

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Dr. Yahia FARES de MEDEA



Institut des Sciences de l'Ingénieur

MEMOIRE DE MAGISTER

Filière : Génie électrique

Option : systèmes et Commandes électromécaniques

THÈME

Commandes Intelligentes d'un Système de Suspension Active de Véhicules

Par :

M^r KADDOUR Benyoucef

Ingénieur d'état en électronique de l'université de Blida

Soutenu publiquement le 22/06/2008 devant le jury composé de :

M. TADJINE	Professeur	E.N.P, Alger	Président
L. NEZLI	Maître de Conférences	E.N.P, Alger	Examineur
K. BENMANSOUR	Chargé de cours	C.U, Médéa	Examineur
A/H .TELEMÇANI	Chargé de cours	C.U, Médéa	Invité
D. BOUKHETALA	Professeur	E.N.P, Alger	Rapporteur
F. BOUDJEMA	Professeur	E.N.P, Alger	Rapporteur

Ce mémoire est réalisé à l'institut des Sciences de l'Ingénieur de C.U de Médéa en collaboration avec le laboratoire de Commande des Processus de l'Ecole Nationale Polytechnique.

Dédicace

- *A mon père qui ma offert le bonheur, l'amour, encouragement et les prières sont l'essence de ma réussite.*
- *Fortement à la mémoire de ma mère, qu'elle repose en paie.*
- *Également à ma femme et mes gausses Abdelkader, Djillali, Yahia, Hocine.*
- *Bien sur à mes frères et ma soeur et leurs enfants, et ma grande famille*
- *A tous mes amis.*
- *A toute personne qui porte de l'estime pour moi.*

Remerciements

Je remercie Dieu de m'avoir donné la vie, la santé, le courage et la volonté pour arriver au bout de ce voyage et d'en apprécier le fruit de l'effort consenti.

Ce mémoire est réalisé à l'institut des Sciences de l'Ingénieur de C.U de Médéa en collaboration avec le Laboratoire de Commande des Processus de l'Ecole Nationale Polytechnique sous la direction de monsieur Djamel BOUKHETALA et monsieur Farès BOUDJEMA professeurs à l' ENP d'Alger. Qu'ils soient remerciés vivement pour m'avoir encadré et dirigé pour leur accueil pour leur rigueur et leur précieux conseil sur mon travail.

Je remercie Monsieur TADJINE Mohamed, Professeur à L'ENP d'Alger, qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Je tiens aussi à remercier Monsieur NEZLI Lazhari Maître de conférence a L'ENP d'Alger, et Monsieur BENMANSOUR Khellifa chargé de cours au Centre Universitaire de Médéa, d'avoir accepté la lourde tache d'examineur.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur TLEMCANI Abdelhalim chargé de cours au Centre Universitaire de Médéa, pour sa participation au jury.

Un grand merci aux professeurs (Pr. BOUCHERIT, Pr. BOUDJEMA, Pr. MAHMOUDI, Pr. TADJINE, Pr. BOUKHETALA, Dr NEZLI) pour l'effort fourni vers le centre universitaire de Médéa et spécialement pour les PG de Génie Electrique et de m'avoir honorer par leurs savoir, conseils durant tous le cursus.

Enfin, j'exprime ma gratitude à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin dans ce travail.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.

CHAPITRE I : ETUDE ET MODELISATION DES SUSPENSIONS DE VEHICULES

I.1 Introduction	06
I.2 Les différents types de suspension.....	07
I.3 Modélisation de la suspension.....	09
I.3.1 Modélisation linéaire de la suspension.....	09
I.1.3.1 Modèle de quart de véhicule ou mono roue	09
I.1.3.2 Modèle de demi véhicule.....	11
I.1.3.3 Modèle de véhicule complet.....	13
I.3.2 Modélisation non linéaire.....	17
I.3.2.1 Concept de la dynamique de l'Actionneur.....	17
I.3.2.2 Modèle non linéaire de quart de véhicule.....	18
I.3.2.3 Modèle non linéaire de demi de véhicule	19
I.3.2.4 Modèle non linéaire de véhicule complet	22
I.4 Conclusion.....	25

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES COMMANDES PAR LOGIQUE FLOUE, RESEAU DE NEURONE ET NEUROFLOUE.

II.1 Introduction.....	26
II.2 Les bases de la logique floue.....	26
II.2.1 Introduction.....	26
II.2.2 Les éléments de base de la logique floue.....	27
II.2.2.1 Fonctions d'appartenance.....	27
II.2.2.2 Fuzzification.....	28
II.2.2.3 Les opérateurs logiques flous.....	29
II.2.2.4 Règles Floues.....	29
II.2.3 Structure d'un régulateur flou.....	30
II.2.4 Modèle flou de Sugeno.....	32
II.3 Les réseaux de neurones.....	33
II.3.1 Introduction.....	33
II.3.2 Les neurones formels	35
II.3.2-a Le neurone formel de Mc Culloch.....	35
II.3.2-b Fonctions d'activations.....	37
II.3.3 Conception des réseaux de neurones	37
II.3.3 -a Modèle de connexion entre deux neurones élémentaires.....	37
II.3.3 -b Architecture des réseaux de neurones.....	38

II.3.4	Apprentissage des réseaux de neurone.....	39
II.3.4.1	Apprentissage non supervisé.....	39
II.3.4.1 -a	Règle de HEEB.....	39
II.3.4.1 -b	Carte auto adaptatives de KOHONEN.....	40
II.3.4.2	Apprentissage supervisé.....	41
II.3.4.2-a	Règle du Perceptron.....	42
II.3.4.2 b	Algorithme de rétro propagation.....	42
II.3	Systèmes hybrides neuro-floue.....	45
II.3.1	Introduction.....	45
II.3.2	Principe de fonctionnement des réseaux neuro-flous.....	46
II.3.3	Architecture ANFIS.....	47
II.3.4	Principe de fonctionnement du réseau ANFIS.....	48
II.3.5	Entraînement d'un réseau ANFIS.....	49
II.4	Conclusion.....	49

CHPITRE III: COMMANDE PAR LOGIQUE FLOUE DES SYSTEMES DE SUSPENSIONS DE VEHICULES

III.1	Introduction.....	51
III.2	Structure d'un régulateur flou.....	52
III.3	Résultats de simulation.....	54
III.3.1	Simulations du modèle quart de véhicule.....	54
III.3.1.1	Simulations linéaire du modèle quart de véhicule	54
III.3.1.2	Simulations non linéaire du modèle quart de véhicule	54
III.3.2	Simulations non linéaire du modèle de demi de véhicule.....	63
III.3.3	Simulation non linéaire du modèle de véhicule complet.....	73
III.4	Conclusion.....	83

CHAPITRE IV:COMMANDE PAR RESEAU DE NEURONE ET NEURO- FLOUE DES SYSTEMES DE SUSPENSIONS DE VEHICULES

IV.1	Commande par réseau de neurone (RNA).....	84
IV.1.1	Introduction.....	84

IV.1.2	Structure d'un régulateur RNA.....	84
IV.1.3	La procédure de l'apprentissage.....	85
IV.1.4	Résultats de simulation.....	85
IV.1.4.1	Modèle non linéaire du quart de véhicule.....	85
IV.1.4.2	Modèle non linéaire du demi de véhicule.....	91
IV.1.4.3	Modèle non linéaire du véhicule complet.....	100
IV.2	Commande neuro-floue.....	107
IV.2.1	Introduction.....	107
IV.2.2	Structure d'un régulateur neuro-floue.....	107
IV.2.3	Apprentissage du régulateur neuro-floue.....	107
IV.2.4	Résultats de simulation.....	107
IV.2.4.1	Modèle non linéaire du quart de véhicule.....	107
IV.2.4.2	Modèle non linéaire du demi de véhicule.....	113
IV.2.4.3	Modèle non linéaire du véhicule complet.....	122
IV.3	Interprétation des résultats.....	130
IV.3.1	Modèle du quart de véhicule.....	130
IV.3.1-a	Critères.....	130
IV.3.1-b	Comparaison des valeurs des critères de performances.....	131
IV.3.2	Modèle du demi de véhicule.....	133
IV.3.2-a	Critères.....	133
IV.3.2-b	Comparaison des valeurs des critères de performances.....	134
IV.3.3	Modèle du véhicule complet.....	137
IV.3.3-a	Critères.....	137
IV.3.3-b	Comparaison des valeurs des critères de performances.....	138
IV.4	Conclusion.....	141
	CONCLUSION GENERALE.....	142
	BIBLIOGRAPHIE	

Liste des figures :

1.1	Mouvements linéaires et angulaires du véhicule dans l'espace.	07
1.2	La suspension passive.	08
1.3	La suspension semi active.	08
1.4	Les différents types de suspension actives.	09
1.5	Modèle de quart de véhicule.	10
1.6	Modèle de demi véhicule.	11
1.7	Modèle de véhicule complet.	14
1.8	Actionneur Hydraulique.	17
2.1	Représentation d'un ensemble flou.	27
2.2	Quelques fonctions d'appartenances.	28
2.3	Fonction d'appartenance, variable et terme linguistique.	28
2.4	Degrés d'appartenance.	28
2.5	Structure d'un régulateur flou.	30
2.6	La méthode MIN-MAX.	30
2.7	La méthode MAX-produit.	31
2.8	La méthode somme produit.	31
2.9	La méthode de Sugeno.	33
2.10	Neurone biologique.	35
2.11	Le neurone formel de Mc Culloch.	36
2.12	Modèle de connexion entre deux neurones élémentaires.	37
2.13	Réseau de neurone non bouclé.	38
2.14	Réseau de neurone bouclé.	39
2.15	Apprentissage non supervisé.	39
2.16	Connexion entre deux neurones.	40
2.17	Apprentissage supervisé.	41
2.18	Architecture d'un système neuro-flou.	46
2.19	Architecture ANFIS.	47
3.1	Structure d'un régulateur flou.	52
3.2	Les fonctions d'appartenance.	53
3.3	Réponse temporelle à un échelon d'un système passive quart de véhicule en B.O	54
3.4	Résultat boucle fermé.	55
3.5	Déplacement de la caisse en boucle ouverte (t=500sec).	56
3.6	Déplacement de la caisse en boucle ouverte (t=10sec).	57
3.7	Réponse des différents paramètres(1/4) à un échelon ($\epsilon = 10$, $\Delta Ms = 0$).	58
3.8	Réponse des différents paramètres(1/4) à un passage sur une bosse ($\epsilon = 10$, $\Delta Ms = 0$, v=5km/h).	58
3.9	Réponse des différents paramètres(1/4) à un échelon ($\epsilon = 10$, $\Delta Ms = +100$ kg).	59
3.10	Réponse des différents paramètres (1/4) à un passage sur une bosse ($\epsilon = 10$, $\Delta Ms = +100$ kg, v=10km/h).	59

3.11	Réponse des différents paramètres(1/4) à un échelon, avec ($\varepsilon = 15, \Delta Ms = 0$).	60
3.12	Réponse des différents paramètres(1/4) à un passage sur une bosse ($\varepsilon = 15, \Delta Ms = 0, v = 5 \text{ km/h}$).	60
3.13	Réponse des différents paramètres(1/4) à un échelon avec $\varepsilon = 15, \Delta Ms = +100 \text{ kg}$.	61
3.14	Réponse des différents paramètres(1/4) à un passage sur une bosse ($\varepsilon = 15, \Delta Ms = +100 \text{ kg}, v = 10 \text{ km/h}$).	61
3.15	Réponse des différents paramètres à un entrée aléatoire(1/4) avec ($\varepsilon = 10, \Delta Ms = +100 \text{ kg}, v = 10 \text{ km/h}$).	62
3.16	Réponse des différents paramètres(1/2) à un échelon ($\varepsilon = 1.5, \Delta Ms = 0, v = 10 \text{ km/h}$).	64
3.17	Réponse des différents paramètres(1/2) à un passage sur un dos d'âne avec ($\varepsilon = 1.5, \Delta Ms = 0, v = 5 \text{ km/h}$).	65
3.18	Réponse des différents paramètres(1/2) à un échelon ($\varepsilon = 1.5, \Delta Ms = +200 \text{ kg}, v = 5 \text{ km/h}$).	66
3.19	Réponse des différents paramètres(1/2) à un passage sur un dos d'âne ($\varepsilon = 1.5, \Delta Ms = +200 \text{ kg}, v = 10 \text{ km/h}$).	67
3.20	Réponse des différents paramètres(1/2) à une montée trottoir (échelon)($\varepsilon = 4, \Delta Ms = 0, v = 10 \text{ km/h}$).	68
3.21	Réponse des différents paramètres(1/2) à un passage sur un dos d'âne ($\varepsilon = 4, \Delta Ms = 0, v = 5 \text{ km/h}$).	69
3.22	Réponse des différents paramètres(1/2) à une montée trottoir (échelon)($\varepsilon = 4, \Delta Ms = +200 \text{ kg}, v = 5 \text{ km/h}$).	70
3.23	Réponse des différents paramètres(1/2) à un passage sur un dos d'âne($\varepsilon = 4, \Delta Ms = +200 \text{ kg}, v = 10 \text{ km/h}$).	71
3.24	Réponse des différents paramètres(1/2) à une perturbation aléatoire($\Delta Ms = +200 \text{ kg} = \varepsilon = 1.5, v = 10 \text{ km/h}$).	72
3.25	Réponse des différents paramètres(complet) à une montée trottoir (échelon) ($\varepsilon = 15, \Delta Ms = 0$).	75
3.26	Réponse des différents paramètres(complet) à une montée trottoir (échelon)($\varepsilon = 20, \Delta Ms = 0$).	76
3.27	Réponse des différents paramètres(complet) à un passage sur un dos d'âne($\varepsilon = 15, \Delta Ms = 300, v = 5 \text{ km/h}$).	77
3.28	Réponse des différents paramètres(complet) à un passage sur un dos d'âne ($\varepsilon = 20, \Delta Ms = 0$).	78
3.29	Réponse des différents paramètres(complet) à un passage sur deux dos d'âne($\varepsilon = 15, \Delta Ms = +300 \text{ kg}, v = 10 \text{ km/h}$).	79
3.30	Réponse des différents paramètres(complet) à un passage sur deux dos d'âne.($\varepsilon = 20, \Delta Ms = 300, v = 10 \text{ km/h}$).	80
3.31	Réponse des différents paramètres(complet) à un passage sur deux dos d'âne ($\varepsilon = 22, \Delta Ms = 0$).	81
3.32	Réponse des différents paramètres(complet) à une perturbation aléatoire avec $\varepsilon = 15, \Delta Ms = +300 \text{ kg}, v = 10 \text{ km/h}$	82
4.1	Structure d'un régulateur RNA.	84
4.2	Procédure d'apprentissage du réseau de neurone.	85
4.3	Réponse des différents paramètres(1/4) à une montée trottoir (échelon) $\varepsilon = 10, \Delta Ms = 0$.	86
4.4	Réponse des différents paramètres(1/4) à un passage sur un dos d'âne ($\varepsilon = 10, \Delta Ms = 0, v = 5 \text{ km/h}$).	86

4.5	Réponse des différents paramètres(1/4) à un échelon ($\varepsilon = 10$, $\Delta M_s = +100$ kg)	87
4.6	Réponse des différents paramètres(1/4) à un passage sur un dos d'âne ($\varepsilon = 10$, $\Delta M_s = +100$ kg, $v = 10$ km/h)	87
4.7	Réponse des différents paramètres(1/4) à un échelon ($\varepsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$)	88
4.8	Réponse des différents paramètres(1/4) à un échelon passage sur dos d'âne ($\varepsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 5$ km/h)	88
4.9	Réponse des différents paramètres(1/4) à un échelon avec $\varepsilon = 15$, $\Delta M_s = +100$ kg	89
4.10	Réponse des différents paramètres(1/4) à un passage sur dos d'âne ($\varepsilon = 15$, $\Delta M_s = +100$ kg, $v = 10$ km/h).	89
4.11	Réponse des différents paramètres(1/4) à une entrée aléatoire. ($\varepsilon = 10$, $\Delta M_s = +100$ kg, $v = 5$ km/h).	90
4.12	Réponse des différents paramètres(1/2) à un échelon. ($\varepsilon = 1.5$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10$ km)	91
4.13	Réponse des différents paramètres(1/2) à un passage sur un dos d'âne. ($\varepsilon = 1.5$, $\Delta M_s = 0$, $v = 5$ km/h).	92
4.14	Réponse des différents paramètres(1/2) à un échelon. ($\varepsilon = 1.5$, $\Delta M_s = +200$ kg, $v = 5$ km/h).	93
4.15	Réponse des différents paramètres(1/2) à un passage sur un dos d'âne. ($\varepsilon = 1.5$, $\Delta M_s = +200$ kg, $v = 10$ km/h).	94
4.16	Réponse des différents paramètres(1/2) à un échelon. ($\varepsilon = 4$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10$ km/h).	95
4.17	Réponse des différents paramètres(1/2) à un passage sur un dos d'âne. ($\varepsilon = 4$, $\Delta M_s = 0$, $v = 5$ km/h).	96
4.18	Réponse des différents paramètres(1/2) à un échelon. ($\varepsilon = 4$, $\Delta M_s = +200$ kg, $v = 5$ km/h)	97
4.19	Réponse des différents paramètres(1/2) à un passage sur un dos d'âne. ($\varepsilon = 4$, $\Delta M_s = +200$ kg, $v = 10$ km/h).	98
4.20	Réponse des différents paramètres(1/2) à une entrée aléatoire. ($\varepsilon = 1.5$, $\Delta M_s = +200$ kg, $v = 10$ km/h).	99
4.21	Réponse des différents paramètres (complet) à un échelon. ($\varepsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10$ km/h)	100
4.22	Réponse des différents paramètres (complet) à un échelon. ($\varepsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10$ km/h)	101
4.23	Réponse des différents paramètres (complet) à un passage sur un dos d'âne. ($\varepsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 5$ km/h)	102
4.25	Réponse des différents paramètres (complet) à un passage sur deux dos d'âne. ($\varepsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10$ km/h)	103
4.26	Réponse des différents paramètres (complet) à un passage sur deux dos d'âne. ($\varepsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10$ km/h)	104
4.27	Réponse des différents paramètres (complet) à un passage sur deux dos d'âne. ($\varepsilon = 22$, $\Delta M_s = +300$ kg, $v = 10$ km/h).	105
4.28	Réponse des différents paramètres (complet) à une entrée aléatoire. ($\varepsilon = 15$, $M_s = (1500+300)$ kg, $v = 10$ km/h).	106
4.29	Structure d'un régulateur neuro-flou.	107
4.30	Réponse des différents paramètres (1/4) à un échelon. ($\varepsilon = 10$, $\Delta M_s = 0$).	108
4.31	Réponse des différents paramètres (1/4) à un passage sur un dos d'âne.	108

	($\epsilon = 10$, $\Delta M_s = 0$, $v = 5 \text{ km/h}$).	
4.32	Réponse des différents paramètres (1/4) à un échelon ($\epsilon = 10$, $\Delta M_s = +100 \text{ kg}$).	109
4.33	Réponse des différents paramètres (1/4) à un passage sur un dos d'âne. ($\epsilon = 10$, $\Delta M_s = +100 \text{ kg}$, $v = 10 \text{ km/h}$)	109
4.34	Réponse des différents paramètres (1/4) à un échelon. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$).	110
4.35	Réponse des différents paramètres (1/4) à un passage sur un dos d'âne. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 5 \text{ km/h}$)	110
4.36	Réponse des différents paramètres à (1/4) un échelon. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = +100 \text{ kg}$).	111
4.37	Réponse des différents paramètres (1/4) à un passage sur un dos d'âne. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = +100 \text{ kg}$, $v = 10 \text{ km/h}$).	111
4.38	Réponse des différents paramètres (1/4) à un passage aléatoire. ($\epsilon = 10$, $\Delta M_s = +100 \text{ kg}$, $v = 5 \text{ km/h}$).	112
4.39	Réponse des différents paramètres (1/2) à un échelon. ($\epsilon = 1.5$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10 \text{ km/h}$)	113
4.40	Réponse des différents paramètres (1/2) un passage sur un dos d'âne. ($\epsilon = 1.5$, $\Delta M_s = 0$, $v = 5 \text{ km/h}$)	114
4.41	Réponse des différents paramètres (1/2) à un échelon. ($\epsilon = 1.5$, $\Delta M_s = +200 \text{ kg}$, $v = 5 \text{ km/h}$)	115
4.42	Réponse des différents paramètres (1/2) à un passage sur un dos d'âne. ($\epsilon = 1.5$, $\Delta M_s = +200 \text{ kg}$, $v = 10 \text{ km/h}$)	116
4.43	Réponse des différents paramètres (1/2) à un échelon. ($\epsilon = 4$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10 \text{ km/h}$)	117
4.44	Réponse des différents paramètres (1/2) à un passage sur un dos d'âne. ($\epsilon = 4$, $\Delta M_s = 0$, $v = 5 \text{ km/h}$)	118
4.45	Réponse des différents paramètres (1/2) à un échelon. ($\epsilon = 4$, $\Delta M_s = 200 \text{ kg}$, $v = 5 \text{ km/h}$)	119
4.46	Réponse des différents paramètres (1/2) à un passage sur un dos d'âne. ($\epsilon = 4$, $\Delta M_s = +200 \text{ kg}$, $v = 10 \text{ km/h}$)	120
4.47	Réponse des différents paramètres (1/2) à un passage sur un dos d'âne. ($\epsilon = 4$, $\Delta M_s = +200 \text{ kg}$, $v = 10 \text{ km/h}$).	121
4.48	Réponse des différents paramètres (complet) à un échelon. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10 \text{ km/h}$)	122
4.49	Réponse des différents paramètres (complet) à un échelon. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10 \text{ km/h}$)	123
4.50	Réponse des différents paramètres (complet) à un passage sur un dos d'âne. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10 \text{ km/h}$)	124
4.51	Réponse des différents paramètres (complet) à un passage sur un dos d'âne. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10 \text{ km/h}$)	125
4.52	Réponse des différents paramètres (complet) à un passage sur deux dos d'âne. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10 \text{ km/h}$)	126
4.53	Réponse des différents paramètres (complet) à un passage sur deux dos d'âne. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10 \text{ km/h}$)	127
4.54	Réponse des différents paramètres (complet) à un passage sur deux dos d'âne. ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = 0$, $v = 10 \text{ km/h}$)	128
4.55	Réponse des différents paramètres (complet) à un passage sur une entrée aléatoire ($\epsilon = 15$, $\Delta M_s = +300 \text{ kg}$, $v = 10 \text{ km/h}$).	129

Liste des tableaux

2.1	: Fonctions d'activation	37
2.2	: Tableau des notations pour les RNA.	43
3.1	: Table des règles d'inférence.	53
4.1	: Tableau comparatif (système ¼) des critères de performance pour une entrée échelon ($\Delta M_s = 0$).	131
4.2	: Tableau comparatif (système ¼) des critères de performance pour une entrée dos d'âne ($\Delta M_s = 0$ et $v = 5 \text{ km/h}$).	131
4.3	: Tableau comparatif (système ¼) des critères de performance pour une entrée dos d'âne ($\Delta M_s = 100 \text{ kg}$ et $v = 10 \text{ km/h}$).	132
4.4	: Tableau comparatif (système 1/2) des critères de performance pour une entrée échelon ($\Delta M_s = 0$ et $v = 10 \text{ km/h}$).	134
4.5	: Tableau comparatif (système 1/2) des critères de performance pour une entrée dos d'âne ($\Delta M_s = 0$ et $v = 5 \text{ km/h}$).	135
4.6	: Tableau comparatif (système 1/2) des critères de performance pour une entrée dos d'âne ($\Delta M_s = 200 \text{ kg}$ et $v = 10 \text{ km/h}$).	136
4.7	: Tableau comparatif (système complet) des critères de performance pour une entrée échelon ($\Delta M_s = 0$ et $v = 10 \text{ km/h}$).	138
4.8	: Tableau comparatif (système complet) des critères de performance pour une entrée dos d'âne ($\Delta M_s = 0$ et $v = 5 \text{ km/h}$).	139
4.9	: Tableau comparatif (système complet) des critères de performance pour une entrée dos d'âne ($\Delta M_s = 300 \text{ kg}$ et $v = 10 \text{ km/h}$).	140

Notations et définitions :

- M_s : Masse de la caisse.
- M_{us} : Masse de la roue.
- Z : Position vertical de la caisse au centre de gravité.
- Z_{uf} : Position vertical de la roue avant pour le modèle $\frac{1}{2}$ véhicule.
- Z_{ur} : Position vertical de la roue arrière pour le modèle $\frac{1}{2}$ véhicule.
- Z_{urr} : Position vertical du profil de la route de la roue arrière droite pour le modèle complet de véhicule.
- Z_{url} : Position vertical du profil de la route de la roue arrière gauche pour le modèle complet de véhicule.
- Z_{ufr} : Position vertical du profil de la route de la roue avant droite pour le modèle complet de véhicule.
- Z_{ufl} : Position vertical du profil de la route de la roue avant gauche pour le modèle complet de véhicule.
- Z_{rrr} : Composante vertical du profil de la route de la roue arrière droite pour le modèle complet de véhicule.
- Z_{rrl} : Composante vertical du profil de la route de la roue arrière gauche pour le modèle complet de véhicule.
- Z_{rfr} : Composante vertical du profil de la route de la roue avant droite pour le modèle complet de véhicule.
- Z_{rfl} : Composante vertical du profil de la route de la roue avant gauche pour le modèle complet de véhicule.
- Z_c : Position vertical de la caisse au centre de gravité
- Z_w : Position vertical de la roue.
- Z_r : Composante vertical du profil de la route pour le modèle $\frac{1}{4}$ de véhicule.
- X_r : Composante vertical du profil de la route pour le modèle $\frac{1}{4}$ de véhicule.
- K_s : Raideur de la suspension pour le modèle $\frac{1}{4}$ de véhicule.
- K_f : Raideur de la suspension avant pour le modèle $\frac{1}{2}$ de véhicule.
- K_r : Raideur de la suspension arrière pour le modèle $\frac{1}{2}$ de véhicule.
- K_{sf} : Raideur de la suspension avant pour les modèles $\frac{1}{2}$ et complet de véhicule.
- K_{sr} : Raideur de la suspension arrière pour les modèles $\frac{1}{2}$ et complet de véhicule.

- K_{us} : Raideur du pneumatique pour le modèle $\frac{1}{4}$ de véhicule.
- K_u : Raideur du pneumatique pour les deux modèles $\frac{1}{2}$ et complet de véhicule.
- B_s : Coefficient d'amortissement pour le modèle $\frac{1}{4}$ de véhicule.
- B_r : Coefficient d'amortissement arrière pour le modèle $\frac{1}{2}$ de véhicule.
- B_f : Coefficient d'amortissement avant pour le modèle $\frac{1}{2}$ de véhicule.
- B_{sf} : Coefficient d'amortissement pour les deux roues avant pour le modèle complet.
- B_{sr} : Coefficient d'amortissement pour les deux roues arrière pour le modèle complet
- F_a : Force générée par l'amortisseur pour le modèle $\frac{1}{4}$ de véhicule.
- f_f : Force générée par l'amortisseur avant pour le modèle $\frac{1}{2}$ de véhicule.
- f_r : Force générée par l'amortisseur arrière pour le modèle $\frac{1}{2}$ de véhicule.
- f_{rr} : Force générée par l'amortisseur arrière droite pour le modèle complet de véhicule.
- f_{fr} : Force générée par l'amortisseur avant droite pour le modèle complet de véhicule.
- f_{rl} : Force générée par l'amortisseur arrière gauche pour le modèle complet de véhicule.
- f_{fl} : Force générée par l'amortisseur avant gauche pour le modèle complet de véhicule.
- J_y : Le moment d'inertie.
- θ : Angle de tangage.
- φ : Angle de roulis.
- r_y : Rayon de giration
- P_L : La chute de pression qui pousse le piston.
- A : La surface du piston.
- A_p : La surface du piston pour toutes les roues dans les modèles $\frac{1}{2}$ et complet.
- Q : Le flux hydraulique du liquide utilisé dans le piston.
- V_t : est le volume total de l'actionneur,
- β_e : un coefficient qui caractérise le module en bloc efficace
- C_d : le coefficient de décharge.
- ω : est le gradient de surface de la valve
- P_s : La pression d'alimentation allant dans la soupape pour le modèle $\frac{1}{4}$ de

véhicule.

- P_{sf} : La pression d'approvisionnement allant dans la soupape avant pour les modèle $\frac{1}{2}$ et complet de véhicule.
- P_{sr} : La pression d'approvisionnement allant dans la soupape arrière pour les modèle $\frac{1}{2}$ et complet de véhicule.
- P_r : La pression de renvoi allant hors de la soupape.
- ρ : la densité du liquide.
- x_v : Est le déplacement du piston de la valve
- C_{tp} : Coefficient de fuite de piston.
- τ : Constante de temps
- I_{sv} : Courant de commande.
- k_{sv} : Coefficient multiplicatif par le courant de commande.
- u : La commande pour le modèle $\frac{1}{4}$ de véhicule.
- u_r : La commande arrière pour le modèle $\frac{1}{2}$ de véhicule.
- u_{rr} : La commande arrière droite pour le modèle complet de véhicule.
- u_{rl} : La commande arrière gauche pour le modèle complet de véhicule.
- u_{fr} : La commande avant droite pour le modèle complet de véhicule.
- u_{fl} : La commande avant gauche pour le modèle complet de véhicule.
- u_f : La commande avant pour le modèle $\frac{1}{2}$ de véhicule.
- μ : fonction d'appartenance
- μ_R : est la fonction d'appartenance résultante de sortie.
- $u_{l,j}$: La sortie de $j^{\text{ème}}$ neurone de la couche l
- $W_{l,j,i}$: Poids entre le $i^{\text{ème}}$ neurone de la couche $l-1$ et le $j^{\text{ème}}$ neurone de la couche l .
- $u_{0,i}$: $i^{\text{ème}}$ élément du vecteur d'entrée
- $d_j(Xp)$: La sortie désirée du $j^{\text{ème}}$ neurone de couche de sortie pour la donnée Xp
- N_l : Nombre de neurone dans la couche l
- ε : coefficient de configuration de système.