{1.25} = 35.2$ rad/s
Le glissement de référence (λ_d)	0.2
K_p	22.5
K_i	0.38

Tableau II.2. Les paramètres d'entrée.

Le K_p et K_i mentionnés ci-dessus sont ceux qu'on a utilisés dans la simulation du système à l'aide du contrôleur PI, ils sont obtenus en utilisant la méthode de Ziegler Nichols.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

Afin de déterminer K_p et K_i qui conviennent parfaitement à notre système, on doit rendre notre système oscillatoire, puis on déduit les valeurs de T_c et K_c à partir des oscillations obtenues :

$$T_c = 0.46$$

$$K_c = 50$$

On a les deux lois de K_p et K_i :

$$K_p = 0.45 \times K_c$$

$$K_p = 50 \times 0.45 = 22.5$$

Donc : $K_p=22.5$

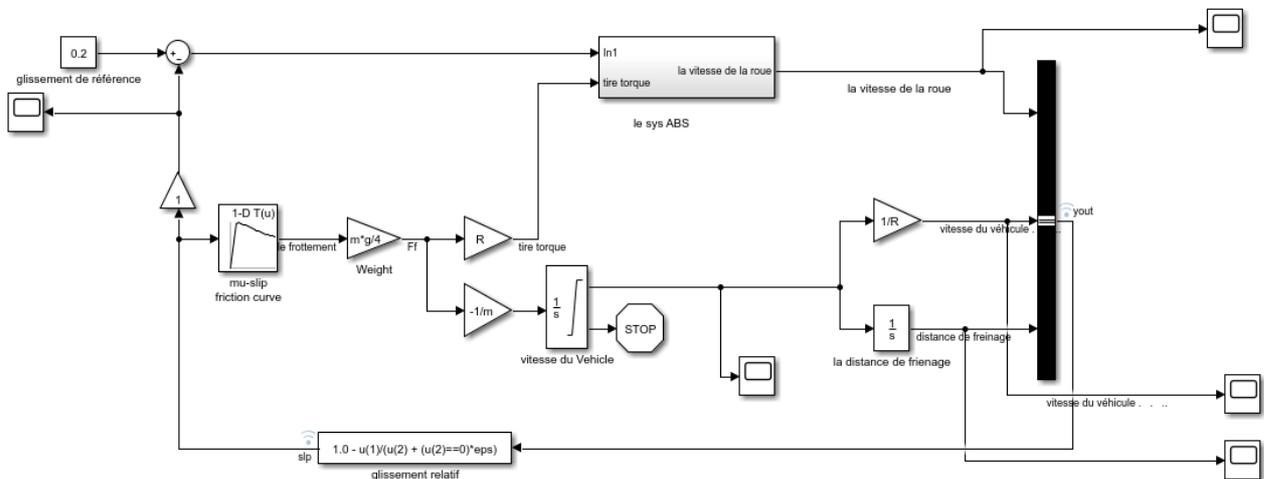
$$K_i = 0.83 \times T_c$$

$$K_i = 0.83 \times 0.46 = 0.3818$$

D'où : $K_i=0.3818$

Les équations ci-dessus (1), (2), (3) et (4) sont utilisées pour développer un modèle simulink d'un système de freinage ABS sur Matlab. Dans ce modèle simulink, le couple du pneu et le glissement de référence (voulu) de la valeur 0.2 sont considérés comme des entrées ; tandis que la vitesse du véhicule, la vitesse de la roue, la distance de freinage et le glissement sont des sorties.

Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS sans contrôleur :



Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

Figure II.3. Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS sans contrôleur

II.3. Système de contrôle

La régulation est au cœur de toutes les actions. La régulation (ou asservissement) consiste à agir de façon à ce qu'une mesure soit égale à une consigne. Si l'on cherche à atteindre une consigne (de position ou de température), on parlera de poursuite ou asservissement ; si l'on cherche à éliminer des perturbations pour qu'une valeur reste constante (ex : garder la température intérieure de la voiture constante quelle que soit la température extérieure), on parlera de régulation. L'industrie utilise à foison des systèmes d'asservissement ou de régulation : que ce soit pour gérer le débit d'un fluide dans une conduite, la température d'un produit, la hauteur d'un niveau de cuve...

Les régulateurs permettent ainsi de lier plus simplement les parties séquentielles et continues du procédé. La régulation fait partie intégrante de la qualité de production : c'est donc un point non négligeable de la chaîne de valeurs d'une installation.

Les contrôleurs conventionnels sont utilisés dans le système de contrôle, les paramètres de gain jouent un rôle essentiel dans l'action de contrôle; donc dans le présent travail, ces paramètres sont optimisés par algorithmique génétique dans matlab. Un système à boucle fermée est mis en œuvre où la sortie (rapport de glissement) est comparée à la valeur souhaitée et une erreur est générée qui est contrôlée par les contrôleurs. La sortie du contrôleur est ensuite introduite dans le système comme le montre la figure II.4, qui contrôle le modulateur de pression de freinage de manière à maintenir le glissement souhaité

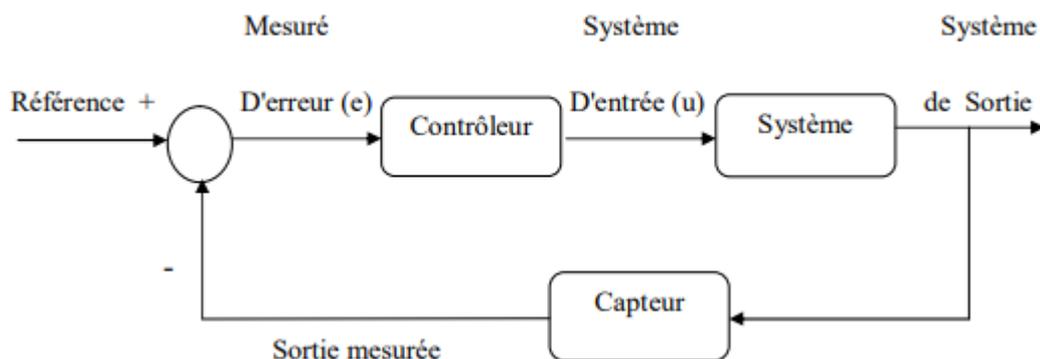


Figure II.4. Schéma de principe de système d'asservissement [15]

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

L'objectif du contrôleur ABS est d'ajuster le couple de freinage afin que le patinage des roues puisse suivre le taux de glissement cible. Afin d'améliorer les performances de l'ABS.

Parmi tous les contrôleurs, nous avons choisi d'utiliser les contrôleurs suivants pour notre étude :

- 1) contrôleur bang-bang.
- 2) contrôleur intégral proportionnel.
- 5) contrôleur flou.
- 4) contrôleur par réseaux de neurones artificiels.

II.3.1. Le contrôleur bang-bang

Dans la théorie du contrôle, un contrôleur bang-bang (contrôleur 2 étapes ou tout ou rien) est un contrôleur de rétroaction qui bascule brusquement entre deux états. Ces contrôleurs peuvent être réalisés en termes de tout élément assurant l'hystérésis. Ils sont souvent utilisés pour contrôler une installation qui accepte une entrée binaire, par exemple un four qui est soit complètement allumé, soit complètement éteint. Les thermostats résidentiels les plus courants sont des contrôleurs bang-bang. La fonction échelon Heaviside sous sa forme discrète est un exemple de signal de commande bang-bang. En raison du signal de commande discontinu, les systèmes qui incluent des contrôleurs bang-bang sont des systèmes à structure variable, et les contrôleurs bang-bang sont donc des contrôleurs à structure variable[16].

Sur la base du concept de processus incertain, un modèle de contrôle optimal incertain est établi pour les systèmes commutés. Un algorithme en deux étapes est introduit pour gérer un tel modèle. Dans la première étape, la valeur minimale de la fonction de coût et la commande bang-bang sont obtenues sous des instants de commutation fixes, et dans la deuxième étape, la méthode de la section dorée modifiée est utilisée pour résoudre un problème d'optimisation.

Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec un contrôleur bang-bang :

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

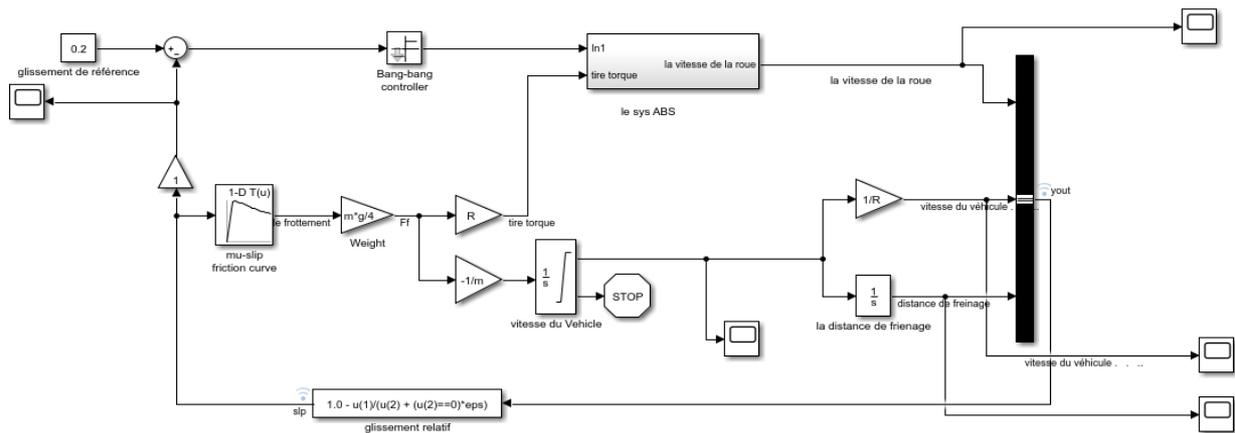


Figure II.5. Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec un contrôleur BB

II.3.2. Le contrôleur proportionnel intégral (PI):

II.3.2.1. Rôle de l'action proportionnelle (P)

Le rôle de l'action proportionnelle est d'accélérer la réponse de la mesure, ce qui a pour conséquence de réduire l'écart entre la mesure et la consigne.

L'étude de l'action proportionnelle sur un système naturellement stable en boucle fermée, montre que lors d'un changement de consigne, le régime permanent atteint un écart résiduel.

$$\epsilon = \frac{\Delta C}{(1 + G_s \cdot G_r)}$$

G_r : gain du régulateur.

G_s : gain du procédé.

ΔC : variation de consigne.

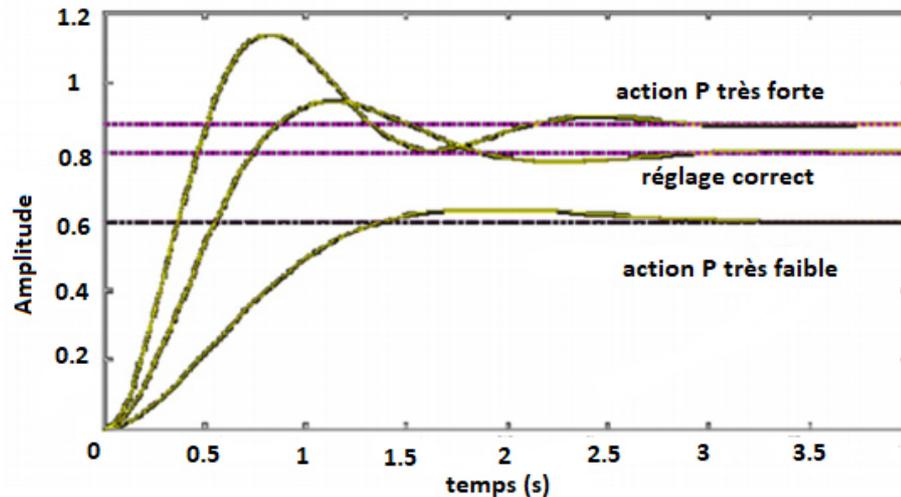
Une augmentation de G_r , accélère la réponse du procédé, provoque une diminution de l'écart résiduel ϵ , mais rend la mesure de plus en plus oscillatoire.

La valeur optimale de G_r est celle qui donne la réponse la plus rapide, avec un bon amortissement (ne dépassant pas 15 %).

L'étude de l'action proportionnelle sur un procédé instable (aussi appelé intégrateur), montre que lors d'une variation de consigne, la mesure rejoint la consigne, la mesure rejoint la consigne dans tous les cas.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

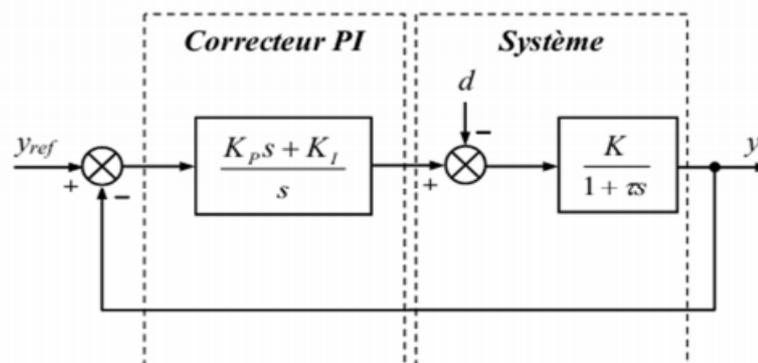
Lors d'une perturbation, la mesure s'écarte de la consigne, la régulation proportionnelle tend à la ramener tout en laissant subsister un écart résiduel ε , lorsque le régime permanent est atteint.



FigureII.6. Test en asservissement sur un procédé instable (P)

II.3.2.2. Rôle de l'action Intégrale (I)

Le rôle de l'action intégrale est d'annuler l'écart entre la mesure et la consigne. Le signal de sortie du régulateur en intégrateur seul est proportionnel à l'intégrale de l'écart mesure-consigne.

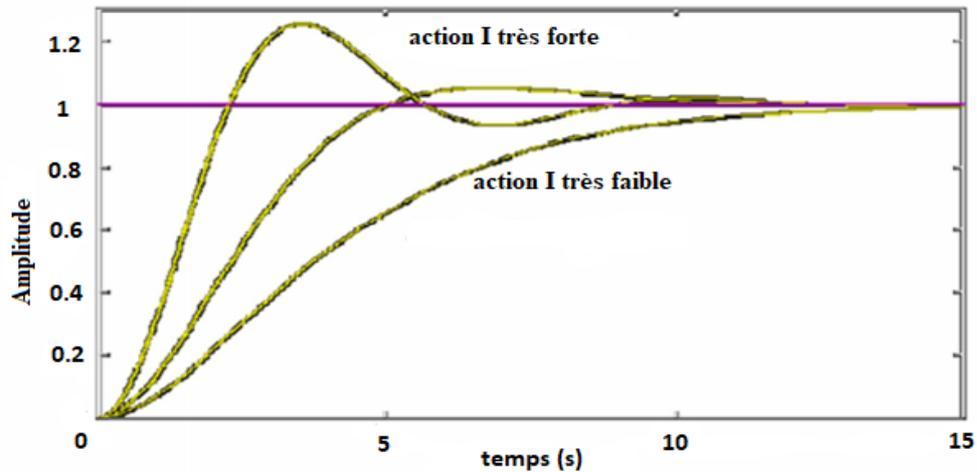


FigureII.7. Schéma du contrôleur (PI)

L'action intégrale est généralement associée à l'action proportionnelle. Comme dans le cas de l'action proportionnelle, une augmentation excessive de l'action intégrale (diminution de T_i) peut être source d'instabilité.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

L'étude de l'action intégrale sur un système stable est donnée par les figures suivantes pour un test en asservissement et un autre en régulation.



FigureII.8. Test en asservissement sur un procédé instable (PI)

Le comportement de l'action intégrale sur un procédé instable, est sensiblement le même que sur un procédé stable. Il faut noter que l'action intégrale est nécessaire pour annuler l'écart, suite à des perturbations. Lors de changement de consigne, son intérêt est moindre car l'écart s'annule naturellement du fait que le procédé est lui-même intégrateur.

Dans ce cas, l'action intégrale donne une réponse plus rapide qu'en régulation à action proportionnelle seule.

Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec un contrôleur proportionnel intégral PI :

Le système est alimenté par un asservissement proportionnel intégral où K_p est le gain proportionnel, K_i est le gain intégral. Ce système est représenté dans la figureII.9.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

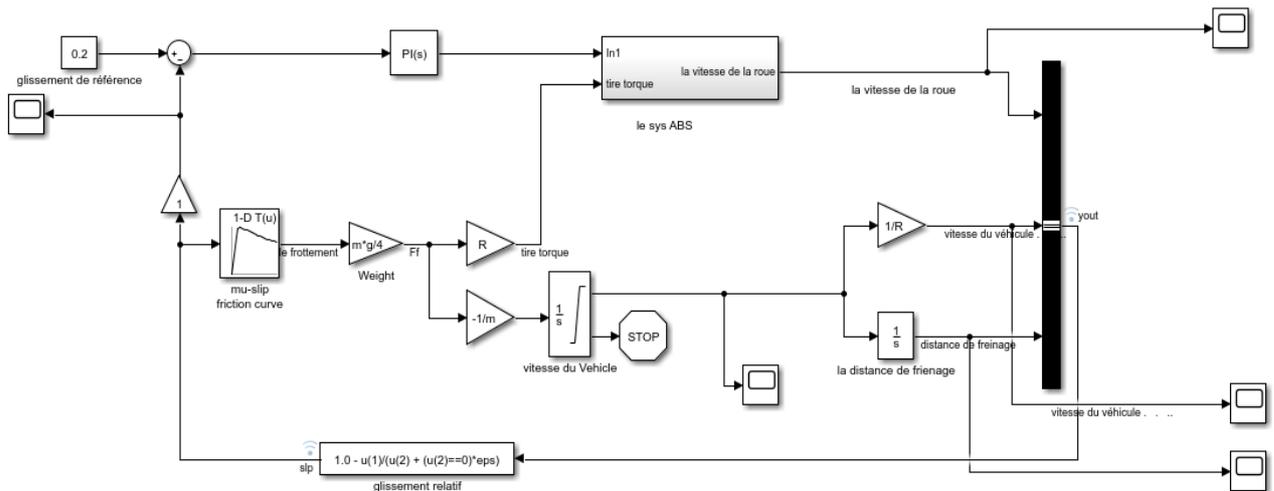


Figure II.9. Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec PI

II.3.3. La Logique floue

II.3.3.1. Historique de la commande floue

Les prémises de la logique floue sont apparues dans les années 1940, avec les premières approches par des chercheurs américains du concept d'incertitude. LOTFI ZADEH, ingénieur et professeur de renommée internationale, professeur à l'université de Berkeley en Californie, a publié en 1965 le premier article concernant une nouvelle méthode pour décrire les incertitudes non-probabilistes, ce qu'il appellera les ensembles flous [17].

En 1974, M. Mamdani expérimentait la théorie énoncée par LOTFI ZADEH sur une chaudière à vapeur, matériel dont on connaît la complexité, introduisant ainsi la commande floue dans la régulation d'un processus industriel. Plusieurs applications ont alors vu le jour en Europe, pour des systèmes parfois très complexes, telle la régulation de fours de cimenterie réalisée par la société F.L. Smidt-Fuller. Grâce aux chercheurs Takagi et Sugeno, la logique floue était introduite au Japon dès 1985 [18].

Le domaine de contrôle par logique floue est devenu très important, grâce à ses capacités de traiter les informations incertaines. L'algorithme de contrôle par logique floue est constitué d'un ensemble de règles de décisions, il peut être considéré comme un algorithme de contrôle non mathématique contrairement aux algorithmes de contrôle conventionnels.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

II.3.3.2. Les différentes applications de la logique floue

La logique floue est une technique utilisée en intelligence artificielle. Et parmi ses applications on trouve [19] :

- L'utilisation dans des domaines aussi variés que l'automatisme (freins ABS).
- La robotique (reconnaissance de formes).
- La gestion de la circulation routière (feux rouges).
- Le contrôle aérien.
- L'environnement (météorologie, climatologie, sismologie, analyse du cycle de vie).
- La médecine (aide au diagnostic).
- L'assurance (sélection et prévention des risques) et bien d'autres.

II.3.3.3. Principe de la logique floue

Les systèmes flous sont des systèmes à base de connaissances construits à partir des opérateurs de la logique floue. Cette dernière est basée sur l'imitation des aspects approximatifs et qualitatifs du raisonnement humain. Cette théorie était mal perçue à l'époque du fait que le mode de penser était plus strict et technique. De plus, le terme choisi « flou » n'a pas contribué à rendre son acceptation facile [20].

La technique de commande floue est souvent présentée comme une technique robuste capable de compenser quasi naturellement les incertitudes et / ou le manque de connaissances précises quant au processus à commander. Dans la majorité des applications des régulateurs flous, ce dernier est construit à partir de connaissances linguistiques fournies par un expert [20].

a. Théorie des ensembles flous

Un ensemble flou A sur un univers de discours U est caractérisé par une fonction d'appartenance (x) qui prend ses valeurs sur l'intervalle $[0, 1]$. Un ensemble flou est une généralisation d'un sous ensemble ordinaire qui sa fonction d'appartenance prend que les deux valeurs 0 ou 1. La fonction d'appartenance fournit une mesure du degré qu'un élément de U soit un élément d'un sous ensemble flou. En logique floue un élément peut résider dans plus qu'un ensemble à des degrés d'appartenances différents. Ceci ne peut se produire dans la théorie des ensembles ordinaires.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

Un ensemble flou A dans U peut être représenté comme un ensemble de paires ordonnées de l'élément générique x et son niveau (degré) d'appartenance :

$$A = \{(x, \mu_A(x)/x \in U\} [21].$$

b. Les fonctions d'appartenances

Pour le traitement numérique en logique floue, il est nécessaire d'associer pour chaque valeur de la variable linguistique une fonction d'appartenance qui prend différentes formes suivantes [20]:

- Fonction triangulaire : elle est définie par trois paramètres {a,b,c} :

$$\mu(x) = \max \left[\min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{d-c} \right), 0 \right]$$

- Fonction trapézoïde : elle est définie par quatre paramètres {a,b,c,d} :

$$\mu(x) = \max \left[\min \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right]$$

- Fonction gaussienne : elle est définie par deux paramètres {m,σ}

$$\mu(x) = \exp \left(- \left(\frac{x-m}{2\sigma^2} \right)^2 \right)$$

- Fonction sigmoïdale : elle est définie par deux paramètres {a,c}

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \exp(a(x-c))}$$

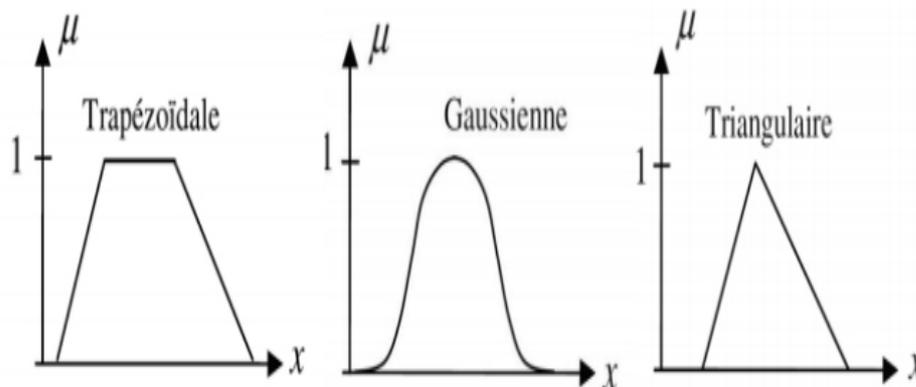


Figure II.10. Différentes formes des fonctions d'appartenance [20].

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

c. Les opérateurs de la logique floue

Une fois les ensembles flous définis, des mathématiques concernant ce type d'ensemble ont été développées. Comme dans la théorie des ensembles classiques, on définit l'intersection (\cap), l'union (\cup) des ensembles flous ainsi que le complémentaire ($\bar{}$) d'un ensemble flou. Ces relations sont traduites par les opérateurs 'et', 'ou' et 'non'. De nouvelles fonctions d'appartenance liées à ces opérateurs sont établies. [21]

• L'intersection :

$$x \in A \cap B \Leftrightarrow x \in \mu_A \cap B \mid \mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

• L'union :

$$x \in A \cup B \Leftrightarrow x \in \mu_A \cup B \mid \mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

• Le complément (négation) :

$$\forall x \in X, \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

La figure II.11 résume ces opérations graphiquement.

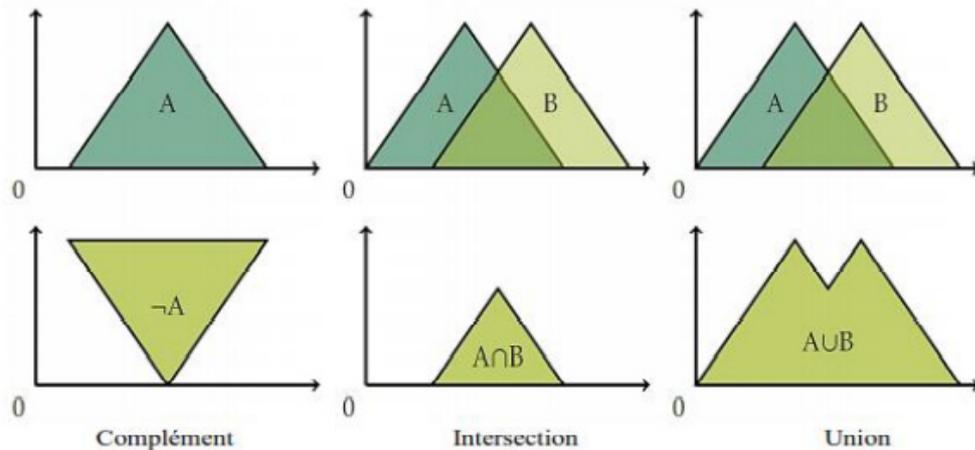


Figure II.11.Exemple d'opérations sur des ensembles flous. [21]

L'intersection floue de deux ensembles flous peut être définie d'une façon plus générale par une opération binaire sur l'intervalle unitaire, c'est-à-dire une fonction de la forme suivante, $T: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$. Pour que la fonction T soit qualifiée pour assurer une intersection floue, elle doit vérifier quelques propriétés. Des fonctions connues par le nom t-

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

-La base de données effectue des définitions qui sont nécessaires pour établir les règles de commande et manipuler les données floues dans un RLF;

-La base de règles représente la stratégie de commande et le but désiré par le biais des règles de commande linguistiques.

- Le bloc inférence est le cœur d'un RLF, qui possède la capacité de simuler les décisions humaines et de déduire (inférer) les actions de commande floue l'aide de l'implication floue et des règles d'inférence dans la logique floue.
- Le bloc défuzzification effectue les fonctions suivantes :

-Etablit les plages de valeurs pour les fonctions d'appartenance B partir des valeurs des variables de sortie.

-Effectue une défuzzification qui fournit un signal de commande non-floue à partir du signal flou déduit.

La défuzzification définit la loi de commande du régulateur logique flou, elle réalise donc la conversion inverse de la fuzzification (conversion digitale/analogique) [19].

Les méthodes de défuzzification les plus utilisées sont [19] :

- Méthode par valeur maximale.
- Méthode par valeur moyenne des maxima.
- Méthode par centre de gravité.
- Méthode des hauteurs pondérées.

- **Méthode du maximum**

Cette stratégie génère une commande qui représente la valeur maximale de la fonction d'appartenance résultante issue de l'inférence. Cependant, cette méthode présente un certain inconvénient lorsqu'il existe plusieurs valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance résultante est maximale [23].

- **Méthode de la moyenne des maxima**

Cette méthode génère une commande qui représente la valeur moyenne de toutes les valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance résultante est maximale [23].

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

- **Méthode du centre de gravité**

Cette méthode est la plus utilisée dans les contrôleurs flous, elle génère le centre de gravité y de la fonction d'appartenance issue de l'inférence. L'abscisse du centre de gravité peut être déterminée à l'aide de la relation suivante [23]:

$$\bar{y} = \frac{\int y \mu_b(y) dy}{\int \mu_b(y) dy}$$

L'intégrale au dénominateur donne la surface, tandis que l'intégrale au numérateur correspond au moment de la surface.

La détermination du centre de gravité nécessite une envergure de calcul assez importante, surtout pour l'exécution en temps réel. De ce fait, cette méthode est la plus coûteuse en temps de calcul.

- **Méthode des hauteurs pondérées**

Au fond, cette méthode n'est rien d'autre qu'un cas particulier de la méthode du centre de gravité. Dans ce cas, on choisit des fonctions d'appartenance pour la variable de sortie des barres (rectangles de largeurs étroites), et on aboutit à une simplification notable de la détermination de l'abscisse du centre de gravité [23].

L'abscisse du centre de gravité se calcule alors à l'aide de la relation suivante :

$$y = \frac{\sum_{k=1}^M \mu_B^k(\bar{y}) \bar{y}^k}{\sum_{k=1}^M \mu_B^k(\bar{y})}$$

Où \bar{y}^k dénote le centre de gravité de l'ensemble flou B_k .

M : nombre de règles

L'équation ci-dessus est facile à utiliser. Cependant, son inconvénient réside dans le fait qu'elle n'utilise pas la forme entière de la fonction d'appartenance. Elle n'utilise que le centre \bar{y}^k du support de la fonction d'appartenance de la conclusion, et ceci sans tenir compte du fait que la fonction d'appartenance soit étroite ou large [22].

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

II.3.3.5. Avantages et inconvénients de la commande par logique floue

La commande par logique floue réunit un certain nombre d'avantages et de désavantages. Les avantages essentiels sont:

- La non-nécessité d'une modélisation (cependant, il peut être utile de disposer d'un modèle convenable).
- La possibilité d'implanter des connaissances (linguistiques) de l'opérateur de processus.
- La maîtrise du procédé avec un comportement complexe (fortement non-linéaire et difficile à modéliser).
- L'obtention fréquente de meilleures prestations dynamiques (régulateur non-linéaire).
- Deux solutions sont possibles: solution par logiciels (par microprocesseur, DSP et PC) ou solution matérielle (par fuzzy processeurs).

Les inconvénients de la commande par logique floue sont:

- Le manque de directives précises pour la conception d'un réglage (choix des grandeurs à mesurer, détermination de la fuzzification, des inférences et de la défuzzification).
- L'approche artisanale et non systématique (implantation des connaissances des opérateurs souvent difficile).
- L'impossibilité de la démonstration de la stabilité du circuit de réglage en toute généralité (en l'absence d'un modèle valable).
- La possibilité d'apparition de cycles limites à cause de fonctionnement non linéaire.
- La cohérence des inférences non garantie a priori (apparition de règles d'inférence contradictoires possible).

En tout cas, on peut confirmer que le réglage par logique floue présente une solution valable par rapport aux réglages conventionnels. Cela est confirmé non seulement par un fort développement dans beaucoup de domaines d'application, mais aussi par des travaux de recherche sur le plan théorique. Ainsi, il est possible de combler quelques lacunes actuelles, comme le manque de directives pour la conception et l'impossibilité de la démonstration de la stabilité en l'absence d'un modèle valable.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

II.3.3.6. Application du régulateur par logique floue sur le système ABS

La logique floue peut traiter avec des situations incertaines et imprécises. Des variables linguistiques (SMALL, MEDIUM, LARGE, etc.) sont utilisées pour représenter la connaissance du domaine, avec leurs valeurs d'appartenance comprises entre 0 et 1. La même structure de FLC est utilisée dans la suspension et l'ABS. Le système de contrôle lui-même se compose de trois étapes : fuzzification, le moteur d'inférence floue et défuzzification. L'étape de fuzzification convertit les valeurs d'entrée réelles (nettes) en valeurs floues, tandis que le moteur d'inférence floue traite les données d'entrée et calcule les sorties du contrôleur en face avec la base de règles et la base de données. Ces sorties, qui sont des valeurs floues, sont converties en nombres réels par l'étape de défuzzification.

Un contrôleur à logique floue Mamdani avec deux entrées et une sortie est conçu. Les entrées et sorties sont toutes divisées en cinq sous-ensembles flous : [NB, NS, ZE, PS, PB], où NB, NS, ZE, PM et PB sont: negativebig, negativesmall, zero, positive small et positive big, ce qui signifie (grand négatif, petit négatif, zéro, petit positif et grand positif), respectivement. Les formes gaussiennes et triangulaires sont sélectionnées pour les fonctions d'appartenance des entrées et des sorties, comme le montre la figure II.13.

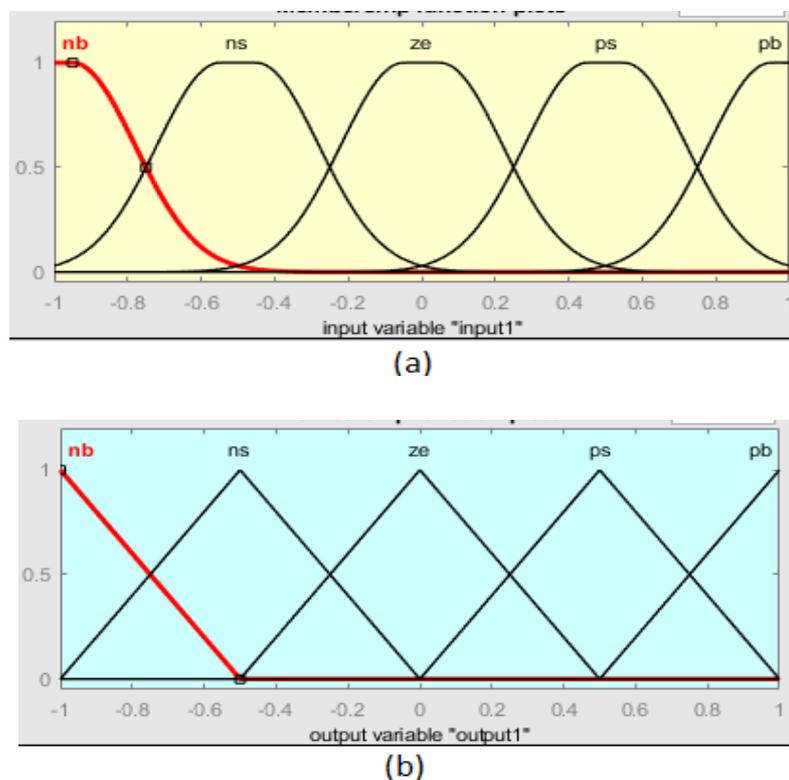


Figure II.13. Fonctions d'adhésion pour : (a) les entrées, et (b) la sortie.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

Afin de simplifier la description des inférences, on utilise une matrice d'inférence :

e Δe	Nb	Ns	Ze	Ps	Pb
Nb	Nb	Nb	Ns	Ze	Ze
Ns	Nb	Ns	Ze	Ze	Ze
Ze	Ns	Ze	Ze	Ze	Ze
Ps	Ns	Ze	Ze	Ps	Ps
Pb	Ze	Ze	Ps	Pb	Pb

Tableau II.3. Règles du contrôleur par logique floue.

Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec un contrôleur flou

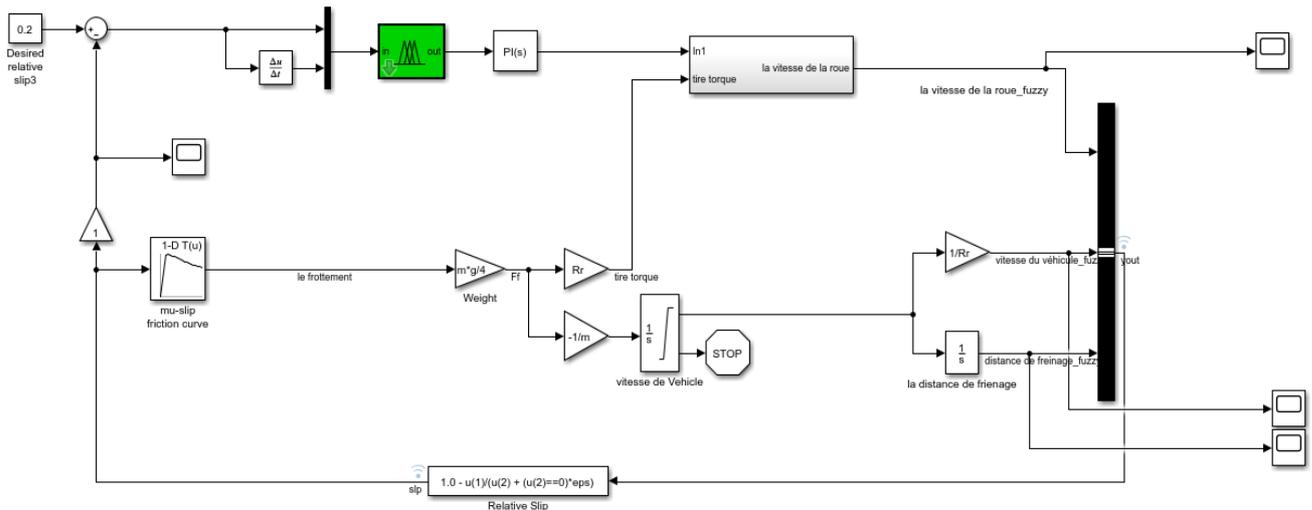


Figure II.14. Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec un contrôleur flou

II.3.4. Réseaux de neurones artificiels (RNA)

II.3.4.1. Introduction

Dans ce travail, nous considérons la conception d'un réseau de neurones pour contrôler un système de freinage Anti Blocage des roues ABS qui est un système fortement non linéaire. L'objectif est de contrôler le dérapage ou bien le patinage des roues. L'objectif du processus de la conception du réseau de neurones est de trouver le meilleur contrôleur avec une structure raisonnable. La structure est définie par le nombre de variables d'entrées et le nombre de

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

neurones dans la couche cachée. Ainsi l'algorithme génétique multi objectifs doit minimiser trois objectifs: le nombre de neurones dans la couche cachée, l'erreur qui est la différence entre le coefficient de patinage de roue "slip" désiré et le coefficient de patinage de roue réel et le troisième objectif est le nombre de variables de l'entrée du réseau de neurones. Les résultats de simulation trouvés sont satisfaisants et encourageants.

II.3.4.2. Définition

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) constituent un axe de recherche qui est toujours en cours de développement. Les RNA sont issus de la combinaison entre la neurobiologie comme idée de base, la physique comme champ d'application puis les mathématiques et l'informatique en tant que moyens de réalisation [24], [25]. Ils sont l'interconnexion de neurones artificiels qui tentent de simuler le système neuronal du cerveau humain. Le RNA a la capacité d'apprentissage grâce aux mémoires associatives. Dans les domaines techniques, les applications du RNA se retrouvent dans les problèmes de commande et d'estimation, surtout pour les problèmes complexes.

Les réseaux de neurones se constituent de structures cellulaires artificielles, ils fournissent une approche qui permet d'aborder les problèmes de cognition, de mémoire, d'apprentissage et de réflexion sous un angle nouveau. Ils se sont également révélés être des alternatives très prometteuses pour contourner certaines restrictions imposées aux ordinateurs traditionnels. Grâce au traitement parallèle de l'information et à ses mécanismes inspirés des cellules nerveuses (neurones), il en découle des propriétés émergentes pour la résolution de problèmes complexes [26].

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau. Les neurones d'un réseau de neurones représentent les unités de calcul du modèle. Chaque neurone possède une entrée (un scalaire), une fonction d'activation et une sortie.

II.3.4.3. Historique

L'origine des réseaux de neurones vient de l'essai de modélisation mathématique du cerveau humain. Les premiers travaux datent de 1943 et sont l'œuvre de McCulloch et

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

Pittsqi montrent qu'un réseau de neurones discrets sans la topologie de la contrainte peut représenter n'importe quelle fonction booléenne et donc émuler un ordinateur.

En 1958, Rosenblatt propose le premier algorithme d'apprentissage, qui permet d'ajuster les paramètres des neurones.

En 1969, Minsk et Papert publient le livre "Perceptrons", dans lequel ils utilisent une solide argumentation mathématique pour démontrer les limitations des réseaux de neurones à une seule couche.

En 1982, Hopfield propose des réseaux de neurones associatifs, relançant ainsi l'intérêt des scientifiques pour les réseaux de neurones.

C'est en 1986 que Rumelhart, Hinton et Williams publient l'algorithme de la "retro propagation de l'erreur", qui permet d'optimiser les paramètres d'un réseau de neurones à plusieurs couches.

A partir de cette date, la recherche sur les réseaux de neurones s'intensifie encore, aboutissant, dans les années 1990, à des applications commerciales [27].

II.3.4.4. Neurone biologique

Le neurone est une cellule composée d'un corps cellulaire et d'un noyau. Le corps cellulaire se ramifie pour former ce que l'on nomme les dendrites. Celles-ci sont parfois si nombreuses que l'on parle alors de chevelure dendritique ou d'arborisation dendritique. C'est par les dendrites que l'information est acheminée de l'extérieur vers le soma, corps du neurone. L'information traitée par le neurone chemine ensuite le long de l'axone (unique) pour être transmise aux autres neurones. La transmission entre deux neurones n'est pas directe. En fait, il existe un espace intercellulaire de quelques dizaines d'Angstroms (10^{-9} m) entre l'axone du neurone afférent et les dendrites (on dit une dendrite) du neurone efférent. La jonction entre deux neurones est appelée la synapse [24].

Les réseaux de neurones biologiques réalisent facilement un certain nombre d'applications telles que la reconnaissance de formes, le traitement du signal, l'apprentissage par l'exemple, la mémorisation, la généralisation. Ces applications sont pourtant, malgré tous les efforts déployés en algorithmique et en intelligence artificielle, à la limite des possibilités actuelles. C'est à partir de l'hypothèse que le comportement intelligent émerge de la structure

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

et du comportement des éléments de base du cerveau que les réseaux de neurones artificiels se sont développés. Les réseaux de neurones artificiels sont des modèles, à ce titre ils peuvent être décrits par leurs composants, leurs variables descriptives et les interactions des composants.

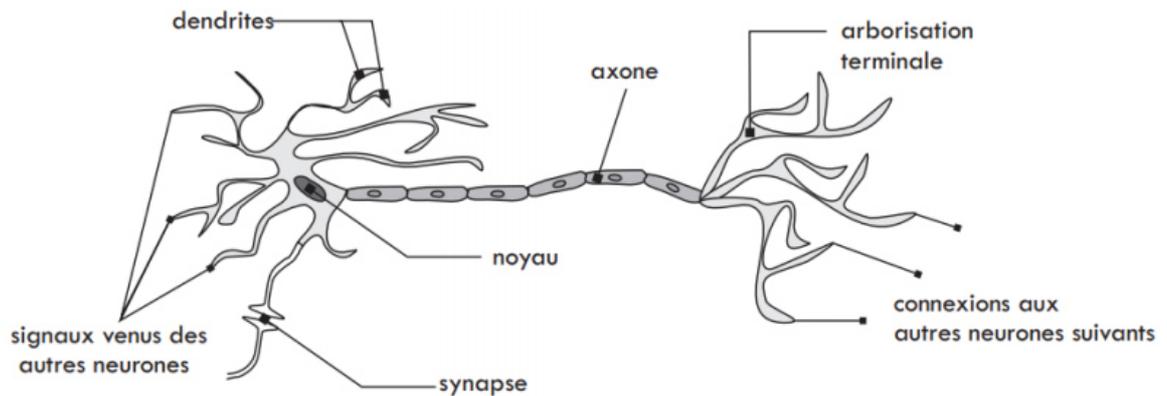


Figure II.15. Représentation schématique d'un neurone biologique.

II.3.4.5. Neurone formel

Un neurone formel est une cellule élémentaire de calcul, c'est une fonction algébrique non linéaire et bornée qui reprend les principes de fonctionnement du neurone biologique, en particulier la sommation des entrées. Sachant qu'au niveau biologique, les synapses n'ont pas toutes la même valeur, les chercheurs ont créé un algorithme qui pondère la somme des entrées du neurone par des poids synaptiques (coefficients de pondération) [26].

Le résultat n de cette somme est ensuite transformé par une fonction de transfert f qui produit la sortie a du neurone. Les R entrées du neurone correspondent au vecteur $p = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_R]^T$ alors que $w = [w_{1,1} \ w_{1,2} \ \dots \ w_{1,R}]^T$ représente le vecteur des poids du neurone.

La sortie n de l'intégrateur est donnée par l'équation suivante :

$$n = \sum_{j=1}^R w_{1,j} p_j - b$$

On peut également l'écrire sous la forme matricielle :

$$N = w^T p - b$$

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

Cette sortie correspond à une somme pondérée des poids et des entrées moins le biais b qui s'appelle aussi seuil d'activation. Lorsque le niveau d'activation atteint ou dépasse le seuil, alors l'argument de f devient positif (ou nul) ; sinon, il est négatif.

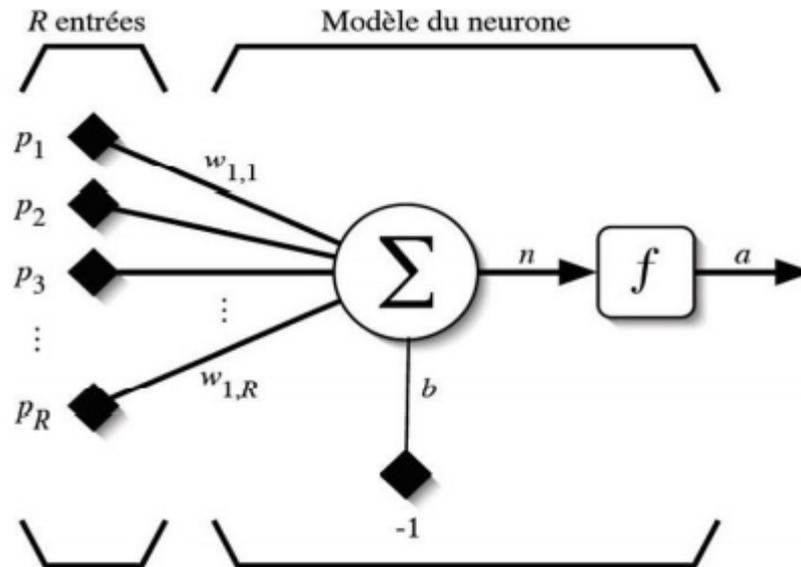


Figure II.16. Modèle d'un neurone artificiel.

En ajoutant la fonction d'activation f pour obtenir la sortie du neurone, on obtient :

$$a = f(n) = f(w^T p - b)$$

En remplaçant w^T par une matrice $W=w^T$ d'une seule ligne, on obtient une forme générale :

$$a = f(Wp - b)$$

L'équation précédente nous amène à l'élaboration d'un modèle plus compact par rapport à celui de la figure. II.16. On y représente les entrées « R » sous forme d'un rectangle d'où sort le vecteur p qui est multiplié par une matrice W contenant les poids synaptiques. Finalement, la sortie du neurone est calculée par la fonction d'activation f .

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

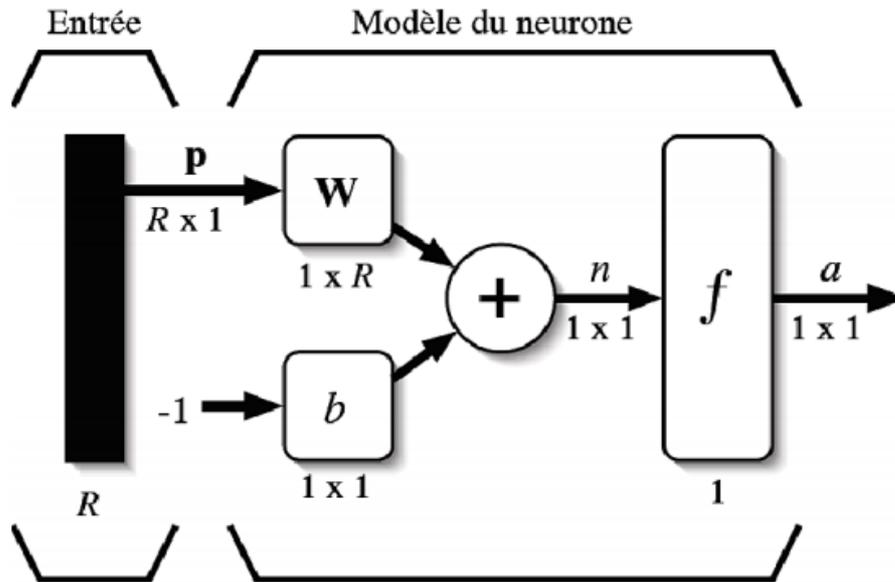


Figure II.17. Représentation matricielle d'un neurone artificiel.

II.3.4.6. Fonctions d'activation

La fonction d'activation définit le potentiel de sortie d'un neurone en termes de niveaux d'activité de ses entrées.

Différentes fonctions de transfert pouvant être utilisées comme fonctions d'activation du neurone sont énumérées dans le tableau II.4. Les fonctions d'activation les plus utilisées sont les fonctions « seuil », « linéaire » et « sigmoïde » [28].

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

Nom de la fonction	Relation d'entrée/sortie	Icône	Nom Matlab
seuil	$a = 0$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$		hardlim
seuil symétrique	$a = -1$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$		hardlims
linéaire	$a = n$		purelin
linéaire saturée	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $0 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$		satlin
linéaire saturée symétrique	$a = -1$ si $n < -1$ $a = n$ si $-1 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$		satlins
linéaire positive	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $n \geq 0$		poslin
sigmoïde	$a = \frac{1}{1+\exp^{-n}}$		logsig
tangente hyperbolique	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$		tansig
compétitive	$a = 1$ si n maximum $a = 0$ autrement		compet

Tableau II.4. Les différentes fonctions d'activation utilisées dans les RNA.

II.3.4.7. Composition d'un réseau de neurones

Un RNA est constitué généralement de trois couches, à savoir :

- Une couche d'entrée
- Une couche de sortie
- Une ou plusieurs couches cachées

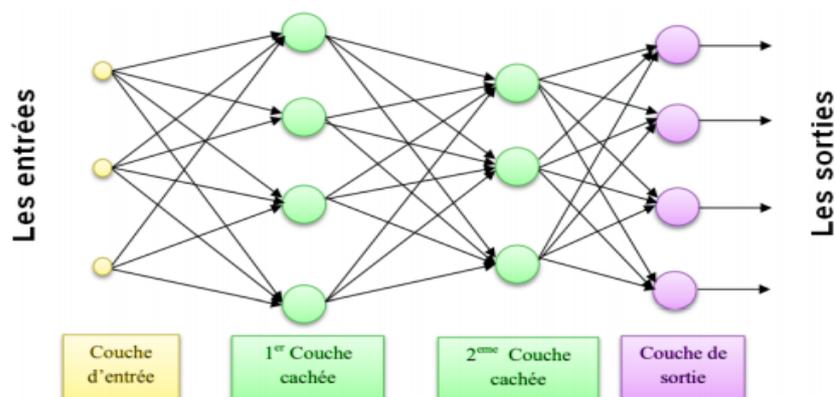


Figure II.18. Composition d'un réseau de neurones.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

II.3.4.8. Architecture des réseaux de neurones

On distingue deux grands types d'architectures de réseaux de neurones : les réseaux de neurones non bouclés et les réseaux de neurones bouclés.

- **Réseau de neurones non bouclé (feed-forward) [29]**

Un réseau de neurones non bouclé réalise une (ou plusieurs) fonctions algébriques de ses entrées, par composition des fonctions réalisées par chacun de ses neurones. Un réseau de neurones non bouclé est représenté graphiquement par un ensemble de neurones "connectés" entre eux, l'information circulant des entrées vers les sorties sans "retour en arrière" ; si l'on représente le réseau comme un graphe dont les nœuds sont les neurones et les arêtes les "connexions" entre ceux-ci, le graphe d'un réseau non bouclé est acyclique. Ils sont généralement utilisés pour effectuer des tâches d'approximation de fonctions non linéaires et de modélisation de processus statiques non linéaires.

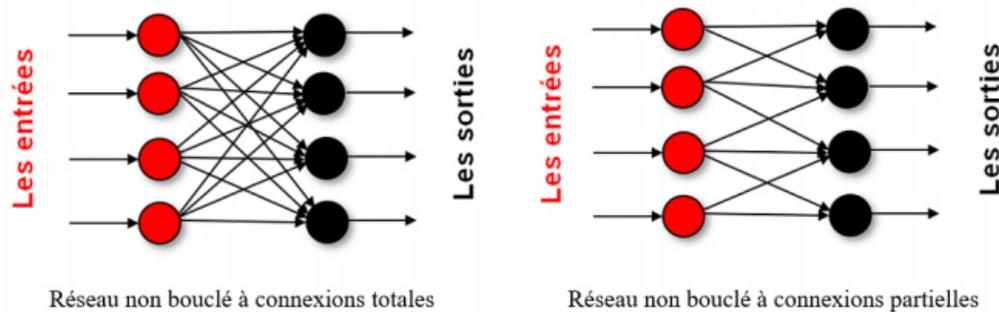


Figure II.19. Structure d'un réseau de neurones non bouclé (feed-forward).

- **Réseau de neurones bouclé (feed-back)**

Contrairement aux réseaux de neurones non bouclés dont le graphe de connexions est acyclique, les réseaux de neurones bouclés peuvent avoir une topologie de connexions quelconque, comprenant notamment des boucles qui ramènent aux entrées la valeur d'une ou plusieurs sorties et rajoutent donc un effet de mémorisation du passé. Ces réseaux de neurones bouclés constituent un système dynamique "à temps discret", régi par une (ou plusieurs) équation(s) aux différences non linéaires, résultant de la composition des fonctions réalisées par chacun des neurones et des retards associés à chacune des connexions. Ils sont utilisés pour effectuer des tâches de modélisation et d'adaptation de systèmes dynamiques, de commande de processus, ou de filtrage [30].

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

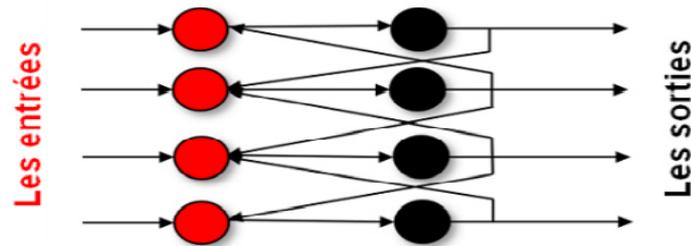


Figure II.20. Structure d'un réseau de neurones dont les connexions sont récurrentes (bouclées).

II.3.4.9. Apprentissage d'un réseau de neurones

C'est la phase du développement du réseau durant laquelle il réalise des modifications des poids de connexions du réseau, généralement par des algorithmes spécifiques, afin d'obtenir des valeurs optimales de ces poids. A la fin de cette opération, le réseau converge vers un fonctionnement adapté au problème qu'on désire résoudre, tout en fournissant, au préalable, des exemples d'apprentissage. Ces derniers doivent être suffisamment représentatifs ; autrement dit, il faudra qu'ils couvrent aussi complètement que possible le domaine de fonctionnement désiré pour le réseau [24], [25].

On distingue deux types d'apprentissage : l'apprentissage supervisé et l'apprentissage non supervisé.

• Apprentissage supervisé

Les coefficients synaptiques sont évalués en minimisant l'erreur (entre sortie souhaitée et sortie obtenue) sur une base d'apprentissage. Le réseau va modifier ses poids jusqu'à ce que le résultat soit le plus proche possible de la sortie désirée, correspondant à une entrée donnée [24].

• Apprentissage non supervisé

Au cours d'un apprentissage non supervisé, on fournira seulement à l'algorithme d'apprentissage des exemples d'entrées. On n'indiquera donc pas les sorties désirées, mais on laissera le réseau de neurones s'organiser tout seul, et c'est cette organisation qui sera exploitée par la suite, souvent pour la classification [24].

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

II.3.4.10. Algorithmes d'apprentissage du perceptron multicouche

Le plus utilisés est:

L'algorithme de Levenberg-Marquardt

C'est un algorithme itératif de minimisation, qui appartient à la classe des méthodes quasiNewtoniennes ; il obéit à la formule suivante de mise à jour des paramètres [25]:

$$w^{k+1} = w^k - [H(w^k) + \mu_{k+1}I]^{-1}\nabla E(w^k)$$

Où :

$H(w^k)$: est la matrice Hessienne d'une fonction de coût appelée E.

I : Est la matrice identité.

μ_{k+1} : est un scalaire appelé pas.

Pour de petites valeurs du pas μ_{k+1} , cette méthode s'approche de celle de Newton, tandis que pour de grandes valeurs du pas, la méthode tend vers celle du gradient simple. En choisissant judicieusement la valeur du pas au cours de l'algorithme, il est donc possible de s'affranchir de la mise en œuvre préalable d'une méthode de gradient simple pour s'approcher du minimum.

Le calcul de l'inverse de la matrice $H(w^k) + \mu_{k+1}I$ peut s'effectuer par des méthodes d'inversion directe. Néanmoins, compte tenu de la fonction de coût des moindres carrés E, il est préférable de mettre en œuvre une méthode d'inversion itérative.

II.3.4.11. Avantages et inconvénients des réseaux de neurones

Les RNA sont une formulation mathématique simplifiée des neurones biologiques. Ils ont la capacité de mémorisation, de généralisation et surtout d'apprentissage qui est le phénomène le plus important. Dans cette partie, nous allons résumer les avantages et les inconvénients de l'utilisation des réseaux de neurones dans la commande [30].

- **Avantages**

Les principales qualités des réseaux de neurones sont leur capacité d'adaptabilité et d'auto-organisation ainsi que la possibilité de résoudre des problèmes non-linéaires avec une bonne approximation.

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

- **Inconvénients**

La difficulté d'interpréter le comportement d'un réseau de neurones est un inconvénient pour la mise au point d'une application. Il est également hasardeux de généraliser à partir d'expériences antérieures et de conclure ou de créer des règles sur le fonctionnement et le comportement des réseaux de neurones.

II.3.4.12. Mise en œuvre des réseaux de neurones

Pour tester les performances des réseaux de neurone dans le contrôle du système ABS, nous allons implémenter un bloc neuronal permettant de calculer le terme adaptatif qui va agir sur notre système, en essayant de réduire au mieux les erreurs de suivi.

- **Choix des entrées/sorties du réseau de neurones**

Puisque notre système à commander a un seul sous-système, on élabore le RNA en utilisant un seul couple (entrée/sortie)

Système : $p = [V;\lambda]$, avec Δ comme vecteur cible.

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= X_2 \\ \dot{X}_3 &= \frac{-\mu \cdot \text{Fn}}{X_2} \left(\frac{1 - X_3}{m} + \frac{R^2}{Jw} \right) + \frac{R}{Jw \cdot X_2} Tb \\ \rightarrow \dot{X}_3 &= \frac{-\mu \cdot \text{Fn}}{X_2} \left(\frac{1 - X_3}{m} + \frac{R^2}{Jw} \right) + \frac{R}{Jw \cdot X_2} U \end{aligned}$$

Où :

$$\begin{aligned} \dot{X}_3 &= \Delta + \bar{U} \\ \bar{U} &= \frac{R}{Jw \cdot X_2} U \\ \rightarrow U &= \frac{Jw \cdot X_2 \cdot \bar{U}}{R} \\ \Delta &= \dot{X}_3 - \frac{R}{Jw \cdot X_2} U \\ \Delta &= \frac{-\mu \cdot \text{Fn}}{V_x} \left(\frac{1 - \lambda}{m} + \frac{R^2}{Jw} \right) \end{aligned}$$

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

- **Choix du type de réseau de neurones**

Parmi les divers types de RNA existants, nous nous sommes penchés dans notre étude sur le Perceptron Multi Couches (PCM) non bouclé qui s'est avéré très efficace au cours de ces dernières années.

Les PCM utilisés contiennent une seule couche cachée ayant dix neurones, une fonction d'activation de type « tangente sigmoïde », et une seule couche de sortie possédant un seul neurone qui a une fonction d'activation « linéaire ».

- **Choix de la stratégie d'apprentissage**

L'apprentissage est un aspect très important des RNA qui consiste à modifier les poids des connexions jusqu'à ce qu'ils ne se modifient plus que d'une façon infime [30].

Lors de notre étude, nous avons adopté un apprentissage supervisé combiné à l'algorithme de Levenberg-Marquardt.

Le modèle du RNA utilisé dans cette étude est montré sur la figure suivante :

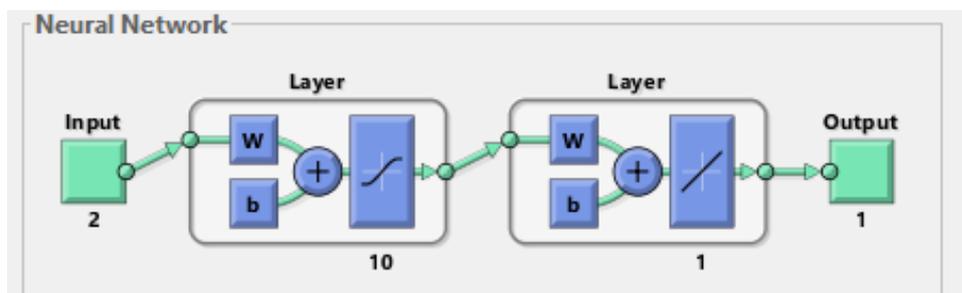


Figure II.21. Modèle du réseau de neurones utilisé

- **Réalisation d'apprentissage**

Une fois le type du réseau de neurones choisi et la stratégie d'apprentissage déterminée, nous procédons à la création et l'implémentation de notre RNA.

Les figures suivantes montrent les performances de l'apprentissage effectuées pour le système :

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

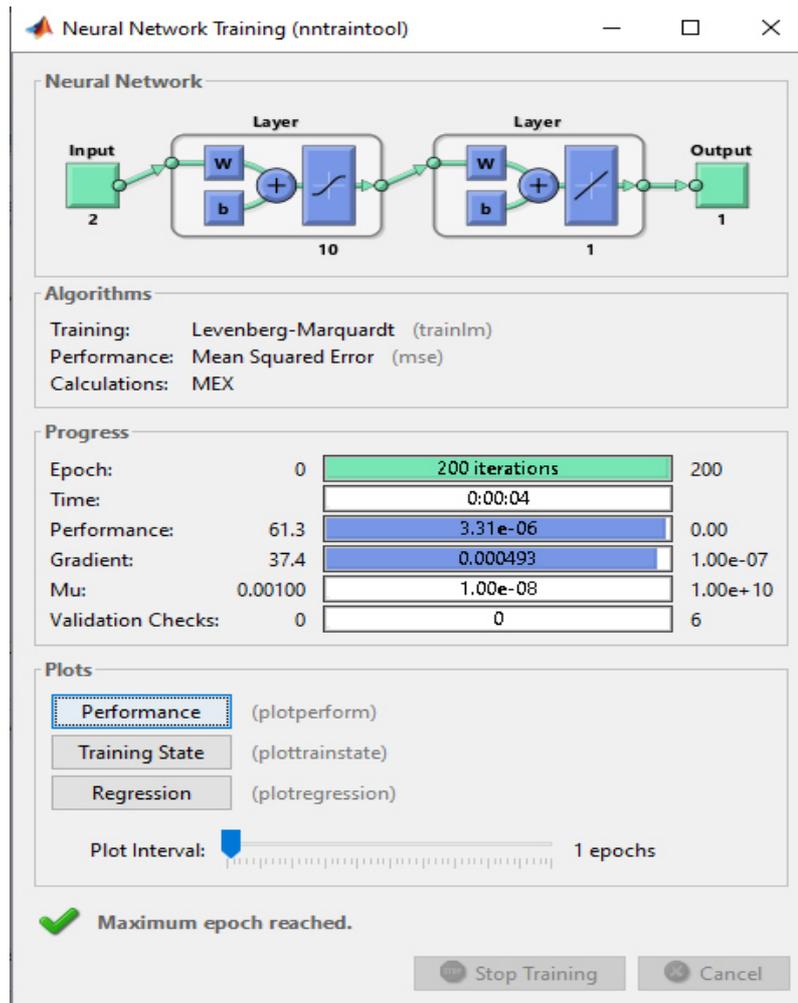


Figure II.22. Fenêtre d'entraînement de réseau de neurones du système

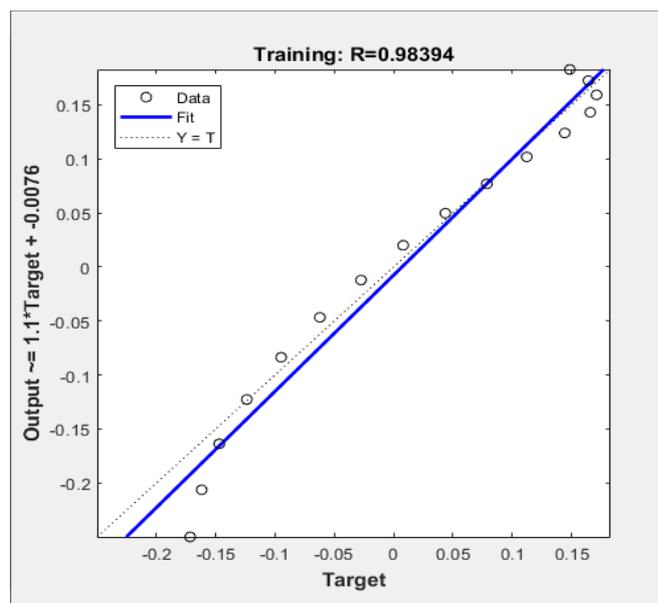


Figure II.23. Régression entre les sorties et les Targets

Chapitre II : Modélisation, simulation et systèmes de contrôle

II.3.4.13. Commande par réseaux de neurones classiques

Une fois la phase d'apprentissage réalisée, nous nous tournons vers l'implémentation sous Matlab/Simulink d'un bloc neuronal permettant d'estimer le terme adaptatif « Vad » qui vise à compenser le terme de perturbations Δ ciblés.

Ce terme adaptatif est calculé par les équations suivantes :

$$V_{ad} = \hat{M} \sigma^T (N_0^T \mu)$$

$$\mu = [1 \quad V \quad Y]$$

Où \hat{M} est l'estimation de M qui est mise à jour selon la loi d'adaptation suivante :

$$\dot{\hat{M}} = -\beta[2(\hat{\sigma} - \hat{\sigma}' N_0^T \mu)\lambda + \alpha (\hat{M} - M_0)]$$

M_0 est la valeur initiale de M.

N_0 est la valeur initiale du vecteur poids de couche cachée.

λ est l'erreur dynamique.

Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec un contrôleur par RNA :

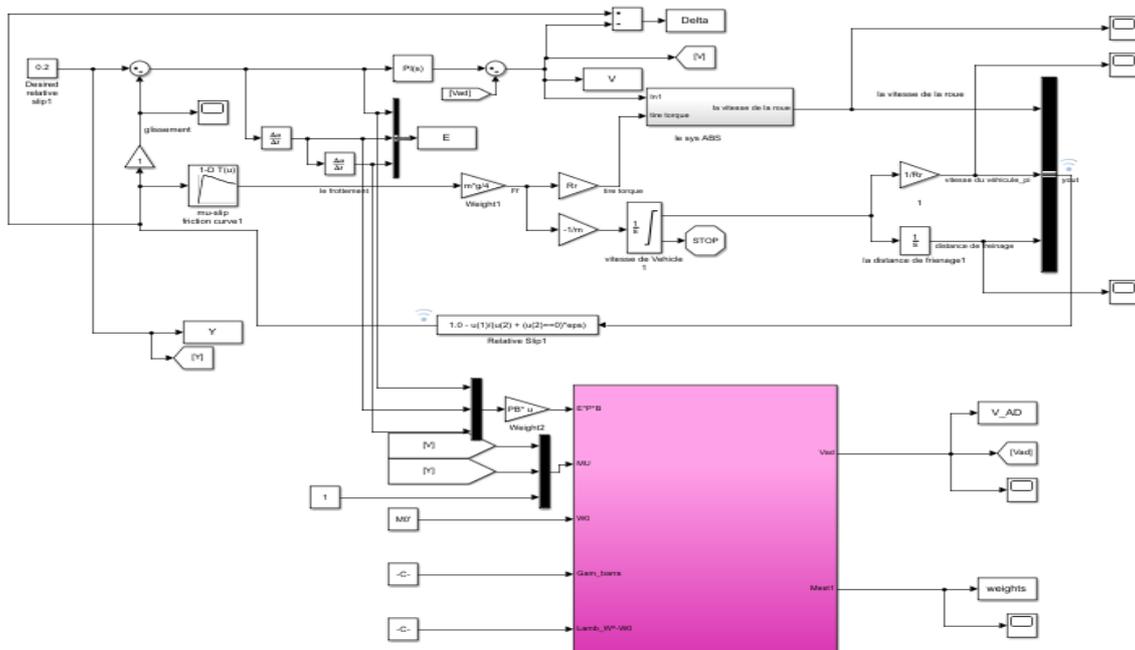


Figure II.24. Le modèle SIMULINK du système de freinage ABS avec un contrôleur par RNA

Chapitre III

Etude comparative des
techniques de commande
intelligente introduites

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.1.Introduction

Ce chapitre décrit les sorties calculées sans et avec contrôleurs (bang-bang, PI, contrôleur flou et contrôleur neuronal) du véhicule en freinage de glissement.

Nous allons interpréter les résultats obtenus en chacun des cas mentionnés dans le chapitre précédent.

Au début, nous faisons la comparaison entre les résultats de la simulation du système ABS sans contrôleur, les résultats de la simulation en utilisant un contrôleur bang-bang et les résultats de la simulation du système en utilisant un contrôleur proportionnel intégral (PI), Nous prouvons par la suite l'efficacité de l'utilisation du contrôleur dans notre système, nous déduisons ainsi le contrôleur le plus efficace et qui donne de meilleures performances parmi les deux contrôleurs (bang-bang et PI).

Par la suite, Nous faisons une autre comparaison entre les résultats obtenus en utilisant le contrôleur flou et ceux obtenus en utilisant le contrôleur par réseaux de neurones artificiels, en dévoilant vers la fin le meilleur contrôleur et le plus robuste qui nous donne des valeurs plus proches des valeurs désirées.

III.2.Les résultats du système des équations dynamiques sans contrôleur

III.2.1.La vitesse de la roue

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

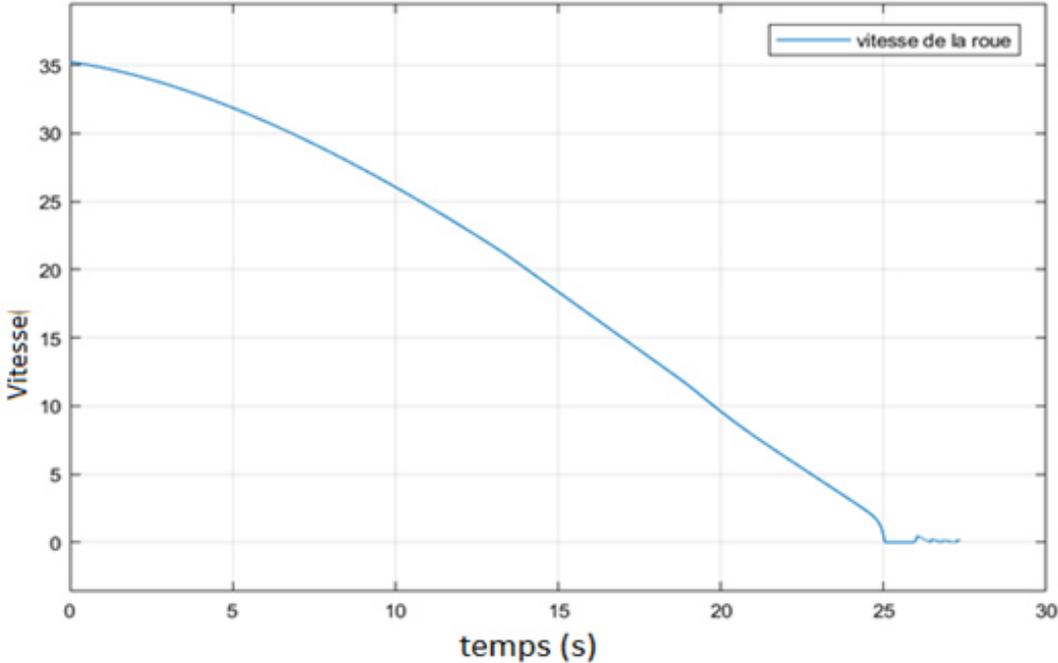


Figure III.1. La vitesse de la roue sans contrôleur

III.2.2.La vitesse du véhicule

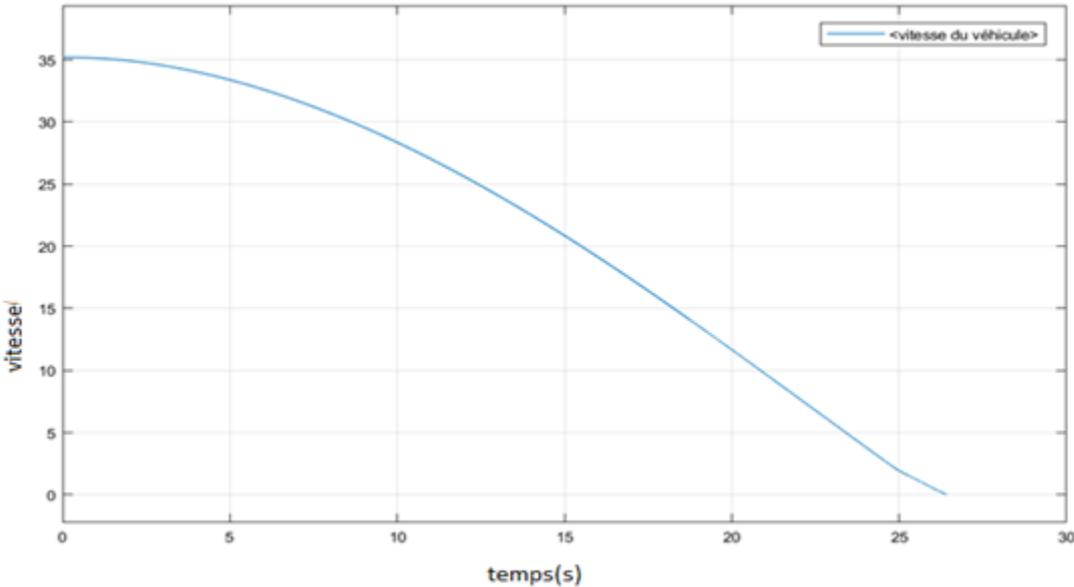


Figure III.2. La vitesse du véhicule sans contrôleur

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.2.3. La distance de freinage

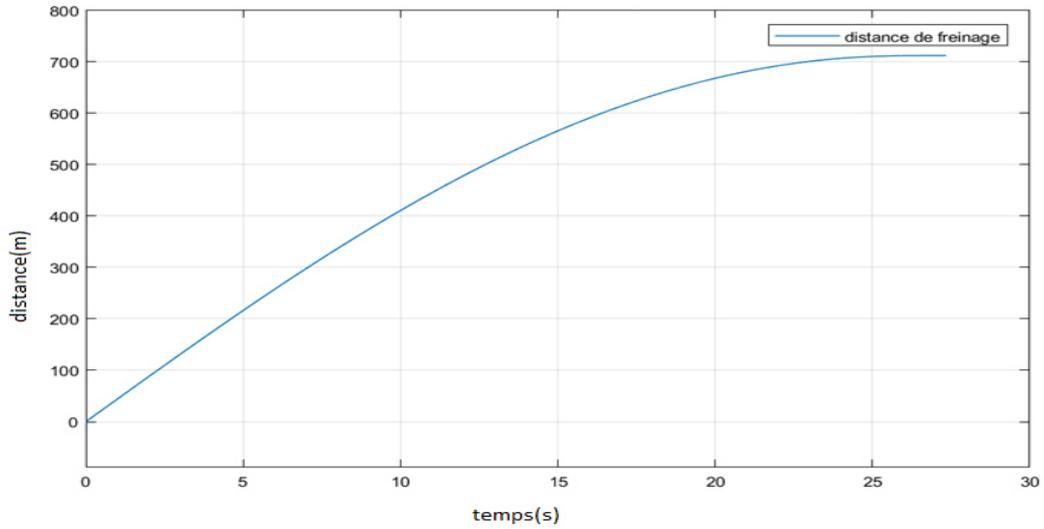


Figure III.3. La distance de freinage sans contrôleur

III.4.4. Le glissement

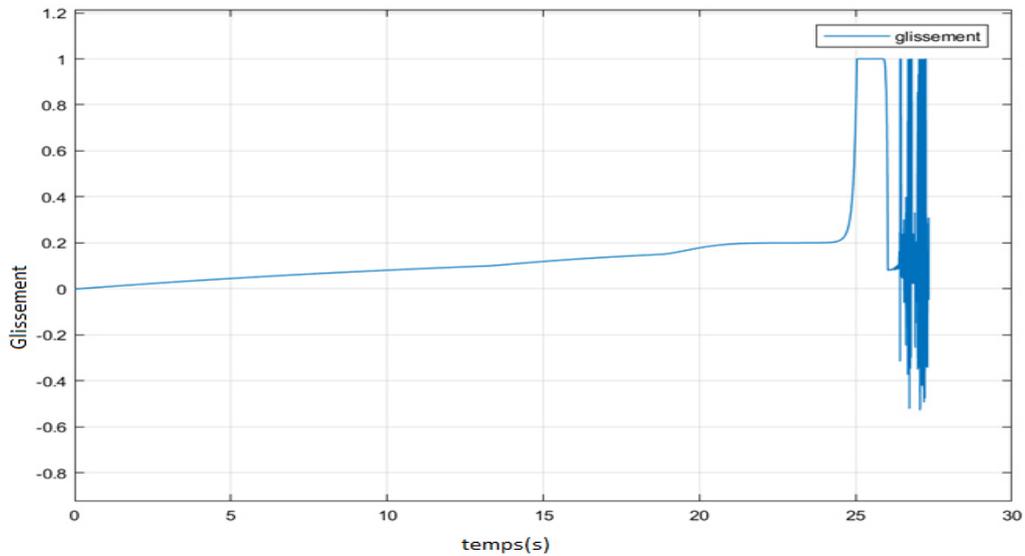


Figure III.4. Le glissement sans contrôleur

Interprétation

La figure III.1 illustre le comportement de la vitesse angulaire de la roue en absence de contrôleur de freinage. La vitesse angulaire de la roue diminue lentement et atteint la valeur zéro tant que le couple de freinage est maintenu.

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

La figure III.2 montre le comportement de la vitesse linéaire du véhicule en absence de contrôleur de freinage. La vitesse du véhicule diminue lentement et s'annule à quelques instants après l'annulation de la vitesse de rotation de la roue.

Il est montré que λ varie entre 0 et 1 depuis l'application du frein jusqu'à l'instant d'arrêt des roues. On constate ainsi que le temps d'arrêt de la roue est inférieur à celui du véhicule, ce qui indique que la roue a été bloquée (rotation nulle) avant que le véhicule ne s'arrête. Cela signifie que le contrôle du véhicule a été perdu, cette perte est due au blocage de la roue.

III.3. Les résultats de système des équations dynamiques avec un contrôleur BB

III.3.1. La vitesse de la roue

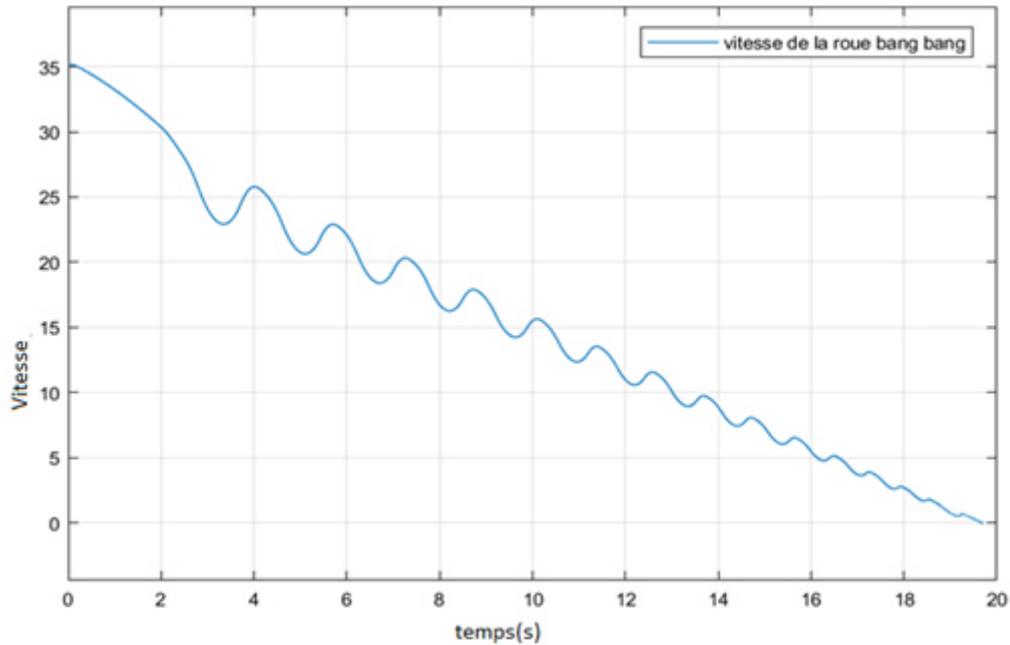


Figure III.5. La vitesse de la roue avec un contrôleur BB

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.3.2. La vitesse du véhicule

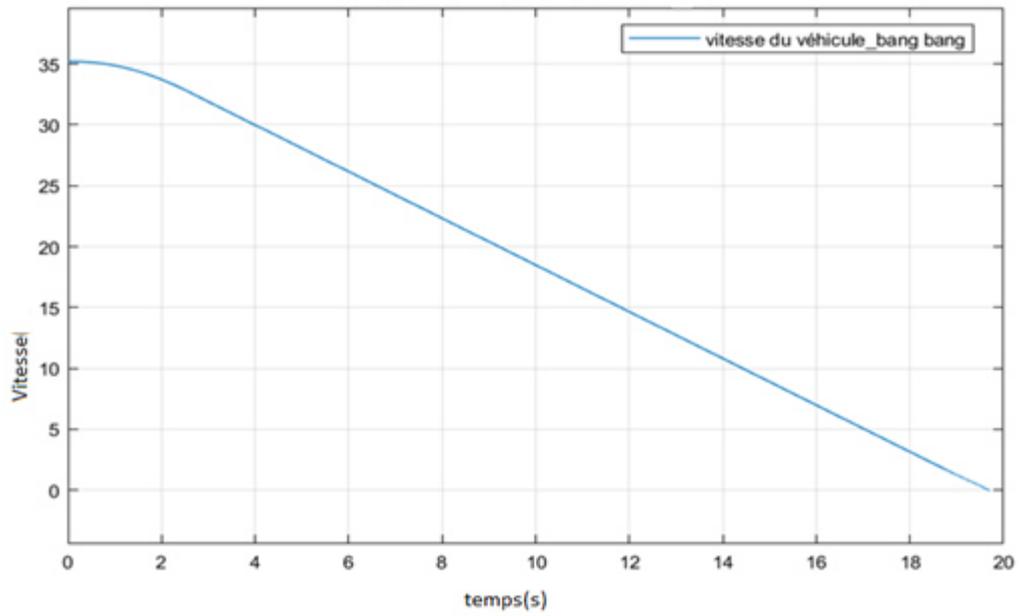


Figure III.6. La vitesse du véhicule avec un contrôleur BB

III.3.3. La distance de freinage

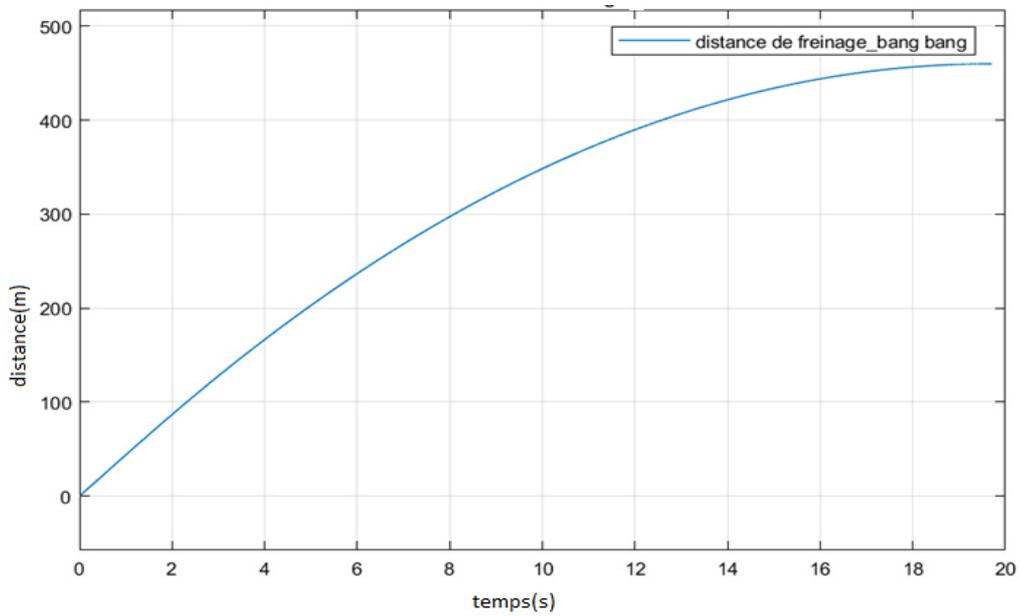


Figure III.7. La distance de freinage avec un contrôleur BB

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.2.4. Le glissement

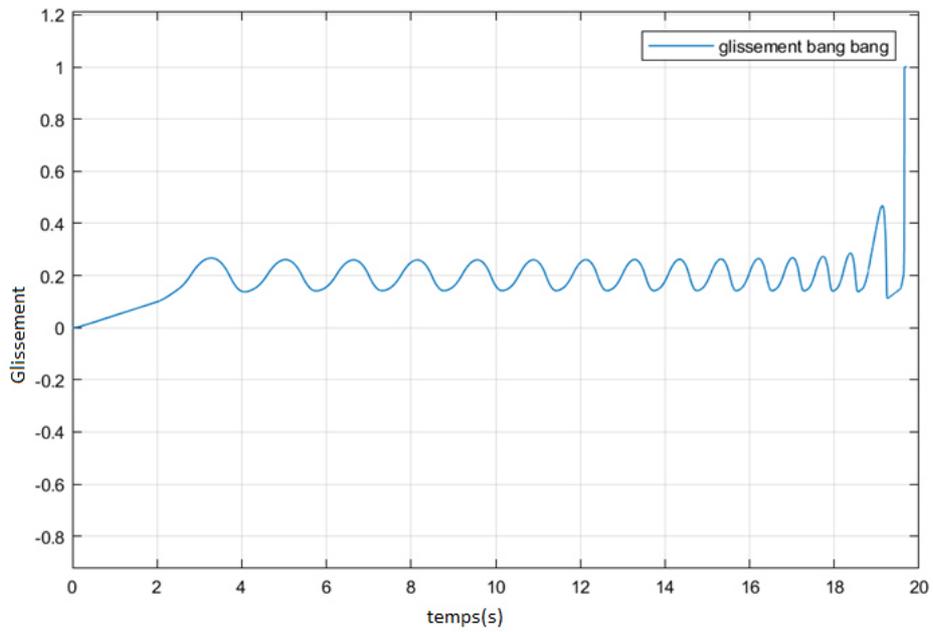


Figure III.8. Le glissement avec un contrôleur BB

III.4. Les résultats du système des équations dynamiques avec un contrôleur (PI)

III.4.1. La vitesse de la roue

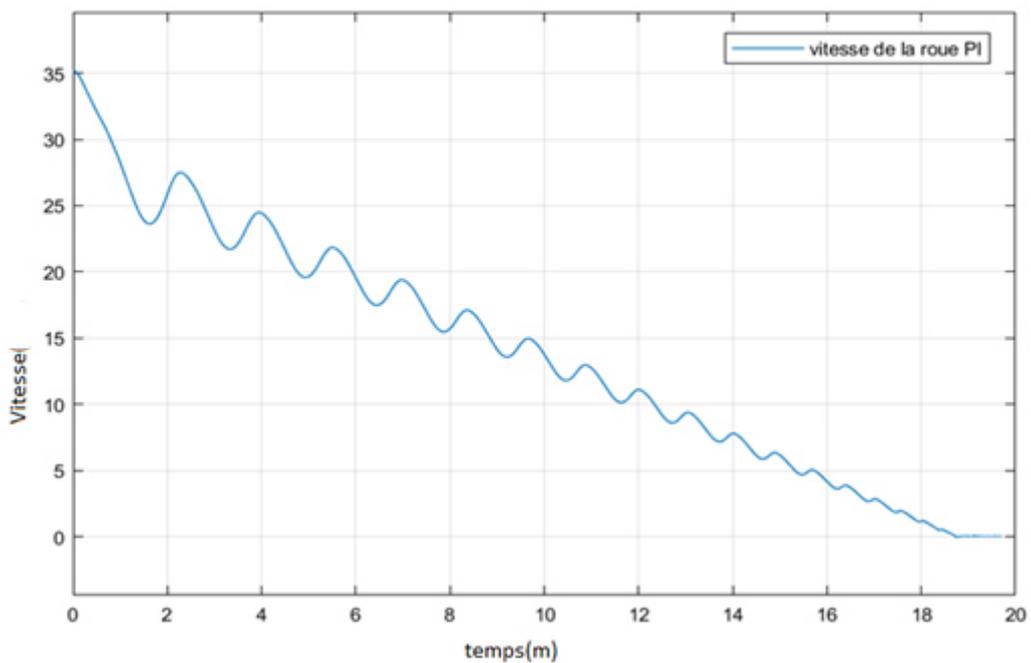


Figure III.9. La vitesse de la roue avec un contrôleur PI

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.4.2. La vitesse du véhicule

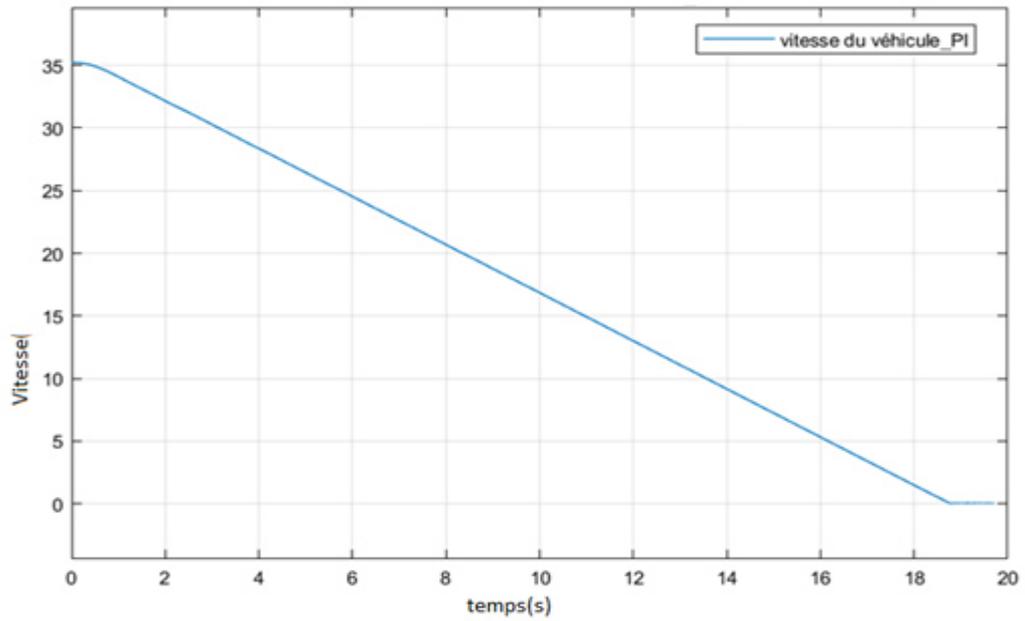


Figure III.10. La vitesse du véhicule avec un contrôleur PI

III.4.3. La distance de freinage

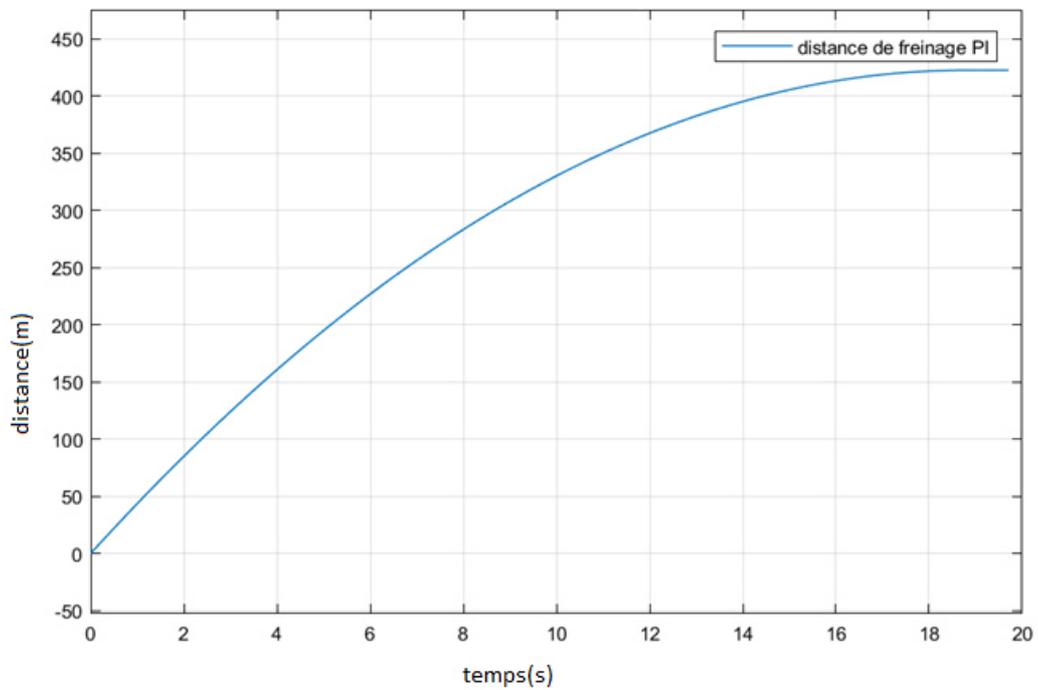


Figure III.11. La distance de freinage avec un contrôleur PI

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.4.4. Le glissement

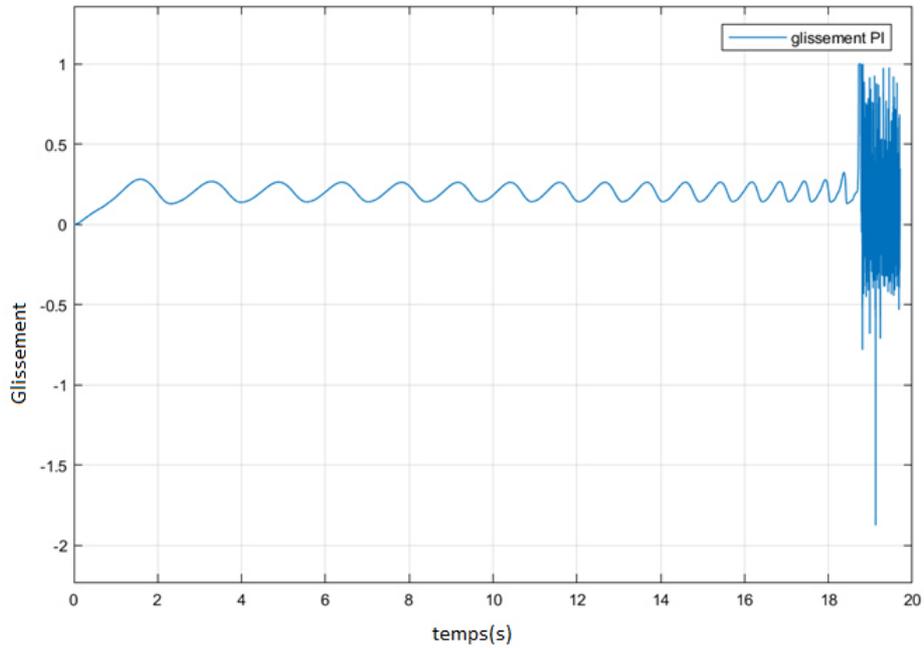


Figure III.12. Le glissement avec un contrôleur PI

III.5. Comparaison entre les résultats (sans contrôleur, avec BB et avec PI)

III.5.1. Schéma bloc comparatif (sans contrôleur, avec BB et avec PI)

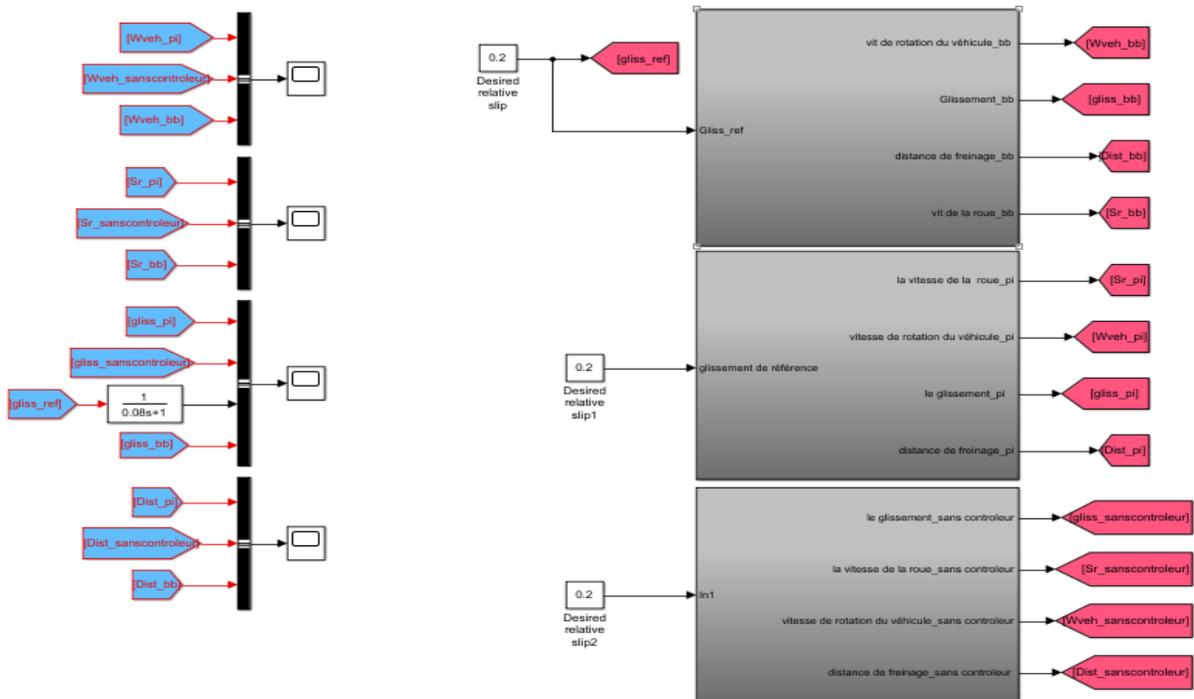


Figure III.13. Schéma bloc comparatif (sans contrôleur, avec BB et avec PI)

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.5.2. Les courbes comparatives (sans contrôleur, avec BB et avec PI)

III.5.2.1. La vitesse de la roue

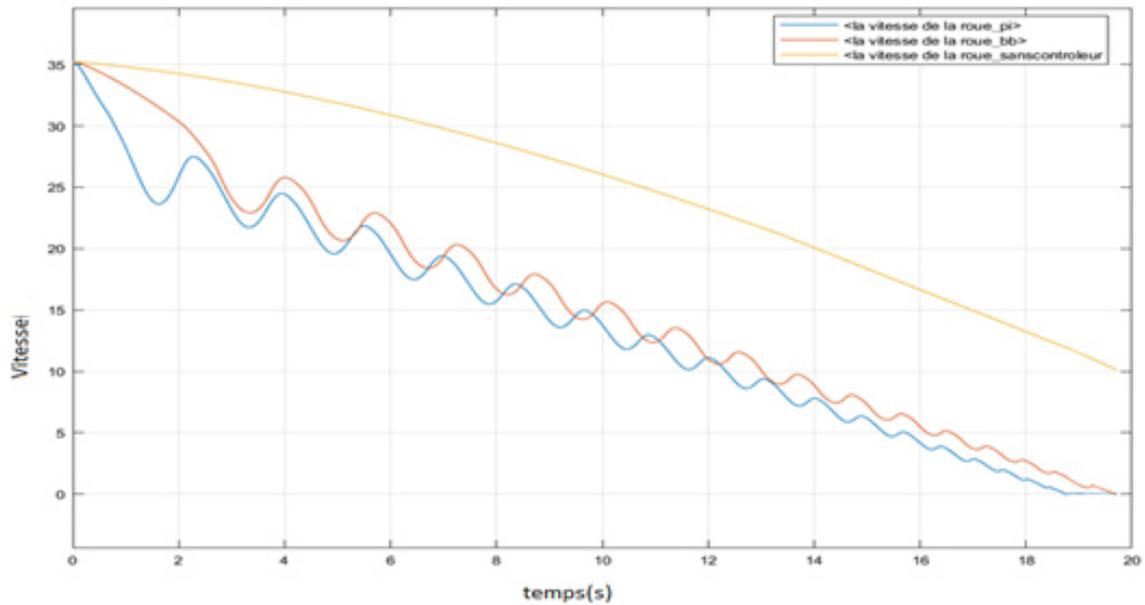


Figure III.14. Les courbes comparatives de la vitesse de la roue (sans contrôleur, avec BB et avec PI)

Interprétation

Nous remarquons que le temps d'arrêt de la roue est bien prolongé lorsque nous n'appliquons aucun contrôleur sur notre système ABS, sa vitesse s'annule au bout de 25.039 secondes. En le faisant remplacer par un contrôleur BB, le temps d'arrêt de la roue diminue observablement, sa vitesse de rotation s'annule aux environs de 19.648 secondes. Le temps d'arrêt de la roue a été diminué jusqu'à 18.721 secondes en appliquant un contrôleur PI.

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.5.2.2. La vitesse du véhicule

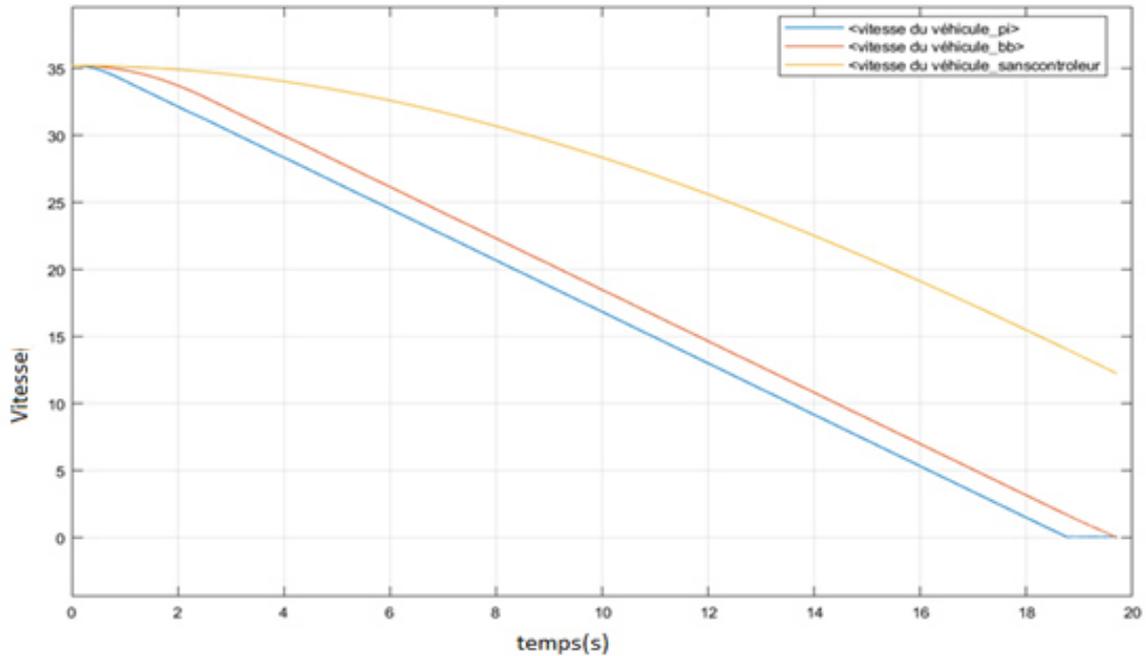


Figure III.15. Les courbes comparatives de la vitesse du véhicule (sans contrôleur, avec BB et avec PI)

Interprétation

Nous remarquons que le temps d'arrêt du véhicule lorsque nous n'appliquons aucun contrôleur sur notre système ABS est grand, sa vitesse s'annule au bout de 26.415 secondes. Avec un contrôleur BB, le temps d'arrêt du véhicule diminue, sa vitesse touche la valeur zero (0) aux environs de 19.709 secondes. Le temps d'arrêt du véhicule a été diminué jusqu'à 18.808 secondes avec un contrôleur PI.

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.5.2.3. La distance de freinage

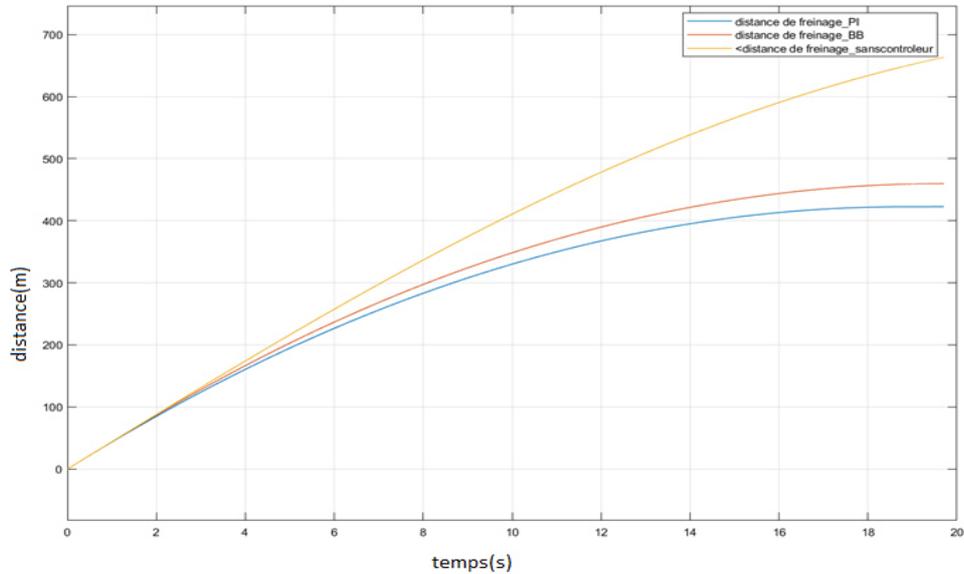


Figure III.16. Les courbes comparatives de la distance de freinage (sans contrôleur, avec BB et avec PI)

Interprétation

La figure III.16 montre que la courbe de la distance de freinage du véhicule sans contrôleur est très grande par rapport aux deux autres courbes (711.8 m). Quant à la deuxième courbe au dessous de la première (rouge), c'est la courbe de la distance de freinage avec un contrôleur BB, cette dernière est diminuée à (459.3 m). La troisième courbe en bas (bleue) décrit la distance de freinage du véhicule avec un contrôleur PI qui est à (422.5 m), elle est plus clairement petite en la comparant avec les deux courbes en haut.

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.5.2.4. Le glissement

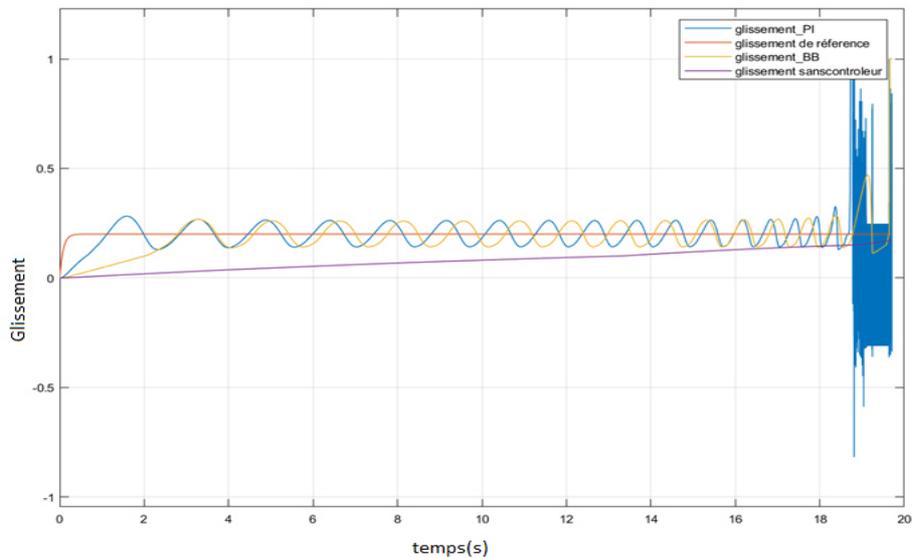


Figure III.17. Les courbes comparatives du glissement (sans contrôleur, avec BB et avec PI)

Interprétation

La figure III.17 nous montre que la courbe du glissement sans contrôleur est clairement très loin de la valeur désirée (glissement de référence), la courbe du glissement avec un contrôleur BB s'approche après un certain temps de la valeur de référence, celle du glissement avec un contrôleur PI est beaucoup plus proche du glissement de référence en un intervalle de temps réduit (temps de réponse plus réduit).

Type de contrôleur	La distance de freinage (m)	La vitesse de la roue (temps d'arrêt en seconde)	La vitesse du véhicule(temps d'arrêt en seconde)
Sans contrôleur	711.8	25.039	26.415
Contrôleur BB	459.3	19.648	19.709
Contrôleur PI	422.5	18.721	18.808

Tableau III.1. Tableau comparatif entre les résultats sans contrôleur, avec BB et avec PI

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

Interprétation

Il y a plusieurs points importants à noter à partir des résultats de la simulation, l'un est que la distance d'arrêt est plus petite avec un contrôleur PI qu'avec le contrôleur BB, et celle du contrôleur BB est plus réduite par rapport à la distance d'arrêt sans contrôleur. L'autre étant la vitesse de la roue et la vitesse du véhicule, ces dernières qui sont plus contrôlées par le contrôleur PI que le contrôleur BB, et plus contrôlées par BB que sans contrôleur, leur temps d'annulation (d'arrêt) avec un contrôleur PI est inférieur à celui du contrôleur BB, et celui du contrôleur BB est inférieur au temps d'arrêt sans contrôleur. La variation du glissement pendant le processus de contrôle est minimisée dans le cas du contrôleur PI, elle est plus proche de la valeur du glissement de référence (0.2), cette valeur est plus vite obtenue par le contrôleur PI. Et le glissement obtenu par le contrôleur BB est plus proche que le glissement sans contrôleur qui est très loin de la référence.

Ce test a permis de comparer l'efficacité du régulateur PI par rapport au contrôleur BB dans un système ABS. Ce qui montre que le contrôleur PI est adapté pour les systèmes ABS où une bonne distance d'arrêt et une bonne contrôlabilité sont ses aspects principaux.

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.6. Les résultats de simulation en utilisant la commande floue et la commande neuronale

III.6.1. la commande floue

III.6.1.1. La vitesse de la roue

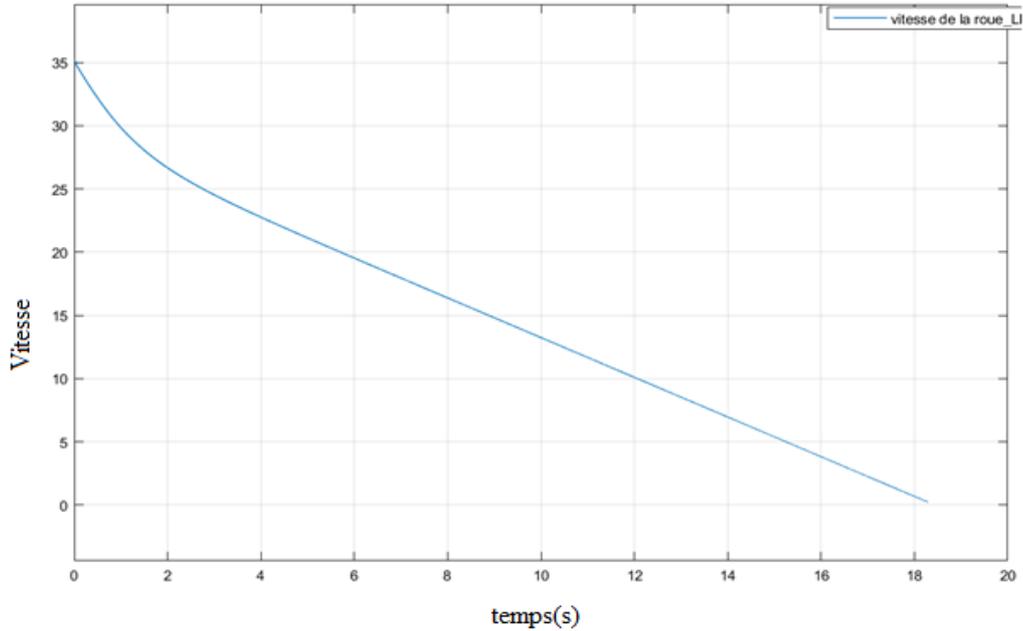


Figure III.18. La vitesse de la roue avec un contrôleur parLF

III.6.1.2. La vitesse du véhicule

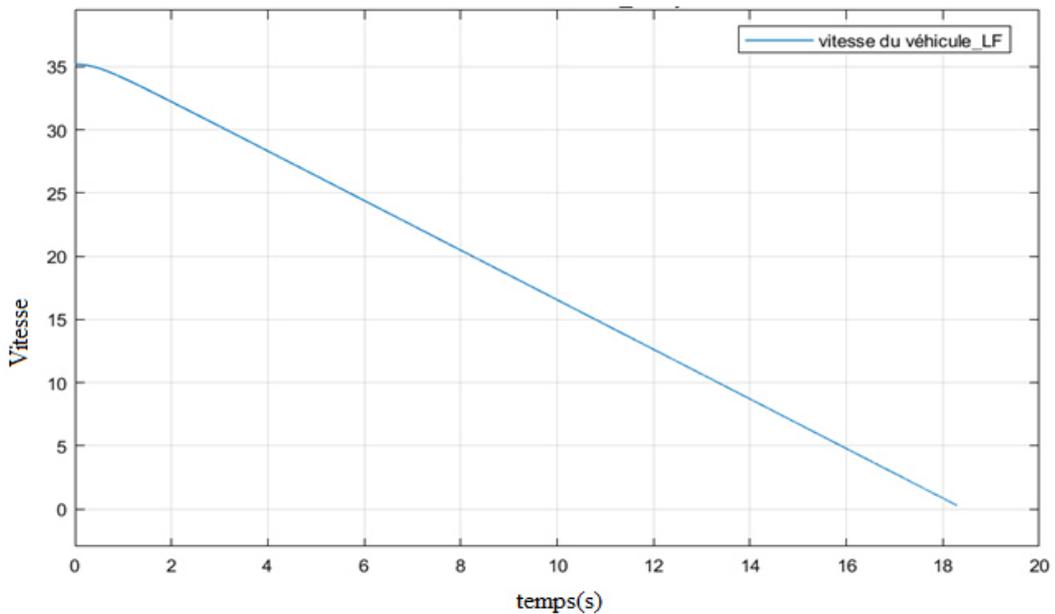


Figure III.19. La vitesse du véhicule avec un contrôleur parLF

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

-La vitesse du véhicule et la vitesse de la roue

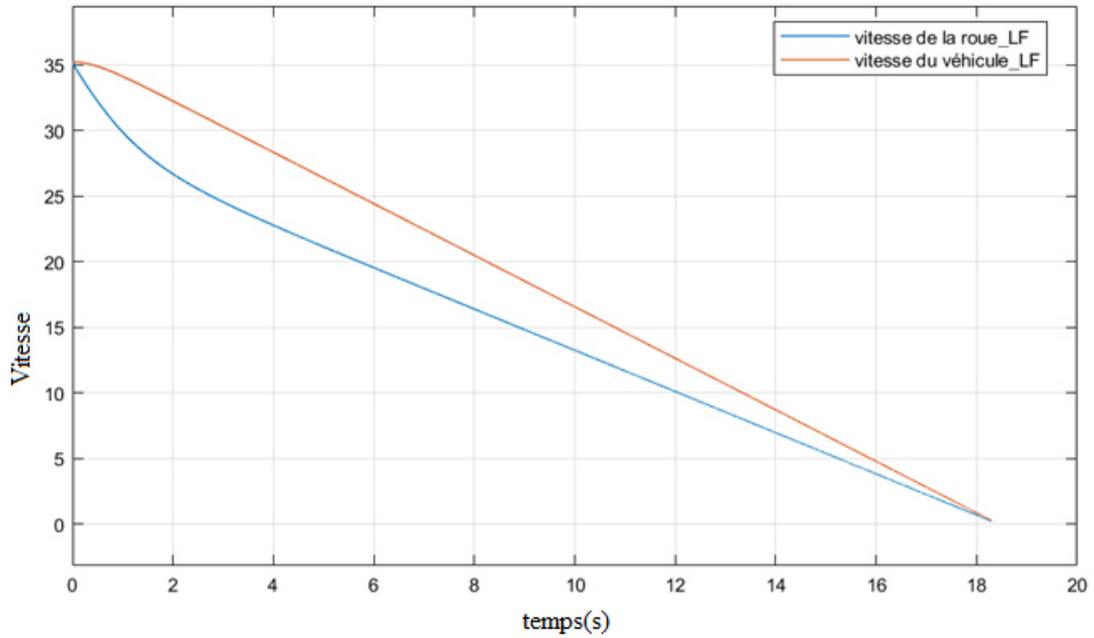


Figure III.20. La vitesse du véhicule et la vitesse de la roue avec un contrôleur par LF

III.6.1.3. La distance de freinage

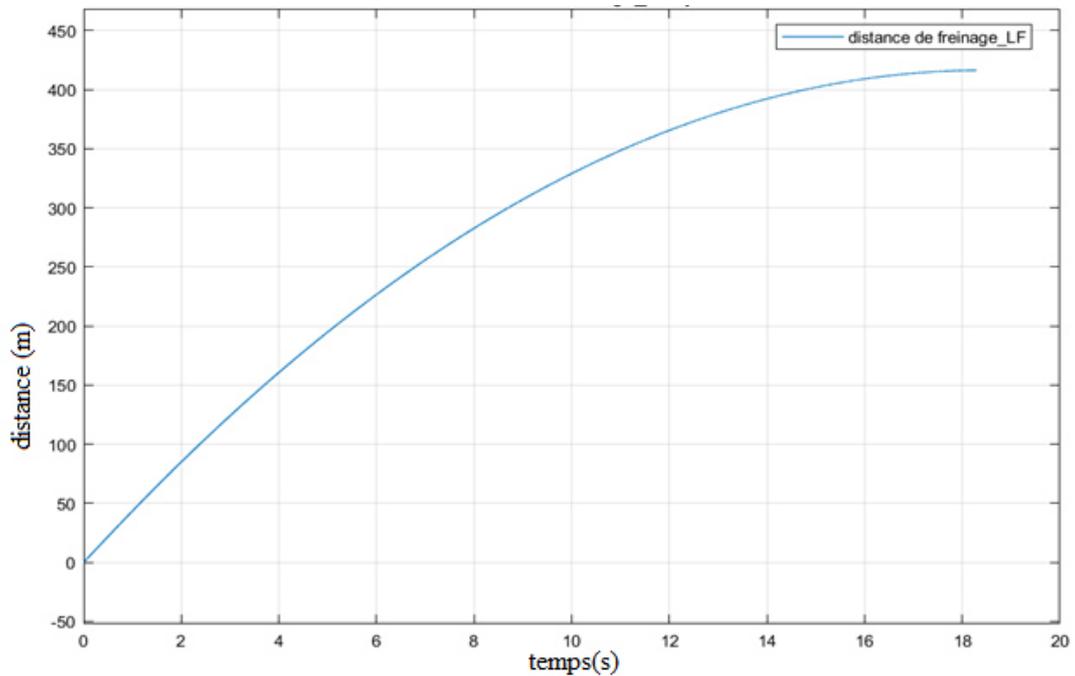


Figure III.21. La distance de freinage avec un contrôleur par LF

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.6.1.4. Le glissement

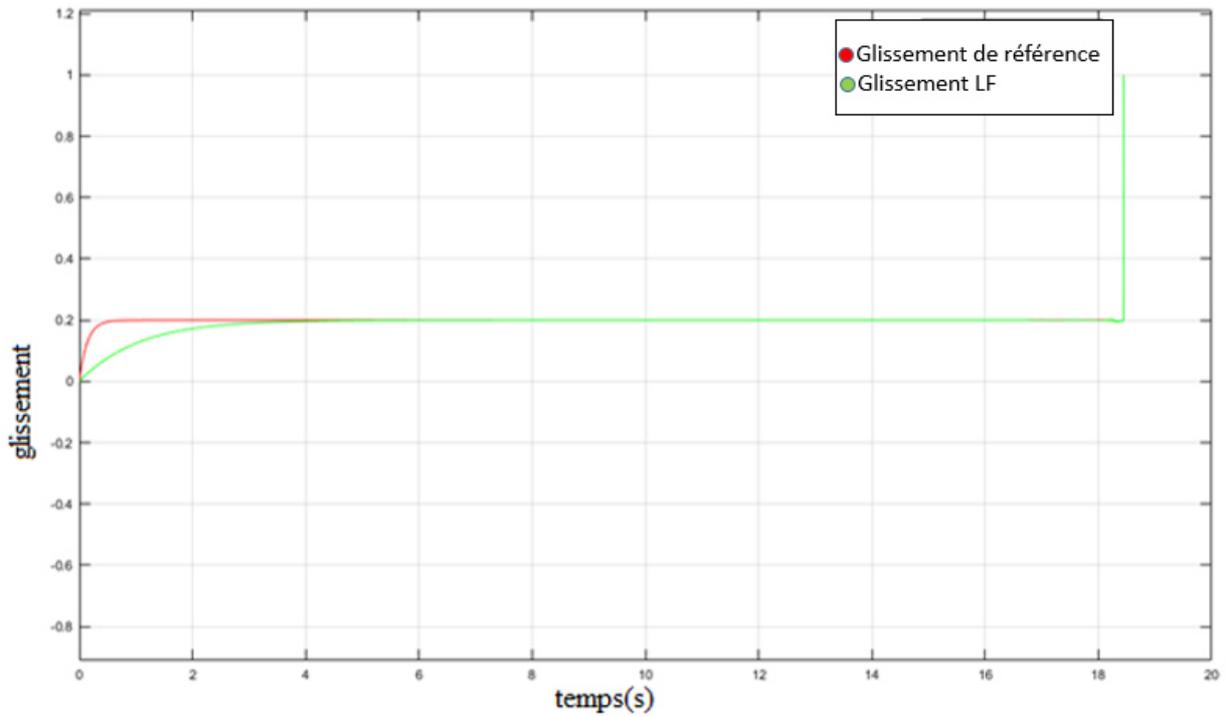


Figure III.22. Le glissement avec un contrôleur par LF

III.6.2. la commande neuronale:

III.6.2.1. La vitesse de la roue

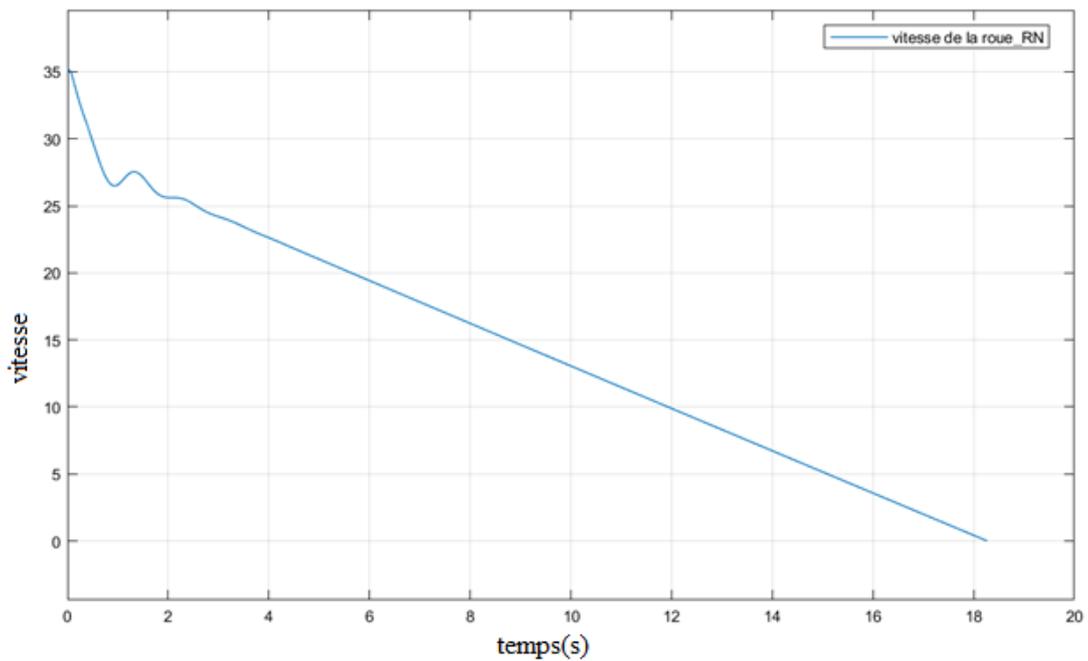


Figure III.23. La vitesse de la roue avec un contrôleur par RNA

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.6.2.2. La vitesse du véhicule

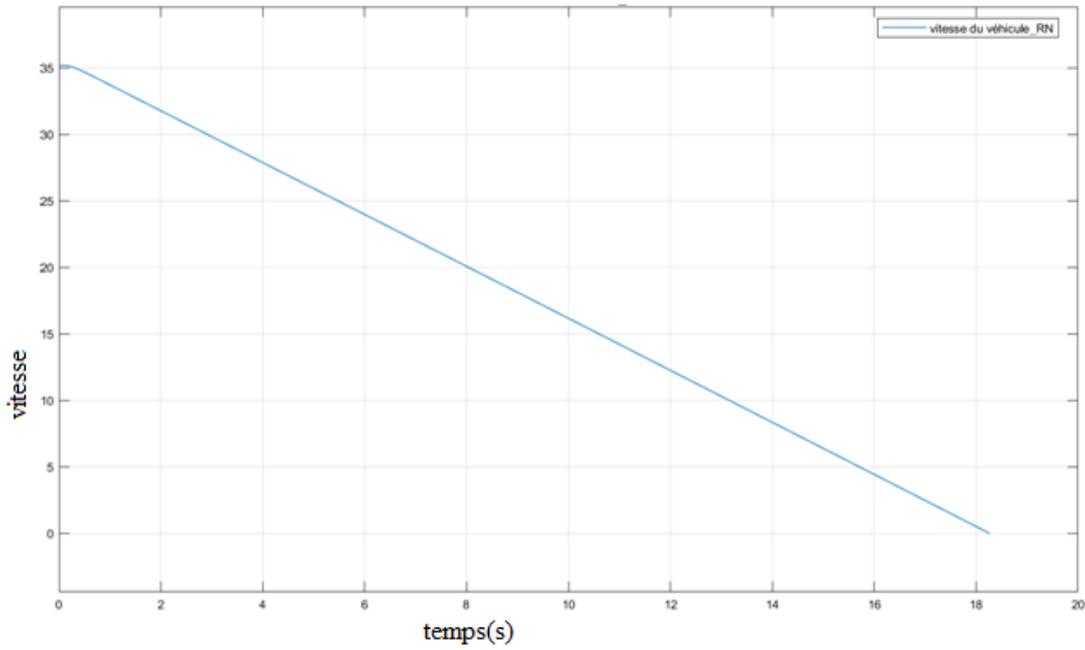


Figure III.24. La vitesse du véhicule avec un contrôleur par RNA

-La vitesse du véhicule et la vitesse de la roue

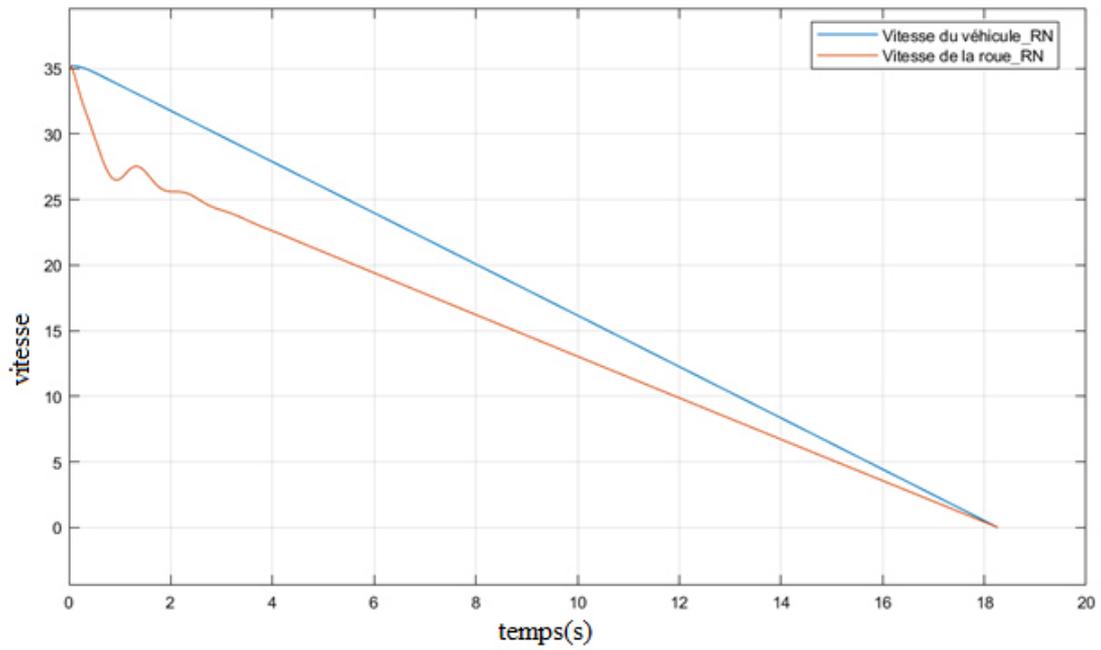


Figure III.25. La vitesse du véhicule et la vitesse de la roue avec un contrôleur par RNA

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.6.2.3. La distance de freinage

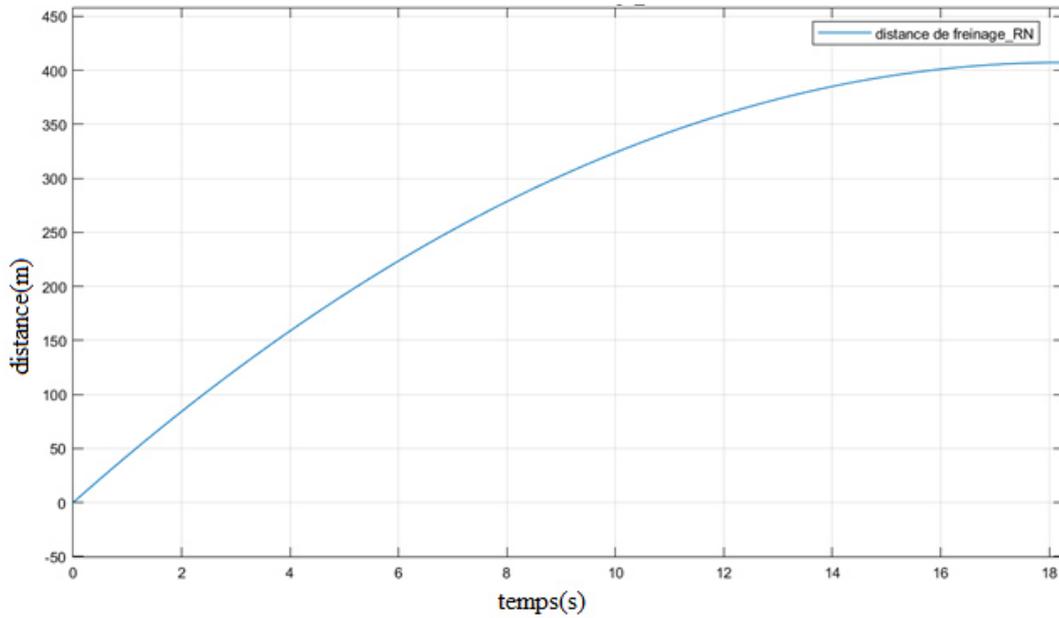


Figure III.26. La distance de freinage avec un contrôleur par RNA

III.6.2.4. Le glissement

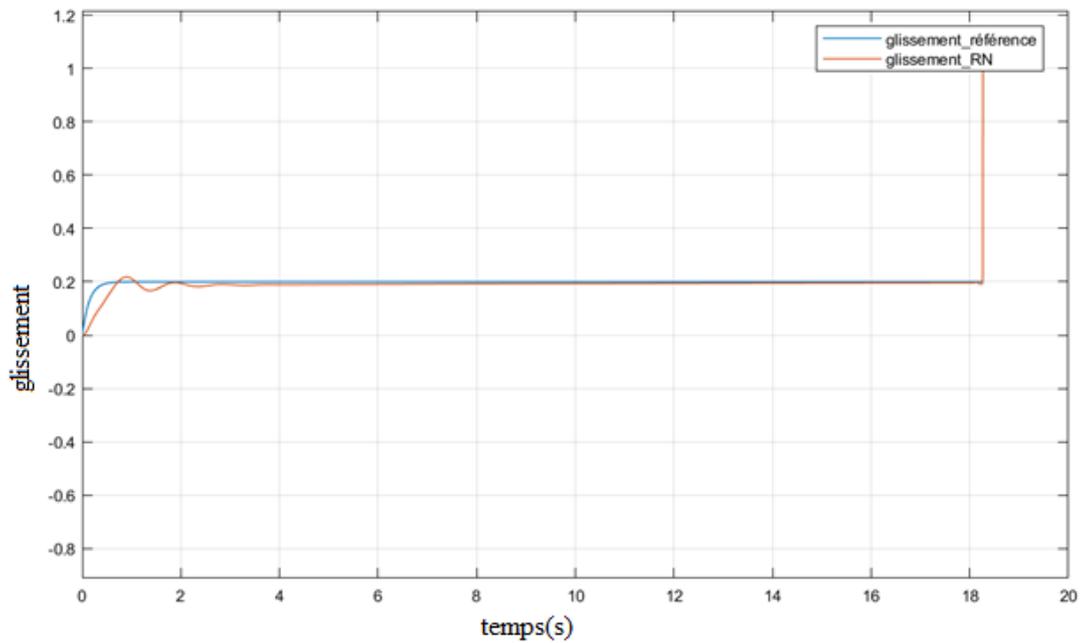


Figure III.27. Le glissement avec un contrôleur par RNA

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.6.3. courbes comparatives des deux commandes

III.6.3.1. La vitesse de la roue

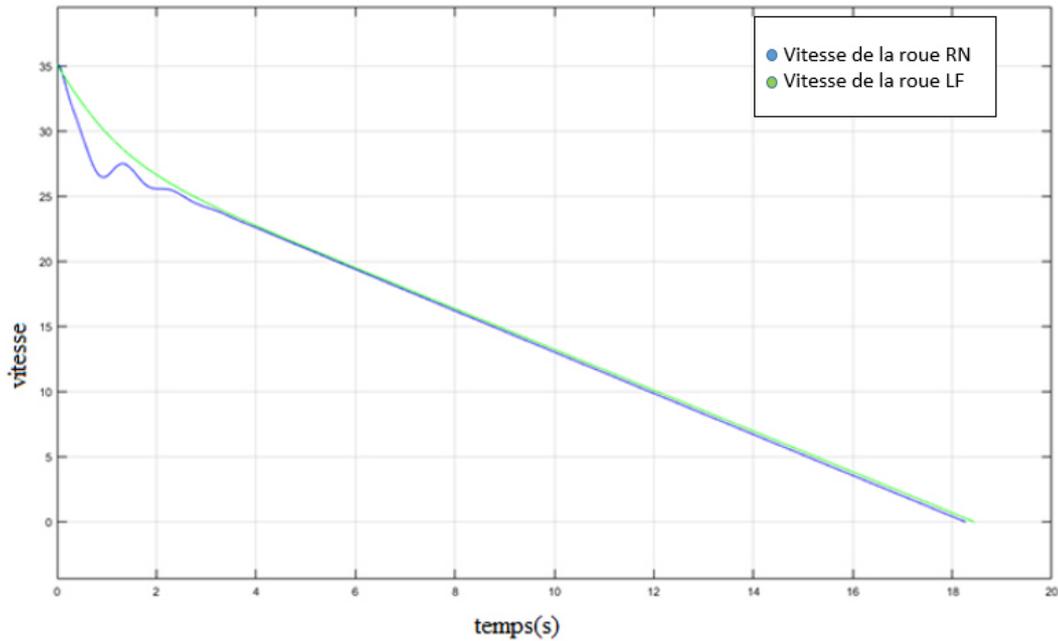


Figure III.28. La vitesse de la roue avec un contrôleur par RNA et par LF

Interprétation

Nous observons à partir de la figure III.28 que le temps d'arrêt de la roue est un peu prolongé avec un contrôleur par LF, sa vitesse s'annule au bout de 18.443 secondes. En le faisant remplacer par un contrôleur par RNA, le temps d'arrêt de la roue diminue, sa vitesse de rotation s'annule aux environs de 18.266 secondes. Observablement, la vitesse angulaire de la roue en utilisant le contrôleur par RNA est inférieure à la vitesse de rotation de la roue en utilisant un contrôleur par LF.

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.6.3.2. La vitesse du véhicule

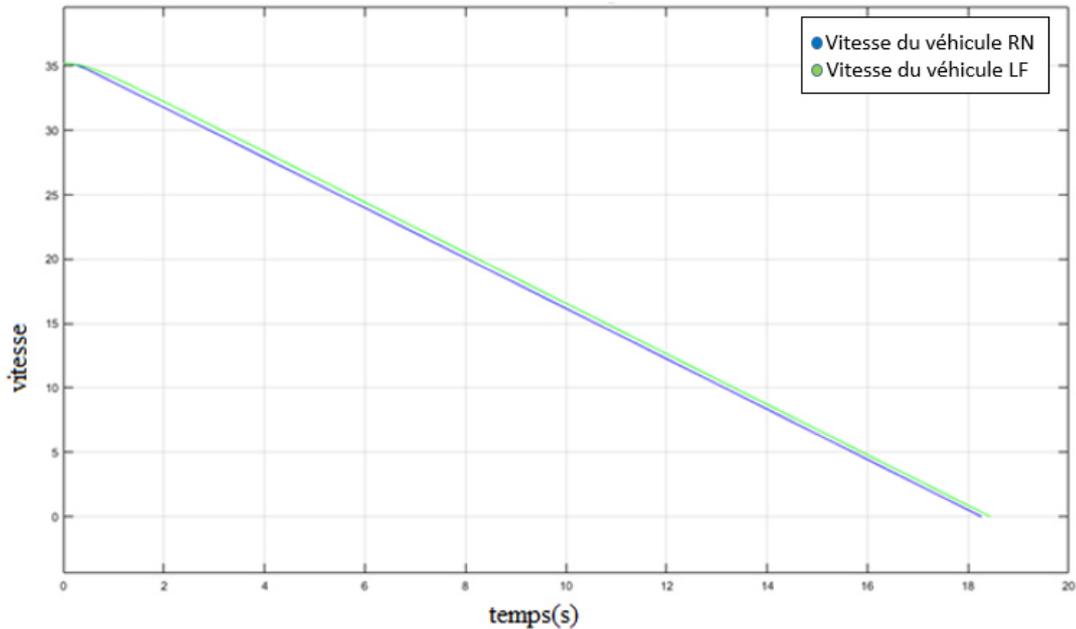


Figure III.29. La vitesse du véhicule avec un contrôleur par RNA et par LF

Interprétation

Nous remarquons à partir de la figure III.29 que le temps d'arrêt du véhicule lorsque nous appliquant un contrôleur par LF est grand en le comparant avec celui du contrôleur par RNA, sa vitesse s'annule au bout de 18.45secondes. Avec un controleur par RNA, le temps d'arrêt du véhicule diminue, sa vitesse touche la valeur zero (0) aux environs de 18.27secondes.on peut remarquer clairement que la vitesse linéaire du véhicule en utilisant le contrôleur par RNA est inférieur à la vitesse linéaire du véhicule en utilisant un contrôleur par LF.

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.6.3.3. La distance de freinage

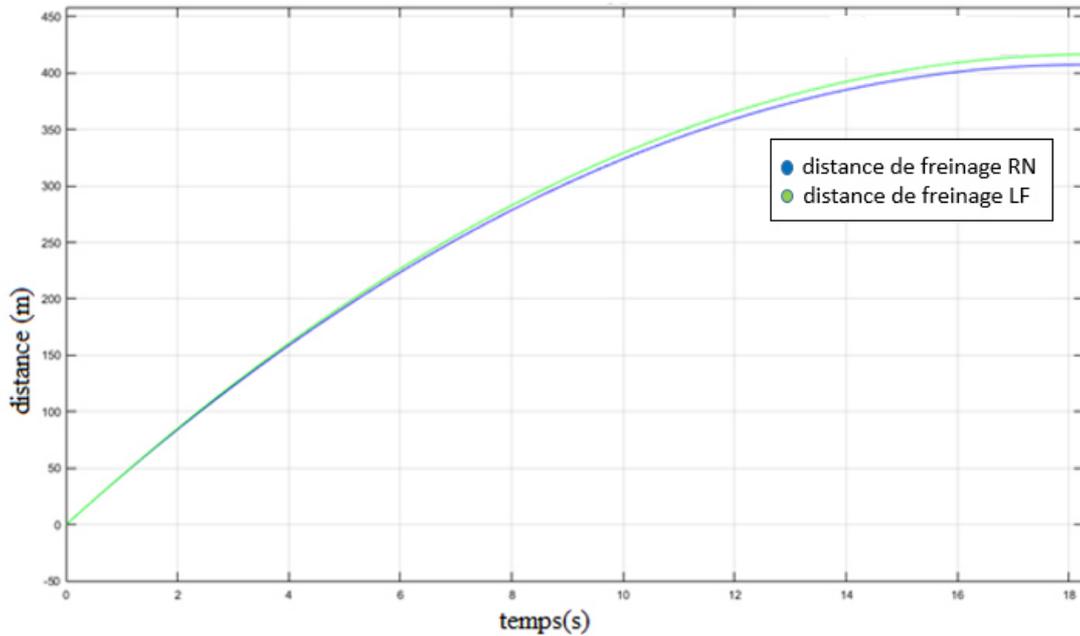


Figure III.30. La distance de freinage avec un contrôleur par RNA et par LF

Interprétation

La figure III.30 montre que la courbe de la distance de freinage du véhicule avec un contrôleur par LF est plus grande par rapport à l'autre courbe au dessous, (416.249m). Quant à la deuxième courbe au dessous de la première (bleue), c'est la courbe de la distance de freinage en utilisant un contrôleur par RNA, cette dernière est diminuée à (407.35m). Donc, le véhicule s'arrête à une distance plus réduite en appliquant le contrôleur par RNA.

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.6.3.4. Le glissement

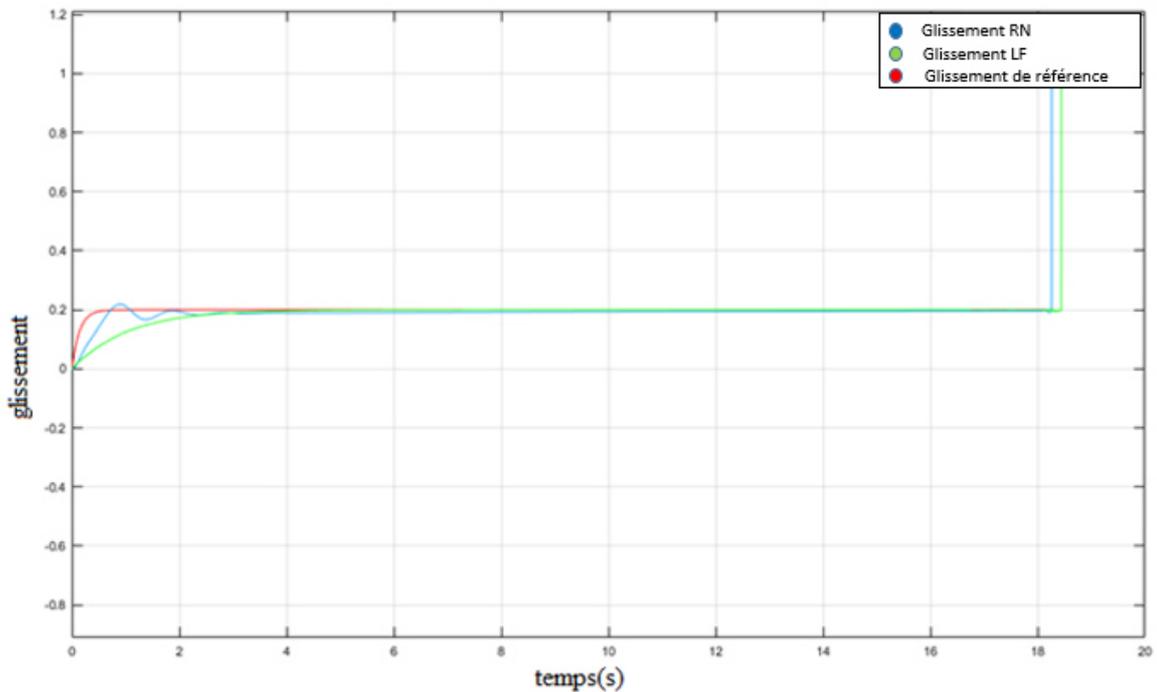


Figure III.31. Le glissement avec un contrôleur par RNA et par LF

Interprétation

La figure III.31 nous montre que la courbe du glissement du contrôleur par LF est à un temps de réponse réduit, elle s'approche après un certain temps de la valeur désirée (glissement de référence). La courbe du glissement en utilisant un contrôleur par RNA est beaucoup plus proche du glissement de référence en un intervalle de temps réduit (temps de réponse plus réduit), elle élimine presque toutes les perturbations, et réduit donc les effets de non-linéarité.

Type de contrôleur	La distance de freinage (m)	La vitesse de la roue (temps d'arrêt en seconde)	La vitesse du véhicule (temps d'arrêt en seconde)
Contrôleur par LF	416.249	18.443	18.45
Contrôleur par RNA	407.35	18.266	18.27

Tableau III.2. Tableau comparatif entre les résultats avec RNA et avec LF

Chapitre III : Etude comparative des techniques de commande intelligentes introduites

III.7. Conclusion

Il est montré que les effets de non-linéarité sont presque annulés et le temps de réponse est plus réduit en utilisant le contrôleur par RNA, ce dernier démontre d'excellentes performances en raison de sa capacité à modéliser les incertitudes élevées par rapport au contrôleur flou, et le contrôleur flou offre de bonnes performances en le comparant avec le contrôleur PI, ce dernier à son tour donne de bons résultats par rapport aux résultats obtenus par le contrôleur BB.

Par conséquent, les résultats de la simulation montrent que le contrôleur par RNA offre une excellente capacité à annuler ou au moins de minimiser au maximum les effets de la non-linéarité, et donc une forte robustesse. Ils affichent donc une corrélation entre les valeurs de référence et les valeurs obtenues.

Conclusion générale

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire une méthode est mise en œuvre pour la compréhension du frein ABS sans contrôleurs, avec des contrôleurs linéaires et avec des contrôleurs non-linéaires pour le système de freinage ABS. Le logiciel SIMULINK sous MATLAB est utilisé pour la simulation.

La variation de la rotation de la roue, du taux de glissement et la distance d'arrêt du véhicule en fonction du temps sont obtenus pour des problèmes types rencontrés en littérature, différents types de contrôleurs tels que bang-bang, PI, contrôleur flou et contrôleur neuronal sont programmés pour augmenter le couple de freinage comme contrôle au taux de glissement.

Nous avons appliqué deux commandes intelligentes sur le système ABS, dont l'une d'elles est la commande floue, tandis que l'autre est la commande par réseaux de neurones artificiels, qui a pour but d'améliorer les performances et la robustesse de notre système, ces derniers qui nous donnent des résultats plus satisfaisants que les contrôleurs linéaires.

Nous avons donc conclu que la commande neuronale intelligente permet d'obtenir des résultats ayant une meilleure robustesse, qui prouve ainsi toute l'efficacité et la validité du réseau de neurones artificiel utilisé dans notre étude.

Le but du travail présenté dans ce mémoire est d'approuver :

- L'utilisation d'autres techniques de commande robustes telle que la commande par logique floue (LF) et la commande par réseaux de neurones artificiels (RNA).
- L'étude d'autres méthodes non linéaires pour la commande d'un système de freinage ABS.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bibliographie

[01] F.Z. BOUKHEDDIA « Le frein automatique d'un véhicule par MATLAB », Mémoire de Master, Université Hassiba Benbouali – Chlef, 2012.

[02] www.seneauto.com/docs/freinage.pdf - Sénégal «Le Freinage ».

[03] « Réparation et entretien du circuit de freinage ABS et ASR », secteur : réparation des engins à moteur, Spécialité : MMEEA, Niveau : technicien spécialisé.

[04] «contrôle et remise en état d'un frein abs», niveau: technicien spécialité: entretien du système de freinage.

[05] Pacejka, H. B., and Sharp, R. S., 'Shear force development by pneumatic tire in steady state conditions: a review of modeling aspects', Vehicle System Dynamics, Vol. 20, 1991.

[06] O'keefe, P. J., 'Tandem antilock system for air braked vehicles ', SAE Technical Paper 770662, 1977.

[07] fr.wikipedia.org/wiki/Antiblockiersystem.

[08] PARTH BHARAT BHIVATE, « MODELLING & DEVELOPMENT OF ANTILOCK BRAKING SYSTEM », Bachelor of Technology (B. Tech).

[09] Meritor WABCO, Manuel d'entretien MM-0677FC, «Systèmes de freinage hydraulique ABS pour camions, autobus et autocaravanes », Publié 09-07.

[10] Pierre Duysinx «abs: principes & technologie», ingénierie des véhicules terrestres, université de Liège, année académique 2009-2010.

[11] Christian Haentjens « le fonctionnement du système de freinage antiblocage » Formateur et auteur des éditions techniques.

[12] simulink-stateflow technical examples «Using Simulink and Stateflow in Automotive Applications ».

[13] O'keefe, P. J., 'Tandem antilock system for air braked vehicles ', SAE Technical Paper 770662, 1977.

[14] A. B. Sharkawy, 'Genetic fuzzy self-tuning PID controllers for antilock braking systems', Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 23, pp. 1041–1052, 2010.

Bibliographie

- [15] PARTH BHARAT BHIVATE, « MODELLING & DEVELOPMENT OF ANTILOCK BRAKING SYSTEM », Bachelor of Technology (B. Tech)
- [16] en.wikipedia.org/wiki/Bang-bang_control
- [17] R.BenyahiaHamidi et A.BenBesekri, «Commande d'une Eolienne basée sur les modèles Flou de Takagi-Sugeno», Mémoire de Master Académique, Spécialité : Automatique et informatique industrielle, Université Djilali BounaamaKhemis Miliana.2019.
- [18]Kherkhare Abdelkrim. "Commande floue en poursuite et stabilisation des systèmes non linéaires incertains". Université Ferhat Abbas — Setif, 2010.
- [19] A.Ferroudj, «Commande Non-Linéaire de la MSAP Sans Capteur de Vitesse. Apport des Méthodes de L'intelligence Artificielle», Mémoire de Master Académique, En Electrotechnique, Option: Electronique de Puissance, Université UNIVERSITE DE BATNA. 2011.
- [20] I.Laghouag, «Commande par logique floue type -2- appliquée à la machine asynchrone», Mémoire de Master Académique, FILIERE : ELECTRONIQUE, OPTION : Contrôle Industriel, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA.2016.
- [21] A.BERRABAH, O.HAMZA, «Commande par logique floue d'une machine synchrone à aimant permanent», Mémoire de Master Académique, DOMAINE : GENIE ELECTRIQUE, EFILIERE : ELECTROTECHNIQUE, OPTION : COMMANDE ELECTRIQUE UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA. 2018.
- [22] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller - Part 1", IEEE Transactions on Systems, Man. and Cybernetics, vol. 20, no. 2, pp. 404-418, Mar./Apr. 1990.
- [23] A.Tlemçani «Contribution à l'application des commandes adaptatives par les systèmes flous à une machine synchrone à aimants permanents alimentée par un convertisseur multicellulaire série», THESE Présentée au Laboratoire de Commande des Processus En vue de l'obtention du titre de Docteur, Spécialité : Génie Electrique Option Automatique, Ecole Nationale Polytechnique.2007.
- [24] N. Oukacine, « Utilisation des réseaux de neurones pour la reconstitution de défauts en évaluation non destructive », Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou, 2012.

Bibliographie

- [25] O. Djoudi, R. Aboubekr, « Application des réseaux de neurone pour la caractérisation géométrique d'un défaut 3D par courant de Foucault », Mémoire de Master, Université KasdiMerbah Ouargla, 2015.
- [26]. T. Merzougui et K. Abdelkebir, « Commande d'une génératrice synchrone à aimant permanent (GSAP) », Mémoire de Master, Université de M'Sila, 2019.
- [27]. D. Kadous, « utilisation des réseaux de neurones comme outil du datamining : génération de modèle comportemental d'un processus physique à partir de données », Mémoire de Master, Université Abdou-bakrbelkaid de Tlemcen, 2012.
- [28]. S. Massoum, « Contrôle avec les techniques de l'intelligence artificielle d'une source d'énergie éolienne à base d'une machine asynchrone à double alimentation », Thèse de Doctorat, Université DjillaliLiabes de Sidi-Bel-Abbes, 2018.
- [29]. C. BISHOP, Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press, 1995.
- [30]. A. Bouchaala, « Commande de la machine synchrone à aimant permanent (MSAP) par les réseaux de neurones artificiels », Mémoire de Master, Université KasdiMerbah - Ouargla, 2019.

Annexes

Annexes

paramètre	Désignation
J_{ω}	Moment d'inertie (Kg.m ²)
R	Rayon du pneu (m)
T_b	Moment ou couple de freinage (nm)
F_N	Réaction du sol sur le véhicule (effort normal) (N)
m	La masse du modèle (kg)
$X_2 = V_x$	Vitesse linéaire du véhicule m/s
a_x	Accélération linéaire du véhicule (m/s ²)
a_{ω}	Accélération de rotation du véhicule (rad/s ²)
$X_3 = \lambda$	Glissement
ω	Vitesse de rotation du véhicule (rad/s)
μ	Coefficient de frottement
X_1	Distance d'arrêt (m)
g	Gravité (m/s ²)
Kp	Gain proportionnel
Ki	Gain intégral