الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique
et de l'Informatique

Projet de Fin d'Études

Projet de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

***Spécialité*: Systèmes Intelligents et Communicants**

THÈME

Étude, conception et réalisation d'un système de contrôle intelligent des feux de circulation

Préparé et Présenté par:

Kaouther YOUCEF TOUMI

Proposé et Dirigé par :

Dr. Mounir BOUHEDDA

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2012-2013

Remerciement

Je suis heureux d'exprimer toute ma gratitude envers ***Dr.MOUNIR BOUHEDDA****, qui m'a fait confiance en me proposant ce sujet de thèse et qui a dirigé ce travail et qui l'a enrichi en instillant le goût de l'application à des cas réels. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude pour la confiance, les conseils et les suggestions avisés qu'il m'a prodiguée.*

Et pour son suivi de mon mémoire, l'attention qu'il y a porté et sa disponibilité. Ses remarques, ses conseils et ses qualités scientifiques m'ont permis d'améliorer la qualité de ce mémoire.

J'ai eu le privilège de travailler parmi votre équipe et d'apprécier vos qualités et vos valeurs. Votre sérieux, votre compétence et votre sens du devoir nous ont énormément marqués. Veuillez trouver ici l'expression de notre respectueuse considération et notre profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.

MERCI Mr

Kaouther

Juillet 2013

Remerciement

Nous remercions dans un premier temps, notre Dieu le Tout Puissant, qui nous a accordé le souffle de vie afin d'arriver au terme de notre cycle de formation, que l'honneur et la gloire Lui soient rendus.

C'est pour moi un grand honneur et un immense d'être Pr. YOUCEF TOUMI KAMAL mon président de jury je vous remercie pour l'intérêt que vous portez

Nous exprimons nos profonds remerciements aux membres de jury, Vous nous faites l'honneur d'accepter avec une très grande amabilité de siéger parmi notre jury de thèse. Veuillez accepter ce travail maître, en gage de notre grand respect et notre profonde reconnaissance.

Je commencerais par remercier Mr.KOUADIK directeur générale de département technologie et Mr.ABOU DURA et tout personnel de l'université pour leur inconditionnel accueil qui été capital pour la réalisation de ce projet

Notre gratitude va aussi à l'ensemble des enseignants du département de système intelligent et communicant, pour leur encadrement universitaire et moral et spécialement à Mr Ould zmirli, Mr Bailiche. et Mr Maazouz… Le profond respect que nous leur devons est celui réservé aux maîtres.

J'exprime ma gratitude à tous les consultants et internautes rencontrés lors des recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à mes questions avec gentillesse, surtout Mr SAID BILLEL, Mme BEN SAID et Mr BOUTTI AMAR

Que tous ceux qui nous aidé de près ou de loin, trouvent ici l'expression de notre gratitude

A vous tous qui avez accepté d'endosser des irradiations pour l'accomplissement de ce travail, nous disons une fois de plus merci. Ce travail est aussi le votre.

Juin 2013

Kaouther

Dédicace

Je dédie ce modeste travaille:

A ma très chère mère lalla ***NADJIA*** *:*

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

A mon Père lhaj ***AHMED KAYAS*** *ALLAH YARHMOU :*

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.

A mon ancle ***kamal*** *qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études et dans ma vie.*

A ma très chère sœur : ***DJAOUIDA*** *: Si je vous écris de bonne heure c'est que vous dans mon cœur brillez de mille lueurs*

A mes très chères sœurs : ***LAMIA*** *et* ***LATIFA*** *qui n'a jamais cessé de me soutenir pour que je puisse finir mes études et avoir une bonne formation et surtout être la meilleur et à que je voudrais exprimer mes affections et mes gratitudes*

A mes beaux-frères ***MAHFOUD*** *et* ***HAMID***

A mes très chers frères : ***ABD ELKADER*** *et* ***MOHAMED****.et leur épouse:* ***SOUMIA***

Kaouther

Dédicace

A mes très chères neveux, ainsi mes nièces ***MANEL, SADIK, NADA , YASSER, RYM, FAIZA , ALLA , MIROUTTA***

A tous les membres de ma famille, petits et grands pour leur amitié.

A mes amies ***NOUHA , KAMI, FATI,AMINA, NAWEL, RACHID et BILLEL****: En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

Pour leur soutien et leur amitié je tiens à remercier mes collègues et mes frères ***AMAR, ABD EL MADJID, MADANI, et FAYÇAL***

Enfin, j'adresse mes plus sincères remercîments à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire

Aux membres de ma promotion et toute ma famille

Kaouther

من أجمل ما قال الإمام الشافعي

ما الفخر إلا لاهل العلم إنهـم ... على الهدى لمن استهدى أدلاء

وقدر كل امرئ ما كان يحسنه ... والجـاهـلون لاهل العلـم أعـداء

ففز بعلـم تعش حيـا بـه أبـدا ... النـاس موتـى و أهل العلم أحياء

ما تم حلم ولا علم بلا أدب ولا تجاهل في قوم حليمان وما

التجاهل إلا ثوب ذي دنس وليس يلبسه إلا سفيهان

العلم حر وطالب العلم عبد ، فإن خدم العلم ملك العلم....

وإن تجبر عليه...

فالعلم أشد تجبرًا من أن يخضع لمن لا يخضع له....

Sommaire :

Introduction générale……. 1

Chapitre I : Les objectifs généraux de la gestion du contrôle du trafic routier……

I. introduction…… 2

II. définitions……. 2

II.1. La circulation……. 2

II.2.Formes de la circulation urbaine……. 2

II.3. Le déplacement…….. 3

II.3.1.Les déplacements tous modes (T.M.)…….. 3

II.3.2.Les déplacements tous modes motorisés (T.M.M.)……. 3

II.4. la mobilité ……. 3

III. La voie - la route – la chaussée……... 4

III.1. Voie……. 4

III.2. Route…….. 4

III.3. Chaussée……. 4

IV. Problème de circulation routière…… 5

V. feux de signalisation…… 6

V .1.L'origine des feux de signalisation…….. 6

V.2.principe de feux de circulation ……. 6

V .3.Réseaux d'intersections …….. 7

V.4.carrefour à feux……. 7

V.4. 1. définition ……. 7

V.4.2.1.La réglementation routière ……. 9

V.4.2.2. à suivre de préférence aux feux (les feux sont alors secondaires)…….. 9

V.4.2.3 La simplicité du carrefour…… 10

VI. La gestion des feux de circulation classique……..…… 11

VI.1. Les contrôleurs de feux…… 11

VI.2.Nomenclatures…… 12

VII. La gestion des feux de circulation inélégante…… 14

VII.1. Les systèmes de transport intelligents……. 14

VII.2.Métriques et paramètres……... 15

VII.3. Contrôle dynamique par l'infrastructure……. 16

VII.4. Systèmes coopératifs…… 18
VII.5. 1.Intelligence artificielle…… 20
VII.5. 2.Théorie des files d'attente…….. 21
VII.5. 3.Mécanique des fluides……. 22
VIII. Conclusion…….. 22
Chapitre II : conception et modélisation neuro-floue……
I. Introduction…….. 23
II.la théorie floue ……. 23
III.la commande Floue …… 24
III.1.Caractéristiques de la Commande Floue…….. 24
III.2.Le Contrôleur Flou…….. 24
III.3 Méthodes de Calcul de la Commande……. 26
III.3.1 Inférence Mamdani fuzzy……. 26
III.3.2 Inférence Sugeno fuzzy……. 27
IV. Les systèmes Neuro-Flous…… …….. 29
IV.1.Définition…… 29
IV.2.principe de fonctionnement……. 30
IV.3.architecture du neuro-flou……. 31
V .conclusion…….. 32
Chapitre III : Modélisation ……..
I. Introduction ……... 33
II. Feux rouge classique …… 33
III. contrôle semi intelligent des feux de circulation …… 34
III.1.implementation VHDL……. 36
III.1.1.entite VHDL…….. 36
III.1 .2.machine d'état…….. 36
III.1.3.Description les états…….. 37
III.2.Simulation……. 39
IV. Contrôleur des feux de circulation à base de logique Floue……. 42
IV.1.Fonction d'appartenance…….. 43
IV.2. Variable linguistique…….... …….. 44
IV.3. Les règles Floues…… ……. 45
IV.4.Resultat de Flou……. 46

V. Contrôle modelé intelligent en Matlab « ANFIS GUI »…….. 47
V.1.Premiere approche intelligent a deux entrées en Matlab«Neuro-Flou»……. 48
V.1.1.preparation de la base de données……... 49
V.1.2. Apprentissage avec ANFIS GUI…… 49
V.1.3. implémentation Matlab l'approche de deux entrées……... 52
V.2.deuxième approche intelligent à cinq entrées en neuro-flou « 1ere proposition » ……. 53
V.2.1.preparation de la base de donnée « MAMDANI »…… 55
V.2.2.Apprentissage avec ANFIS GUI « 1ere proposition »…..……. 57
V.3.controle a NEURO-FLOU des feux de circulation dans un groupe de trois intersections « 2ème .proposition »……. 60
V.3.1.creation de la base de données ……..…… 61
V.3.2.Apprentissage avec ANFIS GUI « 2ème proposition »…….……..... 65
VI. Conclusion…….**.....** 68
CHAPITRE IV : Simulation et réalisation…… ……..
I. Introduction…….. 69
II. Simulation avec simulink Matlab…… 69
II.1 outil utilisé dans simulink Matlab…….. 69
II.2 principe de fonctionnement…… 70
II.3 résultat de simulation……..... …… 70
II 3.1.présentation de troisième approche intelligent à deux entée en Simulink MATLAB…… 70
II 3.2.présentation de quatrième et cinquième approche intelligent à cinq entrées dans un groupe de trois intersections en Simulink MATLAB…… 72
III. Implémentation MPLAB ……. 73
III.1.installation et configuration MPLAB……. 73
III.2.Test…… 74
III.3 Réalisation……. …….. 75
IV. comparaison les résultats de tous les approches……. 76
V. Conclusion…… …….. 77
Conclusion général ……**.....** 78
Bibliographie…….
Annexe1……
Annexe2……

Liste des tableaux:

Tableau II.1 :	comparaison entre Mamdani et Sugeno	28
Tableau II.1 :	comparaison entre RNA et LF	29
Tableau II.1 :	durée de permutation des couleurs dans un feu rouge classique	33
Tableau II.2 :	fonctionnement du feu de circulation semi intelligent	35
Tableau III.3 :	présentation des règles floue	46
Tableau III.4 :	quelques résultats de tests	46/47
Tableau III.5 :	Les paramètres des entrées et de sortie d'ANFIS	52
Tableau III.6 :	Comparaison entre résultat MATLAB et ANFIS	52/53
Tableau III.7 :	Les résultats de test ANFIS	60
Tableau III.8 :	Les paramètres des entrées et de sortie de L'ANFIS de groupe de trois intersections « 1ère proposition »	61
Tableau III.9 :	architecture de logique flou mamdani	67
Tableau III.10 :	Les résultats de test ANFIS	68
Tableau IV.1 :	Table de test la validité des résultats	74
Tableau IV.2 :	teste euro-flou à deux entrées	79/80
Tableau IV.3 :	teste euro-flou à cinq entrées	80

Liste des figures:

Figure I.1 :	description d'un réseau de trois intersections	7
Figure I.2 :	modèle de carrefour général utilisé dans la littérature	8
Figure I.3 :	les 12 mouvements possibles sur un carrefour à quatre branches	8
Figure I.4 :	la simplicité du carrefour	10
Figure I.5 :	Exemple d'un plan de feux	12
Figure I.6 :	– NEMA - Affectation de labels aux voies, affectation des phases	13
Figure I.7 :	Les systèmes coopératifs	19
Figure II.1 :	Configuration générale d'un contrôleur flou	25
Figure II.2 :	Schéma d'un régulateur flou basé sur le raisonnement flou par inférences	25
Figure II.3 :	Principe de fonctionnement de RNF	30
Figure II.4 :	architecture du système neuro-flou	31
Figure III.1 :	schéma synoptique d'intersection	34
Figure III.2 :	circuit de contrôle semi intelligent du feu de la circulation « implémentation VHDL »	35
Figure III.3 :	Machine d'état	37
Figure III.4 :	Schéma synoptique de process de la machine d'état.	38
Figure III.5 :	Résultat de simulation : l'état normal passe à l'état étendu pour Cs=1	39
Figure III.6.1 :	Résultat de simulation : l'état étendu passe à l'état transition1 pour Cp=0	39
Figure III.6.2 :	Résultat de simulation : l'état étendu passe à l'état transition1 pour Cp=1	40
Figure III.7 :	Résultat de simulation : l'état transition1 passe à l'état rouge1 pour T1 écoulé	40
Figure III.8 :	Résultat de simulation : l'état rouge1 passe à l'état basculement après T1	40
Figure III.9 :	Résultat de simulation : l'état basculement passe à l'état transition2 après T1	41
Figure III.10 :	Résultat de simulation : l'état basculement passe à l'état transition2 si Cs≠0 pendant T1	41
Figure III.11 :	Résultat de simulation : l'état transition2 passe à l'état rouge2 si T1 écoulé	41
Figure III.12 :	Résultat de simulation : l'état rouge2 passe à l'état normale si T1 écoulé	42

Figure III.13 :	Système contrôleur floue du feu de circulation	43
Figure III.14 :	présentation le nombre des véhicules dans l'intersection	43
Figure III.15 :	présentation le débit des véhicules dans l'intersection	44
Figure III.16 :	présentation de la durée qui doit être ajoutée au feu vert	44
Figure III.17 :	architecture d'un circuit intelligent d'un feu vert	47
Figure III.18 :	description du principe d'intelligence du feu vert	47
Figure III.19 :	Schéma descriptif des paramètres d'entrée	48
Figure III.20 :	1ere approche- circuit de contrôle intelligent du feu de la circulation « neuro-flou »	48
Figure III.21 :	architecture d'un circuit intelligent vert « 1ere approche d'un feu»	49
Figure III.22 :	Les entrées du fuzzy d'un contrôle intelligent	49
Figure III.23 :	les entrées du fuzzy d'un contrôle intelligent	50
Figure III.24 :	le choix de paramètre d'entrées du fuzzy d'un contrôleur intelligent	50
Figure III.25 :	résultat de test ANFIS de la 1ère approche	51
Figure III.26 :	Les règles génère par ANFIS	51
Figure III.27 :	Schéma descriptif des paramètres d'entrées dans un groupe de trois intersections « 1ère proposition »	53
Figure III.28 :	Schéma synoptique de circuit du contrôle intelligent du feu de la circulation dans un groupe de trois intersection « neuro-flou » «1ère proposition »	54
Figure III.29 :	architecture de circuit intelligent d'un feu vert dans un groupe de trois intersection « neuro-flou » « proposition 1 »	54
Figure III.30 :	Les entrées du fuzzy d'un contrôle intelligent	55
Figure III.31 :	Répartition de l'univers du discours de la variable d'entrée " A"	55
Figure III.32 :	Répartition de l'univers du discours de la variable d'entrée " M"	55
Figure III.33 :	répartition de l'univers du discours de la variable d'entrée " O"	55
Figure III.34 :	répartition de l'univers du discours de la variable d'entrée " D"	56
Figure III.35 :	Répartition de l'univers du discours de la variable d'entrée " E"	56
Figure III.36 :	répartition de l'univers du discours de la variable de sorties "Y"	56

Figure III.37 :	chargement les résultats des capteurs	57
Figure III.38 :	le choix de type et le nombre de MFs	57
Figure III.39 :	comparaison entre l'erreur et la base des données	58
Figure III.40 :	structure internet de neuro flou	58
Figure III.41 :	Schéma descriptif des paramètres d'entrée dans un groupe de trois intersections (2ème proposition)	61
Figure III.42 :	architecture d'un circuit intelligent d'un feu vert dans un groupe de trois intersections (2ème proposition)	61
Figure III.43 :	architecture de logique flou mamdani	62
Figure III.44 :	test d'appartenance du premier paramètre d'entrée	62
Figure III.45 :	Test d'appartenance du deuxième paramètre d'entrée	63
Figure III.46 :	Test d'appartenance du troisième paramètre d'entrée	63
Figure III.47 :	Test d'appartenance du quatrième paramètre d'entrée	64
Figure III.48 :	Test d'appartenance du dernier paramètre d'entrée	64
Figure III.49 :	Test d'appartenance de la sortie	65
Figure III.50 :	Chargement des données dans l'éditeur anfis	65
Figure III.51 :	Test sur de la tolérance d'erreur	66
Figure III.52 :	Les règles générées à partir du neuro-flou	67
Figure IV.1 :	schéma global de simulation	69
Figure IV.2 :	schéma synoptique d'approche de deux entrées	70
Figure IV.3 :	appel à ANFIS a deux entrées	71
Figure IV.4 :	Synchronisation entre les trois LEDs	71
Figure IV.5 :	Schéma synoptique d'approche de cinq entrées	72
Figure IV.6 :	Synchronisation entre les trois LEDs	73
Figure IV.7 :	deux blocs de configuration	74
Figure IV.8 :	exemple de synthèse un feu vert	74

Figure VI.9 : maquette a groupe de trois intersections 75

Figure VI.10 : exemple maquette sur la maquette 75

LISTE DES ACRONYMES

ANFIS	Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System
CERT	Computer Emergency Response Team
CRONOS	Une commande des feux temps réel
FIS	Fuzzy Inference System
FLS	fuzzy logic system
GPS	Global Positinning System
INRETS	Institut National de recherche sur les Transports et leur Sécurité
I2V	véhicule à l'infrastructure
MFs	membership functions
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NF	Neuro-floue
Prodyn	Algorithme de régulation en temps réel développé par 1' ONERA à Toulouse
rand	Uniformly distributed pseudorandom numbers
RNs	Réseaux de neurones
SA	systèmes autonomes
SCATS	Sydney Coordinated Adaptive Traffic System
SCOOT	Split Cycle Offset Optimization Technique
SI	systèmes interactifs
STI	Système de Transport Intelligents
TRANSYT	Traffic Network and Isolated Intersection Study Tool
trapmf	Trapezoidal-shaped built-in membership function
Trimf	Triangular-shaped built-in membership function
TRL	Trafic research laboratory
TSK:	Takagi-Sugeno-Kang
UTCS	Urban traffic control software
VHDL	VHSIC Hardware Description Langage
V2I	infrastructure à véhicule
V2V	Véhicule à véhicule

Résumé

Le but de ce travail est la proposition de nouvelles approches basées sur la technique floue et neuro-floue pour la gestion des feux de circulation des véhicules. À cet effet, comme première étapes une modélisation est réalisée en utilisant matlab, ensuite les modèles obtenus sont implémentés sur la carte d'évaluation CEREBOT 32MX4 de DIGILENT. Les résultats des tests ont validé le bon fonctionnement des architectures proposées

Mots clés : feux de circulation, intelligent, intersection, neuro-floue.

Abstract

The aim of this work is the proposal of new approaches based on fuzzy and neuro-fuzzy techniques to control traffic lights. For this purpose, the first step is the modeling which is performed using Matlab, then the obtained models are implemented in hardware using CEROBOT 32MX4 from DIGILENT. Test results have validated the proposed architectures.

Keywords: traffic lights, intersection, Intelligent, neuro-fuzzy

ملخـــــص

الهدف من هذا العمل هو اقتراح طرق جديدة تعتمد على تقنية المنطق الضبابي والعصبية- الضبابية لتحكم في إشارات المرور. وتحقيقا لهذه الغاية، و كخطوة أولى من النمذجة تتم باستخدام MATLAB؛ ثم يتم تنفيذ النماذج الناتجة بواسطة بطاقة DIGILENT CEROBOT 32MX4. نتائج الاختبار تثبت صحة النماذج و الطرق المقترحة

كلمـــــات مفتاحيـــة: إشارات المرور, ذكي, تقاطع طرق, العصبية غامض

Le trafic routier urbain est au cœur de nombreuses problématiques : plus encore ces dernières années, cet aspect critique intervenant au quotidien est défavorable à de nombreux domaines, tels que l'économie ou encore l'écologie. Pour ces raisons, les systèmes de transport intelligents (STI) sont apparus depuis la fin des années 1990, permettant d'optimiser au mieux les dépenses et l'expérience de l'utilisateur sur des réseaux souvent complexes [1].

Fondamentalement, il existe deux types de feux de signalisation conventionnels des systèmes de commande qui sont en utilisation. Un type de contrôle utilise un temps de cycle prédéfini pour changer les lumières. L'autre type de contrôle combine le temps de cycle prédéfini de capteurs de proximité qui peut activer un changement de la durée de cycle ou les lumières. Dans le cas d'une rue moins fréquentée qui peut ne pas avoir besoin d'un cycle régulier de feux verts, des capteurs de proximité pour activer un changement de la lumière lorsque les voitures sont présents. Ce type de contrôle dépend d'une certaine connaissance de la circulation les modèles de flux à l'intersection afin que des temps de cycle de signal et le placement des capteurs de proximité peut être personnalisé pour l'intersection [2].

Notre objectif consiste à proposer un système de contrôle des feux de circulation basé sur technique de la logique floue ainsi que la technique neuro-floue. Ces systèmes proposés peuvent s'adapter parfaitement aux conditions de circulation selon l'intelligence humaine.

Tout au long de notre travail, on a été amené à utiliser plusieurs logiciels: le simulateur MODELSIM et le langage MATLAB de MATHWORKS puis implémenter les architectures obtenues sur la carte d'évaluation CEREBOT 32MX4 de DIGILENT à travers le MPLAB.

Dans le cadre de la présente étude, notre mémoire a été scindé en quatre parties principales.

La première partie présente la synthèse des notions étudiées. Cette partie sera abordée en chapitre I où une vue sur les structures et le trafic routier et sa gestion sont présentés.

Dans le chapitre II on va présenter les principales architectures et principes de fonctionnement des systèmes neuro-flous et leurs applications.

Dans le troisième chapitre on a proposé un système neuro-flou pour le contrôle du système de signalisation. Enfin dans la quatrième partie est consacré à l'implémentation pratique des modèles intelligents obtenus sur une maquette réelle.

A la fin notre mémoire sera achevé par une conclusion générale et des perspectives.

I. INTRODUCTION

Depuis que Webster et Cobbe [3] ont publié leurs recherches sur le contrôle des feux de circulation isolé, des progrès significatifs dans le contrôle du trafic de signaux ont été effectué. Avec l'introduction des technologies informatiques avancées, de contrôle et de communication dans des réseaux de circulation, des systèmes de contrôle de signal sont maintenant en mesure de recevoir plus d'informations relatives au réseau et à répondre de manière plus adéquate aux embouteillages adaptatifs.

L'objectif de ce chapitre est principalement de préciser l'environnement technique de notre problématique. Ainsi que, les acteurs du trafic routier avec leurs objectifs.

II. DEFINITIONS

II.1. LA CIRCULATION

La circulation est le mouvement des véhicules sur la voirie (qui s'applique par extension aussi au mouvement des piétons ou à celui des trains sur un réseau ferré), et le terme de trafic (anglais : traffic) n'est pas tout à fait synonyme : il désigne levolume de la circulation.On distingue la circulation interne à une agglomération, d'échange entre agglomérations et de transit à travers une agglomération.La circulation interne à une agglomération qui est spécifiquement urbaine, représente environ 60% du trafic dans une petite ville et jusqu'à 95% dans une très grande agglomération.

II.2.FORMES DE LA CIRCULATION URBAINE

Une première classification peut être faite en s'appuyant sur les origines et destinations des flux de circulation.

- **Le trafic intense** à l'agglomération qui possède ses deux extrémités à l'intérieur dupérimètre urbain ; il traduit les besoins en déplacements des personnes résidentes dans l'agglomération.
- **Le trafic d'échange** qui possède une extrémité dans le périmètre urbain, et une seule. Ce trafic recouvre les relations de la ville avec sa zone d'influence pour le développement des personnes (relation domicile – travail, achats, affaires) soit pour l'approvisionnement en marchandise.
- **Le trafic de transit** qui n'a aucune extrémité dans le périmètre urbain, sauf le transitdit interrompu (séjour bref). Ce trafic se trouve contraint de traverser la ville par la configuration du réseau de transport qui en général, ne permet pas de la contourner [4].

II.3. LE DEPLACEMENT

C'est le mouvement d'une personne d'une origine à une destination; C'est une allée simple effectuée sur la voie publique entre deux endroits différents, chacun étant caractérisé par une activité. L'activité est appelée motif. (Ex. : déplacement scolaire, de loisir, pour achat, … etc.).Un déplacement peut se faire avec un ou plusieurs modes de transport. Seuls les déplacements des personnes de cinq ans et plus sont recensés.

II.3.1.Les déplacements tous modes (T.M.)

Ce sont des déplacements effectués en voiture, deux roues, transports collectifs, taxis, à pied, …, ou à l'aide de toute combinaison de ces différents modes.

II.3.2.Les déplacements tous modes motorisés (T.M.M.)

Ils comprennent les mêmes catégories que ci-dessus à l'exclusion des déplacements effectués uniquement à pied.Les déplacements peuvent être répartis selon les différents critères géographiques parsecteur (quartier) d'origine et de destination. On peut les regrouper en :

- **Déplacements radiaux :** entre la périphérie (banlieue) d'une agglomération et le centre (et vice versa);
- **Déplacements centraux :** dont l'origine et la destination sont situées dans la zone centrale de l'agglomération;
- **Déplacements tangentiels :** dont l'origine et la destination sont extérieures à la zone centrale et qui ne la franchissent pas (dans le cas contraire, le déplacement se décompose en deux déplacements radiaux);
- **Déplacements interurbains :** qui sortent de (ou entrent dans) l'agglomération [5].

II.4. LA MOBILITE

C'est le nombre moyen de déplacement effectué par personne et par jour.La mobilité est liée à la taille de la ville. Elle s'accorde linéairement avec le niveau de vie (mesuré par le revenu R) et le niveau de motorisation M, (lui-même lié au revenu).Différents indicateurs peuvent être utilisés pour caractériser la mobilité d'unepopulation :

- Le nombre moyen de déplacements / jour / personne : rend compte de l'interaction sociale et la fréquence de l'échange avec autrui;

- Les distances parcourues et le type de liaisons pratiquées : rendent compte de l'attractivité relative des lieux et l'aptitude à l'échange entre ces lieux éventuellement éloignés ou même situés hors de la zone agglomérée;
- Le temps (le budget-temps du transport quotidien) et l'argent : sont des indicateurs de coût pour les familles;
- La répartition des déplacements entre modes : reflète l'état de leur désirabilité parle consommateur;
- Pour chacun de ces indicateurs, la variabilité entre type d'usage ou de ménage est caractérisé par leur localisation résidentielle, leur position dans l'échelle sociale ou encore lecycle de vie est évidemment aussi intéressant que les niveaux moyens [5].

III. LA VOIE - LA ROUTE – LA CHAUSSEE

III.1. VOIE

Vient du latin via, qui a donné également le verbe voyager et le mot voyage [5].**Voie :**c'est le chemin, la route, par laquelle on se rend d'un lieu à un autre; C'est un espace aménagé pour se déplacer en ville (voie urbaine) entre les localités ouen milieu rural (routes).

Les voies de communication sont par conséquent les moyens de liaison à travers l'espace ; La voie permet de circuler dans les deux sens, mais parfois, surtout en ville, pour accroître le débit du réseau de voirie, dans un sens unique [5].La voie comporte des trottoirs (1,5 m est un minimum souhaitable) éventuellement plantés d'arbres (5 m de largeur minimale).

III.2. ROUTE

Itinéraire à suivre pour aller d'un endroit à un autre; C'est une voie carrossable destinée à la liaison entre les localités et à la desserte des zones rurales ; Elle permet à l'homme de se déplacer de chez lui pour pénétrer dans d'autres régions plus ou moins lointaines [5]. Les routes comportent, outre la chaussée, les fossés, talus, bandes d'arrêts, pistes cyclables et plantations éventuelles.

III.3. CHAUSSEE

Partie de la voie publique aménagée pour la circulation des véhicules.

Carrefour giratoire (rond-point) Lieu où se croisent plusieurs voies. Les carrefours réduisent la capacité des voies, saufs'ils sont aménagés à niveaux séparés ; Le giratoire a contribué à réduire sensiblement l'emprise del'échangeur, à clarifier la perception du carrefour et améliorer la lisibilité de

l'espace parcouru, tant pour l'automobile que pour le piéton; On pense en termes de réseau, les carrefours semblent effectivement participer àl'organisation de l'espace urbain [6].

IV.PROBLEME DE CIRCULATION ROUTIERE

La circulation est cause de nuisances importantes tels que bruit, pollution de l'air, accidents, coupure du tissu urbain, dégradation du paysage.La congestion de la circulation, les bouchons et la pollution continuent à augmenter dans de nombreux endroits dans le monde. Un des problèmes les plus difficiles à résoudre pour les municipalités est probablement les flux de trafic importants à travers le centre-ville.

Souvent les municipalités ne peuvent pas contrôler leurs flux de trafic et ceci engendre un grand nombre de problèmes pour tous les participants impliqués. Pour cela plusieurs entreprises ont développé une solution de gestion des véhicules pour résoudre ce problème.

- Les municipalités doivent être en mesure de contrôler leurs flux de trafic grâce à un accès sélectif des véhicules suivant l'urgence, l'itinéraire, la destination et l'heure. Ceci permettra de diminuer l'intensité de la circulation ce qui contribue à un meilleur niveau de vie dans la ville [5].

Quelques-unes des applications :

- **Voies de trafic prioritaire :**

  Contrôle les feux de signalisation en fonction de la priorité du transport pour les services de transport public.

- **Accès restreint des véhicules dans certaines zones urbaines :**

  Contrôle l'accès des véhicules comme des services d'urgence, des taxis, des résidents, des fournisseurs, des personnes handicapées et des services de transport public à des zones protégées par des bornes.

- **Péage :**

  Accès automatique facile à travers les péages pour les utilisateurs sélectionnés.

- **Contraventions de stationnement :**

  Mise de contraventions efficace grâce à la surveillance de l'occupation des places de parking en rue [5].

V. FEUX DE SIGNALISATION

V .1.L'ORIGINE DES FEUX DE SIGNALISATION

Le 10 décembre 1868, les premiers feux de circulation ont été installés à l'extérieur des chambres du Parlement britannique à Londres, par l'ingénieur de chemin de fer, j. P. Chevalier. Ils ressemblent aux signaux de chemin de fer de l'époque, des armes de sémaphore et des lampes à gaz rouges et vertes pour utilisation de nuit. La lanterne de gaz a été transformée avec un levier à sa base, afin que la lumière soit appropriée face à la circulation. Malheureusement, le levier qui a explosé le 2 janvier 1869, blessant le policier qui le manipulait [7].

Le feu de signalisation électrique moderne est une invention américaine. Le 5 août 1914, la compagnie des signaux de circulation américaine a installé un système de signalisation au coin de la 105ème rue et Euclide Avenue à Cleveland, Ohio (USA). Il avait deux couleurs, rouge, vert et une sonnette, basée sur la conception de James Hoge, de fournir un avertissement pour les changements de couleur [7].

La conception par James Hoge autorisait la police et les casernes de pompiers à contrôler les signaux en cas d'urgence. Le premier feu de circulation quatre voies, trois couleurs a été créé par l'agent de police William Potts à Detroit en 1920. En 1923, Garrett Morgan a breveté un dispositif de signalisation routière. C'est l'expérience Morgan volant le long des rues de Cleveland qui a conduit à l'invention d'un dispositif de signalisation. Ashville, Ohio prétend être le lieu des plus anciens feux de circulation de travail aux États-Unis, à l'intersection des routes publiques jusqu'en 1982 lorsqu'elle fut déplacée vers un musée local [7].

V.2.PRINCIPE DE FEUX DE CIRCULATION

Le feu tricolore autorise ou non le passage des véhicules sur les voies en fonction de la couleur du feu. Il est important de bien respecter les arrêts imposés par le feu tricolore sous peine d'être en situation d'infraction ; Le feu tricolore règle la circulation selon trois couleurs de feux: rouge, orange et le vert. **Rouge** : tout conducteur doit marquer l'arrêt absolu devant un feu de signalisation rouge, fixe ou clignotant. **Vert** : tout conducteur est autorisé à passer (ce qui ne signifie en aucun cas qu'il ne faut pas être prudent sauf pour les immortels téméraires). **Jaune (dit également orange)** : tout conducteur doit marquer l'arrêt devant le feu de signalisation jaune fixe sauf dans le cas où, lors de l'allumage du dit feu, le conducteur ne peut plus arrêter son véhicule dans des conditions de sécurité suffisantes.

Comprend qui peut. Et rien qu'en Europe, l'affaire est bien compliquée. Au Royaume-Uni, en Allemagne, en Suisse ou en Turquie, le feu de signalisation connaît, non pas trois, mais quatre étapes.

Aux trois étapes visibles, s'ajoute le jaune bref sans extinction du rouge pour permettre aux conducteurs de se préparer à démarrer. En Italie, le jaune clignote avec le vert pour prévenir du passage au rouge. Et en Autriche, comble de la simplicité, le feu connaît cinq étapes. L'état supplémentaire, vert clignotant entre le vert et le jaune, prévient de l'arrivée du vert [8].

V .3.RESEAUX D'INTERSECTIONS

En se basant sur l'approche de modélisation présentée précédemment ; La figure I.1, montre un réseau du trafic avec trois intersections (I1, I2, I3) et deux directions de circulation. On suppose que le cycle des feux de chaque intersection possède deux états « vert » et « rouge ».

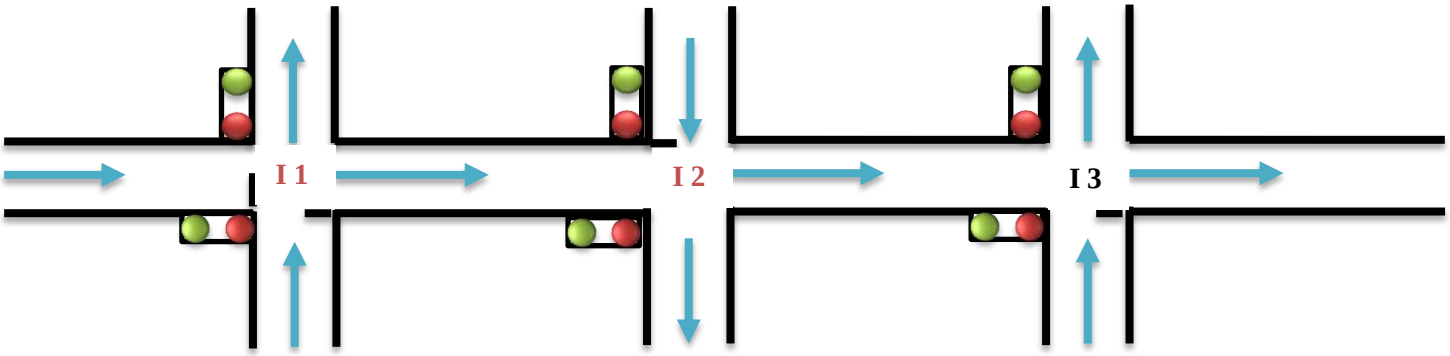


Figure I.1 description d'un réseau de trois intersections

La figure I.1 peut être représentée sous forme de trois carrefours isolés interconnectés Il s'agit d'un carrefour à quatre branches dont deux de ces branches sont à peu près dans le prolongement des deux autres branches et pour lequel l'angle de ces prolongements est de 75° ou davantage tout en restant inférieur à 105° [9].

V.4.CARREFOUR A FEUX

Un carrefour à feux est une intersection dont le trafic est réglé par des feux de signalisation lumineux pilotés par un contrôleur. Le réglage des cycles de feux doit permettre d'assurer la sécurité des automobilistes et des piétons tout en permettant un débit maximal [10].

V.4. 1. DEFINITION :

Un certain nombre de notions permettent de décrire et d'organiser les carrefours à feu :

- **Conflit :** croisement de deux mouvements, de véhicules ou de piétons.

- **Courant :** ensemble de mouvements réunis sur une même voie.
- **Cycle de feux :** enchaînement des différentes phases des feux.
- **Durée de vert minimum :** durée minimale de vert nécessaire pour écouler le stock d'usagers constitué pendant la durée de rouge.

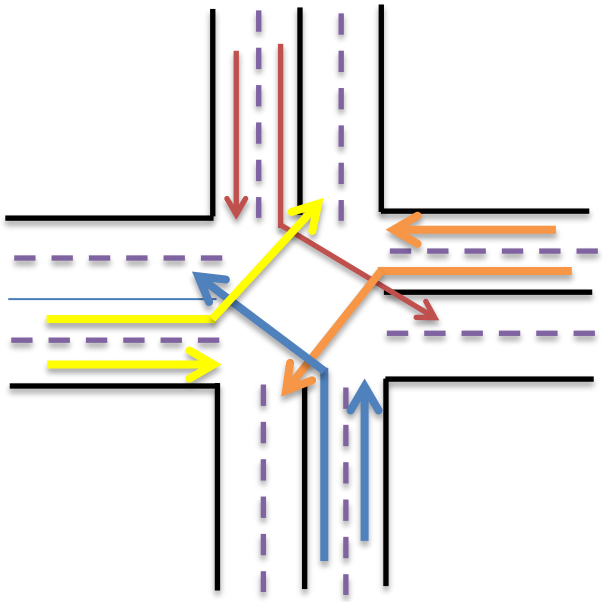


Figure I.2 modèle de carrefour général utilisé dans la littérature

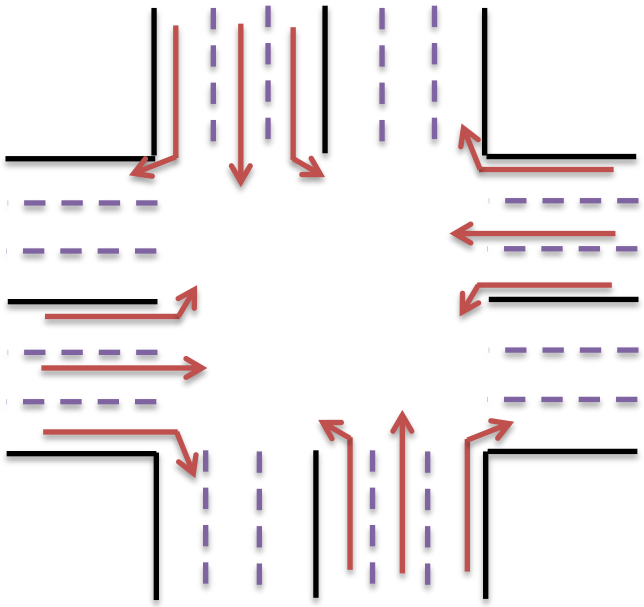


Figure I.3 les 12 mouvements possibles sur un carrefour à quatre branches

- **Mouvement :** la figure I.3 montre le déplacement des véhicules dont on distingue l'origine et la destination, déplacement de piétons sans origine ni destination.

Direct : mouvement consistant pour les véhicules à traverser le carrefour tout droit. Son coefficient d'équivalence est de 1.

Tourne-à-Droite : mouvement consistant pour les véhicules à tourner à droite dans le carrefour. Son coefficient d'équivalence est de 1,1 quand l'angle est de 90° et de 1,2 si le mouvement tournant présente un angle aigu difficile à négocier. Un mouvement tournant non prioritaire ayant un conflit avec un flux de piétons supérieur à 250 piétons par heure aura un coefficient de 1,3 ou plus.

Tourne-à-Gauche : mouvement consistant pour les véhicules à tourner à gauche dans le carrefour. Ce mouvement est le plus complexe à gérer puisqu'il croise le mouvement direct face auquel il n'a pas la priorité et le tourne-à-gauche du sensopposé la figure I.2 montre ce type de problème. Le coefficient d'équivalence est très variable et dépend essentiellement du débit et du nombre de mouvements antagonistes prioritaires. Le coefficient peut ainsi généralement varier de 1,1 à 1,7. Plus le cycle est court, plus le coefficient de tourne à gauche sera faible.

- **Tourne-à-Gauche à l'indonésienne :** mouvement dans lequel les tourne-à-gauche ne sont pas antagonistes. Les tourne-à-gauche à l'indonésienne s'accompagnent souvent d'une voie de stockage dédiée au tourne-à-gauche.

- **Phase :** période durant laquelle un ou plusieurs courants sont admis dans le carrefour.
- **Temps** de dégagement : temps de latence entre deux phases qui admettent descourants antagonistes dans le carrefour afin de permettre la libération complète du point de conflit (par exemple, les véhicules effectuant un tourne-à-gauche, stockés au centre du carrefour).
- **Vitesse moyenne :** le réglage de la durée des différentes phases se fait en considérant des vitesses moyennes d'1m/s pour les piétons (sauf devant une école, un hôpital ou unemaison de retraite) et de 10m/s pour les véhicules.
- **Voie :** portion de la chaussée dédiée à un courant.

V.4.2.Les contraintes des carrefours à feux :

V.4.2.1.La réglementation routière :

Le fonctionnement d'un carrefour à feux doit respecter la réglementation décrite dans l'instruction interministérielle sur la signalisation routière (lien). Le maître mot dans le fonctionnement d'un carrefour à feux est la sécurité. Ce critère essentiel se traduit notamment par des temps de feu minimum, en particulier pour permettre aux piétons de traverser sans encombre. Des minima et des maxima sont ainsi définis. Si les minima sont toujours respectés, on observe sur le terrain que les maxima sont parfois transgressés. Pour les usagers, le code de la route est le suivant :

V.4.2.2.A suivre de préférence aux feux (les feux sont alors secondaires)

- Passage de véhicules prioritaires. (Pompiers, Police, Gendarmerie).
- Ordres donnés par les policiers, pompiers, gendarmes, qui sont généralement à pied.
- Encombrement du carrefour : on ne passe pas, pour ne pas bloquer le carrefour, et ainsi permettre un passage d'un éventuel véhicule d'urgence [10].

Si les feux fonctionnent, et hors cas précédent :

- Le feu rouge indique une interdiction (provisoire de passer).
- Le feu orange indique un passage imminent au feu rouge. Il dure en moyenne 3 à 5 secondes.
- Le feu vert indique une possibilité de passage, il ne donne cependant pas la priorité.

En particulier si un véhicule tourne à gauche, il croisera le chemin des véhicules venant d'en face, qui auront le feu vert en même temps. De plus les piétons et les véhicules d'urgence sont légalement prioritaires.

- Le feu rouge et le feu orange annoncent un passage imminent au vert, et dure de 0.75 s à 1 s.
- S'ils sont éteints ou orange clignotant les règles classiques de priorités sont appliquées. (Panneaux, priorité à droite).

V.4.2.3 La simplicité du carrefour

Le fonctionnement du carrefour doit être le plus compréhensible possible, et donc le plus simple afin que les usagers ne se trompent pas dans l'utilisation du carrefour. Le fonctionnement de tout carrefour à feux implique également un minimum incompressible de temps perdu. Ainsi, le rouge de dégagement qui conserve une période tampon entre deux phases, à la fois pour permettre au carrefour de se vider mais aussi pour conserver des marges de sécurité, ou encore le temps de redémarrage des véhicules au vert font couramment perdre 4 à 8 secondes par cycle. Il est donc impératif de conserver un nombre de phases le plus réduit possible pour limiter les pertes de temps comme l'illustre la figure I.4. Assurer un débit adéquat.

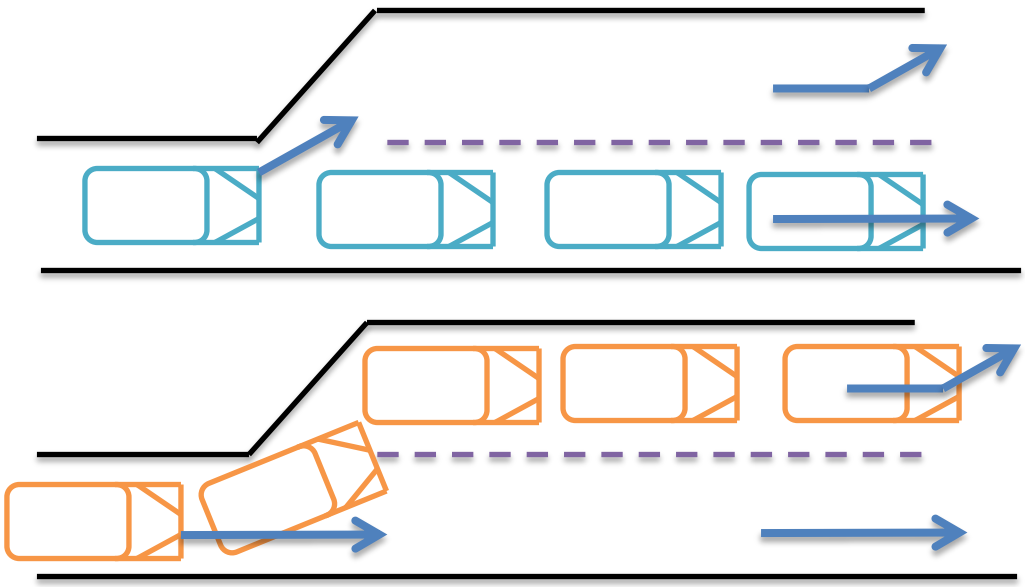


Figure I.4 la simplicité du carrefour

Un carrefour à feux ralentit nécessairement le trafic mais, dans la mesure où le plan de feu est souvent préprogrammé, une erreur provoquerait plus qu'un ralentissement, un blocage du carrefour. Il

ne s'agit donc pas uniquement de ne pas trop ralentir le flux des véhicules mais aussi de s'assurer qu'il demeure possible [10].

VI. LA GESTION DES FEUX DE CIRCULATION CLASSIQUE

Dans cette partie nous orientons notre étude sur les systèmes de gestion des feux de circulation, en abordant des solutions et termes traditionnellement utilisés dans les zones urbaines.

VI.1. LES CONTROLEURS DE FEUX

De nos jours, les feux de circulation d'une intersection sont généralement gérés par une boite de contrôle, qui va posséder plus ou moins de propriétés en fonction des constructeurs. Typiquement, une boite est rattachée à une seule intersection et possède les éléments principaux suivants [11]. :

- Une unité d'énergie.
- Une unité de détection, connectée à des éléments de contrôle (détecteurs).
- Une unité de contrôle, donnant l'ordre d'enclenchement des feux.
- Une unité d'avertissement rapide, réagissant en cas d'erreur critique (par exemple : orange clignotant sur l'ensemble des feux.).
- Une unité de gestion des conflits, qui est programmée avec les combinaisons des feux verts autorise (matrice de conflits) et qui vérifie les données envoyées par l'unité de contrôle : elle fait appel à l'unité précédente en cas d'erreur ou de faute constatée sur l'un des feux.
- Une unité d'administration, pour prendre le contrôle du carrefour (par la police par exemple).

Afin de régir le fonctionnement des feux de circulation, les contrôleurs utilisent des mécanismes combinatoires et temporels bien spécifiques, dont les définitions sont ci-dessous.

- **Une phase :** représente un intervalle durant lequel une combinaison de feux verts autorisés par l'unité de gestion des conflits va être activée. Les phases sont déterminées à partir des mouvements que chaque direction peut effectuer.
- **Un cycle :** correspond à l'enchainement d'un ensemble de phases. Ce cycle est typiquement fixé au minimum à 45 secondes et ne dure pas plus de 90 secondes [5]. pour éviter de perdredu temps à arrêter et redémarrer le trafic. Classiquement, un cycle déroule l'ensemble des phases et mouvements possibles, de manière à ce que toutes les voies aient au moins une fois le feu au vert. Lorsquel'intersection est suffisamment équipée, cette règle n'est pas nécessairement applicable (par exemple, lesvoies sans véhicules peuvent ne pas être sélectionnées).

Un plan de feux : correspond à la description d'un cycle donné, et défini les différentes phases que le cycle va dérouler ainsi que leur durée. Exemple donné à la figure I.5 où le plan des feux est constitué d'un cycle de deux phases.

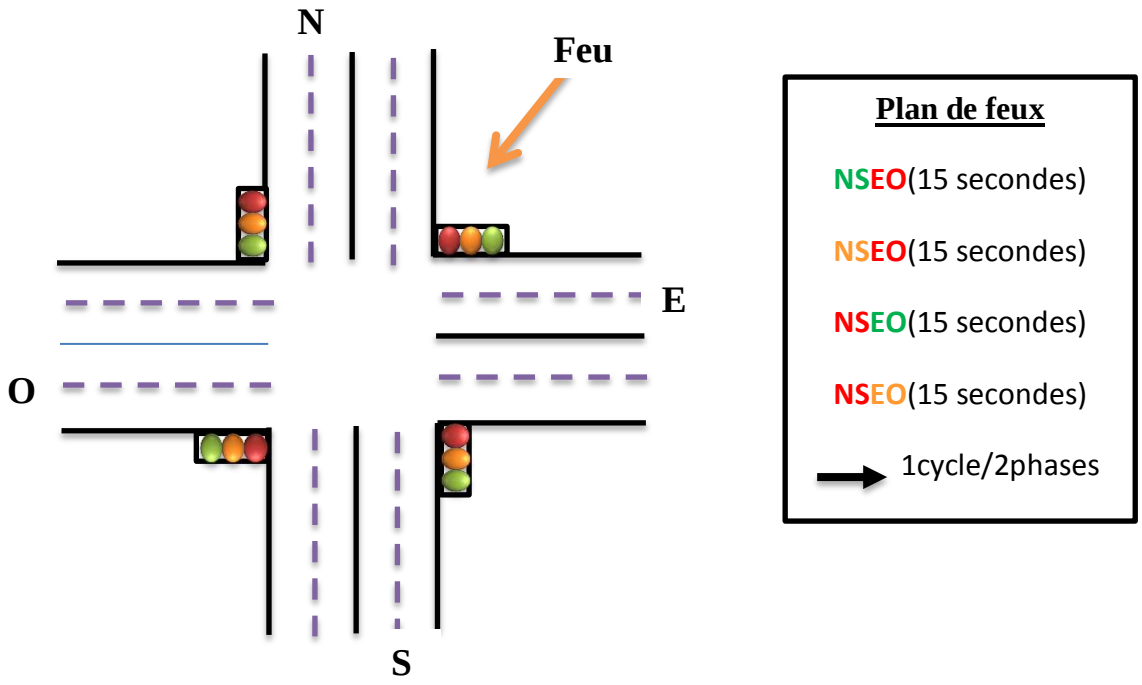


Figure I.5 Exemple d'un plan de feux

Les contrôleurs de feux peuvent être mis en place avec plusieurs modes de fonctionnement. Tout d'abord, les contrôles prédéterminés, où l'enchainement des phases s'effectue en marge du trafic routier, c'est à dire toujours dans le même ordre et avec un temps prédéfini en fonction de l'importance connue des voies. Ensuite, les contrôles semi-dynamiques, où des détecteurs sont mis sur certaines voies (exemple : les voies jugées peu importantes) afin d'ajuster des paramètres tels que les temps de feux ou encore l'ordonnancement des phases. Enfin, les contrôles dynamiques, où des détecteurs sontmis sur l'ensemble des directions possibles. Il n'est pas forcément nécessaire de déployer des détecteurs à certains endroits : quelques auteurs ont donc essayé d'orienter les ingénieurs dans le choix d'un mode [11].

VI.2.NOMENCLATURES

Face à la multitude de constructeurs existant dans la gestion du trafic routier urbain, et des spécifications souvent différentes amenant à des incompatibilités techniques et fonctionnelles, plusieurs organisations se sont regroupées dans le but de mettre en place des nomenclatures, afin de favoriser le développement des STI (systèmes de transport intelligents).

- Numérotation des phases L'une des normes rédigées par la NEMA (National Electrical Manufacturers Association) définit la mise en place des phases possibles d'une intersection, en les numérotant en fonction de labels bien spécifiques affectés aux mouvements possibles, comme l'illustre la figure I.6. Par exemple, les voies de la direction sud allant toutdroit auront le label 6 d'affecté, celles de la direction ouest le label 8. La définition des phases va se faireen fonction de la numérotation des mouvements : plusieurs techniques existent, mais il suffit généralement de prendre le plus petit numéro affecté à un mouvement allant tout droit afin de nommer une phase. Exemple sur la figure I.6 : si nous prenons la phase représentée par les mouvements bleus, soit les numéros2, 5, 1 et 6, dont 2 et 6 correspondent à des mouvements allant tout droit, alors le numéro de la phase est 2. Pour une phase ne possédant pas de mouvement allant tout droit, alors le plus petit label parmiles autres mouvements est sélectionné. Les mouvements à droite ne sont pas représentéscar confondus avec les mouvements allant tout droit (nous pouvons poser l'hypothèse que ces derniers reprennent les mêmes propriétés : si un mouvement de droite entre en conflit avec un autre mouvement, alors cela est nécessairement le cas pour le mouvement tout droit associé).

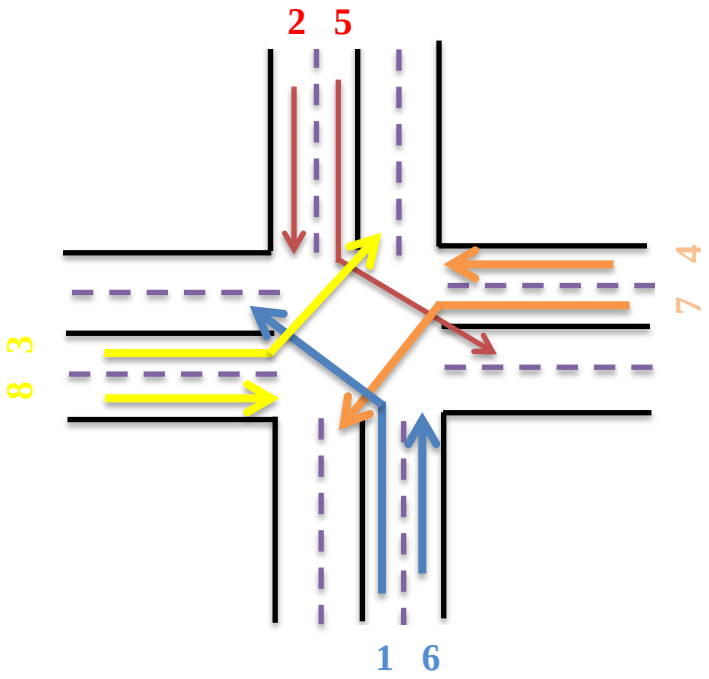


Figure I.6 – NEMA - Affectation de labels aux voies, affectation des phases

Cette logique de numérotation n'est évidemment pas prise au hasard, et permet notamment de nepas mettre certaines voies en conflit lors de la constitution des phases : certains mouvements ne pourront jamais être associés les uns avec les autres, comme par exemple le 8 et le 6, ceci pour des questions desécurité minimale [11].

- Nombre de phases : Le nombre de phases dans un cycle est un élément important dans la fluidification du trafic routier : plus leur nombre est petit, plus la gestion du temps de feux et du cycle est souple et confortable, les arrêts de véhicules sont également plus rares. Cette minimisation est effectuéeen fonction de la charge et de l'importance de certaines voies pouvant être en situation d'inter blocage [11].

VII.LA GESTION DES FEUX DE CIRCULATION INTELLIGENT

VII.1. LES SYSTEMES DE TRANSPORT INTELLIGENTS

Les systèmes de transport intelligents (STI) apparaissent comme étant "l'application des technologies de l'information et de la communication au domaine des transports".Le terme système est vague et se décline en un ensemble de moyens mis en place pour gérer au mieuxles contraintes liées au trafic routier, telles que les embouteillages, la sécurité ou même la pollution.

En particulier, ces systèmes offrent un caractère réactif à une infrastructure pourtant fixe, mais dont la population peut énormément varier.

Les réseaux de capteurs sans fil appartiennent à la famille des réseaux mobiles et se composent d'un large ensemble de capteurs à capacité et énergie généralement limitées. Dans de nombreux cas, les capteurs sont constitués des unités suivantes:

- Unité d'acquisition : elle permet le recueil de données environnementales et la conversion analogique vers numérique.
- Unité de calcul : permettant le lancement de procédures, protocoles et autres.
- Unité de communication : permettant la connexion au réseau (émission et réception). Ceci, en sans-fil (ex : radio), souvent en multi-sauts et permettant de s'affranchir des inconvénients filaires (temps d'installation et facilité d'accès). La logique est ici distribuée.
- Unité d'énergie : qui permet la répartition de l'alimentation entre les différents constituants. Dans de nombreux cas, les capteurs sont dispersés dans des zones pauvres en énergie, et sont dotés d'une batterie non-rechargeable et non-renouvelable. Dans le cas du trafic routier, il est néanmoins possible voire nécessaire de s'abstenir de contrainte énergétique.

Le rôle de chaque capteur est de récolter un ensemble de données dans son environnement, et le transmettre de proche en proche jusqu'à atteindre généralement une station de base, qui peut jouer le rôle de coordinatrice du réseau et communiquer vers l'extérieur les données importantes recueillies.

L'utilisation de tels réseaux est répandue dans de nombreux domaines et applications : nous pouvons par exemple citer la surveillance de forêts, d'infrastructures critiques, ou encore la détection d'agents biochimiques dans le secteur militaire [11].

VII.2.METRIQUES ET PARAMETRES

L'application des technologies de l'information et de la communication au domaine des transports peut être vue de déférentes manières. La plupart de ces dernières sont dites réactives car permettent de recueillir des données propres à la circulation routière afin de la surveiller ou même tenter de la contrôler. Globalement, leur utilisation requiert donc la connaissance de certaines métriques propre à l'environnement urbain dans lequel elles se situent. A une échelle plus locale, les technologies sont utilisées à des endroits stratégiques du réseau, comme les intersections dont nous détaillons le fonctionnement classique dans la partie suivante.

- Un capteur électromagnétique est un type de capteur sans fil fixe utilisé notamment pour la gestion du trafic routier. L'unité d'acquisition utilisée est un magnétomètre, permettant d'enregistrer les variations du champ magnétique terrestre. Comme indiqué ci-dessus, la contrainte énergétique peut facilement être levée, mais certains auteurs considèrent toute fois l'utilisation de batteries est préférable.
- Plus globalement, un détecteur est une technologie permettant de récolter et transmettre des informations à un nœud traitant. Ce terme englobe donc les capteurs électromagnétiques, mais également les autres technologies existantes et détaillées plus loin dans le document.
- Un réseau fixe regroupe un ensemble de technologies (dont détecteurs) étant fixes sur le terrain : leur position n'est pas amenée à être changée, mis à part pendant des périodes d'entrainement où l'objectif va être de déterminer leur emplacement définitif.
- Un réseau véhiculaire est un cas des réseaux de capteurs sans fil où les capteurs sont mobiles. Par ce terme, nous désignons des réseaux de véhicules où chaque acteur possède un capteur embarqué, ceci rendant possible la mobilité.
- Un système coopératif est un réseau hybride où des acteurs mobiles vont pouvoir interagir avec des acteurs fixes [12].

VII.3. CONTROLE DYNAMIQUE PAR L'INFRASTRUCTURE

Dans les systèmes de gestion classiques des feux de circulation, la gestion des feux de circulation est un problème qui a commencé à être étudié au début des années 1970 avec l'apparition progressive de systèmes de gestion centralisés, en charge des carrefours d'une zone géographique donnée. Au fil des années, ces systèmes se sont diversités, et ont connu trois générations de contrôle. Aujourd'hui, ces générations peuvent être utilisées chacune en fonction des moyens mis en place sur l'infrastructure, et de la connaissance de cette dernière :

- **Première génération :** contrôle à temps fixe : en fonction de l'heure et parfois du jour, le système va utiliser un plan de feux prédéfini. Exemple : une configuration stricte est appliquée de 12h30 à 14h, tandis qu'une plus souple et équitable pour l'ensemble des voies d'un carrefour est appliquée à 3h du matin. Classiquement, trois configurations existent : matin, après-midi, et "reste". On peut imaginer quelque chose de plus complet prenant en compte des plans spécifiques aux heures de pointe.
- **Deuxième génération :** contrôle à temps dynamique : des détecteurs sont utilisés afin de recueillir les données du trafic toutes les X minutes. Ces données peuvent être utilisées afin d'optimiser ou mettre en place un plan de feu. Par exemple, une fois les phases déterminées, l'un des enjeux va définir un temps de feu vert pour chacune d'entre elles : ce dernier est généralement 12 hal-00781140, version 1 - 25 Jan 2013constitué d'une valeur minimale et maximale, afin de ne pas provoquer des arrêts intempestifs ou d'engendrer un cycle trop long. Le feu vert minimum suffit uniquement si pendant son temps d'exécution, aucun nouveau véhicule ne franchit un détecteur. Si un nouveau véhicule passe, un temps est ajouté pour ce véhicule, l'opération est répétée éventuellement jusqu'au feu vert maximum [10].
- **Troisième génération :** contrôle à temps réel : reprend le même principe que la deuxième génération mais cette fois-ci en temps réel.

Chacune des deux dernières générations, qui introduisent un caractère dynamique au système, peuvent être décomposée en deux types :

- **Contrôle réactif :** en fonction des données recueillies sur le terrain périodiquement (plusieurs minutes ou cycles), le système met en place une nouvelle configuration en réponse aux informations reçues. Cette méthode est le premier niveau de dynamique, et est simple à mettre en place, mais nécessite toutefois une très bonne connaissance du système afin d'être éfficace. C'est également la première méthode à être apparue aux Etats-Unis à la fin des années 1980 avec l'apparition des UTCS (Urban traffic control software).

- **Contrôle adaptatif :** ce type de contrôle va programmer dynamiquement les plans de feux en se servant des paramètres recueillis sur le terrain, ceci en calculant des valeurs telles que le temps decycle, des phases ou encore leur ordonnancement. L'opération va être effectuée de manière adaptative, c'est à dire en quasi-temps-réel. L'avantage de cette méthode est qu'elle peut s'adapter à de multiples situations, mais reste la plus compliquée à mettre en place (nécessité de cerner les informations à utiliser, comment les utiliser et se baser sur des théories parfois lourdes) [10].

Les avancées ont été permises grâce à l'introduction de plusieurs solutions novatrices en termes de gestion du trafic routier : au total, ce sont plus d'une vingtaine de projets qui sont nés durant ces trente dernières années [10]. Ici, nous allons essentiellement parler de deux systèmes qui ont retenu toute notre attention. Ces deux derniers ne sont pas nécessairement les plus performants, mais représentent les deux principaux systèmes de gestion du trafic routier utilisés dans le monde :

SCOOT. Citons d'abord SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) [13].Un système de contrôle à la fois réactif et adaptatif et entièrement centralisé, développé par le TRL (Trafic research laboratory, un centre de recherche anglais sur les transports). Dans ce système, l'ensemble des informations recueillies sur le terrain vont à un centre de gestion, qui s'occupe de traiter les informations et renvoyer les indications directement aux intersections. Les véhicules sont détectés par des dispositifs pouvant être placés à divers endroits sur les voies : au niveau des feux ou à une certaine distance afin de pouvoir mesurer le débit du trafic. SCOOT mesure en permanence le volume de véhicules de chaque côté de l'intersection et change la durée des phases en fonction d'un indice de performance, calculé par rapport au délai d'attente moyen, de la longueur des queues et des arrêts sur le réseau. Ainsi, de la même manière que TRANSYT [14], système sur lequel il est basé, SCOOT génère des plans de feux en fonction de la demande des utilisateurs (côté adaptatif). En plus de cela, le système utilise des informations en ligne issues de bases de données (historique ou autres, côté réactif). Notons au passage que SCOOT est l'un des principaux systèmes de contrôle adaptatif déployé mondialement [15].

SCATS. Citons ensuite SCATS [16]. (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) qui a été à l'origine développé pour Sydney et d'autres villes Australiennes. Il est pour sa part entièrement adaptatif et utilise une notion de hiérarchie (ce qui forme une certaine distribution sur le réseau) : entre le recueil des données sur le terrain et le centre de contrôle, des contrôleurs intermédiaires sont insérés, permettant d'alléger la charge globale du système et d'avoir un contrôle découpé en plusieurs zones, l'ensemble des acteurs utilisant des communications synchronisées. De manière similaire à SCOOT, ce

système ajuste le temps des cycles et autres paramètres en fonction des données recueillies afin de diminuer le délai et les arrêts, mais n'utilise pas la même stratégie : les valeurs recueillies permettent la sélection de plans de feux parmi une large librairie, sur lesquels le système va se baser pour proposer des plans adaptés. De plus, contrairement à SCOOT, les détecteurs sont uniquement placés au niveau des feux de circulation.

D'autres systèmes. Tandis que SCATS et SCOOT sont conçus afin de ne prendre qu'une décision par cycle, d'autres systèmes plus modernes tels que OPAC [17]. RHODES [18] ou encore InSync [19].

Pour ne citer qu'eux analysent le trafic en temps réel et prennent des décisions seconde après seconde afin d'adapter dynamiquement un cycle. Nous pouvons également citer CRONOS [18]. Et Prodyn [20].Les deux principaux systèmes agissant sur les carrefours Français [21]. Le premier a été mis au point au début des années 1990 par l'INRETS et permet de dynamiser un carrefour en se basant notamment sur des images en temps réel en provenance de caméras, qui fournissent des informations telles que l'occupation de la chaussée. Le deuxième a été développé par le CERT et a la particularité de se baser sur des mécanismes classiques de cycles et phases.

De nombreux autres systèmes de ce type existent, on a cité que les principaux. Ces solutions "classiques" régissent à elles seules une bonne partie de ce qu'il peut exister en termes de gestion du trafic routier de manière complète et dynamique. Hélas, leur coût et leur durée d'installation constituent un frein à leur développement. Plus loin dans ce document, nous verrons de nouvelles approches de la littérature alliés à des principes davantage distribués et locaux qu'ici, pouvant s'allier à ces solutions et réduire en conséquence ces coûts globaux.

VII.4. SYSTEMES COOPERATIFS

Contrairement aux modèles reposant uniquement sur des capteurs électromagnétiques fixes, les systèmes coopératifs vont permettre une interaction entre plusieurs véhicules, ou entre plusieurs véhicules et l'infrastructure déjà en place. Ainsi, l'intelligence est répartie entre différents éléments du réseau, fixes ou mobiles, ce qui va nous permettre de développer des applications plus souples, plus éfficaces et qu'il serait parfois impossible de mettre en place avec une architecture uniquement statique. Notons que le domaine des systèmes coopératifs est vaste et que nous n'en faisons ici qu'une introduction rapide [22].

Les niveaux de coopération : Les avantages d'applications utilisant des capteurs mobiles et embarquéssont nombreux : les données tirées des véhicules et de l'infrastructure sont généralement complémentaires, et trivialement, la réactivité d'un tel système est bien plus importante qu'un modèle

démuni d'acteurs mobiles (le dynamisme est ici poussé à son extrême). Remarquons que ces systèmes peuvent être de plusieurs types en fonction du niveau de coopération que l'infrastructure est capable de posséder et de la volonté applicative encadrant le réseau [23].Comme l'illustre la figureI.7.

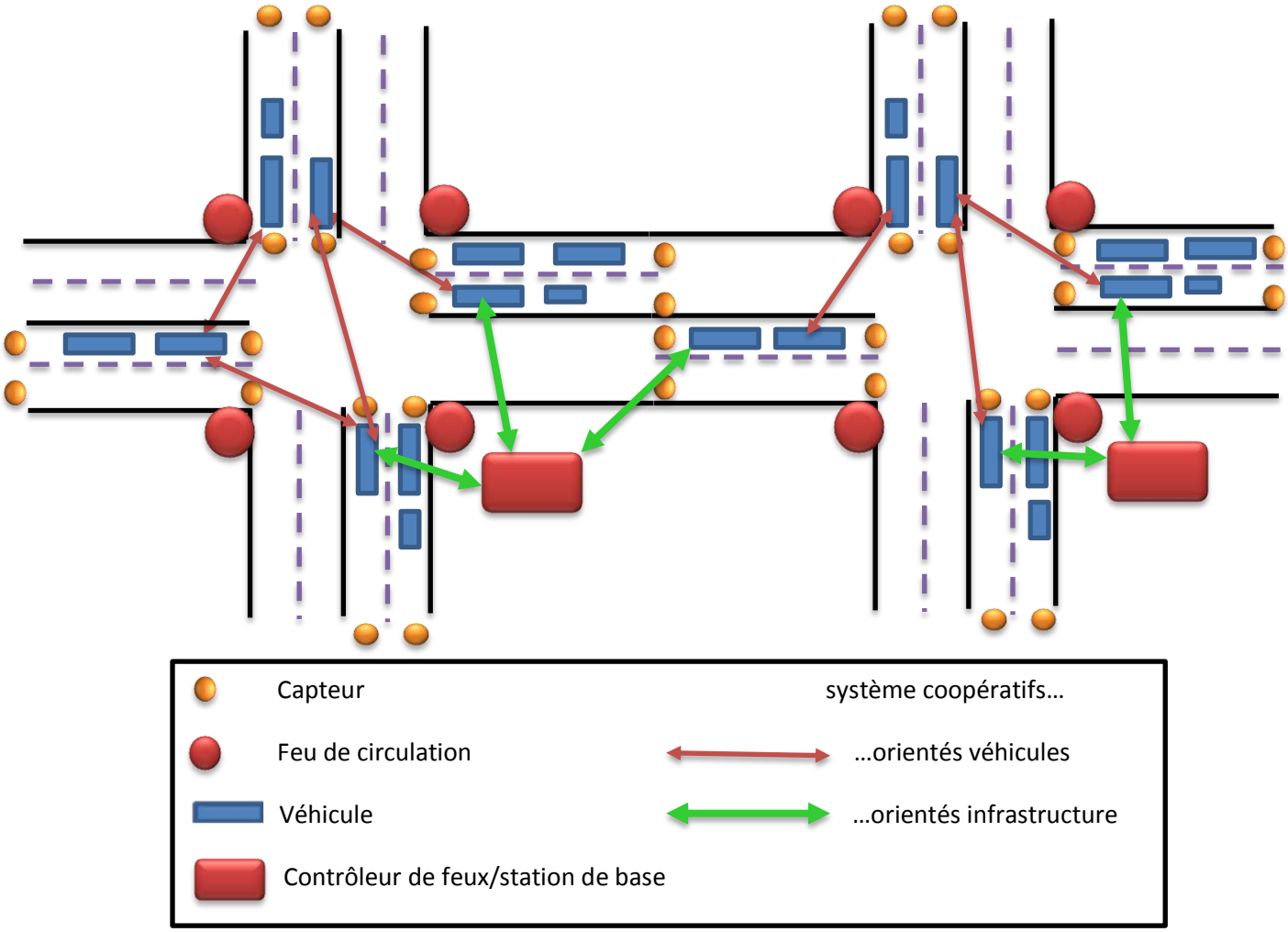


Figure I.7 Les systèmes coopératifs

- **Les systèmes autonomes (SA),** où aucune communication n'est effectuée, mais où les véhicules disposent de capteurs embarqués leur permettant de mesurer des phénomènes présents autour du véhicule : détection d'accidents, d'obstacles, vérification de la distance de sécurité, etc.
- **Les systèmes coopératifsorientés infrastructure**, où un véhicule va pouvoir communiquer uniquement avec l'infrastructure (détecteurs, boites de contrôle), afin d'obtenir des données directement liées au trafic routier (I2V), ou afin d'en fournir (V2I).

- **Les systèmes coopératifs orientés véhicules**, où un véhicule va pouvoir communiquer uniquement avec d'autres véhicules, afin d'obtenir des informations spécifiques au trafic routier. Ici, on peut imaginer deux types de communication :
  - De proche en proche (V2V), où la communication est assurée uniquement entre deux véhicules voisins, à l'aide de capteurs.
  - Communication globale, où les différents acteurs possèdent un système relié à un oracle commun (exemple : Smartphones, certains GPS et autres).
- **Les systèmes interactifs (SI)** où un véhicule donné va à la fois échanger des informations avec les autres véhicules, mais également avec l'infrastructure. L'avantage est considérable : outre la possibilité de traiter des informations agrégées de part et d'autre du système, les données importantes peuvent circuler au travers du réseau par l'intermédiaire des véhicules. La notion de partage prend ici tout son sens.

VII.5. OUTILS THEORIQUES

Il est courant pour des modèles dynamiques de la littérature de se servir d'outils théoriques, parfois en faisant un rapprochement à la réalité, parfois sans aucune notion physique (technologie utilisée, disposition).

VII.5. 1.Intelligence artificielle

- **Contrôle par logique floue**

La logique floue permet de mettre en place des degrés dans la vérification d'une condition, et non plus se borner à un choix strictement binaire. Ce principe est utilisé par quelques auteurs pour traiter le problème de la gestion des feux de circulation et permet de simplifier le problème, ce qui change des méthodes d'optimisation mathématique habituelles souvent lourdes. On peut utiliser la logique floue afin de déterminer le temps d'un feu en fonction du nombre de véhicules présents sur les voies : à un nombre de véhicules correspond un intervalle définissant une durée de feu (exemple : moins de cinq véhicules par minute donne le feu vert pendant 10 secondes) [22]. Ce principe apparait comme idéal à utiliser :

- Théorie simple s'appliquant à des problèmes complexes.
- Aucun modèle mathématique requis.
- Robustesse de la commande floue par rapport aux incertitudes.

Les inconvénients sont tout de mêmes importants [24] : les techniques de mise en place et les réglages sont empiriques et aucune théorie ne permet de démontrer la stabilité et la robustesse d'une telle méthode.

- **Algorithmes génétiques**

Les auteurs de [25] ou encore [26] ont proposé d'optimiser le temps à une ou plusieurs intersections en se basant sur un algorithme génétique. Le principe est le suivant : obtenir une solution approchée d'un problème d'optimisation lorsqu'il n'existe pas de méthode exacte afin de le résoudre en un temps raisonnable. Dans ce type d'algorithme, la solution est approchée par bonds successifs (mutations).

Ainsi, en ayant connaissance du nombre de véhicules et du temps moyen d'attente à une intersection, l'algorithme va pouvoir appliquer des méthodes d'optimisation et les améliorer au fil de sa vie. Si l'idée parait intéressante, les contraintes sont évidentes pour le cas du trafic routier :

- De nombreux calculs sont nécessaires.
- Paramètres difficiles à déterminer, et il peut y avoir un certain délai avant l'obtention d'un résultat réellement efficace.
- Il est impossible d'assurer qu'une solution trouvée soit la meilleure, même après une multitude de mutations.

- **Réseaux de neurones**

Les réseaux de neurones sont inspirés du fonctionnement des neurones biologiques, et mettent en œuvre l'apprentissage par l'expérience. Dans le cas du trafic routier, plusieurs auteurs se sont penchés sur ce schéma. Ici, il est question d'effectuer rapidement des classifications, et d'apprendre à les améliorer, plutôt que de passer par un schéma traditionnel de modélisation. La logique floue et les algorithmes génétiques peuvent être vus comme des compléments aux réseaux de neurones

VII.5. 2.Théorie des files d'attente

La théorie des files d'attente est particulièrement adaptée au cas de la gestion du trafic routier : cette dernière appartient au domaine des probabilités, et permet une gestion optimale des files d'attente (ou queues). Dans le cas des intersections, une file d'attente est automatiquement créée lorsque les véhicules (clients) souhaitent obtenir un feu au vert (serveur). Particulièrement, il est facile avec cette théorie de calculer des valeurs telles que le nombre moyen de véhicules en attente, en service, le temps moyen d'attente ou encore de séjour dans le système.

VII.5. 3.Mécanique des fluides

La mécanique des fluides est un outil plus rarement utilisé dans le cadre du trafic routier, mais est tout de même à citer : ce dernier représente l'étude du comportement des fluides, dans notre cas des fluides en mouvement (on parle alors de dynamique des fluides). Cet outil n'est que peu utilisé dans le cadre des intersections, mais revient souvent lorsqu'il s'agit d'étudier des systèmes sans feux de circulation, c'est à dire se basant uniquement sur des priorités. L'exemple que nous pouvons citer est le cas des ronds-points, les flux de circulation comme étant des fluides en opposition. Le constat établi est que généralement, le plus gros fluide prend le dessus (et donc la priorité) sur le flux de plus faible importance.

Ce procédé est original à utiliser, et agréable dans certains cas. Hélas, il ne suffit pas à décrire le comportement individuel de chaque véhicule, et apparait comme étant inadapté à des cas où des feux de circulation sont présents.

VIII.CONCLUSION

D'après l'étude théorique on a vu plusieurs aspects de la gestion du trafic routier urbain. On a commencé par une présentation relative aux systèmes de transport intelligents, en faisant un rapide tour des technologies existantes et des principes de cette tendance qui évolue quotidiennement. Ensuite, on s'est concentré sur les deux types de gestion des feux de circulation : classique et intelligent.

I. INTRODUCTION

L'utilisation conjointe des réseaux de neurones et de la logique floue permet de tirer avantage des deux méthodes. Les capacités d'apprentissage de la première et la lisibilité et la souplesse de la seconde. Diverses associations de ces deux méthodes ont été développées depuis 1988 et sont le plus souvent orientées vers les commandes de systèmes complexes et les problèmes de classification.

Dans notre projet on présente de nouveaux outils pour le contrôle de feux de circulation.

La théorie des réseaux de neurones et des systèmes flous a été développée depuis plusieurs années. Mais la plupart du temps dans des domaines séparés et différents. Depuis peu les chercheurs utilisent ces techniques conjointement dans des domaines qui ne touchent ni le ou ni les réseaux de neurones. Ils utilisent donc les réseaux de neurones et la théorie floue d'une manière unifiée. [27]

Au départ, ces techniques sont utilisées pour le calcul élémentaire, algèbre linéaire et la probabilité, elles sont alors utilisées dans des techniques plus complexes comme le traitement du signal, procédés aléatoires ainsi que pour l'identification et la commande de système complexes. Les systèmes á base de réseaux de neurones et de logique floue font de bons approximateurs de fonctions à partir de données d'échantillons. Mais ils apportent une chose en plus par rapport á l'approche statistique : ils n'ont pas besoin de connaissance a priori sur le fonctionnement interne du système. Les systèmes flous et neuronaux n'ont pas besoin de modèle mathématique. Ce sont de purs estimateurs. [28]

II.LA THEORIE FLOU

La théorie des ensembles flous est une théorie mathématique qui permet de modéliser des notions vagues du langage naturel pour pallier l'inadéquation de la théorie des ensembles classiques dans ce domaine. En effet, cette dernière définit de façon abrupte une frontière entre deux catégories d'éléments : ceux qui appartiennent à l'ensemble et ceux qui sont à l'extérieur. Contrairement la logique floue à sa base considère que tout est affaire de degrés.

En logique flou rien n'est manichéen. Tout peut être codé en niveau de gris. Elle donne une interprétation déterministe des probabilités et de la stochastique. Mathématiquement en logique floue, les variables floues sont multi values et possède une multivalence (on peut pendre comme exemple la vérité, le mensonge et la valeur qui correspond au cas où on ne sait rien) Le degré de cette valeur indéterminée correspond á la multivaluation de la variable floue. Par exemple dans une approche floue le paradoxe correspond á la valeur intermédiaire entre les deux valeurs antithétiques. Il s'agit ici d'un

paradoxe à deux dimensions (deux valeurs antithétiques) mais on peut imaginer de créer des points médians entre plusieurs valeurs antithétiques (> 2) [29].

III.LA COMMANDE FLOUE

Son principe a été introduit par Mamdani et Assilian sur l'exemple d'une machine à vapeur expérimentale. Depuis, ce principe a été exploité dans plusieurs domaines comme la commande d'une usine d'eau chaude, échangeur de chaleur, régulation de vitesse d'un moteur, four à ciment. La commande floue a aussi été largement développée au Japon au début des années 80.

III.1.CARACTERISTIQUES DE LA COMMANDE FLOUE

Son but est de traiter les problèmes de commande de processus avec une approche différente de l'automatique classique. Le plus souvent elle se sert de la connaissance des experts du processus. La spécificité de la commande floue réside dans les points suivants :

- La connaissance mathématique du fonctionnement du processus n'est pas nécessaire. C'est le savoir-faire de l'opérateur qui est pris en compte.
- Des variables subjectives sont utilisables. Il est possible de modéliser les sens humains.

L'intérêt de la commande floue apparaît clairement dans le cas de système mal connu ou difficile à décrire. De même, lorsque les variables sont décrites de façon imprécise ou en langage naturel.

Intérêt de la commande floue :

- La commande est simple à réaliser, facilement adaptable aux conditions de fonctionnement. La plupart du temps un petit nombre de règles suffit à décrire le système.
- La coordination de plusieurs objectifs est possible (système multi variable).
- Cette commande est reconnue comme robuste.

III.2.LE CONTROLEUR FLOU

Le contrôleur flou ou peut être considéré comme un système expert simple contrôle floue, figure II.1: La représentation des connaissances est basée sur les ensembles flous dont les règles fournissent directement les conclusions. L'interface avec le flou assure la conversion des variables linguistiques du système en variables floues compréhensibles par le régulateur (Fuzzification). Le contrôleur flou, grâce à sa base de règle génère alors la conclusion qui sera rendue compréhensible pour le système par l'interface non floue (Défuzzification) [30].

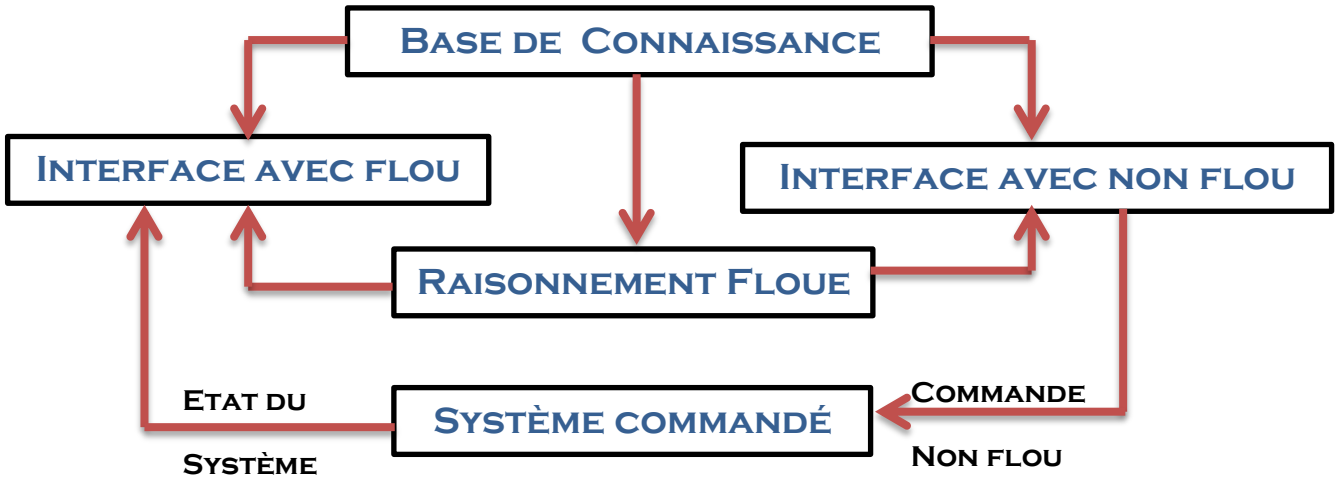


Figure II.1 Configuration générale d'un contrôleur flou

Le contrôleur (ou régulateur) flou peut être représenté de la façon suivante figure II.2

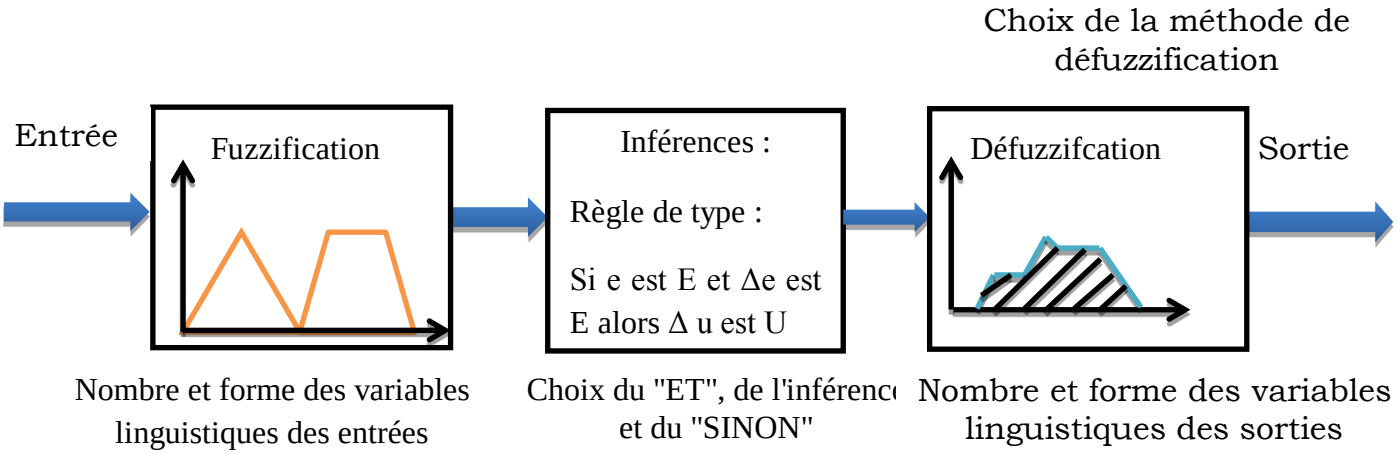


Figure II.2 Schéma d'un régulateur flou basé sur le raisonnement flou par inférences

Dans la figure II.2 les trois blocs appelés fuzzification, inférence, et défuzzification sont utilisés et leur fonctionnalité est décrite dans ce qui suit.

Le processus de la **fuzzification** consiste à simplement attribuer aux différentes variables linguistiques d'entrée des fonctions d'appartenance convenable. Cette opération est nécessaire vu que la mesure de la sortie *y* et la donnée de la référence ou consigne sont toujours exprimées en des variables qui sont nettes et précises et que le régulateur flou ne peut traiter que des variables floues [28].

L'**inférence** est le processus par lequel des actions ou opérations floues sont prises au fur et à mesure que des informations sur les entrées sont recueillies et ce selon les règles définissant le système. Il existe plusieurs méthodes d'inférence dont :

- La méthode d'inférence **max-min** : réalise le **OU** reliant les règles par l'opérateur **max** et le **ALORS** par l'opérateur **min**.
- La méthode d'inférence **max-produit** : réalise-le **OU** reliant les règles par l'opérateur **max** et le **ALORS** par l'opérateur **produit**.
- La méthode d'inférence **somme-produit** : réalise le **OU** reliant les règles par le l'opérateur **somme** et le **ALORS** par l'opérateur **produit**.

Défuzzification : L'étape précédente a produit une loi de commande exprimée en termes d'une fonction d'appartenance donc une loi de commande floue. Comme le système à asservir ne peut accepter qu'une commande définie et nette, cette fonction d'appartenance doit être traduite en une commande non floue, nette et précise. Ce processus est connu sous le nom de défuzzification. Il existe plusieurs méthodes de défuzzification dans la littérature dont une méthode qui est le plus souvent plus efficace que les autres, celle de la défuzzification par centre de gravité. **La défuzzification par centre de gravité :** Cette méthode calcule la loi de commande non floue U^* en tant que l'abscisse du centre de gravité de la fonction d'appartenance de la loi de commande $\mu_{res}(U)$; La loi de commande par la méthode de défuzzification par centre de gravité se programme difficilement en général [29].

$$U^*=\frac{\int_{-1}^{1} U\mu res(U)}{\int_{-1}^{1} \mu res(U)du}du \qquad \text{(II.1)}$$

III.3 METHODES DE CALCUL DE LA COMMANDE

Il existe plusieurs méthodes de calculs de la commande floue de processus. La première d'entre elles vient directement des méthodes d'inférence des systèmes experts.

III.3.1 Inférence Mamdani fuzzy

L'inférence Mamdani procédé selon quatre étapes :

1. Fuzzification des variables d'entrée ;

2. Evaluation des règles ;

3. Agrégation des sorties des règles ;

4. Defuzzification ;

Il faut évaluer les règles en fonction des entrées obtenues. On applique les opérateurs flou correspondants pour combiner les règles. Si une règle a plusieurs antécédents, un opérateur flou est utilisé pour obtenir un seul chiffre qui représente le résultat. Ce résultat est ensuite appliqué à la fonction d'appartenance de la conséquence. Le résultat peut être produit par deux méthodes : coupure ou mise à l'échelle [31].

III.3.2 Inférence Sugeno fuzzy

La méthode de Sugeno permet de simplifier le calcul de l'agrégation, afin d'obtenir plus rapidement une solution nette. Cette méthode est souvent utilisée pour des applications à temps réel, ou le temps de calcul est important.

La méthode de Sugeno utilise un seul pic comme fonction d'appartenance, plutôt qu'un polygone. Ce pic est un ensemble flou ayant une fonction d'appartenance 1 à un point particulier de l'espace, et 0 ailleurs. Le résultat de l'évaluation des règles devient l'amplitude du pic.

- Forme des Règles Floues Utilisées par Takagi et Sugeno Soit : μA(x) la fonction d'appartenance à un sous-ensemble flou A avec x ϵ X univers du discours. On définit la valeur réelle de « x est A et y est B » par l'expression suivante :

$$|x \text{ est } A \text{ et } y \text{ est } B| = A(x) \wedge B(y) \qquad \text{(II.2)}$$

La règle floue R est de la forme :

R : si f(x_1 est A_1,…,x_k est A_k) alors y = g(x_1,…,x_k)

Où :

- **y** est la variable de conclusion ;
- **x_1,…,x_k** Variables de prémices utilisées aussi dans la conclusion ;
- **A_1, ,A_k** Ensembles flous avec fonctions d'appartenances linéaires représentant un sous-espace flou dans lequel la règle R peut être vue comme le raisonnement ;
- **f** fonction logique qui lie les propositions dans les prémices ;
- **g** fonction qui calcule la valeur de y lorsque $x_1,\ldots,x_k$ vérifient les prémices ;

Dans le cas de Takagi et Sugeno la règle R s'écrit :

Si x_1 est A_1et …x_k est A_k alors y = p_0 + p_1x_1 + …+ p_kx_k

Ensuite la valeur réelle finale de la sortie y inférée depuis n règles est calculée comme la moyenne de tous les sorties de chaque règle y^i avec les poids $\omega^i = \Pi\, \mu_i(x_i^0)$ avec μ(x) fonction d'appartenance du sous-ensemble floue A_i.

$$y = \frac{\sum y^i \omega^i}{\sum \omega^i} \qquad \text{(II.3)}$$

L'approximation linéaire faite par les règles R^i prises séparément, avec le raisonnement flou, ces équations linéaires liant entrées et sorties permettent de passer de façon continue de l'une des équations à l'autre. Ceci est aussi un moyen de réduire le nombre de règles, le tableau II.1 présente la différence entre la méthode mamdani et sugeno.

Tableau II.1 comparaison entre Mamdani et Sugeno

		MAMDANI	**TAKAGI SUGENO**
Similarité		• Les deux se caractérisent par IF-THEN-ELSE • Les deux ont des mêmes structures antérieures. MFs sont des ensembles flous • Les deux ont des mêmes structures antérieures	
Différence	**structures de conséquente**	un ensemble flou	Une fonction
	inférence	lorsque tous les sous-ensembles flous sont type-1, puis sa sortie est de type-1; l'ensemble qui est ensuite fuzzifie pour obtenir un ensemble de type-0	Lorsque tous les ensembles de flous sont de type-1 ; alors sa sortie est un ensemble de type-0 ; pas de défuzzification est nécessaire
	applicabilité	l'incertitude peut être attribuée à la fois des fonctions d'appartenance qui en découlent antécédent	incertitude peut être représentée que dans les fonctions d'appartenance d'antécédent
Avantage et Inconvénient	**Avantage**	• Intuitive • acceptation généralisée • bien adapté à l'intervention humaine	• calcul efficace • fonctionne bien avec la technique linéaire • garanti la continuité de la surface de sortie • bien adaptée à l'analyse mathématique • plus le nombre de paramètres de conception pour chaque régle.il est possible de besoin de moins de règles
	Inconvénient		plus calcul efficace mais perdre l'intelligibilité linguistique

IV.LES SYSTÈMES NEURO-FLOUS

Les Réseaux Neuro-Flous sont nés de l'association de réseaux de neurones avec la logique floue, de manière à tirer profit des avantages de chacune de ces deux techniques.

La principale propriété des Réseaux Neuro-Flous est leur capacité à traiter dans un même outil des connaissances numériques et symboliques d'un système. Ils permettent donc d'exploiter les capacités d'apprentissage des réseaux de neurones d'une part et les capacités de raisonnement de la logique floue d'autre part.

Afin de résumer l'apport du neuro-flou, le tableau I.2 regroupe les avantages et les inconvenants de la logique floue et des RNAs.

Tableau II.2 comparaison entre RNA et LF

RNA	SIF
la base de règle ne peut être utilisée	la base de règle peut être utilisée
L'apprentissage peut être démarré de zéro	Pas d'apprentissage (utilise la connaissance linguistique).
Boite noire	Interprétable (la règle IF-THEN)
Complexion des algorithmes d'apprentissage	Universel et implémentation simple
Difficulté pour extraire la connaissance	La connaissance doit être disponible

Les applications montrent les avantages de la logique floue quand le modèle des systèmes est difficile à implémenter. Malheureusement, avec l'augmentation dans la complexité du modèle de l'existence du processus, nous avons rencontré une difficulté pour développer des règles floues et des fonctions d'appartenance.

IV.1.DEFINITION

Un système Neuro-Flou est un réseau de neurones qui est typologiquement équivalent à la structure d'un système flou. Les entrées/sorties du réseau ainsi que les poids sont des nombres réels, mais les nœuds implémentent des opérations spécifiques aux systèmes flous : fuzzification, opérateurs flous (conjonction, disjonction), défuzzification. En d'autres termes, un système Neuro-flou peut être vu comme un système flou pour lequel les opérations sont implémentées de façon parallèle par un réseau de neurone.

Un système Neuro-Flou est un système hybride qui combine la logique floue, les réseaux neurones, les algorithmes génétiques, et les systèmes experts prouvent leur efficacité dans une variété de problèmes de monde réel et dans l'industrie [32].

IV.2.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les Réseaux Neuro-Flous hybrides apprennent des rapports et des modèles en utilisant un algorithme d'apprentissage supervisé qui examine les données dans un ensemble de la formation qui consiste en exemples d'entrées et leurs sorties associées. Pendant la phase d'apprentissage, un Réseau Neuro-Flou hybride modifies a structure interne pour refléter le rapport entre les entrées et les sorties dans l'ensemble de la formation (base de connaissances). L'exactitude d'un Réseau Neuro-flou est vérifiée après que le cycle de d'apprentissage soit complet en utilisant un ensemble séparé d'entrées et sorties appeler l'ensemble de la validation (figure II .3).

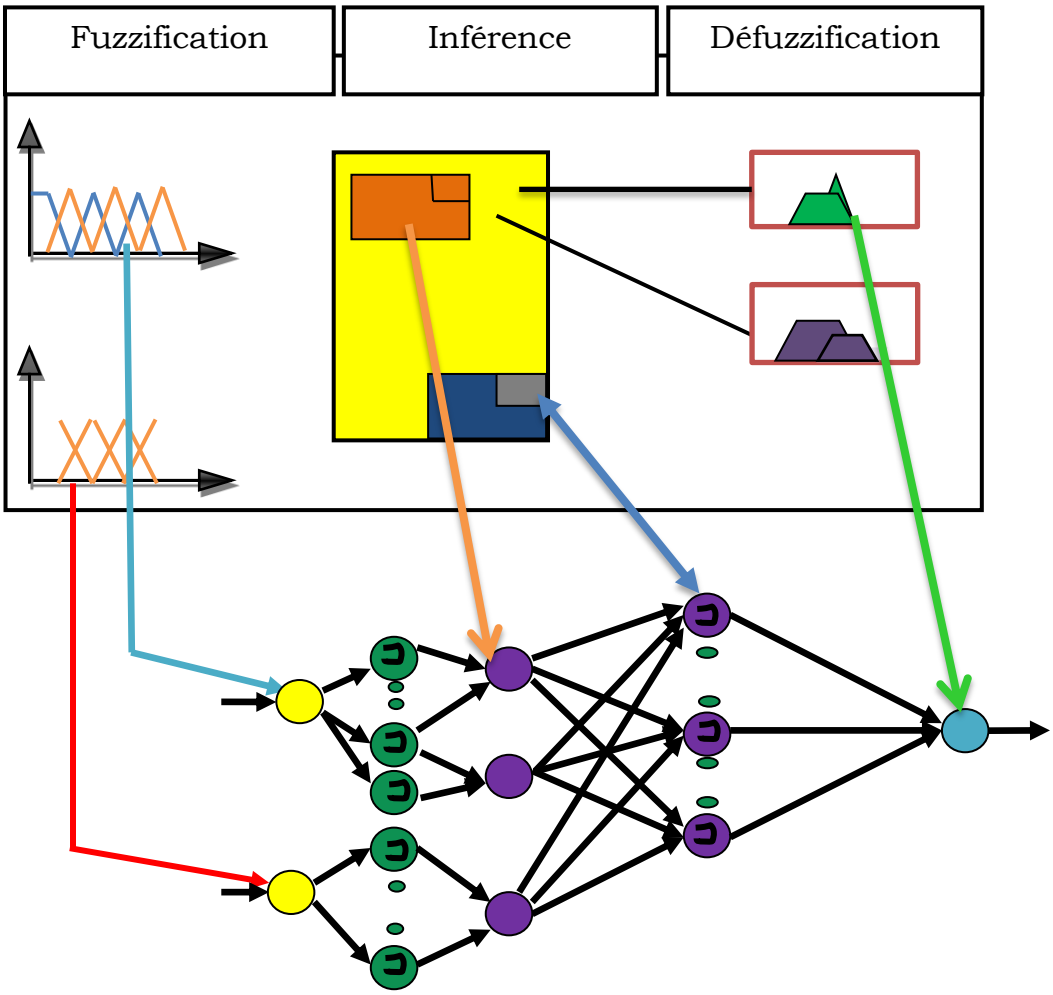


Figure II.3 Principe de fonctionnement de RNF

IV.3.architecture du neuro-flou

Considérons un système flou, avec deux règles « si – alors » **de type Sugeno** :

R1 : si x est A1 et y est B1 alors z = p1x + q1y + r1

R2 : si x est A2 et y est B2 alors z = p2x + q2y + r2

La structure correspondante de l'architecture de systèmes flous pour ce système est illustrée dans la figure II.4.

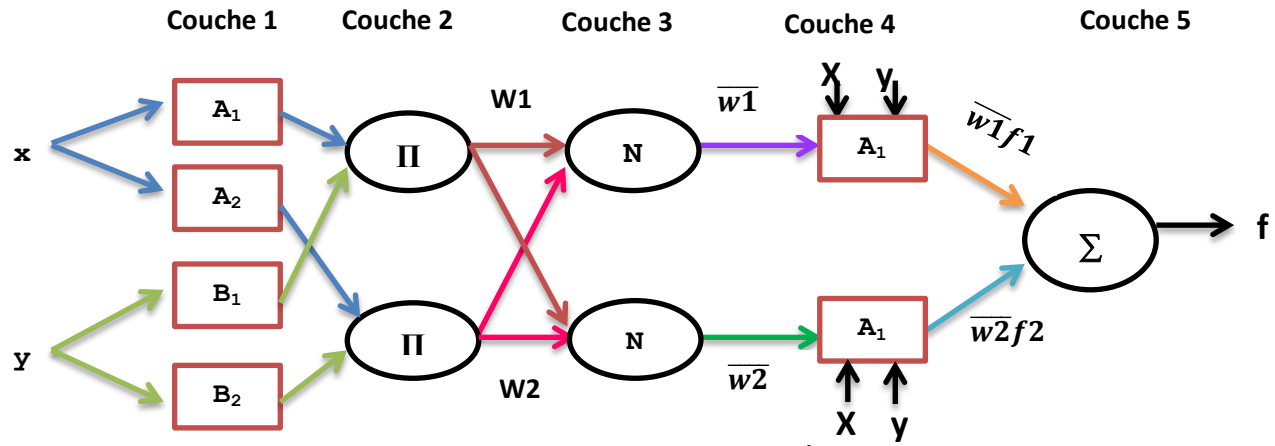


Figure II.4 architecture du système neuro-flou

Les fonctions de nœud dans la même couche sont de la même famille que les fonctions décrites ci-dessous :

Couche 1 : La sortie du nœud *i* de cette couche est :

$$O_i^1 = \mu A_i(x) \qquad \text{(II.4)}$$

Où *x* est l'entrée du nœud i et Ai est l'étiquette linguistique associée à cette fonction de nœud.

$$\mu Ai\ (x) = \exp\left[-\left(\frac{x-ci}{ai}\right)\right] \qquad \text{(II.5)}$$

Où $\{a_i, b_i, c_i\}$ sont les paramètres de prémisse.

Couche 2 : Les nœuds de cette couche multiplient les signaux entrants et envoient le produit au dehors. Chaque sortie de nœud représente les poids d'excitations (firing strength) w_i de la règle correspondante.

$$O_i^2 = w_{i=} \mu Ai(x) \times \mu_{Bi}(y) \qquad \text{(II.6)}$$

Couche 3 : Les sorties des nœuds dans cette couche sont des poids d'excitations normalisés $\overline{wi}$

Couche 4 : La sortie du nœud i de cette couche est :

$$O_i^4=\overline{wi}\, f_i = \overline{wi}(p_i x+q_i y+r_i) \qquad \text{(II .7)}$$

Où $\{ p_i , q_i , r_i \}$sont les paramètres de conséquent.

Couche 5 : Le nœud simple dans cette couche calcule la sortie globale taisant de tous les signaux entrants :

$$O^5=\sum \overline{wi} f_i \qquad \text{(II .8)}$$

V .CONCLUSION:

Les systèmes neuronaux et flous sont des estimateurs numériques et des systèmes dynamiques. La théorie neuronale noie dans la sémantique mathématique des systèmes dynamiques, la commande adaptative et les statistiques. La théorie floue, elle, se chevauche avec ces sémantiques et en plus avec les probabilités, la logique mathématique et les théories de mesure. En général les systèmes neuronaux et flous sont utilisés pour améliorer les performances des systèmes réels.

La structure du réseau superviseur est spécifiée par une combinaison entre le raisonnement flou mixte de Takagi-Sugeno et de Mamdani.

I. INTRODUCTION

Le nombre des véhicules dans les intersections successives et le temps sont des contraintes dont en fonction notre projet où le système intelligent consiste à changer son état intelligemment selon plusieurs facteurs, le système conçu est en communication avec d'autres systèmes de même type. Comme première phase de notre travail, une modélisation classique du problème s'avère nécessaire, ensuite le développement de ce modèle peut être validé en utilisant le logiciel MATLAB par des tests et analyses.

Dans ce chapitre on a proposé cinq situations de cas d'intersection:

1. Contrôle semi intelligent des feux de circulation ;
2. Contrôleur des feux de circulation à la base de logique flou ;
3. Première approche intelligent a deux entrées MTLAB « neuro-flou » ;
4. Deuxième approche intelligent à cinq entrées en neuro-flou « 1ère proposition » ;
5. Contrôle à neuro-flou des feux de circulation dans un groupe de trois intersection « 2ème proposition » ;

II.FEUX ROUGE CLASSIQUE

Le feu rouge classique est basé sur une durée fixe pour chaque couleur comme montré dans le tableau III.1:

Tableau III.1.durée de permutation des couleurs dans un feu rouge classique

couleur	Durée en seconde
Vert	30
Orange	3
rouge	33

Dans ce cas plusieurs problèmes peuvent être rencontrés :

- La durée de rouge plus grand par rapport au vert implique un problème de la circulation surtout au niveau de la rue principale ;
- Ces valeurs sont fixes alors il y a des cas qui ne sont pas pris en considération, par exemple s'il y a un nombre de voitures assez grand dans la rue principale par rapport à la ruelle secondaire ;

- La notion de priorité dans la rue principale n'apparaît pas avec ce modèle ;
- Les informations de l'intersection en aval n'est pas prise prises en compte ;

A cet effet, on a proposé trois approches pour améliorer ce système :

1. Un modèle semi intelligent ;
2. Un modèle intelligent basé sur la notion de priorité de la rue principale et le nombre des véhicules dans chaque rue avec une communication entre trois intersections successives;
3. Un modèle intelligent basé sur la notion de priorité de la rue principale et le nombre des véhicules dans chaque rue et même le temps arrivée à intersection concernée avec une communication entre trois intersections successives ;

III.CONTRÔLE SEMI INTELLIGENT DES FEUX DE CIRCULATION

En un premier lieu, on a supposé un modèle d'intersection à dix voies dans ce cas on a fixé les durée de chaque couleur et on a placé des capteurs pour détecter le nombre des véhicules dans la rue principale et la rue secondaire et selon le résultat des capteurs indiquant les véhicules on a changé la durée du feu vert.

On a proposé une architecture d'intersection qui contenait une route principale à trois voies et une rue secondaire à deux voies comme l'illustre la figure III.1.

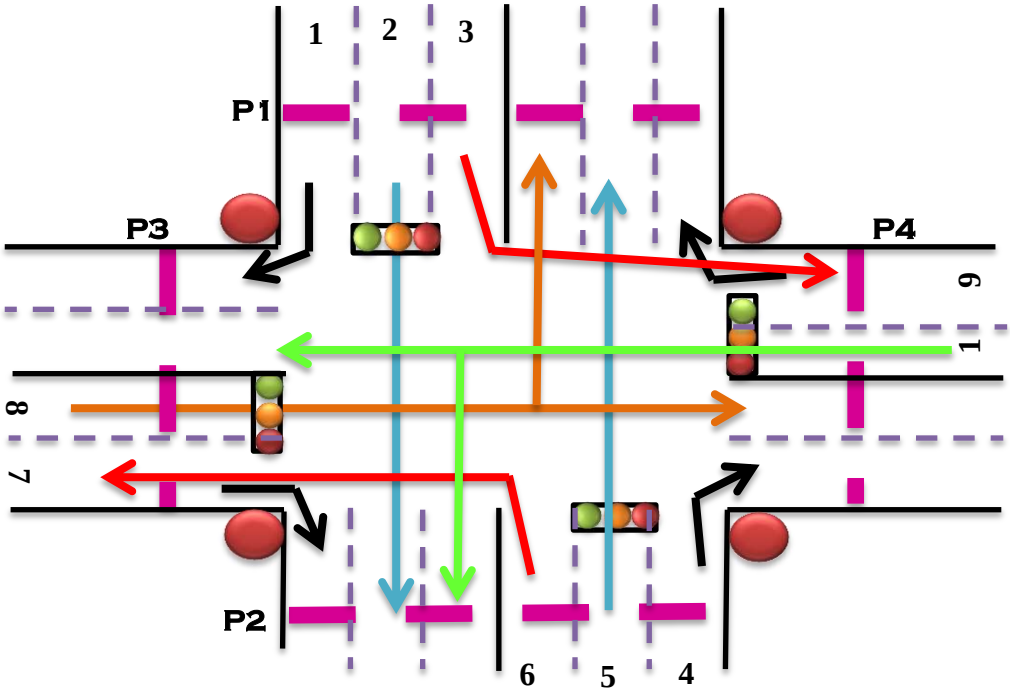


Figure III.1 schéma synoptique d'intersection

On a présenté ce système avec une machine d'état fini codé en VHDL ; le système semi intelligent fonctionne selon le tableau III.2:

Tableau III.2.fonctionnement du feu de circulation semi intelligent

LA DURÉE DU FEU EN SECONDES	NUMÉRO DES VOIES										NUMÉRO PASSAGE DES PIÉTONS			
	2	5	8	10	6	3	1	4	7	9	P1	P2	P3	P4
130	V	V	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	V	V
15	O	O	R	R	R	R	V	V	V	V	R	R	R	R
10	O	O	R	R	R	R	O	O	O	O	R	R	R	R
2	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
30	R	R	R	R	V	V	V	V	V	V	R	R	R	R
15	R	R	R	R	O	O	V	O	O	V	R	R	R	R
8	R	R	R	R	O	O	O	O	O	O	R	R	R	R
2	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
30	R	R	V	R	R	R	V	R	R	V	R	R	R	R
8	R	R	O	R	R	R	O	V	V	O	R	R	R	R
5	R	R	O	R	R	R	O	O	O	O	R	R	R	R
2	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
30	R	R	R	V	R	R	R	V	V	R	R	R	R	R
8	R	R	R	O	R	R	R	O	O	R	R	R	R	R
2	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R

Sachant que les numéros 1-10 représentent les rues et P1-P4 représentent le passage des piétons et la première colonne représente la durée du feu en seconde.

Schéma synoptique de circuit proposé donné par la figure III.2 :

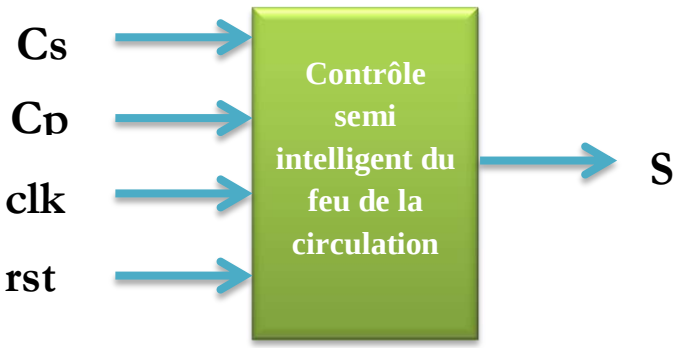


Figure III.2 circuit de contrôle semi intelligent du feu de la circulation « implémentation VHDL »

III.1.IMPLIMENTATION VHDL

III.1.1.ENTITE VHDL

L'entité du circuit décrit est donnée par l'entité suivante :

```
entity TP1 is
port(clk,rst,Cs,Cp:in std_logic;
     S:out std_logic_vector(6 downto 0)
     );
end tp1;
```

Ou les **entrées** sont :

Clk : l'horloge.

Rst : mise à état initial.

Cp : capteur route principale, qui compte le nombre des véhicule existant dans la rue principale.

Cs : capteur route secondaire, qui compte le nombre des véhicule existant dans la rue secondaire.

La sortie :

S : représentation du temps prolongé du feu vert, selon le tableau III.2.

III.1 .2.MACHINE D'ETAT

C'est la partie la plus essentielle de notre système qui permet de gérer toutes les entrées de manière séquentielle avec précision, elle est donnée par dans figure III.3.

Sachons que les temps :

T1=3s ;

T2=10s ;

T3=30s ;

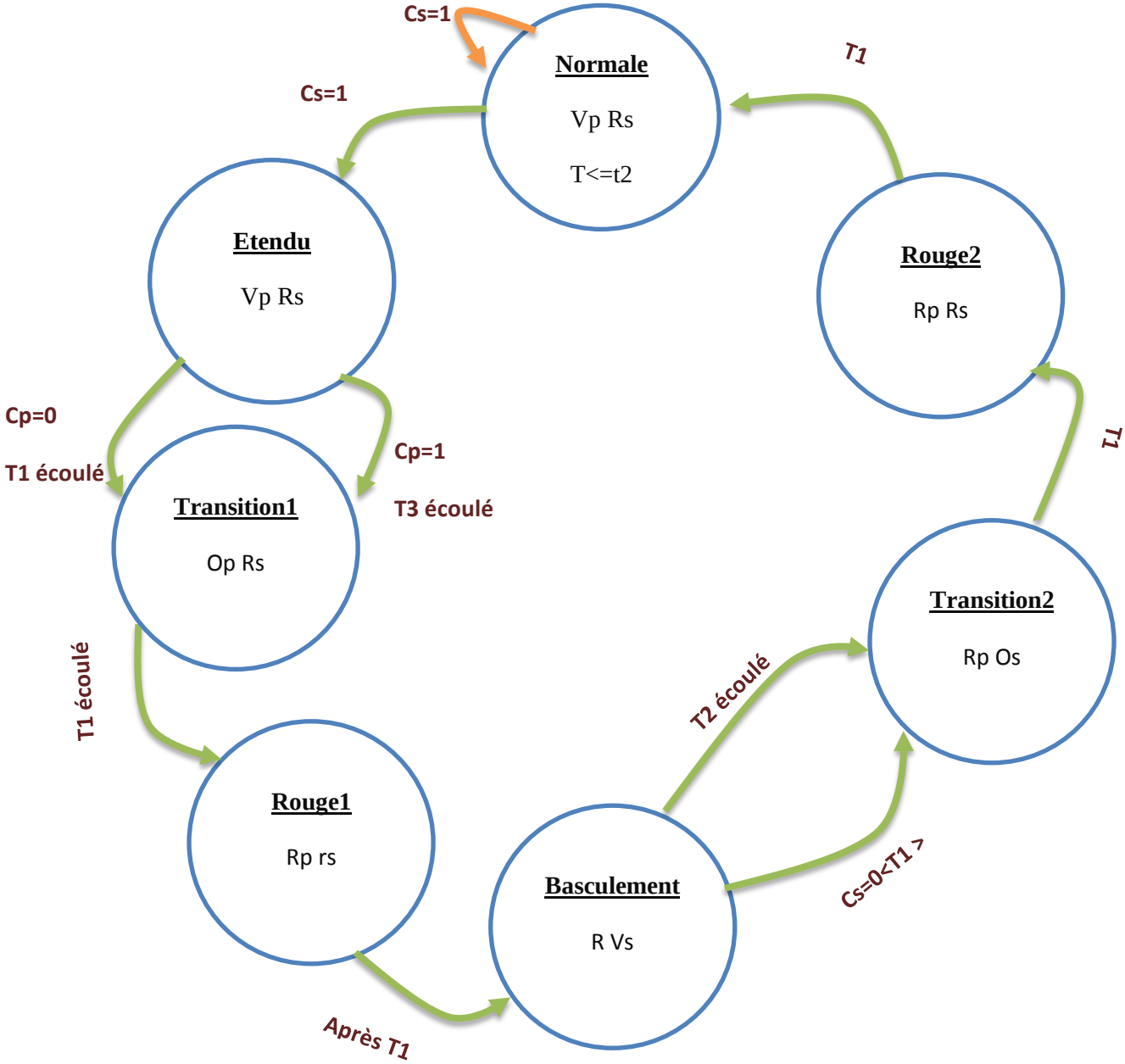


Figure III.3.Machine d'état

III.1.3.Description les états

- **Etat normale VpRs:** le feu de la route principale est vert et celui de la secondaire est rouge ; quand Cs=1, l'état normale se prolonge de T2 et le système passe à l'état étendu.
- **Etat étendu VpRs :** le système passe à l'état transition1 si :
  1. Cp≠1 et un temps T1 est écoulé

  Ou

  2. Cp=1 et T3 est écoulé
- **Etat transition1 OpRs:** le système passe à l'état rouge1 si temps T1 est écoulé

- **Etat rouge1 RpRs:** le système passe à l'état basculement après un temps T1
- **Etat basculement RpVs :** le système passe à l'état transition si :
    1. Un temps T2 s'est écoulé.
    2. Cs≠1 pendant T1.
- **Etat transition2 RpOs :** le système passe à l'état rouge2 après T1.
- **Etat rouge2 RpRs :** le système passe à l'état normal après T1.

L'idée générale est donc d'utiliser un « case » sur les états avec des « if » pour gérer l'ensemble des transitions. L'ajout d'une initialisation synchrone se fait dans le « if clk'event».On peut présenter le schéma synoptique de machine d'état dans la figure III.4.

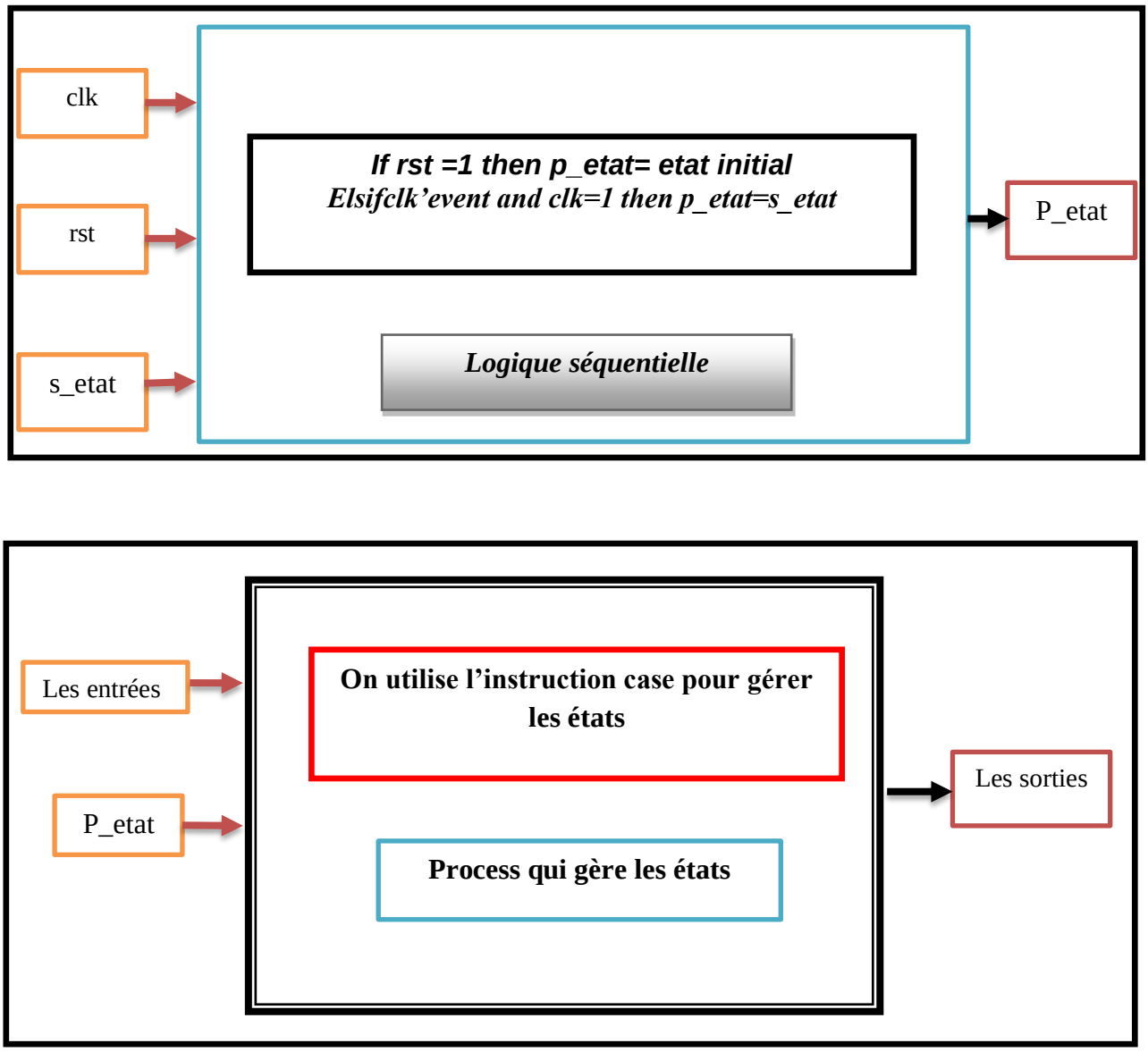


Figure III.4.Schéma synoptique de process de la machine d'état.

III.2.SIMULATION

- **Etat normale :** c'est l'état initial qui permet d'initialiser toutes les variables utilisées. Si la valeur de **Cs =1** le système reste dans l'état normale jusqu'à ce que le temps T<=t2 une fois T>t2 le système passe à l'état suivant **Etat étendu.**



Figure III.5. Résultat de simulation : l'état normale passe à l'état étendu pour Cs=1

- **Etat étendu:** on a distingué deux cas :

1ere cas : quand la valeur **Cp=0** le système passe à l'état suivant **état de transition1** avec T1 écoulé**.**

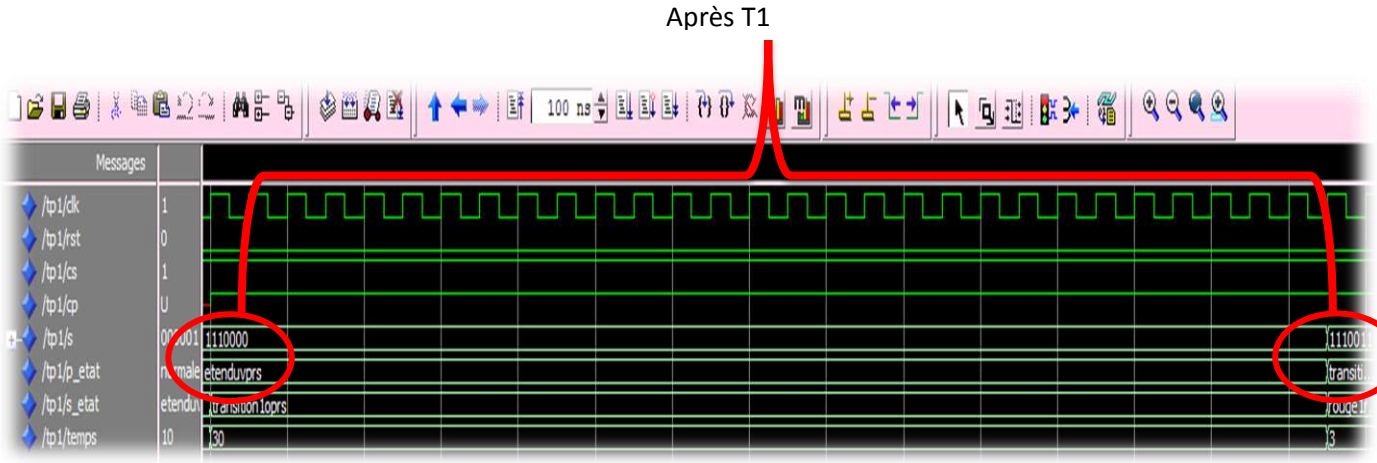


Figure III.6.1. Résultat de simulation : l'état étendu passe à l'état transition1 pour Cp=0

2eme cas : quand la valeur **Cp=1** le système passe à l'état suivant **état de transition1** avec T3 écoulé**.**

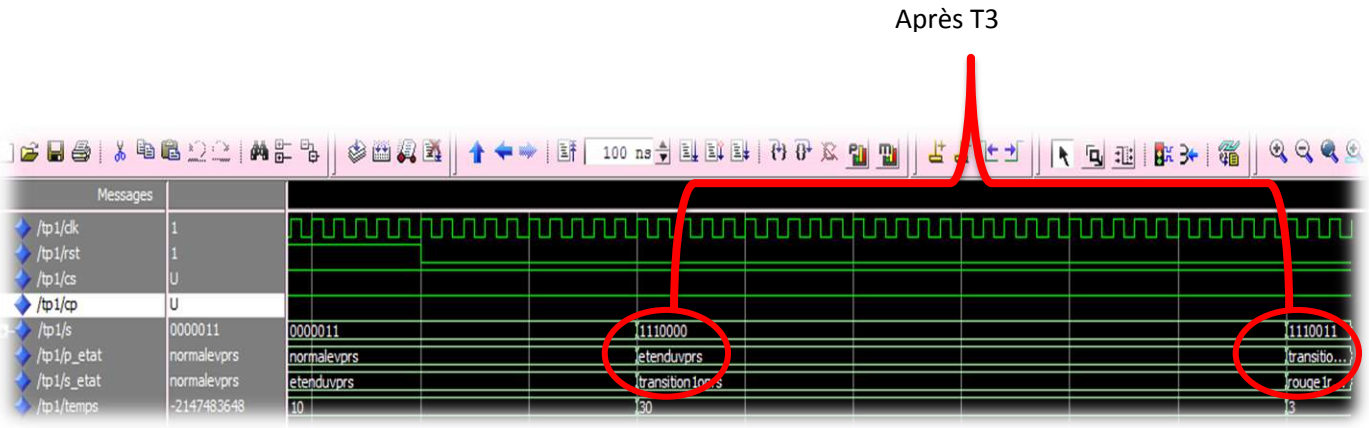


Figure III.6.2 Résultat de simulation : l'état étendu passe à l'état transition1 pour Cp=1

- **Etat transition1:** le système passe à **état rouge1** après T1**.**

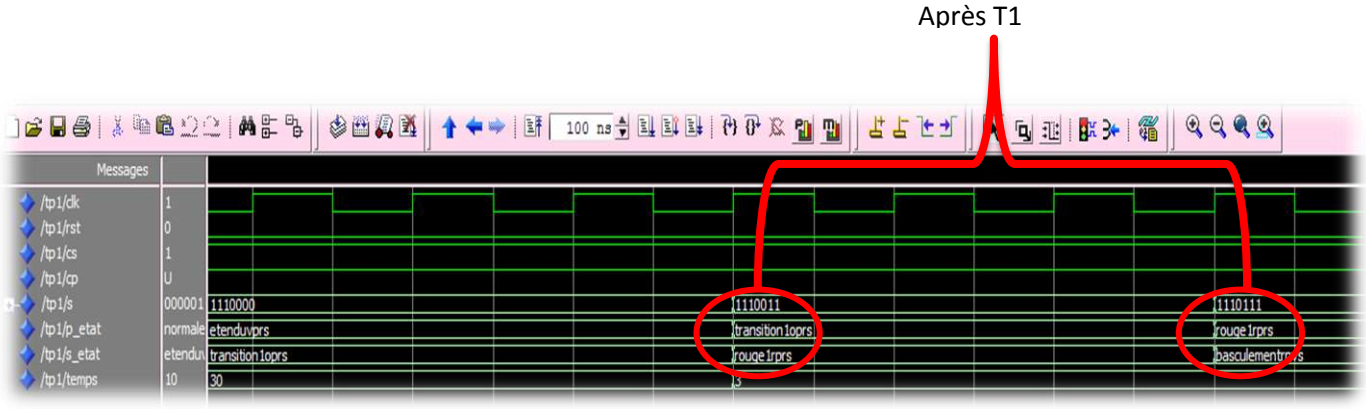


Figure III.7.Résultat de simulation : l'état transition1 passe à l'état rouge1 pour T1 écoulé

- **Etat rouge1:** le système passe à **état basculement** après T1**.**

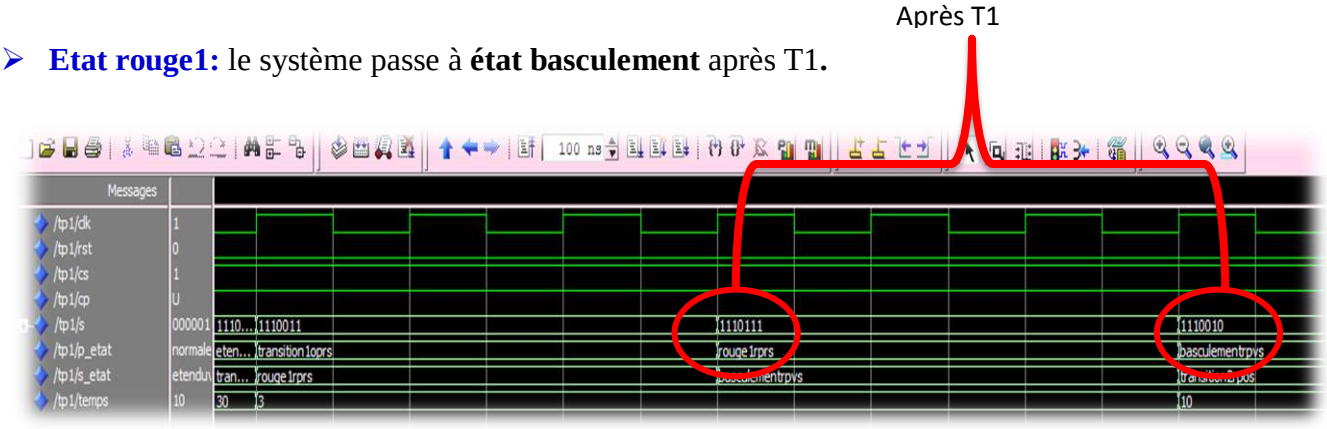


Figure III.8.Résultat de simulation : l'état rouge1 passe à l'état basculement après T1

➢ **Etat basculement:** on a distingué deux cas :

1ere cas : la machine d'état passe à l'**état transition2** a

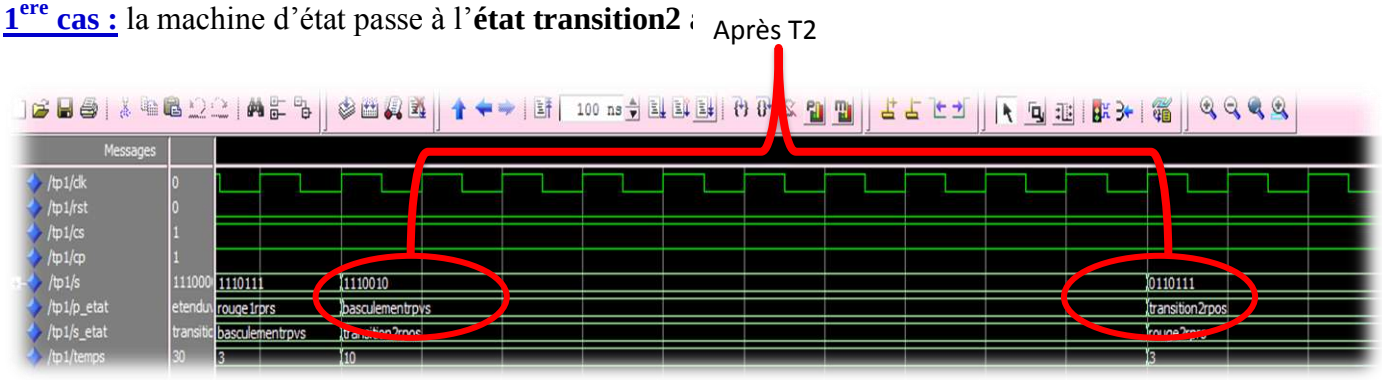


Figure III.9.Résultat de simulation : l'état basculement passe à l'état transition2 après T1

2eme cas : machine d'état passe à l'**état transition2** quand la valeur de Cs≠1 pendant T1**.**

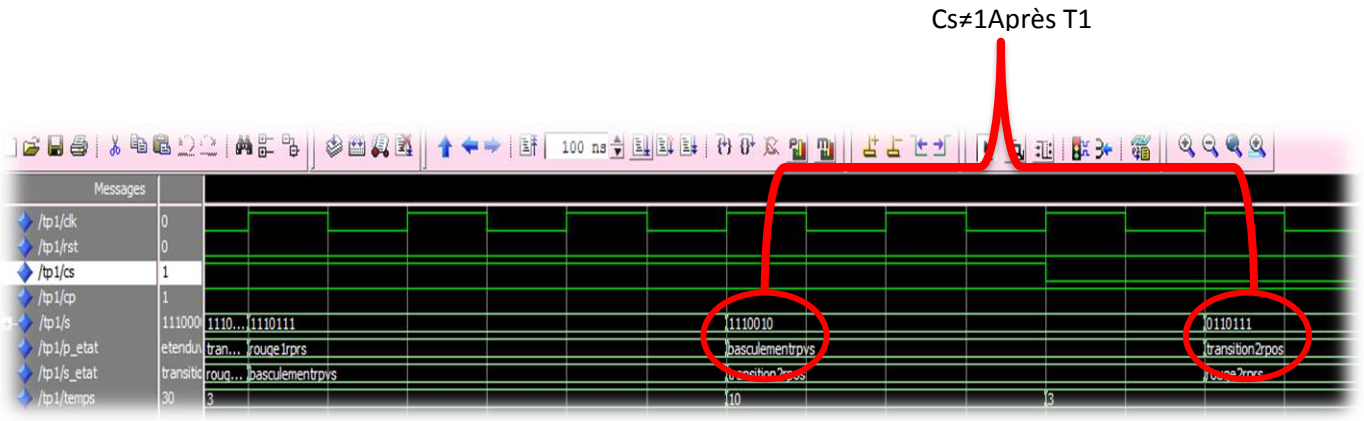


Figure III.10.Résultat de simulation : l'état basculement passe à l'état transition2 si Cs≠0 pendant T1

➢ **Etat tansition2:** le système passe à **état rouge2** après T1**.**

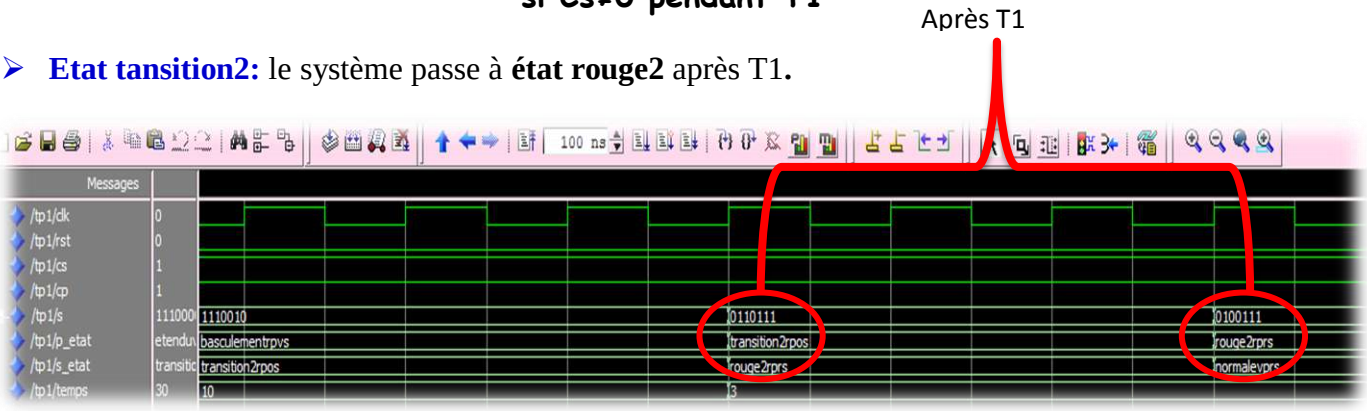


Figure III.11.Résultat de simulation : l'état transition2 passe à l'état rouge2 si T1 écoulé

- **Etat rouge2:** le système revient à l'état initial : **état Normale** après T1**.**

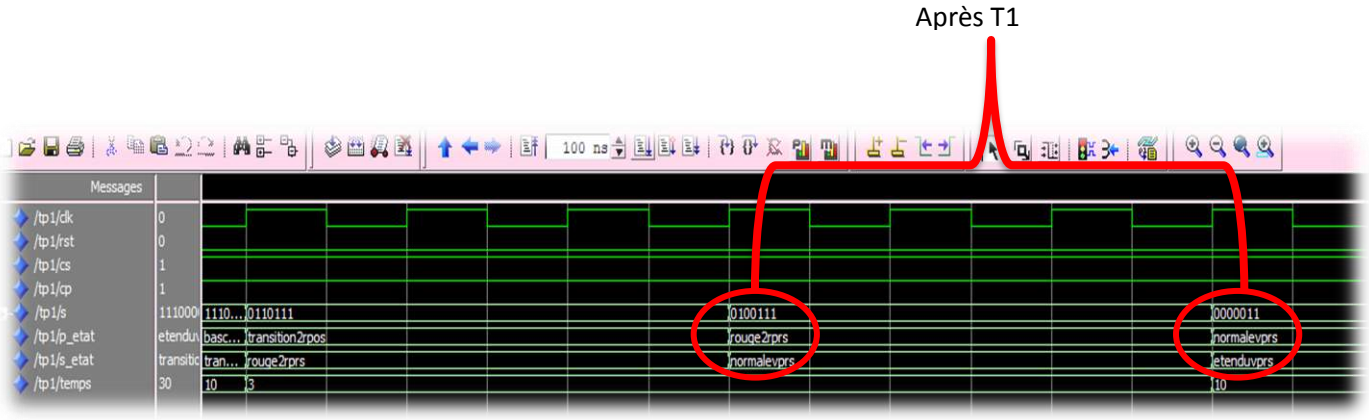


Figure III.12.Résultat de simulation : l'état rouge2 passe à l'état normale si T1 écoulé

IV.CONTROLEUR DES FEUX DE CIRCULATION A BASE DE LOGIQUE FLOUE

Cette méthode est très utile lorsque l'on se trouve confronté à des systèmes qui ne sont pas, ou difficilement modélisables ; De même, cette méthode est très avantageuse si l'on possède un bon niveau d'expertise humaine. En effet, il faut fournir au système flou toute une base de règles exprimées en langage naturel pour permettre de raisonner et de tirer des conclusions. Plus l'expertise humaine d'un système est importante et plus on est capable d'ajouter des règles d'inférences au système. La logique floue permet donc de contrôler des systèmes complexes non forcément modélisables de façon "intuitive".

Le développement d'un contrôleur en logique est très simple il suffit d'accéder à la boîte à outils FUZZY LOGIC de MATLAB.

Dans ce cas on a utilisé la toolbox FUZZY avec la méthode MAMDANI de façon que les facteurs soient responsables du changement de la durée du feu vert ; dans ce cas les données suivantes sont considérées :

- Le nombre des véhicules maximal existant au niveau de l'intersection concernée;
- Le débit des véhicules au niveau de l'intersection concernée c'est à dire le nombre maximal des véhicules existant par minute;

Le schéma synoptique du circuit correspondant est donné dans la figure III.13 :

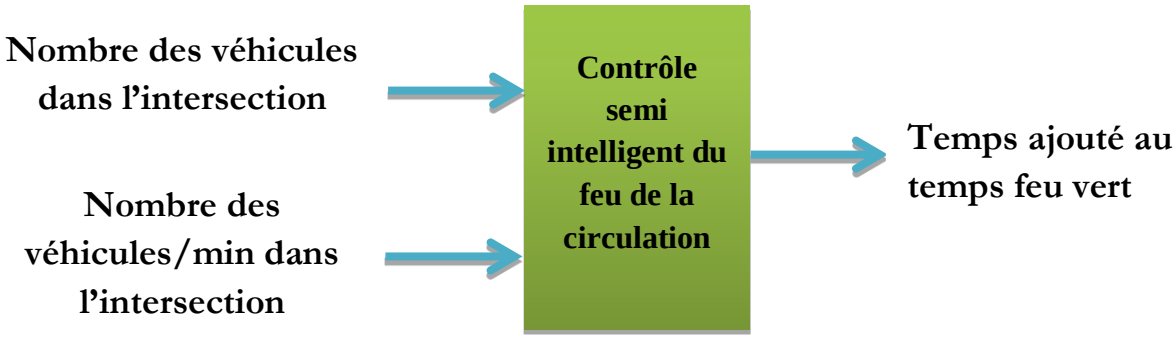


Figure III.13 Système contrôleur floue du feu de circulation

On a voulu appliquer ce système proposé sur une intersection très fréquentée au centre-ville de Médéa.

On a observé le nombre des véhicules ainsi que le débit réel au niveau de deux intersections au niveau de la grande poste ainsi que la place du 1^{ér} novembre au centre ville.

IV.1.FONCTION D'APPARTENANCE

En premier lieu il faut définir l'univers de discours de chaque entrée ; la figure III.14 représente le nombre des véhicules dans une intersection.

- Nbrveh : Input1 : cinq classes ;
- Nbrveh/min : Input2 : cinq classes ;
- deltaT : Output : trois classes ;

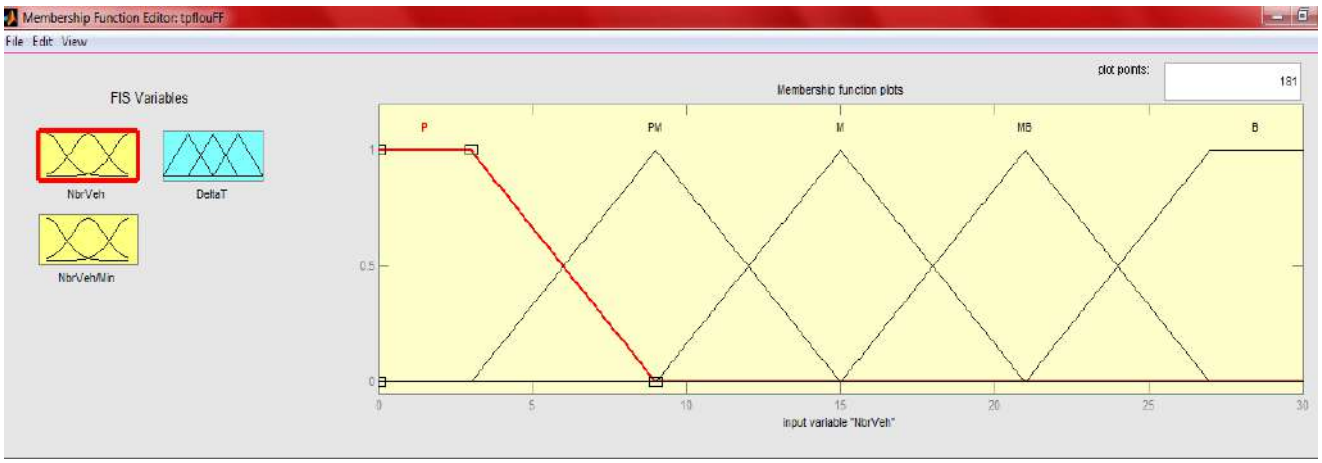


Figure III.14 présentation le nombre des véhicules dans l'intersection

La figure III.15 représente le débit des véhicules dans une intersection.

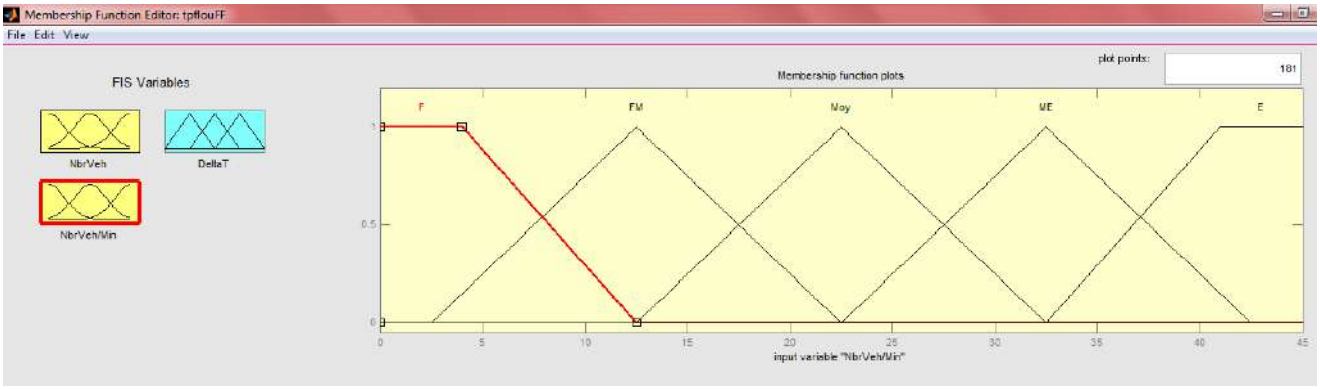


Figure III.15 présentation le débit des véhicules dans l'intersection

La sortie représente le temps nécessaire qui doit être ajoutée au temps initial de feu vert comme montré dans la figure III.16

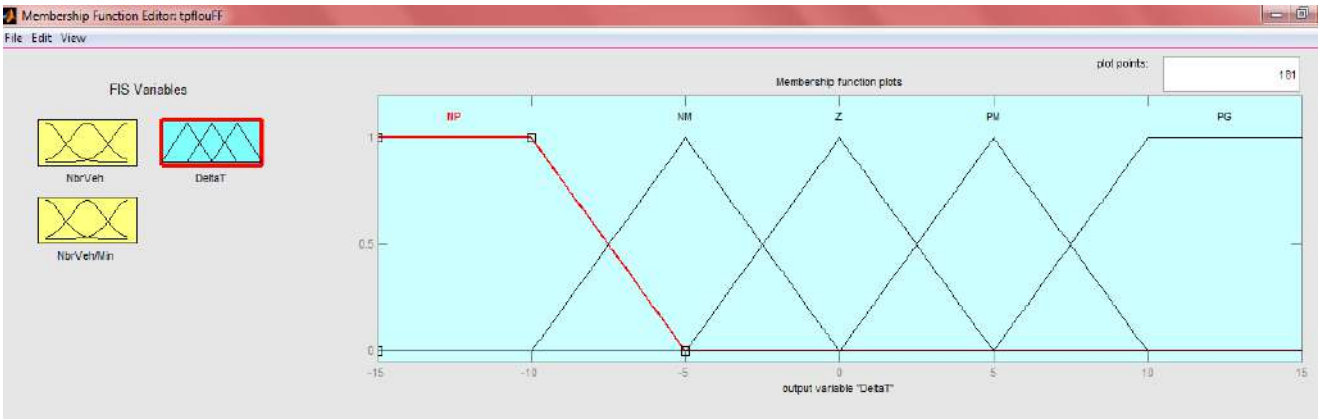


Figure III.16 présentation de la durée qui doit être ajoutée au feu vert

IV.2. VARIABLE LINGUISTIQUES

La logique floue basée sur des variables linguistiques à valeurs linguistiques dans un univers du discours, chaque valeur linguistique constitue alors un ensemble flou de l'univers du discours

- **Input 1 : Nombre des véhicules** :
  - NbrVeh : [0 30] ;
  - NbrVeh= {P,PM,M,MB,B}

P : petit

PM : petit-moyen

M : moyen

MB : moyen-beaucoup

B : beaucoup

- **Input 2 : Débit des véhicules** :
  - NbrVeh/min : [0 45] ;
  - NbrVeh/min={F,FM,MOY,ME,E}

F : faible

FM : faible-moyen

MOY : moyen

ME : moyen-élevée

E : élevée

- **Output : DelatT**
  - Deltat : [-15 15] ;
  - Delatt={NP,Z,PG }

NP : négatif-petit

NM : négatif-moyen

PM : positif-moyen

Z : environ de zéro

PG : positif-grand

IV.3. LES REGLES FLOUE

Les systèmes à logique floue traitent de variable d'entrée floues et fournissent de résultats sur des variables de sorties elle-même floues.

Le tableau III.3 montre l'étape qui consiste en la quantification floue des valeurs réelles d'une variable.

Tableau III.3 présentation des règles floue

		Nbre veh/min				
		F	**FM**	**MOY**	**ME**	**E**
Nbre veh	P	NP	NP	Z	Z	Z
	PM	NP	NP	Z	Z	Z
	M	Z	Z	Z	Z	PG
	MB	Z	Z	Z	PG	PG
	B	Z	Z	PG	PG	PG

IV.4.RESULTAT DE FLOU

A l'aide de Rule Viewer on peut testé et validé notre résultat. On a pris 20 valeurs aléatoires, le tableau III.4 contient les résultats de ces valeurs

Tableau III.4 quelques résultats de tests

Nbre veh	Nbre veh/min	Delta T		Nbre veh	Nbre veh/min	Delta T
27	42.1254	11.1516		25	34.3468	10.8798
7	30.7435	-1.6150		5	37.1902	-0.6167
4	43.2951	0.9382		15	25.8059	5.0967
7	19.7088	-4.1299		30	35.6662	10.8702
10	42.3151	6.5717		11	14.8069	-1.7602
8	0.2625	-5.4848		1	10.0558	-10.9466
28	27.4638	10.6730		6	14.0574	-6.7622
1	36.0484	-2.9132		12	26.3036	2.4567
18	10.4842	2.3529		10	37.3461	3.7998
5	41.9611	1.3526		7	13.0708	-6.9155

Les résultats montré dans du tableau III.4 montre que le temps delta T est prolongé quand le nombre des véhicule est élevé.

V.CONTROLE MODELE INTELLIGENT EN MATLAB « ANFIS GUI »

Cette méthode combine un algorithme de la rétro propagation de l'erreur par la descente de gradient pour l'optimisation des paramètres non linéaires (les paramètres de la première couche) avec une estimation des moindres carrée pour l'estimation des paramètres linéaires (les paramètres de la quatrième couche).

Dans notre travail on s'intéresse à la classification des paramètres qui influer sur le changement d'un feu vert par une approche neuro-floue est d'en comparer les résultats obtenus avec les résultats des autres approches.

Pour construire un circuit neuro-floue on a proposé l'architecture montrée dans la figure III.17 :

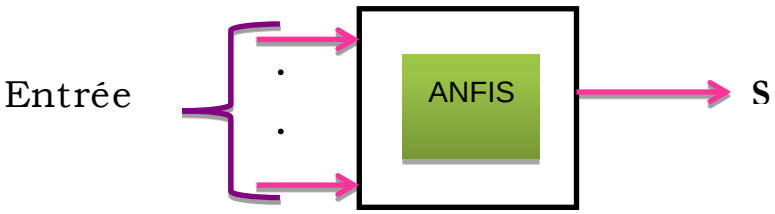


Figure III.17.architecture d'un circuit intelligent d'un feu vert

De cette façon les paramètres d'entrée représentent les facteurs qui influent sur le changement du feu vert et la sortie S représente le temps ΔT qui doit être ajouté au temps initial du feu vert ; dans notre projet on a fixé le temps de tous les feux « vert, orange et rouge », l'intelligence de notre feu apparait dans le changement de temps du feu vert qui dépend des paramètres d'entrée comme l'illustre la figure III.18

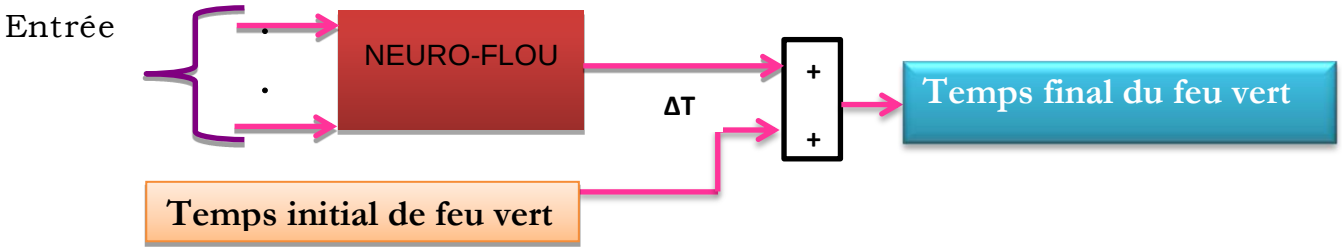


Figure III.18.description du principe d'intelligence du feu vert

V.1.PREMIERE APPROCHE INTELLIGENT A DEUX ENTREES EN MATLAB « NEURO-FLOU »

Dans cette approche, notre but est de réaliser un feu de circulation qui peut changer intelligent selon le nombre des véhicules dans la rue principale et secondaire comme le montre la figure III.19, pour cela, on a choisi ces paramètres comme entrée du système neuro flou.

A : nombre des véhicules de la rue principale entrants à l'intersection concernée;

B : nombre des véhicules de la rue secondaire entrants à l'intersection concernée ;

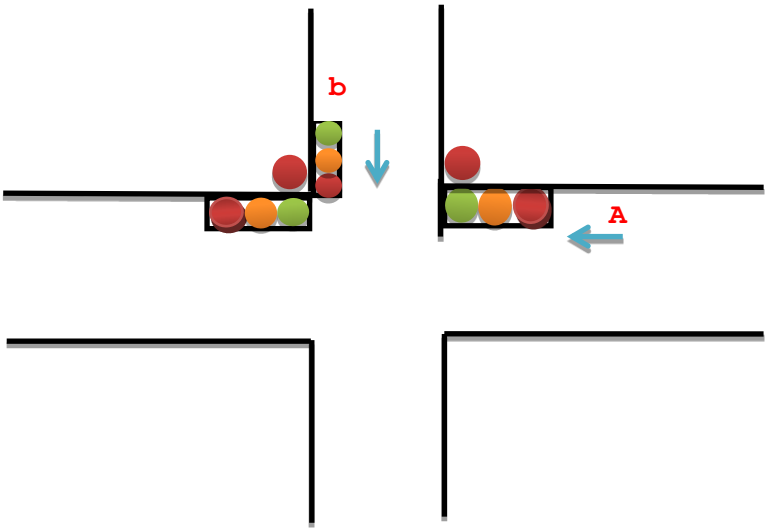


Figure III.19. Schéma descriptif des paramètres d'entrée

La figure III.20 représente le circuit neuro flou à deux entrées, la sortie de ce circuit c'est le temps qui doit être ajoute au temps initial de feu vert, alors le changement de temps du feus vert dans ce cas est dépend a nombre des véhicule dans la rue principale et ainsi dans le rue secondaire dans une intersection isolé

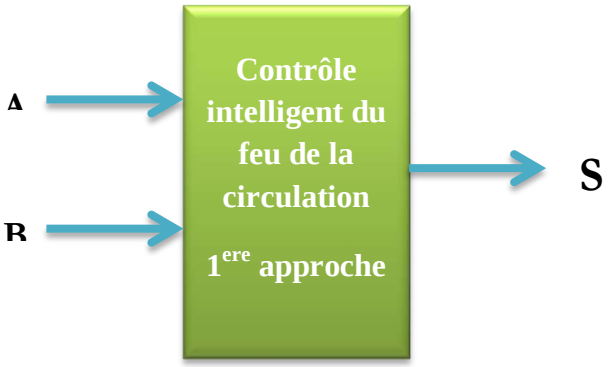


Figure III.20.1ere approche- circuit de contrôle intelligent du feu de la circulation « neuro-flou »

Pour construire le circuit qui est présenté dans la figure III.23 on a proposé l'architecture qui illustré par la figure III.21 :



Figure III.21.architecture d'un circuit intelligent vert « 1ere approche d'un feu»

V.1.1.PREPARATION DE LA BASE DE DONNEE

Due à la multitude des cas possibles, la meilleure méthode pour réaliser notre base de données c'est bien à travers la logique floue « mamdani »; dans cette approche on a pris deux entrées illustrées par la figure III.22. Cette méthode permet de générer cette base en se basant sur le système flou qui est similaire au résonnement humain.

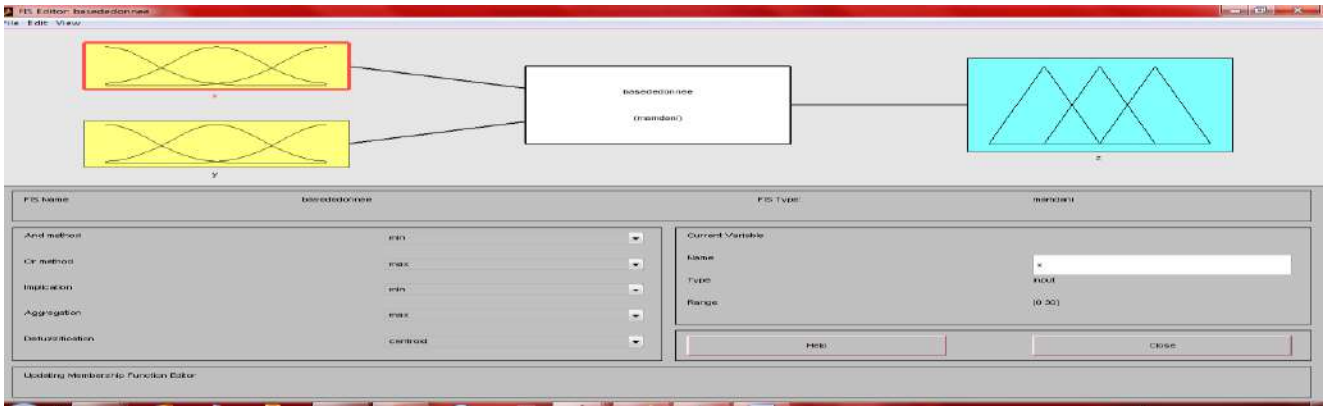


Figure III.22. Les entrées du fuzzy d'un contrôle intelligent

Les résultats obtenus à partir du fuzzy seront enregistrés dans un fichier.dat

V.1.2.APPRENTISSAGE AVEC ANFIS GUI

Pour le système neuro-flou on a utilisé le toolbox Fuzzy de MATLAB ; la procédure suivante est adoptée pour l'identification du modèle :

1. Charger le fichier.dat à partir de workspace ou bien à partir un fichier ;

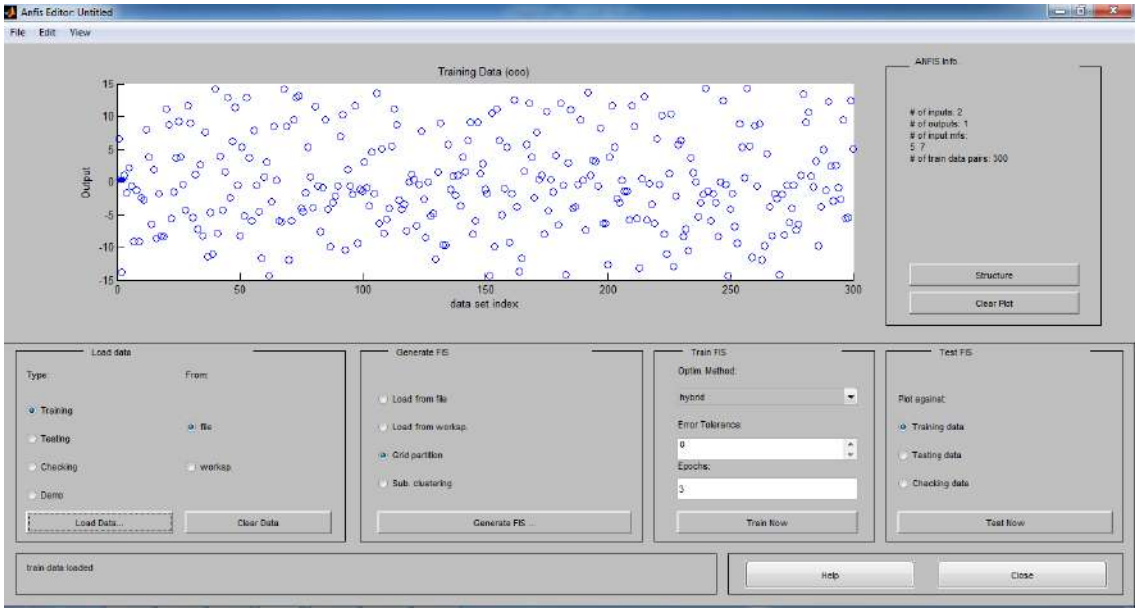


Figure III.23 les entrées du fuzzy d'un contrôle intelligent

2. On choisit le nombre des fonctions d'appartenance d'entrée, le type ainsi que le type de la sortie comme illustré par la figure III.24.

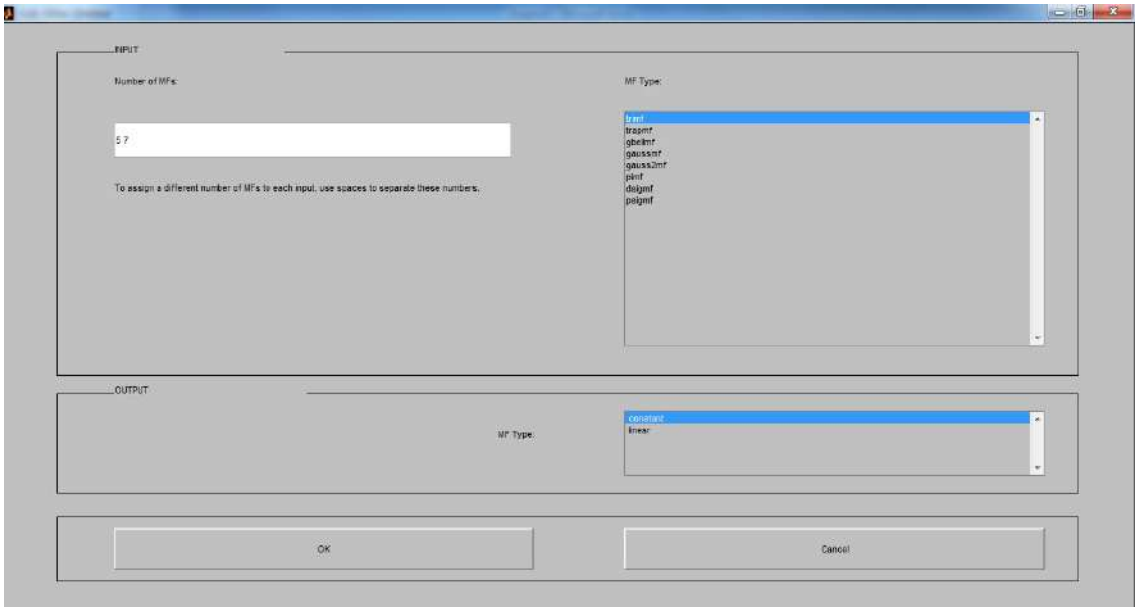


Figure III.24 le choix de paramètre d'entrées du fuzzy d'un contrôleur intelligent

3. Faire un test d'erreur dans notre l'erreur égale à 0.37817, avec cette erreur on fait un test pour avoir la marge d'erreur entre la donnée et l'erreur comme illustré dans la figure III.25.

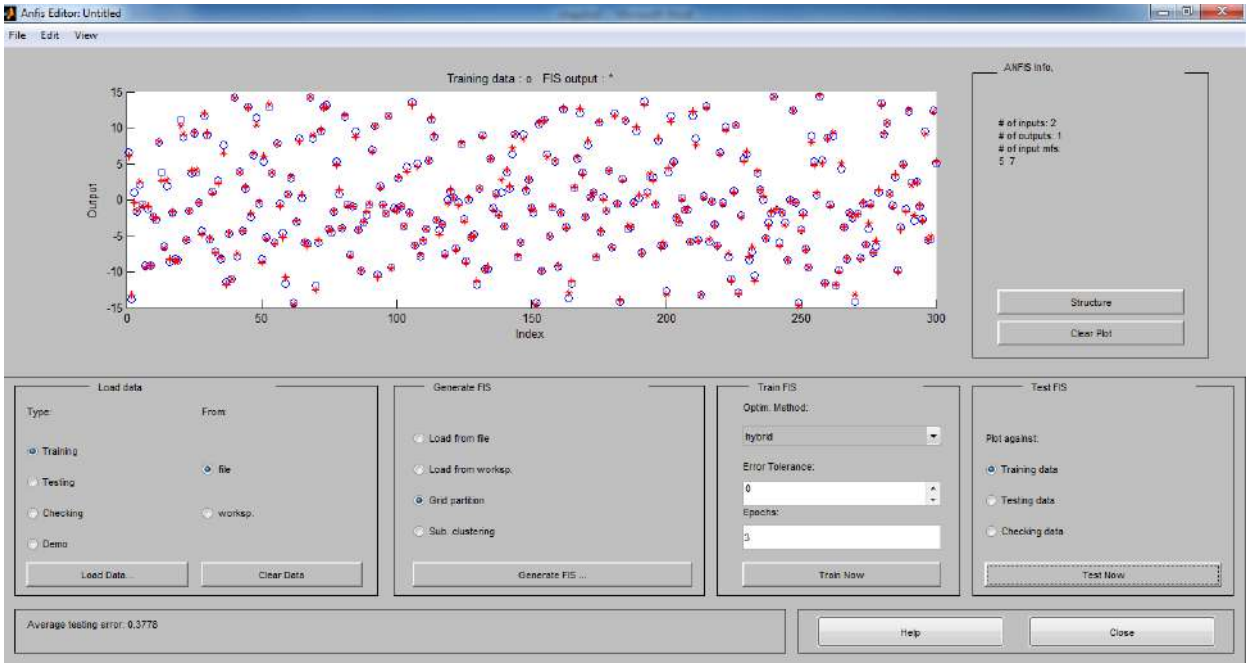


Figure III.25.résultat de test ANFIS de la 1ère approche

La génération des règles au niveau de l'ANFIS sera automatique comme montré dans la figure III.26

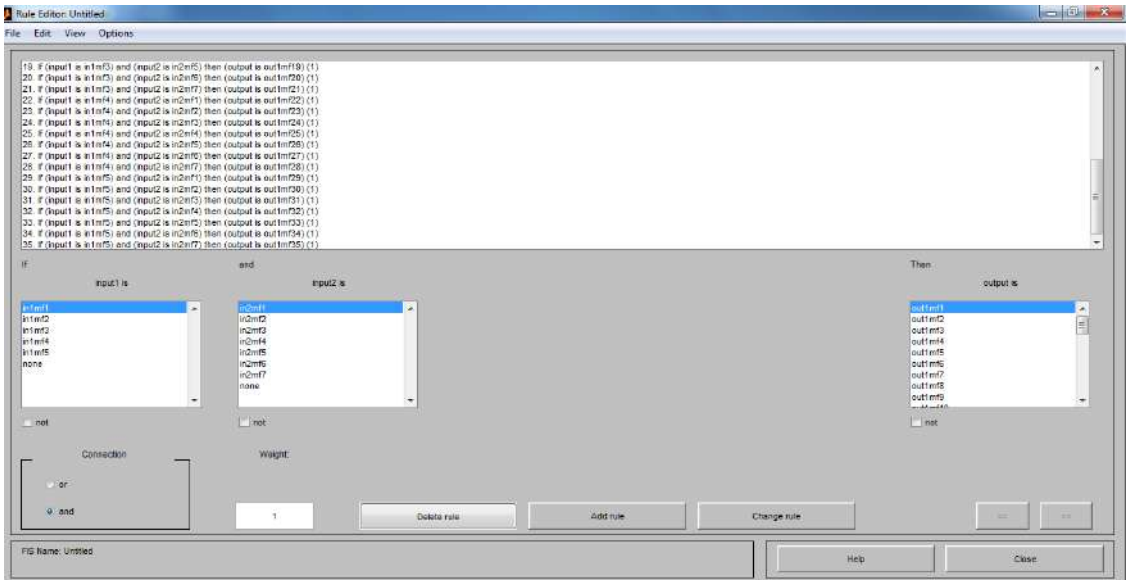


Figure III.26. Les règles génère par ANFIS

Une fois que l'erreur devient acceptable on prend les résultats de l'apprentissage c'est à dire les paramètres des fonctions d'appartenance ainsi que les coefficients des sorties.

Le tableau III.5. Présente les paramètres de chaque entrée et de la sortie et qui représente la première couche de système neuro flou qui déjà présente dans la figure II.4 dans chapitre précédent.

Tableau III.5. Les paramètres des entrées et de sortie d'ANFIS

	Input1			output			output
In1mf1	-7.297 0.1604 7.611		Out11mf1	-1.176		Out11mf19	-3.918
In1mf2	0.1186 7.59 15		Out11mf2	-0.08056		Out11mf20	-6.964
In1mf3	7.515 15.01 22.44		Out11mf3	-3.71		Out11mf21	-9.428
In1mf4	15.02 22.45 29.89		Out11mf4	-6.831		Out11mf22	11.66
In1mf5	22.45 29.88 37.32		Out11mf5	-11.11		Out11mf23	12.13
			Out11mf6	-12.52		Out11mf24	8.436
	Input2		Out11mf7	-15.67		Out11mf25	2.206
In2mf1	-7.433 0.04799 7.507		Out11mf8	5.165		Out11mf26	-1.01
In2mf2	0.05578 7.538 15.01		Out11mf9	0.5858		Out11mf27	-4.042
In2mf3	7.551 15.03 22.5		Out11mf10	-0.7208		Out11mf28	-6.433
In2mf4	15.03 22.51 30		Out11mf11	-4.657		Out11mf29	15.79
In2mf5	22.51 29.99 37.48		Out11mf12	-7.193		Out11mf30	14.44
In2mf6	29.98 37.47 44.96		Out11mf13	-10.24		Out11mf1	12.41
In2mf7	37.47 44.96 52.44		Out11mf14	-12.97		Out11mf32	7.362
			Out11mf15	10.66		Out11mf33	1.385
			Out11mf16	4.765		Out11mf34	-1.176
			Out11mf17	2.019		Out11mf35	-4.116
			Out11mf18	-1.042			

V.1.3.IMPLIMENTATION MATLAB L'APPROCHE DE DEUX ENTRÉE:

A la fin on doit implémenter notre neuro-flou sur MATLAB on a utilisé les paramètres importé de ANFIS, après l'implémentation en vérifier le bon fonctionnement ne nouveau neuro-flou.

Le tableau III.6. Présente la une comparaison entre le modèle ANFIS et résultat MATLAB

Tableau III.6. Comparaison entre résultat MATLAB et ANFIS

X	Y	ANFIS	MATLAB		X	Y	ANFIS	MATLAB
22.5380	3.4134	11.9125	11.9106		10.4995	27.0892	-4.8590	-4.8591
7.6529	2.4278	3.8028	3.8028		5.8979	11.8337	-0.6224	-0.6223
15.1787	23.8859	-1.5056	-1.5028		7.5325	29.4336	-7.0334	-7.0335
20.9723	35.0625	-3.6399	-3.6418		18.4813	31.0147	-2.9796	-2.9808
26.7271	42.0305	-4.0410	-4.0416		14.1987	33.6668	-5.7693	-5.7696
28.7787	5.8458	14.3400	14.3364		10.5498	20.2744	-2.1326	-2.1325
16.4165	25.5971	-1.6448	-1.6434		24.9249	3.7720	12.9699	12.9674
4.1587	21.1226	-5.0036	-5.0031		17.5579	10.3040	6.1526	6.1516
4.4788	0.5356	2.3685	2.3684		16.4917	41.1002	-7.5724	-7.5717
7.7252	15.1705	-0.7182	-0.7182		27.5158	6.8570	13.7746	13.7709
25.2215	7.2982	13.0012	12.9971		8.5752	37.1618	-9.6539	-9.6512

7.6285	35.7428	-9.4880	-9.4851		22.7160	24.2254	1.6314	1.6306
24.4285	14.0047	9.9356	9.9324		22.6119	44.8261	-6.3376	-6.3396
7.3057	23.7840	-5.1906	-5.1898		11.4134	3.5179	5.5717	5.5710
27.8779	7.4542	13.8258	13.8220		17.0346	19.9205	1.1945	1.1952

Apres l'analyse de ces résultats on a bien implémenté un nouveau neuro-flou en MATLAB avec une marge d'erreur négligeable.

V.2. DEUXIEME APPROCHE INTELLIGENT A CINQ ENTREES EN NEURO- FLOU « 1ère proposition » :

Dans cette approche notre but est de réaliser le contrôle d'un feu de circulation qui peut communiquer avec un autre feu dans l'intersection suivante et précédente comme montré dans la figure III.27 et la figure III.28, pour cela on a choisi ces paramètres comme des paramètres d'entrée de notre neuro-flou :

A : nombre des véhicules entrants à l'intersection concernée I 1 « rue principale »;

M : nombre des véhicules entrants à l'intersection suivante I 3« rue principale »;

O : nombre des véhicules entrants à l'intersection précédente I 2« rue principale »;

D : nombre des véhicules entrants à l'intersection concernée « rue secondaire »;

E : nombre des véhicules entrants à l'intersection concerné dans le sens opposé « rue secondaire »;

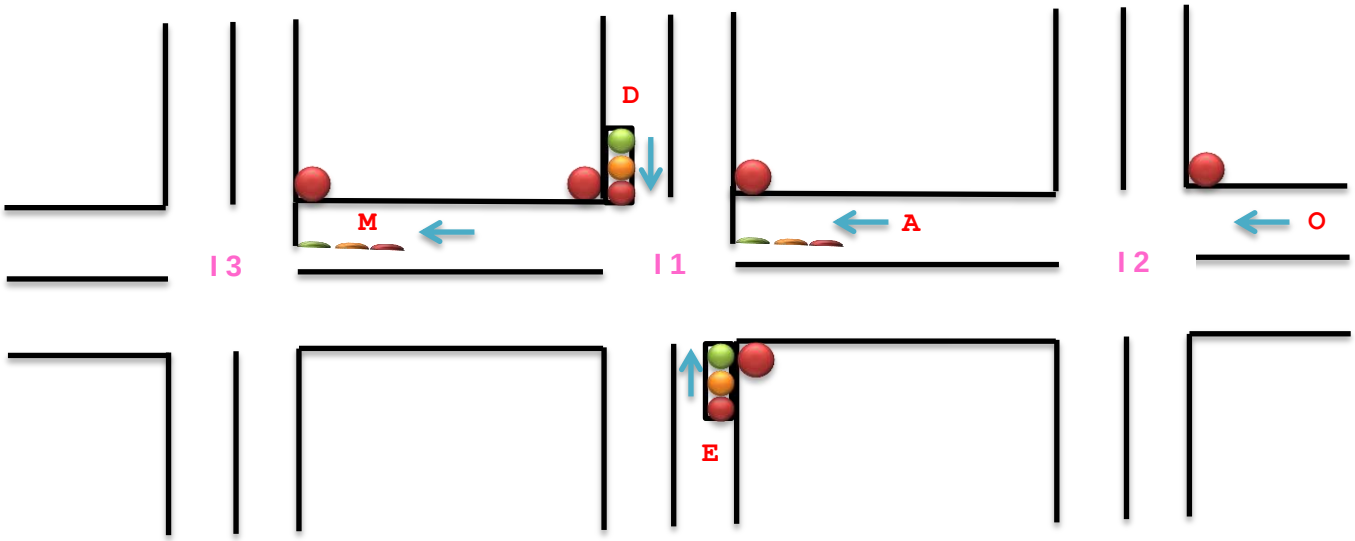


Figure III.27. Schéma descriptif des paramètres d'entrées dans un groupe de trois intersections « 1ère proposition »

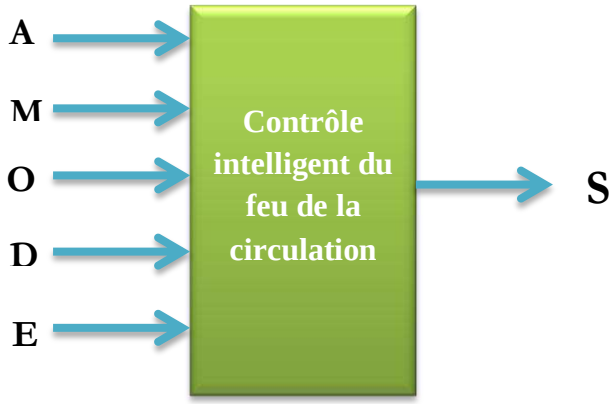


Figure III.28. Schéma synoptique de circuit du contrôle intelligent du feu de la circulation dans un groupe de trois intersection « neuro-flou » «1ère proposition »

Pour construire le circuit qui est présenté dans la figure III.28 on a proposé l'architecture montrée dans la figure III.29:



Figure III.29.architecture de circuit intelligent d'un feu vert dans un groupe de trois intersection « neuro-flou » « proposition 1 »

V.2.1.PREPARATION DE LA BASE DE DONNEE « MAMDANI »

La meilleure méthode pour réaliser notre base de donnée c'est bien à travers fuzzy qui nous permet d'avoir tous les cas possibles ; dans cette approche on a pris cinq entrées (figure III. 30).

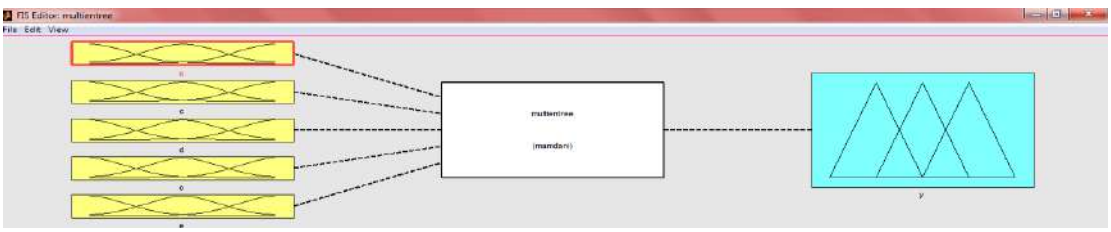


Figure III.30. Les entrées du fuzzy d'un contrôle intelligent

Dans les figures III.31-III.32- III.33-III.34- III.35-III.36 on a présenté l'univers de discours de chaque entrée et de la sortie

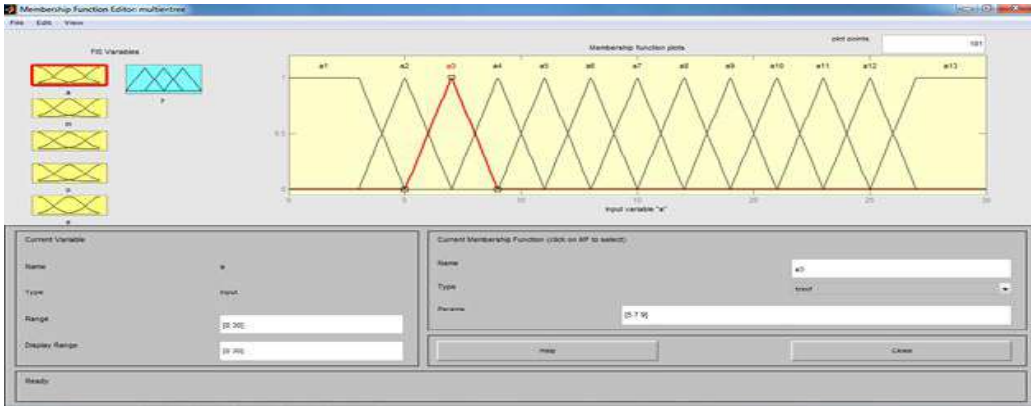


Figure III.31 Répartition de l'univers du discours de la variable d'entrée " A"

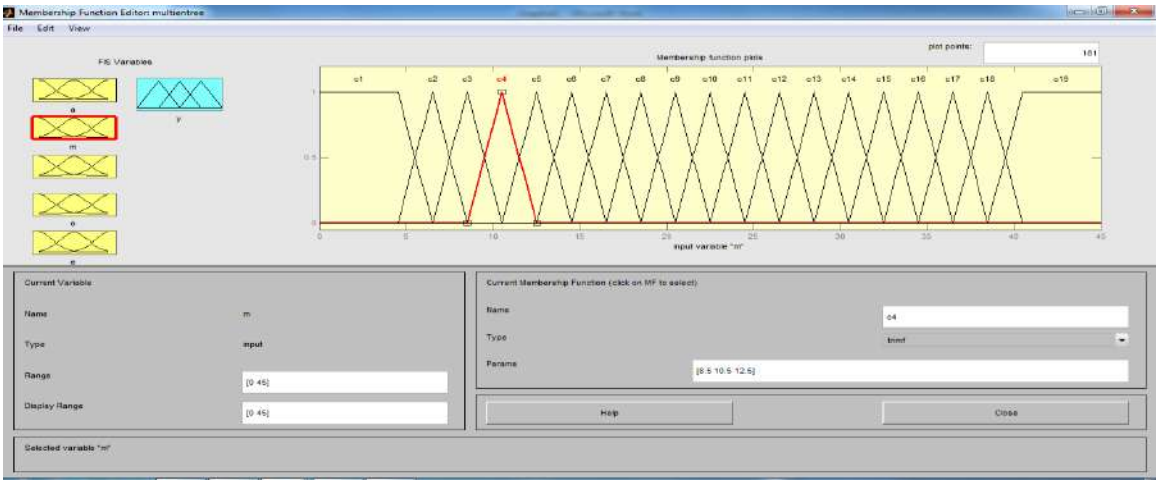


Figure III.32. Répartition de l'univers du discours de la variable d'entrée " M"

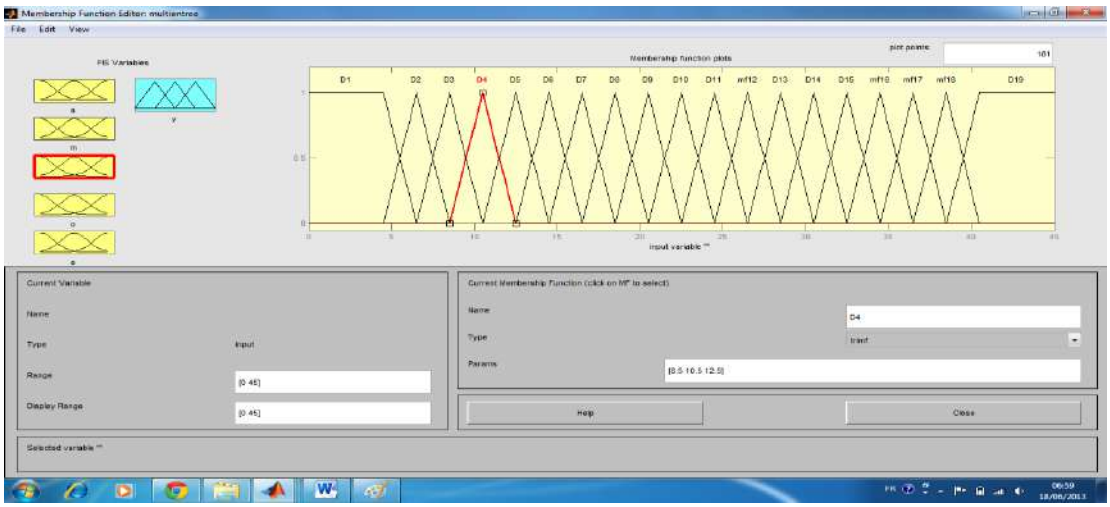


Figure III.33.répartition de l'univers du discours de la variable d'entrée " O"

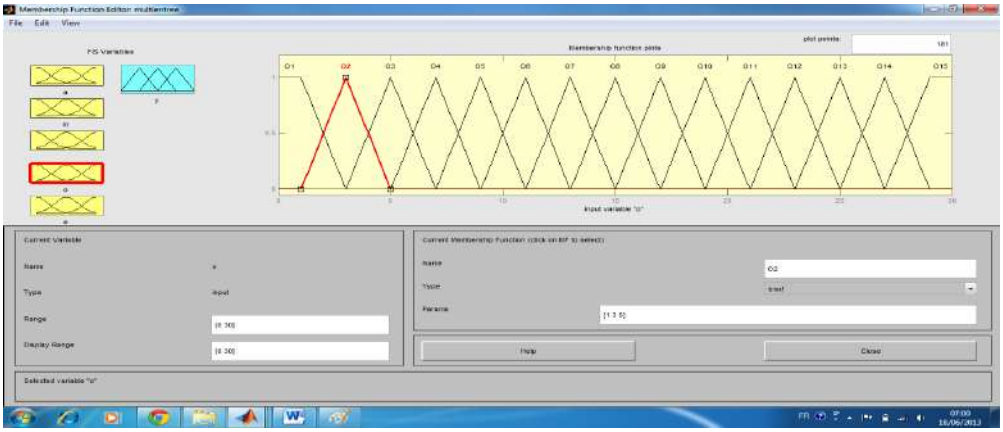


Figure III.34 répartition de l'univers du discours de la variable d'entrée " D"

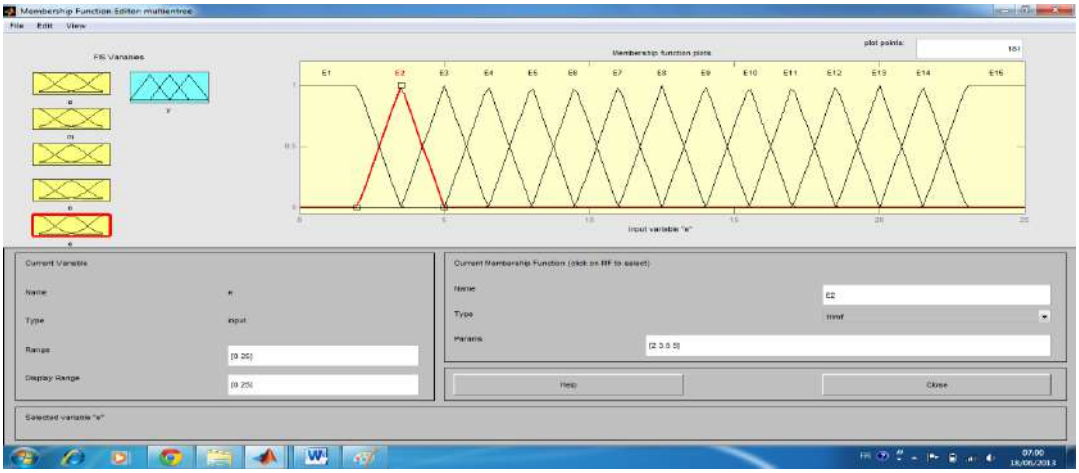


Figure III.35. Répartition de l'univers du discours de la variable d'entrée " E"

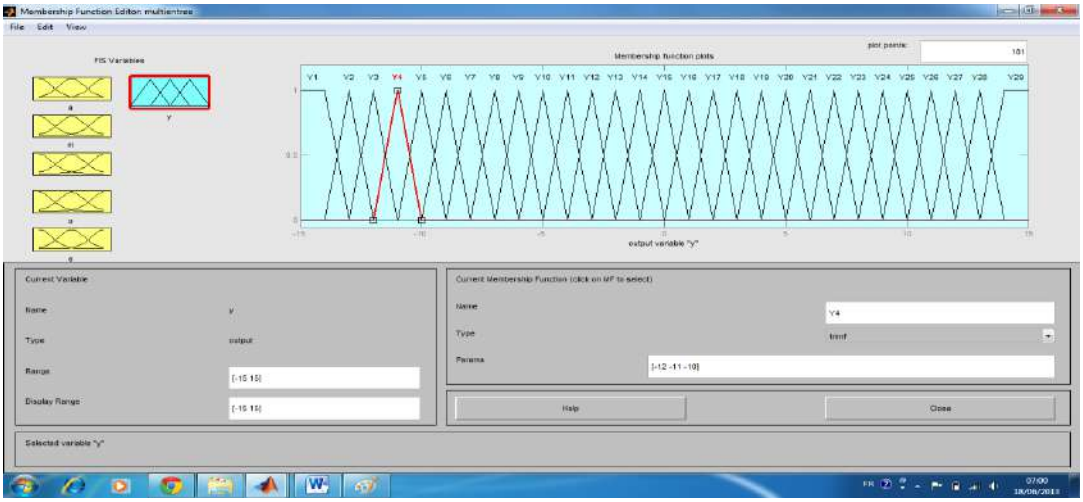


Figure III.36.répartition de l'univers du discours de la variable de sorties "y"

Pour générer la base de donnée d'entré on utilise la commande **" rand"** pour avoir une variété des tables d'entrée et pour bien apprendre, on génère 300 valeurs.

Les résultats obtenus à partir FUZZY sera enregistrées dans un fichier.dat

V.2.2.APPRENTISSAGE AVEC ANFIS GUI « 1ère proposition »

Pour notre neuro-flou bien on a utilisé ANFIS comme moyen d'apprentissage ; on a suivent les étapes suivantes (figure III.37) :

1. Charger le fichier.dat à partir de workspace ;

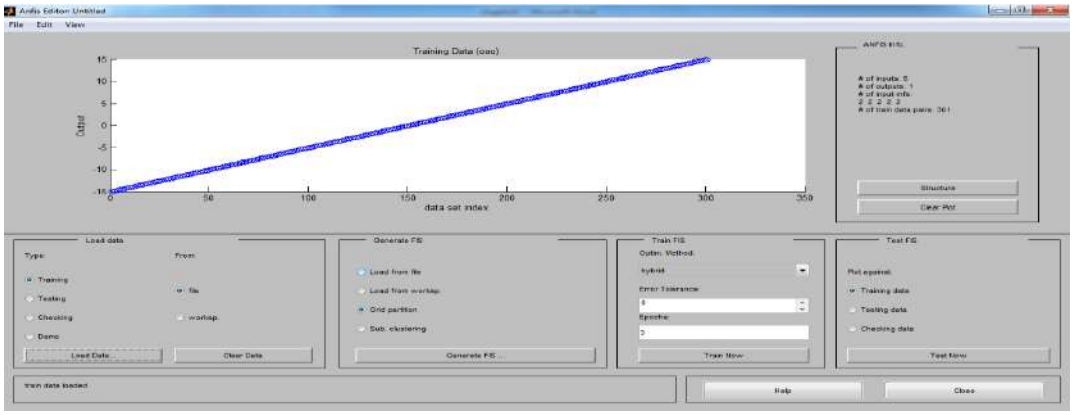


Figure III.37.chargement les résultats des capteurs

2. On génère notre FIS on choisit les nombres de MFs de telle façon on obtient mieux le résultat avec minimum des MFs (des raisons d'implémentation hardware);

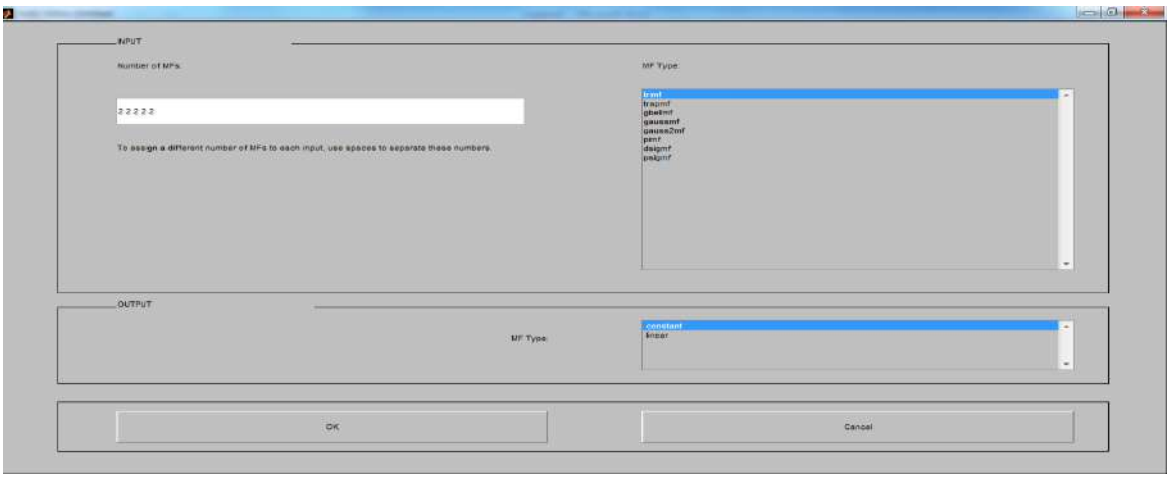


Figure III.38.le choix de type et le nombre de MFs

La probabilité d'erreur est très importante pour avoir la marge d'erreur, pour cela on a testé la tolérance d'erreur, pour ce cas on a trouvé l'erreur égale à 0.Maintenant on teste la marge d'erreur avec notre base des données.

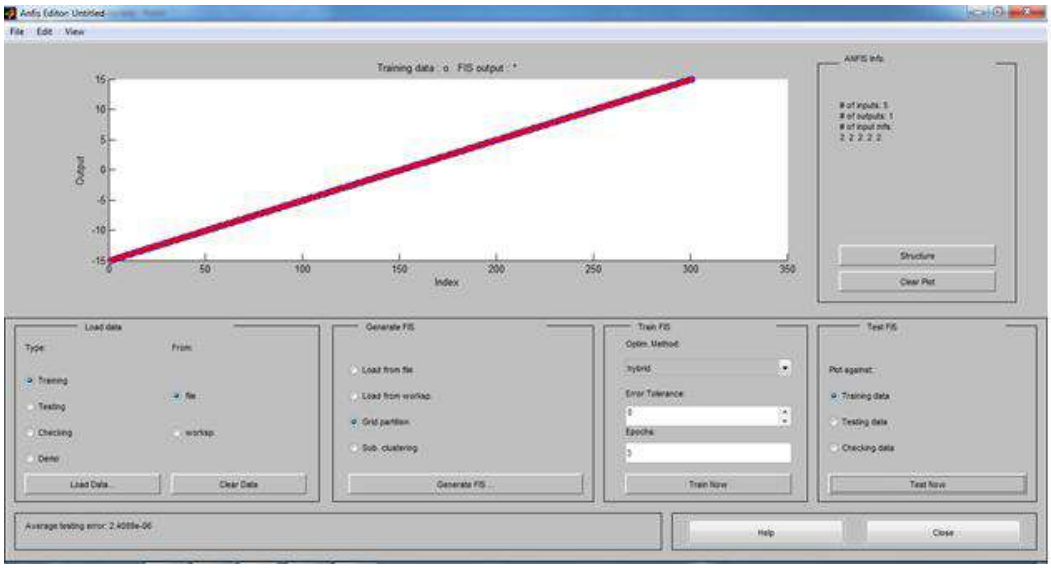


Figure III.39.comparaison entre l'erreur et la base des données

L'ANFIS basé sur réseau neurone le schéma suivant représente la structure interne de notre neuro flou

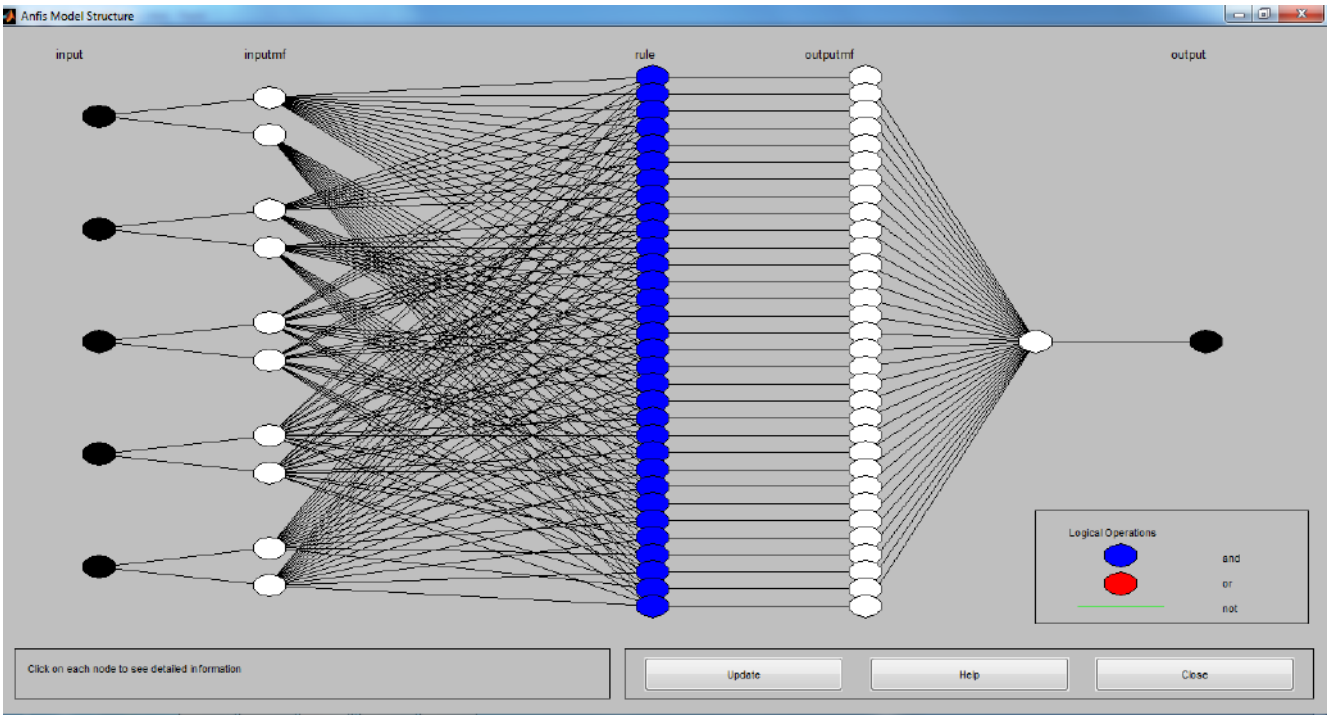


Figure III.40.structure internet de neuro flou

Pour cinq entrées cheque entrée possède deux fonction d'appartenance le couplage entre les fonctions d'appartenance se présente sous forme des règle dans notre cas on a 32 règles.

Le tableau ci-dessous représente 20 valeurs choisis aléatoirement pour valider notre résultat

Tableau III.7. Les résultats de test ANFIS

A	M	O	D	E	ΔT
24.4417	2.6828	38.2821	29.6380	12.5945	2.5048
27.1738	30.6887	25.2252	5.1130	12.2399	3.4186
3.8096	1.9094	41.8324	7.7338	21.9262	-1.9830
27.4013	3.2150	31.3500	11.9040	8.8285	-0.9898
18.9708	23.4742	26.2256	2.2198	11.2361	-0.0205
16.4064	36.7896	44.5010	29.4851	24.3240	9.9862
8.7252	32.5098	0.0235	12.0655	4.7302	-0.5074
28.9467	44.7439	44.9447	29.6202	24.6780	12.6564
4.7284	29.6822	27.5655	4.6311	14.6610	-0.3050
29.1178	23.3368	44.5478	11.4404	16.8778	7.0083
28.7150	43.7839	23.7456	4.8340	9.0256	2.7206
14.5613	29.2046	21.5786	22.7434	15.5070	3.3859
24.0084	36.0149	36.0606	26.1333	20.2788	8.9631
4.2566	20.4209	10.2529	10.5233	0.4814	-7.1787
12.6528	19.4576	22.4142	20.5661	2.0968	-2.3438
27.4721	37.1391	40.5384	8.8245	24.3700	8.9273
23.7662	3.7561	25.8598	15.9189	16.2837	-0.0154
8.7848	5.9927	38.0330	24.9727	5.7809	1.7442
19.6722	7.8025	33.2388	17.9247	10.0873	-0.2613
1.0714	17.5922	26.3694	10.0593	3.0505	-5.6777

Le tableau III.8. Présente les paramètres de chaque entrée et de la sortie de groupe de trois intersections qui représente aussi la première couche de système neuro flou.

Tableau III.8. Les paramètres des entrées et de sortie de L'ANFIS de groupe de trois intersections « 1ère proposition »

	Input1			Input2			output		output	
In1mf1	-30 0 30		In2mf1	-45 0 45		Out11mf1	-15		Out11mf11	-3
In1mf2	0 30 60		In2mf2	0 45 90		Out11mf2	-9		Out11mf12	3
						Out11mf3	-9		Out11mf13	-3
	Input3			Input4		Out11mf4	-3		Out11mf14	3
In3mf1	-24.99 0 24.99		In4mf1	-45 0 45		Out11mf5	-9		Out11mf15	3
In3mf2	0 24.99 49.98		In4mf2	0 45 90		Out11mf6	-3		Out11mf16	9
						Out11mf7	-3		Out11mf17	-9
	Input5					Out11mf8	3		Out11mf18	-3
In5mf1	-30 0 30					Out11mf9	-9		Out11mf19	-3
In5mf2	0 30 60					Out11mf10	-3		Out11mf20	3
									Out11mf21	-3
							output			
						Out11mf22	3		output	
						Out11mf23	3		Out11mf28	9
						Out11mf24	9		Out11mf29	3
						Out11mf25	-3		Out11mf30	9
						Out11mf26	3		Out11mf1	0
						Out11mf27	3		Out11mf32	15

V.3.CONTRÔLE A NEURO-FLOU DES FEUX DE CIRCULATION DANS UN GROUPE DE TROIS INTERSECTION « 2ème proposition »

Dans cette approche notre but est le même avec l'approche précédente c'est-à-dire on a essayé de réaliser la commande du feu de circulation qui peut communiquer avec un autre feu dans l'intersection suivante et précédente comme montré dans la figure III.41 ; la différence entre les deux approches apparait au niveau des paramètres d'entrée, dans ce cas on s'intéresse au nombre des véhicules dans les trois intersections I1, I2, et I3, et même au temps qui reste au feu rouge dans l'intersection précédente I2 pour passer au vert et le temps qui reste pour que les véhicules arrivent de l'intersection précédente I2 Le feu intelligent au niveau de intersection I1 change selon le nombre des véhicules du I1, I2 et I3 et communique avec le feu rouge de l'intersection I3 et I2 selon le nombre des véhicules de ces derniers ; selon le nombre de véhicules, la durée du feu vert est prolongée, pour cela on a choisi ces paramètres comme des paramètres d'entrées de notre contrôleur neuro-flou :

V1 : nombre des véhicules entrants à l'intersection concerné I 1;

V2 : nombre des véhicules entrants à l'intersection précédente I 2;

V3 : nombre des véhicules entrants à l'intersection suivante I 3;

T0 : le temps restant pour les véhicules arrivant de l'intersection précédente ;

T1 : le temps de signal rouge de l'intersection précédente;

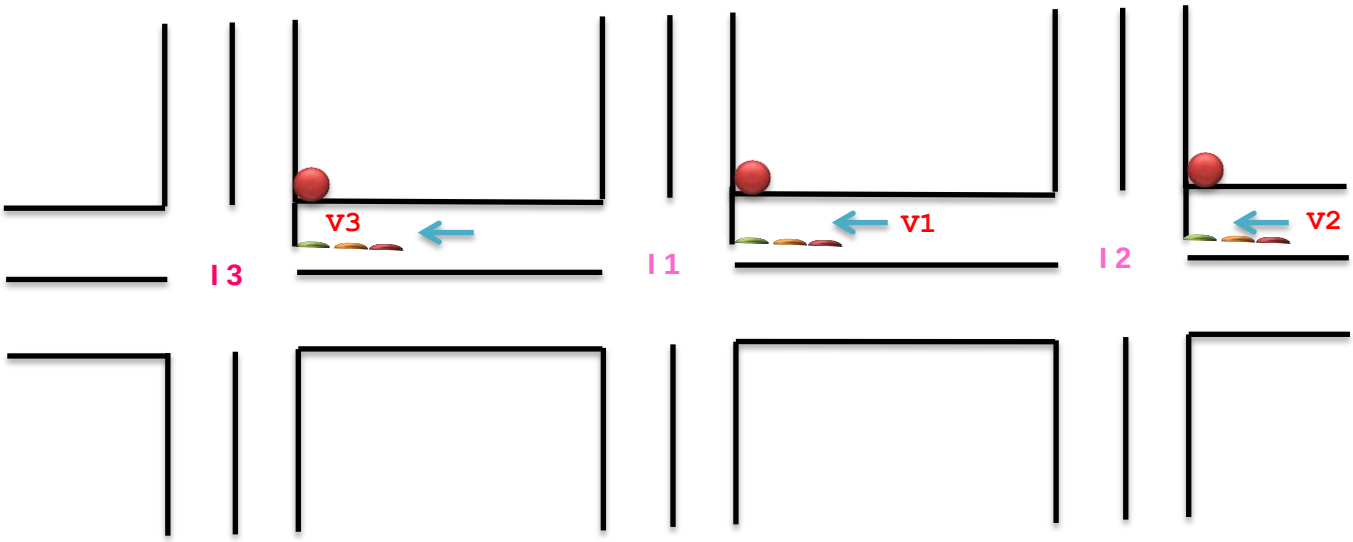


Figure III.41. Schéma descriptif des paramètres d'entrée dans un groupe de trois intersections (2ème proposition)

On a proposé l'architecture montrée dans la figure III.42 pour construire le circuit qui convient :

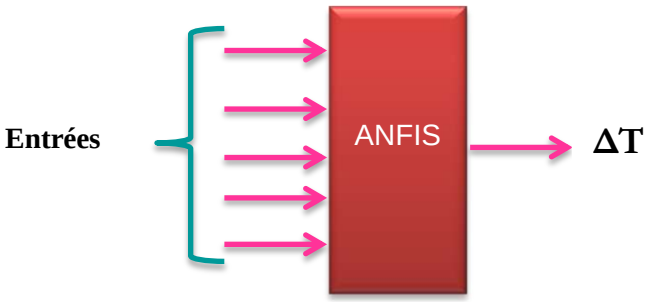


Figure III.42.architecture d'un circuit intelligent d'un feu vert dans un groupe de trois intersections (2ème proposition)

V.3.1.CREATION LA BASE DE DONNEES :

Dans cette approche on à pris cinq entrées comme le montré la figure III.43. A traves la méthode mamdané on a créé une base de données à la base de logique floue.

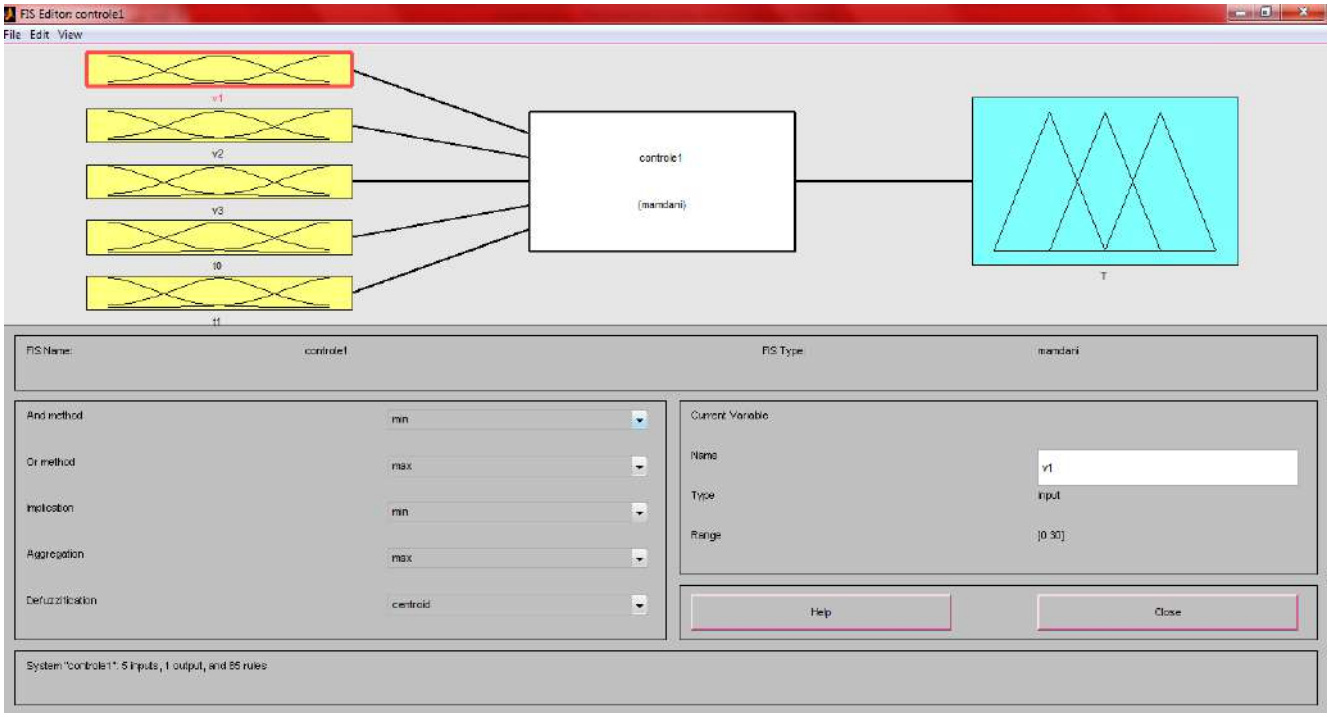


Figure III.43 architecture de logique flou mamdani

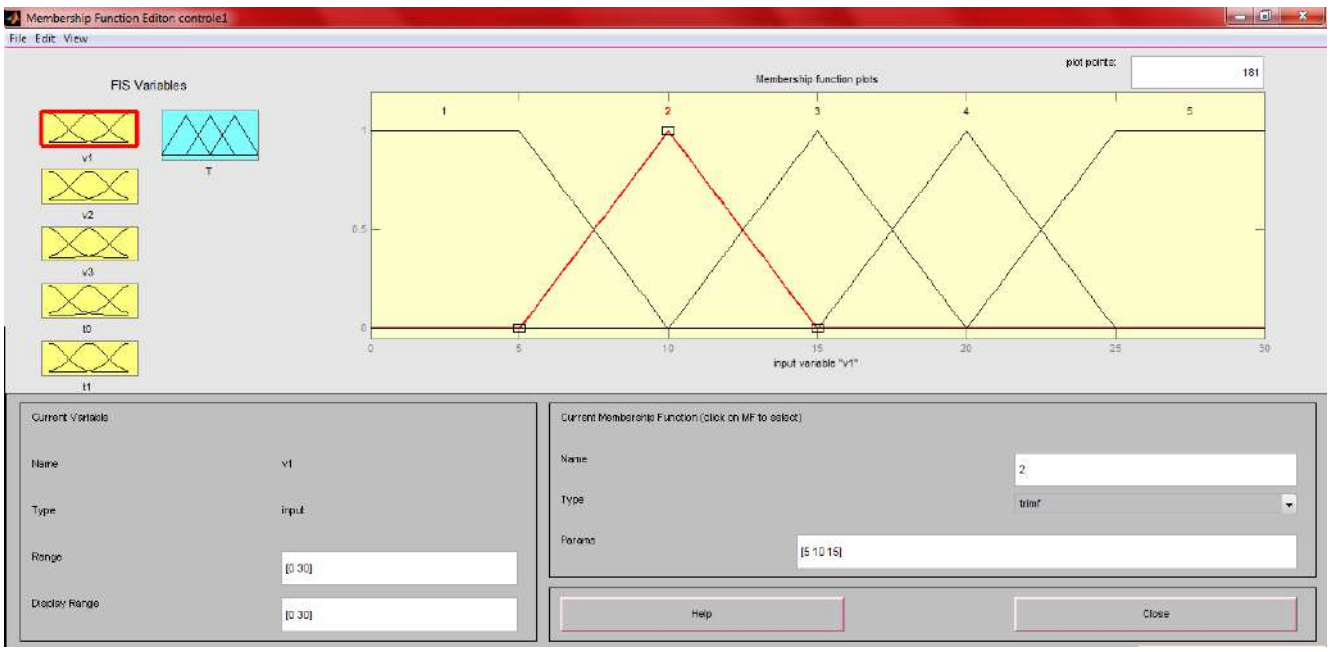


Figure III.44. Test d'appartenance du premier paramètre d'entrée

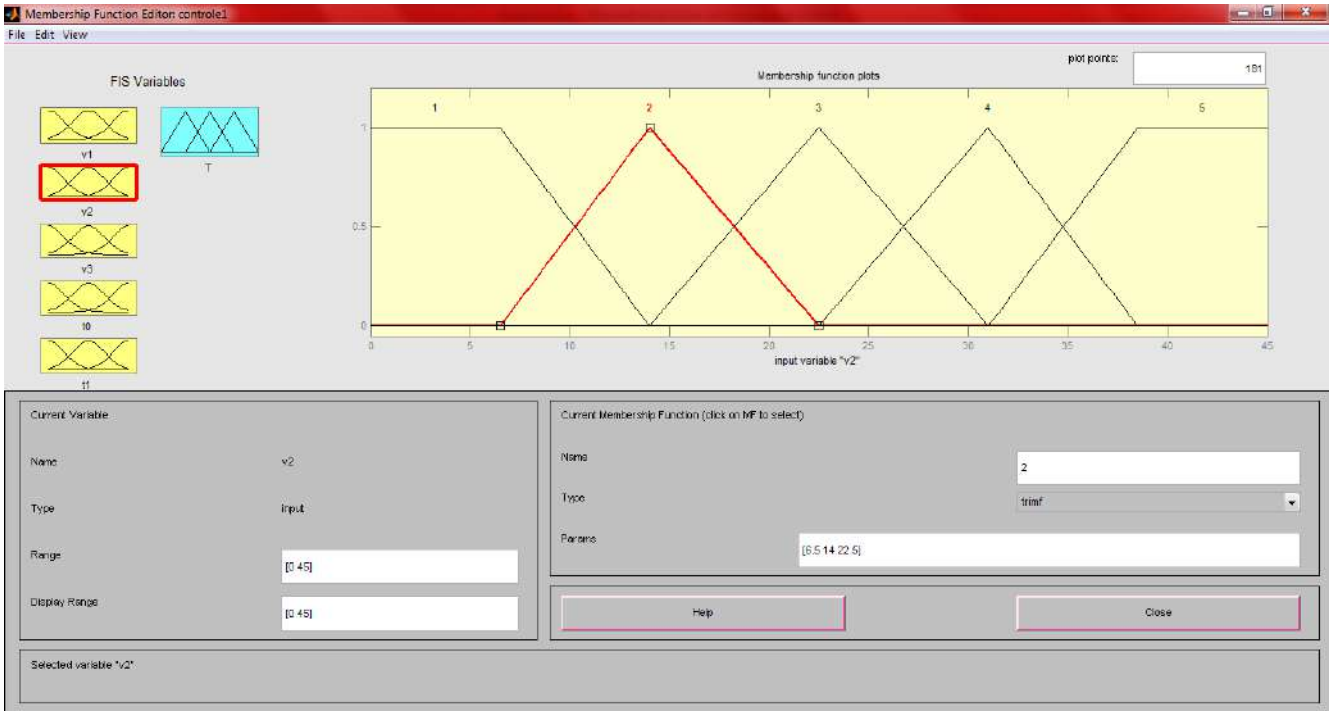


Figure III.45. Test d'appartenance du deuxième paramètre d'entrée

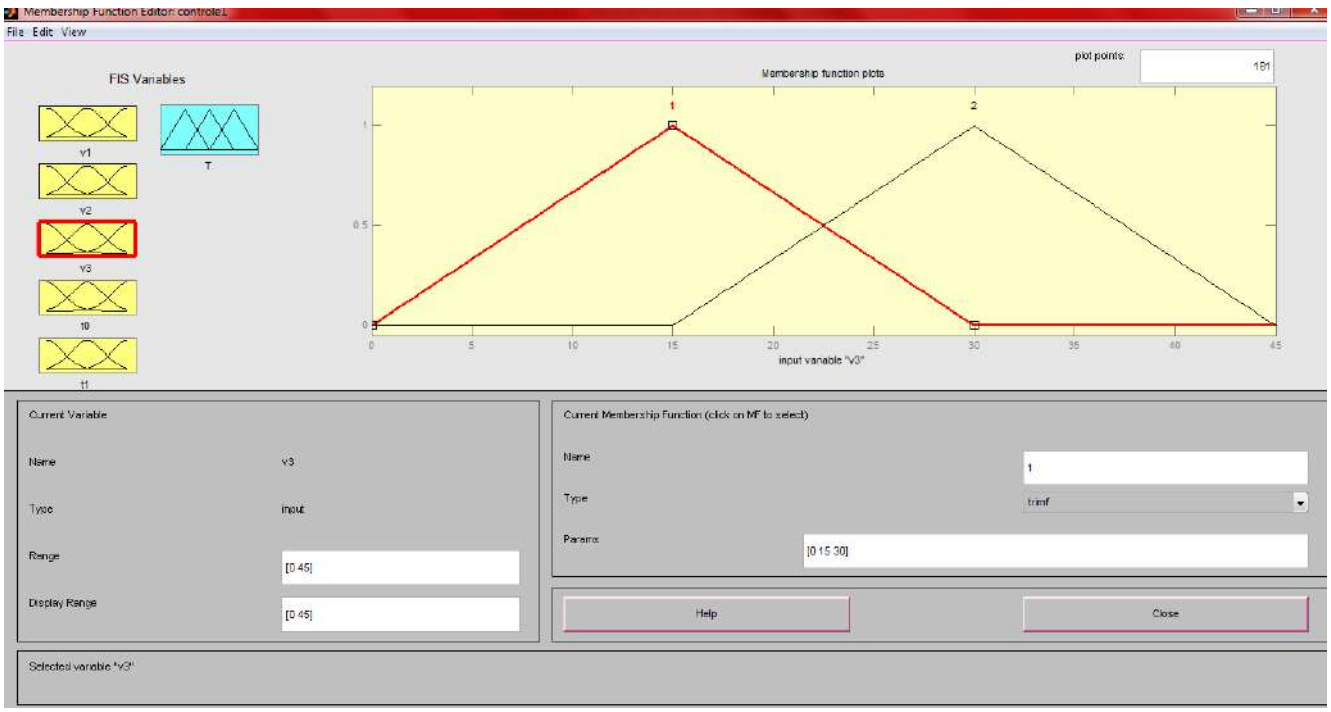


Figure III.46 Test d'appartenance du troisième paramètre d'entrée

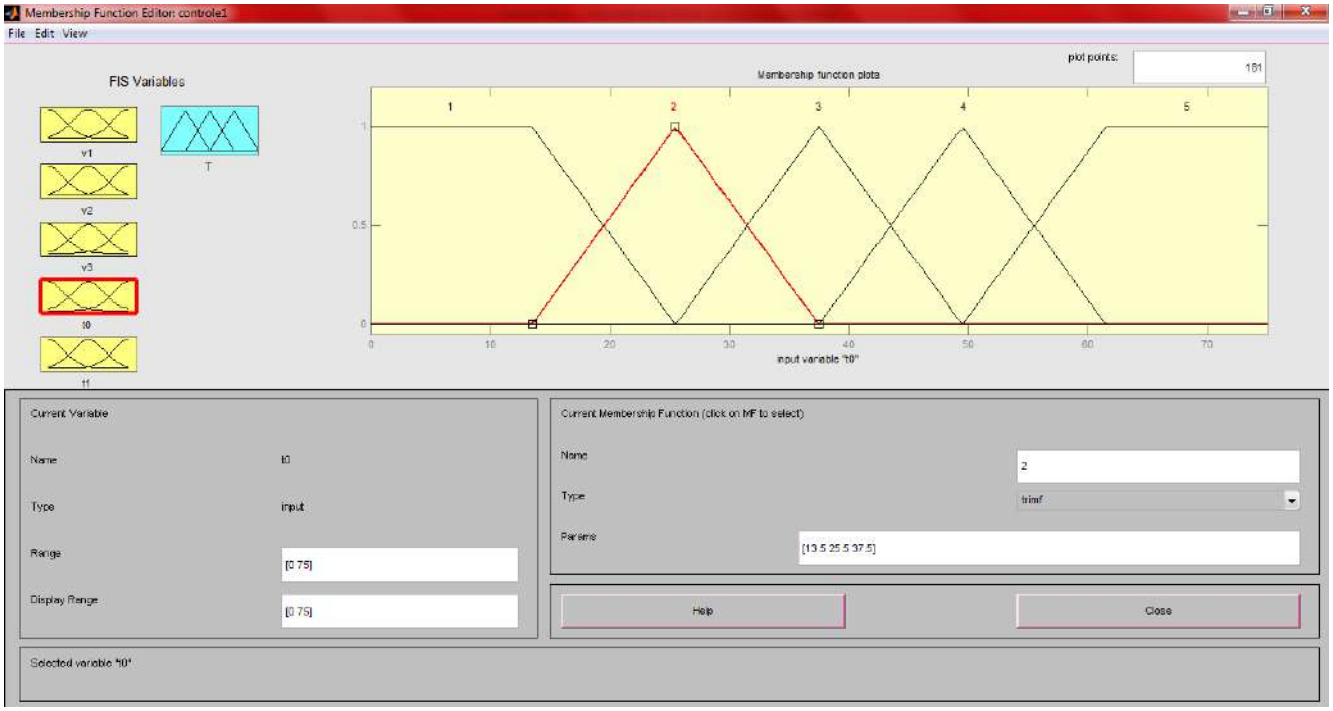


Figure III.47. Test d'appartenance du quatrième paramètre d'entrée

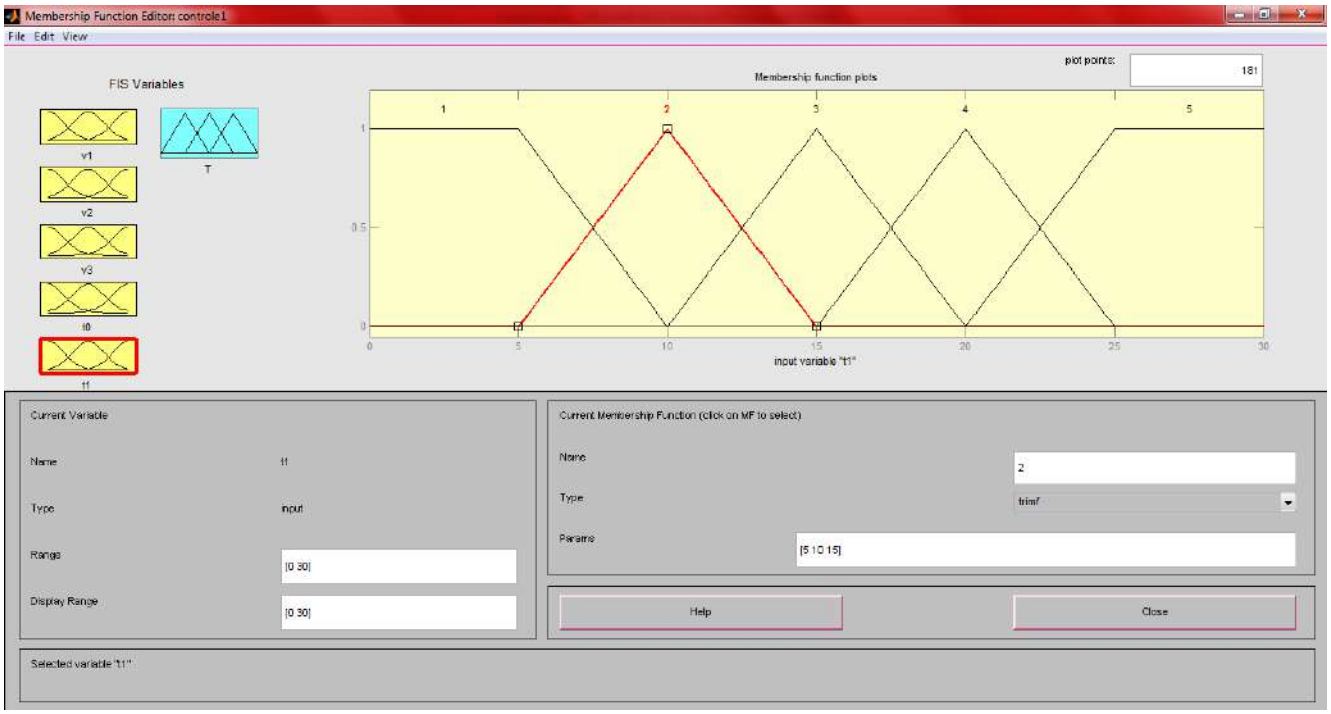


Figure III.48. Test d'appartenance du dernier paramètre d'entrée

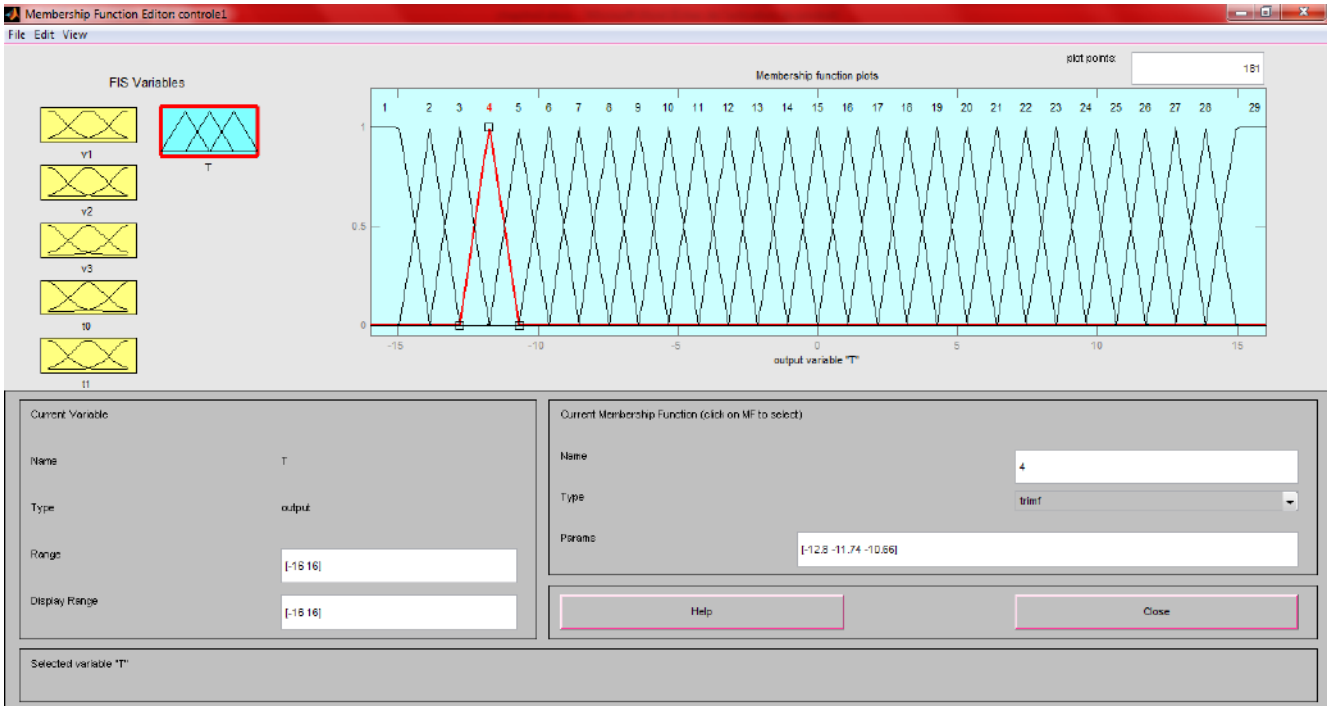


Figure III.49. Test d'appartenance de la sortie

V.3.2.APPRENTISSAGE AVEC ANFIS GUI « 2ème proposition »

La première étape est de stocker les 300 valeurs dans un fichier.dat ensuite on doit le charger à partir de l'éditeur ANFIS comme montré dans la figure III.50

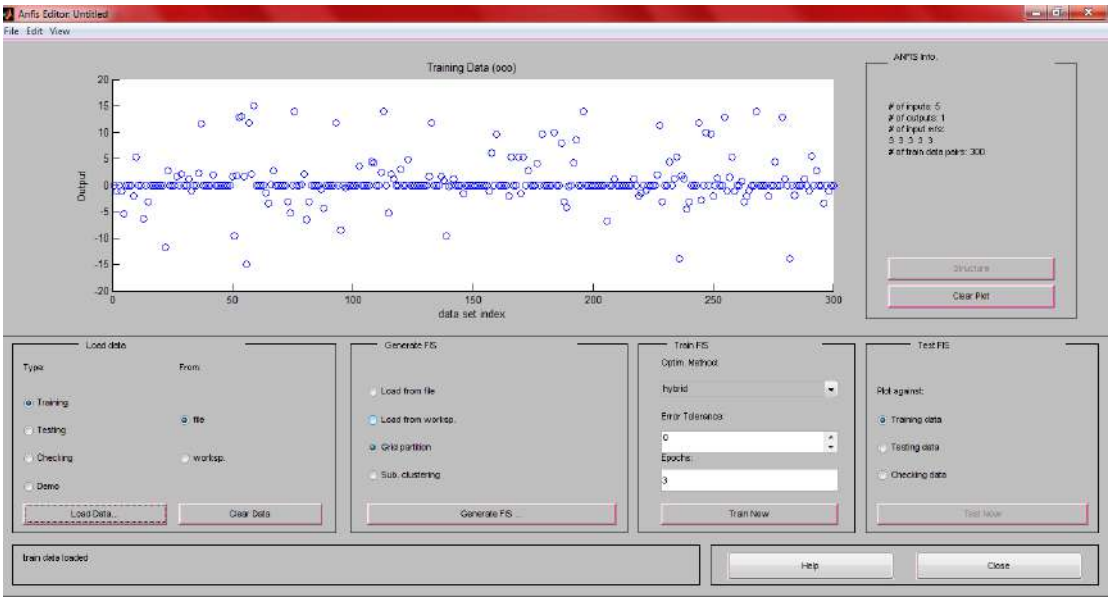


Figure III.50 Chargement des données dans l'editeur anfis

Le choix du nombre de MFs dépend de la marge d'erreur (tableau III.9) ; on diminue le nombre au maximum, dans ce cas on utilise la méthode linéaire pour obtenir une erreur acceptable.

Tableau III.9. Les paramètres de MFs

N° d'entrée	Nombre de MFs	Type de MFs	Type de MFs « «output »
1	3	triangulaire	linéaire
2	3	Triangulaire	Linéaire
3	2	Triangulaire	Linéaire
4	2	Triangulaire	Linéaire
5	2	triangulaire	linéaire

La tolérance d'erreur est très importante pour valider les résultats et pour le choix du nombre de MFs et sans type. La tolérance d'erreur pour notre choix du nombre de MFs est égale à 0.50136.

Pour valider l'apprentissage il faut avoir une tolérance d'erreur négligeable.

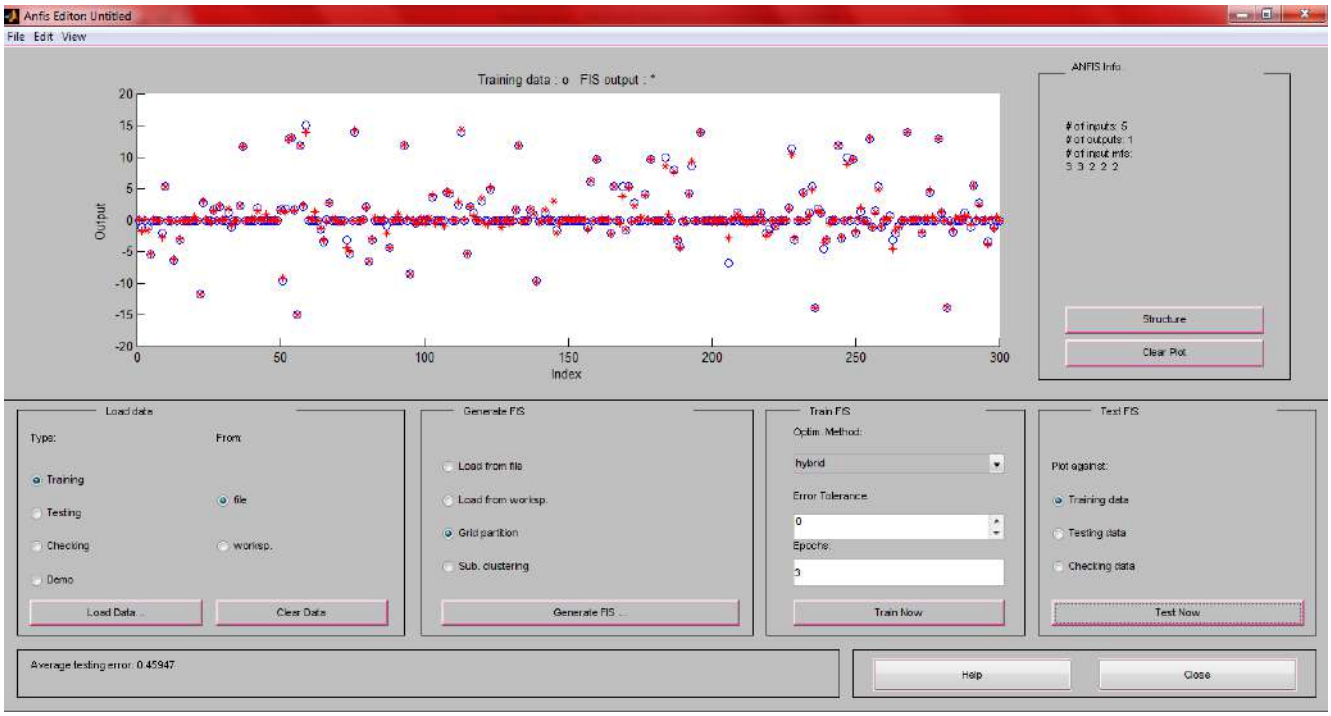


Figure III.51 Test sur de la tolérance d'erreur

Le neuro flou est le responsable de la génération des règles ; on utilise par la suite ces règles pour programmer notre propre neuro-flou

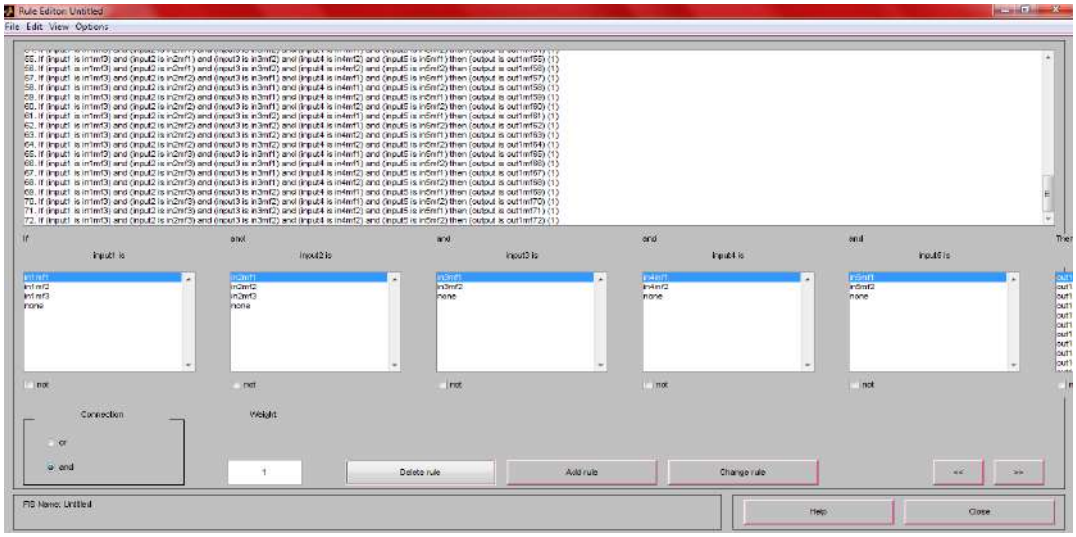


Figure III.52. Les règles générées à partir du neuro-flou

Le tableau ci-dessous représente 20 valeurs choisis aléatoirement pour valider notre résultat

Tableau III.10. Les résultats de test ANFIS

V1	V2	V3	T0	T1	ΔT
16.4064	2.6828	38.2821	29.6380	12.5945	2.5048
27.1738	30.6887	25.2252	5.1130	12.2399	3.4186
3.8096	1.9094	41.8324	7.7338	21.9262	-1.9830
27.4013	3.2150	31.3500	11.9040	8.8285	-0.9898
18.9708	23.4742	26.2256	2.2198	11.2361	-0.0205
16.4064	36.7896	44.5010	29.4851	24.3240	9.9862
28.7252	32.5098	0.0235	12.0655	4.7302	-0.5074
28.9467	44.7439	44.9447	29.6202	24.6780	12.6564
4.7284	29.6822	27.5655	4.6311	14.6610	-0.3050
29.1178	23.3368	44.5478	11.4404	16.8778	7.0083
28.7150	43.7839	23.7456	4.8340	9.0256	2.7206
14.5613	29.2046	21.5786	22.7434	15.5070	3.3859
24.0084	36.0149	36.0606	26.1333	20.2788	8.9631
4.2566	20.4209	10.2529	10.5233	0.4814	-7.1787
12.6528	19.4576	22.4142	20.5661	2.0968	-2.3438
27.4721	37.1391	40.5384	8.8245	24.3700	8.9273
23.7662	3.7561	25.8598	15.9189	16.2837	-0.0154
28.7848	5.9927	38.0330	24.9727	5.7809	1.7442
19.6722	7.8025	33.2388	17.9247	10.0873	-0.2613
1.0714	17.5922	26.3694	10.0593	3.0505	-5.6777

VI.CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a proposé cinq architectures du système contrôle de feu de la circulation, les trois premier contrôle d'une intersection isolé et les deux dernier un groupe de trois intersections à l'aide de neuro-flou.

Les trois premières approches sont simples à programmer et facile à implémenter mais reste toujours limités. En réalité, c'est rarement ou se trouve des intersections isolées, par contre les deux dernières approches sont plus générales et ils prennent en considération les intersections mitoyennes. La modélisation dans ces cas est difficile et compliquée à cause du nombre des règles très élevés, pour cinq entrée de flou et chaque entrée possède cinq fonctions d'appartenance le nombre totale des règles devient 3125 règles, et s'influe sur l'implémentation, mais reste toujours mieux que le contrôle classique.

I. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on s'intéresse de simulation de nos résultats en proposant des systèmes complets c'est-à-dire entrée système flou affichage des résultats sur des LEDs pour simuler un feu de la circulation réel.

On s'intéresse dans ce chapitre à la réalisation du prototype, qui peut être divisé en trois parties :

- La première partie implémentée de notre travail avec SIMULINK MATLAB ;
- La deuxième partie implémentation MPLAB avec microchip CEREBOT 32MX4;
- La troisième partie réalisation sur maquette.

II.SIMULATION AVEC SIMULINK MATLAB

La partie simulation nous permet d'effectuer des tests sur les différentes infrastructures mises en place. Tout d'abord, on peut mesurer et tracer l'évolution d'un ensemble de valeurs. Ensuite, on peut changer un ensemble de paramètres, tels que le comportement d'un conducteur, la fréquence d'apparition d'un nouveau véhicule depuis un nœud d'entrée, et surtout, l'algorithme du contrôleur de feux.

II.1.OUTIL UTILISE DANS SIMULINK

Pour modéliser un contrôleur d'un feu de circulation à l'aide d'un système neuro-flou on a besoin des blocs qui assurent le bon fonctionnement de notre système comme est illustre par la figure IV.1

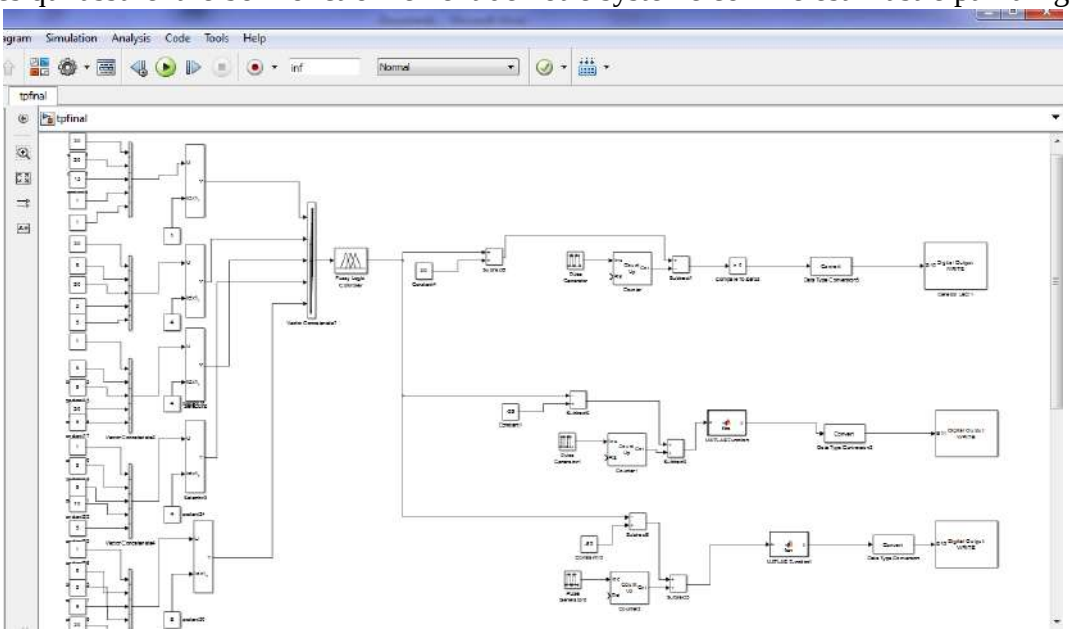


Figure IV.1 schéma global de simulation

II.2.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Pour valider notre travail on a proposé plusieurs entrées pour avoir le changement du temps du feu vert. Pour cela, on a utilisé un sélecteur qui permet de sélectionner une valeur parmi d'autres.

Toutes les sorties des multiplexeurs sont stockées dans un vecteur qui peut être considéré comme l'entrée du bloc système flou de notre système.

La durée initiale du feu vert est à 30 sec. Et la valeur de sortie du bloc flou est ajoutée à 30 sec.

Ces deux valeurs sont sommées à l'aide d'un additionneur à fin de délivrer le temps du feu vert, pour les autres feux, le temps est constant.

II. 3.RESULATAT DE SIMULATION

Dans cette approche on a fixé le temps du feu orange à 2 sec et le temps du feu rouge à 30 sec et le temps initial du feu vert à 30 sec. Cela varie selon résultat de système neuro-flou.

II 3.1.présentation de troisième approche intelligent a deux entée en SIMILINK MATLAB

On a deux entrées du système neuro-flou, la première entrée c'est le nombre de véhicules dans l'intersection et l'autre entrée c'est la densité des véhicules par minute comme illustrée dans la figure IV.2.

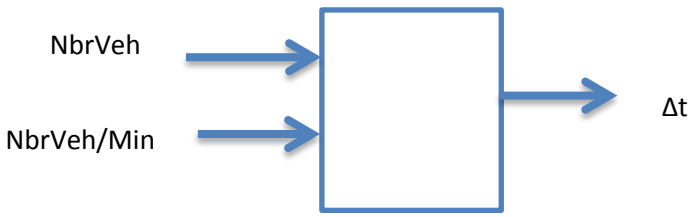


Figure IV.2.shéma synoptique d'approche de deux entrées

On fait un appel dans le bloc logique flou à l'ANFIS qui représente cette approche comme montrée dans la figure VI.3

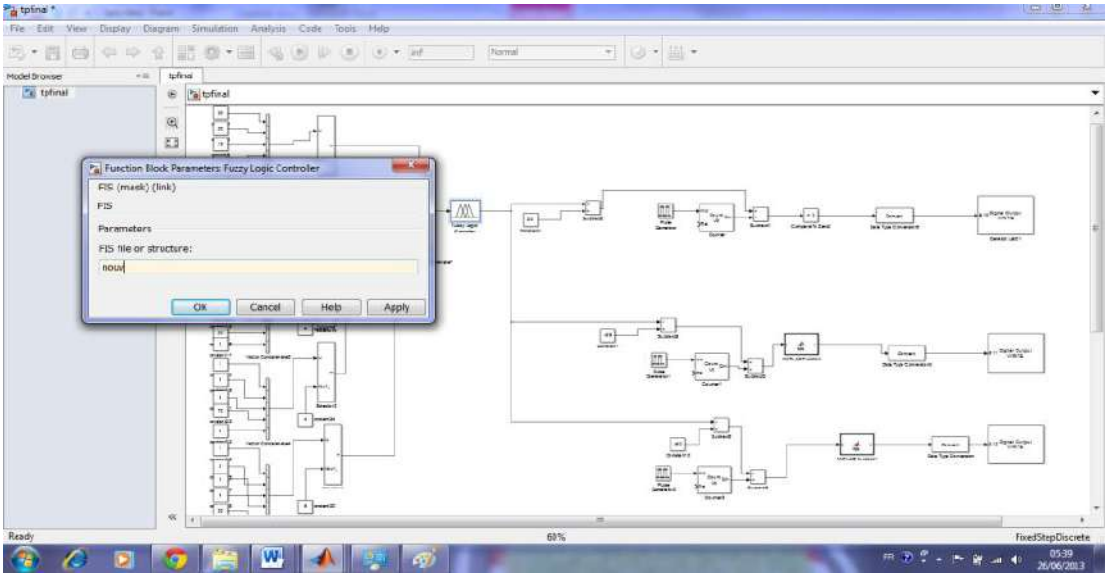


Figure IV.3.appel à ANFIS a deux entrées

La figure IV.4 représente la synchronisation entre les trois LEDs « vert, orange et rouge ». Une fois la LED verte est éteinte la LED orange s'allume, et de même une fois la LED orange s'étaient la LED rouge s'allume. Dans la figure IV.4 la couleur bleu représente le feu vert et la couleur orange représente le feu orange et en fin la couleur mauve représente les feux rouges.

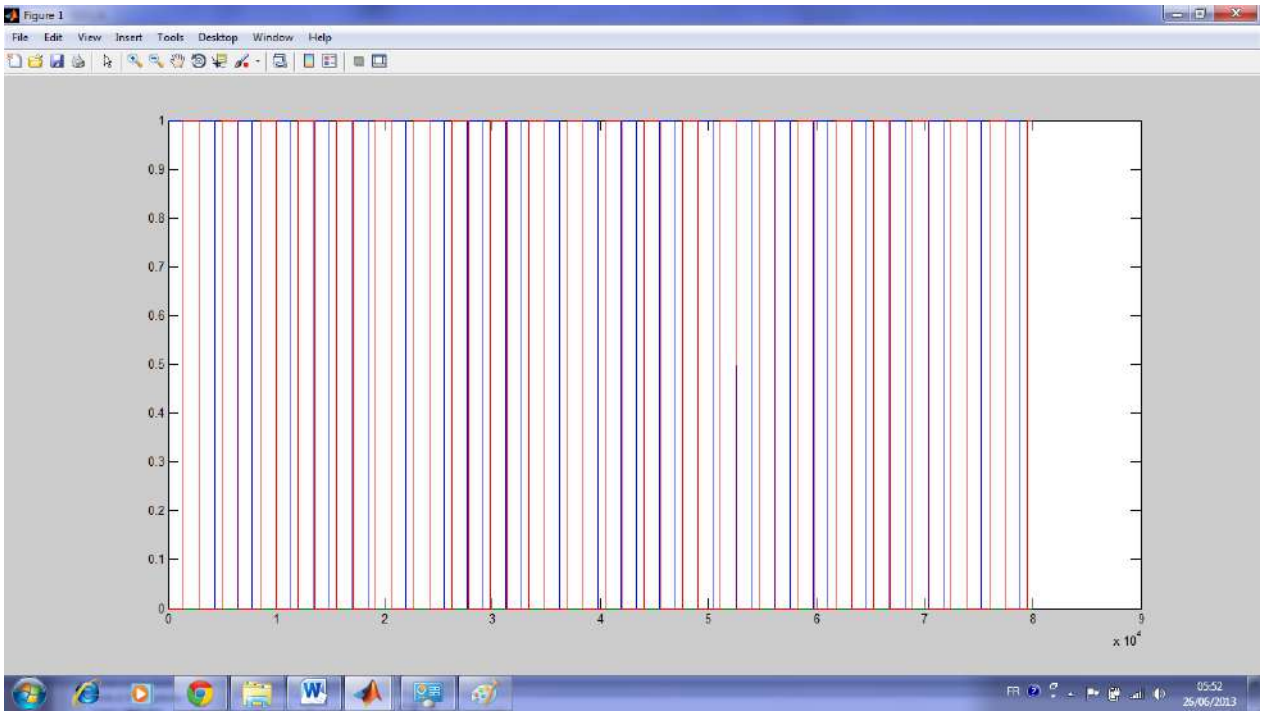


Figure IV.4. Synchronisation entre les trois LEDs

Le tableau IV.1 représente un exemple de notre système flou.

Tableau IV.1. Table de test la validité des résulat

Nombre des véhicules	La densité des véhicules	Δt	Le temps de feu vert
15	26	-2.38	27.62
30	30	1.38	31.38

Apres le calcule de Δt par le système flou on remarque que le temps vert est prolongé dépend à les entrées.

II 3.2.présentation de quatrième et cinquième approche intelligent a cinq entrée dans un groupe de trois intersections en SIMILINK MATLAB

Dans cette approche on a cinq entrées de neuro-flou :

- **A** : la première entrée c'est nombre des véhicules entrants à l'intersection concerné « rue principale »,
- **M :** le deuxième nombre des véhicules entrants à l'intersection suivante « rue principale »,
- **O** : le troisième nombre des véhicules entrants à l'intersection précédente « rue principale »,
- **D** : le quatrième nombre des véhicules entrants à l'intersection concerné « rue secondaire »,
- **E** : le cinquième nombre des véhicules entrants à l'intersection concerné dans le sens opposé « rue secondaire », comme illustrée dans la figure IV.5

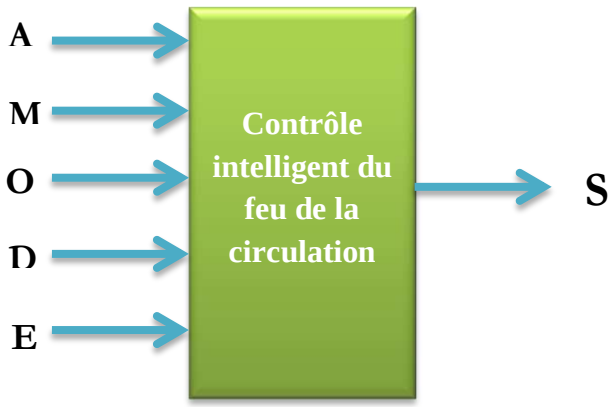


Figure IV.5.Schéma synoptique d'approche de cinq entrées

On fait un appel dans le bloc logique flou à l'ANFIS qui représente cette approche, après la simulation on obtient la figure IV.6 qui représente la synchronisation entre les trois feux rouges.

Dans la figure IV.6 la couleur bleu représente le feu vert et la couleur orange représente le feu orange et en fin la couleur mauve représente les feux rouges.

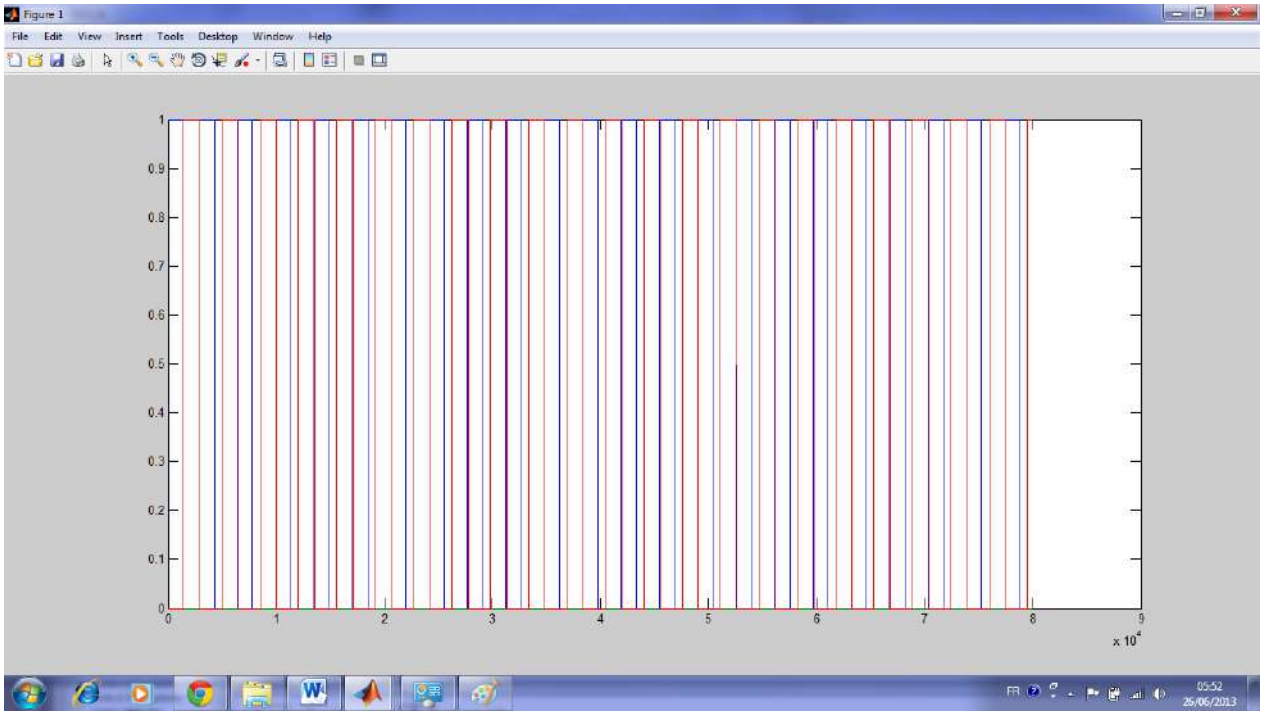


Figure IV.6. Synchronisation entre les trois LEDs

III.IMPLEMENTATION AVEC MPLAB

La simulation SIMULINK reste toujours un moyen de vérification et pas validation pratique, et pour valider notre travail on a implémenté les Cinq approches sur la carte d'évaluation CEREBOT 32 MX4 de DIGILENT qui est à base d'un processeur microchip à 32 bits « voir annexe » à l'aide de MPLAB ; on a utilisé spécialement MPLAB puisque le microchip fonctionne uniquement avec le MPLAB.

III.1.installation et configuration MPLAB

Dans notre projet on a utilisé le microchip 32MX4 CEREBOT pour cela on a besoin à télécharger MPLAB IDE v8.90 à partir de site officiel de microchip [33].et pour la compilation C on doit télécharger le compilateur à partir de son lien [34].

Notre SIMILINK doit comporter deux bloc essentiel pour connecté SIMILINK de MATLAB avec MPLAB comme est montré dans la figure IV.7, ce sont des blocs de configurations.

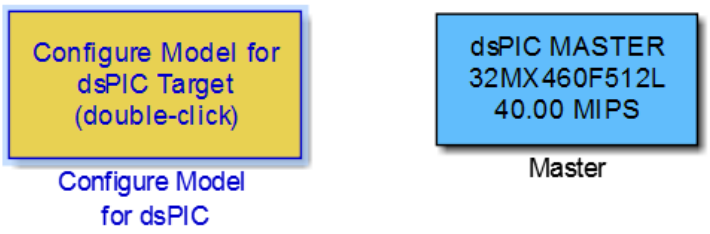


Figure IV.7.deux bloc de configuration

Pour accéder aux entrées de la carte on a utilisé des blocs LEDs pré définie et on a spécifié l'adresse de la sortie qui convient [35].

III.2.TEST

A cette étape on peut implémenter notre SIMULINK sur la carte CEREBOT après buill le model Simulink le MPLAB génère un fichier.hex on mettre ce fichier dans la mémoire de pic et exécute, la figure IV.8 illustré un exemple de la sortie.

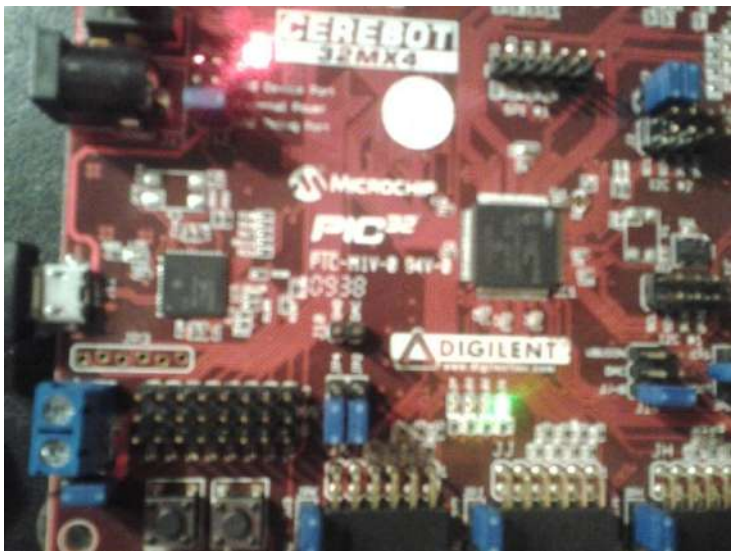


Figure IV.8.exemple de synthèse un feu vert

III.3.REALISATION

Sur une maquette de 60 cm /70cm on a présente un groupe de trois sections comme montré dans la figure IV.9



Figure IV.9.maquette a groupe de trois intersections

On connecte la maquette avec la carte à travers des nappes pour bien visualiser la synchronisation entre les feux et le changement de la durée de feu vert quand les entrées du système flou sont changes ; la figure IV.10. Illustre un exemple de test.

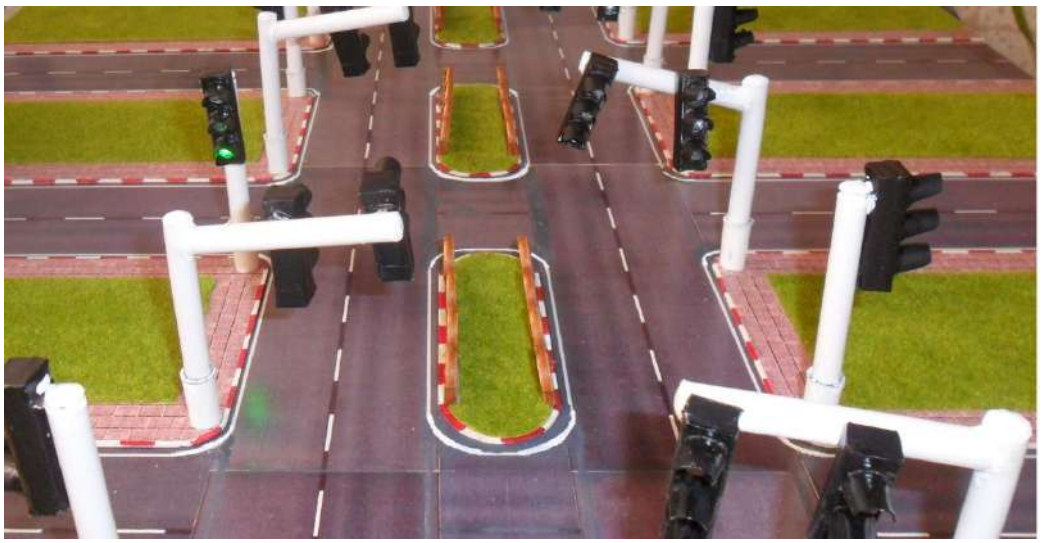


Figure IV.10.exemple maquette sur la maquette

IV. COMPARAISON LES RESULTATS DE TOUTS LES APPROCHES:

Pour la comparaison 30 valeurs sont prise pour le test :

Tableau IV.2 teste euro-flou à deux entrées

X	Y	La sortie		X	Y	La sortie
22.5380	3.4134	11.9125		10.4995	27.0892	-4.8590
7.6529	2.4278	3.8028		5.8979	11.8337	-0.6224
15.1787	23.8859	-1.5056		7.5325	29.4336	-7.0334
20.9723	35.0625	-3.6399		18.4813	31.0147	-2.9796
26.7271	42.0305	-4.0410		14.1987	33.6668	-5.7693
28.7787	5.8458	14.3400		10.5498	20.2744	-2.1326
16.4165	25.5971	-1.6448		24.9249	3.7720	12.9699
4.1587	21.1226	-5.0036		17.5579	10.3040	6.1526
4.4788	0.5356	2.3685		16.4917	41.1002	-7.5724
7.7252	15.1705	-0.7182		27.5158	6.8570	13.7746
25.2215	7.2982	13.0012		8.5752	37.1618	-9.6539
7.6285	35.7428	-9.4880		22.7160	24.2254	1.6314
24.4285	14.0047	9.9356		22.6119	44.8261	-6.3376
7.3057	23.7840	-5.1906		11.4134	3.5179	5.5717
27.8779	7.4542	13.8258		17.0346	19.9205	1.1945

Pour les deux approches à cinq entrées on a les mêmes valeurs à tester dont ils sont mentionnés par le tableau IV.3 suivant :

Tableau IV.3 teste euro-flou à cinq entrées

A	M	O	D	E	La sortie
24.4417	2.6828	38.2821	29.6380	12.5945	2.5048
27.1738	30.6887	25.2252	5.1130	12.2399	3.4186
3.8096	1.9094	41.8324	7.7338	21.9262	-1.9830
27.4013	3.2150	31.3500	11.9040	8.8285	-0.9898
18.9708	23.4742	26.2256	2.2198	11.2361	-0.0205

16.4064	36.7896	44.5010	29.4851	24.3240	9.9862
8.7252	32.5098	0.0235	12.0655	4.7302	-0.5074
28.9467	44.7439	44.9447	29.6202	24.6780	12.6564
4.7284	29.6822	27.5655	4.6311	14.6610	-0.3050
29.1178	23.3368	44.5478	11.4404	16.8778	7.0083
28.7150	43.7839	23.7456	4.8340	9.0256	2.7206
14.5613	29.2046	21.5786	22.7434	15.5070	3.3859
24.0084	36.0149	36.0606	26.1333	20.2788	8.9631
4.2566	20.4209	10.2529	10.5233	0.4814	-7.1787
12.6528	19.4576	22.4142	20.5661	2.0968	-2.3438
27.4721	37.1391	40.5384	8.8245	24.3700	8.9273
23.7662	3.7561	25.8598	15.9189	16.2837	-0.0154
8.7848	5.9927	38.0330	24.9727	5.7809	1.7442
19.6722	7.8025	33.2388	17.9247	10.0873	-0.2613
1.0714	17.5922	26.3694	10.0593	3.0505	-5.6777

D’après les résultats, c’est claire que toutes les approches sont mieux que la méthode classique dont qui le temps du feu vert reste toujours constant malgré le changement des conditions de circulation des voitures ou notre système s’adapte à ces condition.

V .CONCLUSION :

On présenté cinq modèles, idéaux dans le cadre de notre étude sur la gestion du trafic routier et notamment du cas des algorithmes de contrôleurs de feux. Après comparaison, il en ressort un net avantage pour les deux dernières approches, qui sont beaucoup plus réalistes et intelligent que les classiques.

Toutefois, des difficultés ont été rencontrées pour la mise en place d’une implémentation, qui est beaucoup moins évidente que sur classique. Ce dernier restant une approche performante, plus intuitive et orienté vers l’optimisation de la gestion des feux de circulation : un bon complément qui pourrait s’avérer intéressant dans le cas de systèmes multi-agents ou de comparatifs entre plusieurs algorithmes de gestion des feux.

La flexibilité de la commande par neuro flou des feux de circulation à rendu cette technique plus performante que celle de la commande classique. Cette flexibilité consiste à prolonger le temps du feu vert en prenant en compte les conditions de circulation des véhicules; par contre la commande classique qui est un système en boucle ouverte, la durée de feu vert reste constante quelles que soient ces conditions

Des contrôleurs de feux de circulation de véhicules actionnés, ce qui est une version améliorée du contrôleur classique, le temps vert est prolongé en fonction de nombre des véhicules et le débit. Dans le contrôleur de neuro-floue, les durées d'extension ne sont pas des valeurs fixes. Ils sont tous des variables floues comme à long, moyen et petit. Le nombre de voitures détectée au niveau de l'entrée des régulateurs neuro-flou sont également converties en valeurs floues, comme très petit, petit, Moyen, trop nombreux, etc, en plus des variables floues Comme mentionné précédemment, le contrôleur neuro-floue a également l'avantage d'exécuter conformément à des règles linguistiques de la manière de la façon dont un être humain se servirait. La méthode raisonnant dans le contrôleur neuro-flou est également semblable à la manière dont un agent de la circulation gère le flux de circulation à l'intersection typique.

Une simulation est réalisée pour comparer les performances du contrôleur de logique floue et un contrôleur classique à durée déterminée. La densité de flux de la simulation on fait varier en fonction des conditions de circulation réelles. On peut constater d'après les résultats que le système de commande à base de la technique neuro-floue offre de meilleures performances en termes de temps d'attente total ainsi que le temps de déplacement totale. Cette variation ne sert pas à réduire la consommation de carburant mais aussi de réduire la pollution de l'air ainsi que la pollution sonore.

Ce travail ne s'est pas fait sans difficultés. En effet, il a fallu prendre connaissance de l'étendue des différents domaines qui font l'objet de cette étude. Tout d'abord, le domaine de gestion de trafic routier ensuite la détermination des paramètres qu'influe sur le changement de temps de feu vert ainsi que la gestion de communication entres les feux dans un groupe de trois intersection et enfin l'implémentation sur un PIC 32 bits.

Dans ce projet on a abordé implémentation toolbox MATLAB de notre problématique ensuite on a validé ce modèle par code MATLAB. Après on a simulé le système obtenu en utilisant SIMULINK de MATLAB qui a également été une tache très délicate à la fin on a implémenté notre résultat sur la carte CEREBOT 32MX4 par l'utilisation de logiciel MPLAB.

Donc l'objectif principal de notre projet est atteint en réalisant un système de gestion de feu de circulation intelligent qui peut changer la durée de feu vert, cette durée dépend de la densité des véhicules et qui peut aussi communiquer avec des feux qui sont placé dans des intersections juste à côté.

Les avantages de notre travail peuvent être énumérés comme suit:

- Alléger la circulation dans un réseau routier.
- Diminuer le problème de pollution.
- Donner la priorité à la rue principale.
- Donner plus de confort au conducteur.
- Organiser le trafic routier.
- Modularité du système conçu où il peut être appliqué à n'importe quel autre réseau routier,.

Comme perspectives, pourquoi pas mettre en place notre système dans la ville de Médéa qui connait beaucoup de problème de circulation des véhicules.

[1] M. Abbas, H. Charara, N. Chaudhary, and Y. s. Jung. "Distributed architecture and algorithm for robust real-time progress evaluation and improvement". Texas Transportation Institute, Texas A & M University System, 2006.

[2] F. Boillot, J. Blosseville, J. Lesort, V. Motyka, M. Papageorgiou, and S. Sella. "Optimal signal control of urban traffic networks ». Number 472, pages 182–186, 1992.

[3] F. V. Webster and B. M. Cobbe, Traffic Signals, Road Research Technical Report 39, Her Majesty's Stationery Office, London, 1958.

[4] Mr SAADi Ahmed. « Le problème de la circulation et du stationnement dans le centre-ville de Constantine ».23 février 2005. http://bu.umc.edu.dz, dernière date de consultation : 13/05/2013.

[5] Pierre Merlin ,Françoise Choay : « Le dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement ». PUF Quadrige, Paris 2009, 847 pages.

[6] Jane Jacobs, Rabat-Salé, Madrid, « Le renouvellement urbain, Urbanisme ». Sept-Oct 1999. n° 308, 175 pages.

[7] EMES. Historique de matière. L'origine des feux de signalisation. www.emes.info

[8] Thomas Chouanière. « Les feux rouges ». http://www.evene.fr, dernière date de consultation : 20/04/2013.

[9] C. Tolba, D. Lefebvre, P. Thomas, A. ElMoudni. « Commande des feux de signalisation par réseaux de Pétri hybrides », JESA, Vol.42, n°5, 2008, pp 579–612.

[10] Martial Charpentier. « Agglomération–Rouen–Elbeuf ». Pratique de l'urbanisme. N°113. Ed.Eyrolles. 1973. p 22.

[11] Claude Chaudet, Isabelle Demeure. « Contrôle du trafic routier urbain par un réseau fixe de capteurs sans fil Sébastien », ParisTech, Mars 2012,44 pages

[12] Daniel Wieczorek. « Camillo site et les débuts de l'urbanisme moderne ». O.P.U, Alger, 1984. p. 54.

[13] David Bretherton. « Scoot Advice Leaflet1: The "SCOOT" Urban Traffic Control System », avril 2008,http://www.scoot-utc.com, dernière date de consultation : 12/05/2013

[14] B. M. Chard and C. J. Lines. "Transyt - the latest developments. Traffic engineering & control", 28(7-8) :387–390, 1987.

[15] K. L. Head, P. B. Mirchandani, and D. Sheppard. "Hierarchical framework for real-time traffic control. Transportation Research Record 1360", Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, 1992.

[16] A. Sims and K. Dobinson. "The sydney coordinated adaptive traffic (scat) system philosophy and benefits". IEEE Transactions on Vehicular Technology, 29(2) :130 – 137, May 1980.

[17] D. Robertson and R. Bretherton." Optimizing networks of traffic signals in real time-the scoot method". IEEE Transactions on Vehicular Technology, 40(1):11 –15, Feb. 1991.

[18] N. Gartner, F. Pooran, and C. Andrews. "Implementation of the opac adaptive control strategy in a traffic signal network".In IEEE Intelligent Transportation Systems, pages 195 –200, 2001.

[19] Chandra, Reggie and Gregory, Chris. "Insync adaptive traffic signal technology : Real-time artificial intelligence delivering real-world results". July 2010.

[20] F. Boillot, J. Blosseville, J. Lesort, V. Motyka, M. Papageorgiou, and S. Sella. "Optimal signal control of urban traffic networks". Number 472, pages 182–186, 1992.

[21] J. Henry, J. Farges, and J. Tuffal. "The prodyn real time traffic algorithm". 4th Conference on Control Transportation System, (472) :305–309, 1983.

[22] M. Ducarne ,T. Périneau. « Commande adaptative et optimale d'un carrefour à feu. Technical report », 2007.http ://www.eivp-paris.fr, dernière date de consultation : 06/04/2013.

[23] Annie Berthelot, Christine Le Vagueresse. « La nouvelle dynamique stationnement ». Ville Rail et Transports, 507 :30–33, Nov. 2010.

[24] M. Lescieux. « Application à la commande floue ». http ://auto.polytech.univtours. fr , dernière date de consultation : 03/05/2013.

[25] X.-F. Chen and Z.-K. Shi. "Real-coded genetic algorithm for signal timing optimization of a single intersection". In 2002 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, volume 3, pages 1245 – 1248, 2002.

[26] S. Takahashi, H. Nakamura, H. Kazama, and T. "Fujikura. Genetic algorithm approach for adaptive offset optimization for the fluctuation of traffic flow". In The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pages 768 – 772, 2002.

[27] R. Benali1. M. A. Chikh. « Reconnaissance des extra systoles ventriculaires par la combinaison des réseaux de neurones et la logique floue ». Laboratoire de Génie Biomédical. Université Abou Bekr Belkaïd. Tlemcen.

[28] O.T. Inan, L. Giovangrandi, G.T.A. Kovacs, "Robust neural-network-based classification premature ventricular contractions using wavelet transform and timing interval features", IEEE Trans. Biomed. Eng. (2006) 2507–2515

[29] Yann MORERE. « Les Réseaux Neuro-Flous », 17 mai 2001,48 pages.

[30] Jalel ZRIDA. »Réseaux de neurones logique floue et algorithmes génétiques », Ecole Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis Unité Signaux et Système, ENIT, 64 pages.

[31] Gabriel Cormier. « Logique flou », http://www8.umoncton.ca , dernière date de consultation : 12/06/2013.

[32] 2. D. Nauck, R. Kruse, "NEFCLASS–A neuro-fuzzy approach for the classification of data", in: ACM Symposium on Applied Computing, Nashville, New York, February, 1995, pp. 461–465.

[33] http:// www. Microchip.com. dernière date de consultation : 22/06/2013.

[34] http:// www. Microchip.com/ stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId =1406& dDoc Name =en536656 ; dernière date de consultation : 22/06/2013.

[35] http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/61143H.pdf. Dernière date de consultation : 28/06/2013.

➢ 2eme approche

Le fichier.dat contient les 300 valeurs suivantes :

24.4417	2.6828	12.7		22.2940	23.7094	1.88		19.6529	29.9852	-2.18
27.1738	30.6887	0.484		11.7668	18.7560	-0.854		4.8784	24.2607	-6.67
3.8096	1.9094	1.02		19.6643	29.5587	-1.98		3.5699	31.4147	-9.55
27.4013	3.2150	14.2		5.1356	28.2588	-8.13		14.9509	29.9938	-4.03
18.9708	23.4742	0.127		21.1814	13.1393	7.3		28.7923	8.0160	14.1
2.9262	4.3529	0.299		0.9550	19.4243	-4.73		10.2116	5.7606	2.54
8.3549	36.8167	-9.26		8.3077	0.6969	6.35		17.5580	44.9586	-7.96
16.4064	36.7896	-6.11		1.3851	44.2829	-14.3		6.7144	7.7004	0.532
28.7252	32.5098	-0.00518		2.9140	7.5226	-0.0125		22.5380	1.4670	12
28.9467	6.7439	14.2		24.7037	4.7797	12.8		7.6529	25.2540	-5.08
4.7284	29.6822	-8.84		20.8449	16.7584	6.61		15.1787	39.6840	-7.68
29.1178	23.3368	5.24		9.5130	8.9153	1.56		20.9723	30.1129	-1.67
28.7150	43.7839	-4.01		28.5067	22.0359	6.5		26.7271	8.5695	13.8
14.5613	29.2046	-3.85		1.0334	15.2772	-3.14		28.7787	16.6012	11.4
24.0084	36.0149	-2.88		13.1623	42.8234	-9.7		16.4165	20.7327	0.19
4.2566	20.4209	-5.23		11.4468	41.4149	-9.97		4.1587	44.1737	-14.2
12.6528	19.4576	-0.645		22.9655	2.3705	12.2		4.4788	7.0382	3.39e-016
27.4721	37.1391	-1.85		23.8560	33.2036	-1.82		7.7252	38.4985	-10.3
23.7662	3.7561	12.5		5.6062	12.1104	-1.08		25.2215	29.0144	0.752
28.7848	5.9927	14.2		14.6929	19.0276	0.244		7.6285	16.9322	-1.63
19.6722	7.8025	8.78		13.3676	24.6542	-2.44		24.4285	8.5916	12.3
1.0714	17.5922	-4.05		19.3894	42.4232	-7.23		7.3057	19.2714	-2.91
25.4739	37.4121	-2.7		21.2809	18.7985	4.38		27.8779	21.6910	6.74
28.0198	36.1514	-1.47		22.6406	44.2374	-5.93		10.4995	5.4275	3.06
20.3621	2.7212	11.1		8.2808	13.5655	-0.0824		5.8979	26.5278	-6.7
22.7322	17.9666	6.22		20.3911	31.5494	-2.39		7.5325	10.1784	0.909
18.4813	17.3079	3.59		14.1987	26.2344	-2.86		10.5498	11.3313	2.09
24.9249	13.0698	9.89		17.5579	27.7691	-2.13		16.4917	11.9376	4.49
27.5158	37.0969	-1.81		8.5752	44.2199	-11.6		22.7160	32.8612	-2.09
22.6119	15.4745	8.55		11.4134	26.2831	-3.96		17.0346	4.8496	7.69
2.2756	40.7839	-13.5		1.6185	39.5844	-12.8		15.9239	36.7992	-6.24
23.3750	11.7328	10.1		28.0203	26.7460	3.33		3.8972	1.0131	1.01
17.0647	19.1367	1.14		14.0817	14.0723	1.61		0.3571	7.2668	3.27e-016
10.1137	8.0445	1.46		4.8655	19.0299	-4.6		23.8285	4.2403	12.5
9.3365	26.9336	-5.05		15.8560	21.1916	-0.0998		4.9695	31.3177	-9.52
18.0595	31.4950	-3.27		7.8891	28.7339	-6.29		19.6224	1.5122	10.8
20.6764	3.0963	11		22.4445	14.3820	8.61		13.5162	23.8889	-2.1
2.5146	29.4501	-8.73		6.8693	18.3429	-3.09		27.4001	36.8992	-1.79
4.5713	32.3262	-9.9		24.7745	43.5892	-5.13		16.1503	23.9100	-1.05
29.8840	14.6316	12		2.3453	4.7533	0.123		13.2803	27.4931	-3.65
3.1996	35.0461	-11		28.8569	19.0554	9.23		0.1390	4.0870	0.387
23.2473	11.9912	9.82		24.5191	6.9146	12.4		26.0608	12.6452	10.9
2.5331	19.8038	-4.9		11.9935	23.7214	-2.76		7.7961	20.5841	-3.13
24.0021	39.3917	-4.11		12.9424	23.3123	-2.15		27.3194	42.4630	-4.07
5.4554	28.6969	-7.94		7.9141	43.0962	-11.8		4.3662	10.8318	-1.37

4.0821	30.4255	-9.24		26.0788	13.0079	10.9		17.3911	30.2314	-3.2
16.4958	31.2813	-3.93		4.3486	3.0597	0.733		25.5909	11.4656	11.4
18.6617	10.0818	8.65		10.5286	30.0525	-5.76		15.3975	37.9976	-7.02
12.0542	15.5008	0.464		2.2790	35.1234	-11.1		7.1975	30.3899	-7.69
3.6996	0.3022	1.02		5.5172	27.0977	-7.12		7.1986	17.4047	-2.32
12.5180	41.2196	-9.49		1.4896	0.0518	1.01		28.3436	19.0957	9.2
27.0815	20.8102	6.66		14.7259	20.7412	-0.481		14.6776	34.6572	-5.99
10.1316	14.5112	0.33		27.0016	35.3133	-1.48		11.0774	21.2111	-2.05
3.3361	1.6093	1.01		23.4076	7.9143	11.8		11.6922	32.4791	-6.34
7.2507	21.3069	-3.87		12.1174	6.8725	3.2		2.8936	15.3506	-3.18
3.9592	27.3325	-7.9		28.2615	8.6285	13.8		28.6840	33.2292	-0.323
17.2563	10.9282	5.9		1.7934	41.2841	-13.7		7.0434	12.1078	-0.292
10.5948	34.4475	-7.38		24.6358	8.4898	12.5		0.4621	12.9374	-2.22
1.2907	4.1001	0.382		5.0697	25.9294	-7.29		19.4735	30.7513	-2.65
21.9517	24.5967	1.2		19.4324	19.1578	2.83		13.5277	28.9999	-4.1
16.4103	29.1428	-3.07		8.8896	30.5558	-6.73		22.3408	28.6104	-0.543
5.6687	42.5328	-13.7		20.6033	9.4021	10.3		5.5053	31.9177	-9.08
11.0545	10.6304	2.57		18.7686	5.3728	8.82		23.4068	27.3287	0.481
2.4338	20.2562	-5.15		27.8816	20.6426	7.34		23.2714	29.7875	-0.53
14.6037	34.6628	-6.03		13.0758	15.7598	0.925		13.4035	29.7904	-4.46
9.1905	18.7271	-1.88		15.2553	37.8868	-7.02		15.3231	37.4813	-6.81
24.5288	11.5398	10.7		23.8449	27.6057	0.472		19.3295	26.2012	-0.812
11.3583	24.3333	-3.14		24.3474	39.1473	-3.92		15.9848	11.9151	4.34
10.5218	14.3133	0.593		28.1700	5.3647	14.3		26.2783	42.2923	-4.34
16.5047	29.0498	-3.01		18.6743	21.5758	0.889		17.6113	28.7693	-2.44
6.2323	24.5122	-5.77		9.0374	29.1290	-6.03		14.1277	24.4749	-2.14
6.9146	32.4471	-8.58		25.3293	23.5123	3.56		5.8429	44.7167	-13.5
6.7777	9.8404	0.294		5.1212	4.7609	0.691		6.8299	4.9364	1.5
13.0710	2.8616	7.54		9.3331	18.2061	-1.7		27.7014	20.1768	7.73
12.9062	16.4617	0.64		5.5445	34.3577	-9.98		27.1464	28.2553	2.02
29.3925	34.7391	-0.847		13.1661	41.9784	-9.37		3.3336	43.7733	-14.2
7.7419	8.6413	1.15		12.2616	6.2493	3.69		17.8469	31.3320	-3.33
7.8664	4.2219	3.81		18.0853	23.6432	-0.169		21.3365	23.8655	1.42
6.6524	38.7513	-11.3		3.5225	21.8184	-5.66		8.9003	17.7055	-1.6
9.5633	30.2144	-6.36		12.7250	33.3566	-6.25		15.2357	23.4024	-1.23
2.5655	15.6471	-3.3		7.8745	6.7499	1.59		24.0304	26.3741	1.02
0.8766	11.7965	-1.68		27.8656	2.0004	14.3		21.9099	33.9720	-2.87
14.6583	10.9253	4.32		17.3558	19.9081	0.959		7.1185	30.9508	-7.92
13.7655	16.1653	1.01		28.8927	33.1353	-0.296		16.4042	17.7618	1.37
15.6341	30.7537	-4.04		6.9478	31.6821	-8.26		14.6669	19.9037	-0.12
18.7218	0.8810	10.5		20.3741	14.8886	7.38		11.8655	19.0939	-0.896
11.0231	12.1622	1.85		29.6395	8.8674	13.6		1.1322	36.9775	-11.7
26.5550	19.3465	7.95		27.3986	39.9497	-3.03		23.8855	17.6032	7.68
2.9614	34.6101	-10.8		7.8561	17.8556	-2.03		10.0607	36.3831	-8.51
20.3918	33.9785	-3.34		4.0966	16.9828	-3.73		21.6368	9.7209	11
3.2029	35.5683	-11.3		19.6127	42.7187	-7.18		14.8252	14.7404	1.91
23.3716	30.2069	-0.721		21.4511	19.7390	3.37		27.1116	37.5075	-2.2
26.7277	34.5984	-1.13		10.0249	7.5264	1.08		20.9624	38.7891	-5.09

5.9343	44.5442	-13.4		0.9162	23.1491	-6.3		22.3222	39.7926	-5.01
15.0007	26.4612	-2.57		14.3977	6.9639	4.65		27.1417	8.9938	13.6
18.2960	18.3130	2.67		18.5300	33.6918	-4.02		25.7833	37.1513	-2.47
24.1647	35.5483	-2.69		17.3016	14.3336	3.73		5.4877	24.0329	-6.01
7.1980	4.0478	3.17		26.5954	5.0268	13.9		0.8602	6.1332	3.05e016
14.6970	30.5394	-4.49		5.0378	22.2830	-5.81		29.3604	8.5370	13.8
21.3808	22.2753	2.08		15.0141	6.6424	5.4		14.1327	2.4738	8.63

- 3eme approche

  Le fichier.dat contient les 300 valeurs suivantes :

24.4417	2.6828	12.7		27.1738	30.6887	0.484		3.8096	1.9094	1.02
27.4013	3.2150	14.2		18.9708	23.4742	0.127		2.9262	4.3529	0.299
8.3549	36.8167	-9.26		16.4064	36.7896	-6.11		28.7252	32.5098	-0.00518
28.9467	6.7439	14.2		4.7284	29.6822	-8.84		29.1178	23.3368	5.24
28.7150	43.7839	-4.01		14.5613	29.2046	-3.85		24.0084	36.0149	-2.88
4.2566	20.4209	-5.23		12.6528	19.4576	-0.645		27.4721	37.1391	-1.85
23.7662	3.7561	12.5		28.7848	5.9927	14.2		19.6722	7.8025	8.78
1.0714	17.5922	-4.05		25.4739	37.4121	-2.7		28.0198	36.1514	-1.47
20.3621	2.7212	11.1		22.7322	17.9666	6.22		22.2940	23.7094	1.88
11.7668	18.7560	-0.854		19.6643	29.5587	-1.98		5.1356	28.2588	-8.13
21.1814	13.1393	7.3		0.9550	19.4243	-4.73		8.3077	0.6969	6.35
1.3851	44.2829	-14.3		2.9140	7.5226	-0.0125		24.7037	4.7797	12.8
20.8449	16.7584	6.61		9.5130	8.9153	1.56		28.5067	22.0359	6.5
1.0334	15.2772	-3.14		13.1623	42.8234	-9.7		11.4468	41.4149	-9.97
22.9655	2.3705	12.2		23.8560	33.2036	-1.82		5.6062	12.1104	-1.08
14.6929	19.0276	0.244		13.3676	24.6542	-2.44		19.3894	42.4232	-7.23
21.2809	18.7985	4.38		22.6406	44.2374	-5.93		8.2808	13.5655	-0.0824
20.3911	31.5494	-2.39		19.6529	29.9852	-2.18		4.8784	24.2607	-6.67
3.5699	31.4147	-9.55		14.9509	29.9938	-4.03		28.7923	8.0160	14.1
10.2116	5.7606	2.54		17.5580	44.9586	-7.96		6.7144	7.7004	0.532
22.5380	1.4670	12		7.6529	25.2540	-5.08		15.1787	39.6840	-7.68
20.9723	30.1129	-1.67		26.7271	8.5695	13.8		28.7787	16.6012	11.4
16.4165	20.7327	0.19		4.1587	44.1737	-14.2		4.4788	7.0382	3.39e016
7.7252	38.4985	-10.3		25.2215	29.0144	0.752		7.6285	16.9322	-1.63
24.4285	8.5916	12.3		7.3057	19.2714	-2.91		27.8779	21.6910	6.74
10.4995	5.4275	3.06		5.8979	26.5278	-6.7		7.5325	10.1784	0.909
18.4813	17.3079	3.59		14.1987	26.2344	-2.86		10.5498	11.3313	2.09
24.9249	13.0698	9.89		17.5579	27.7691	-2.13		16.4917	11.9376	4.49
27.5158	37.0969	-1.81		8.5752	44.2199	-11.6		22.7160	32.8612	-2.09
22.6119	15.4745	8.55		11.4134	26.2831	-3.96		17.0346	4.8496	7.69
2.2756	40.7839	-13.5		1.6185	39.5844	-12.8		15.9239	36.7992	-6.24
23.3750	11.7328	10.1		28.0203	26.7460	3.33		3.8972	1.0131	1.01
17.0647	19.1367	1.14		14.0817	14.0723	1.61		0.3571	7.2668	3.27e016
10.1137	8.0445	1.46		4.8655	19.0299	-4.6		23.8285	4.2403	12.5
9.3365	26.9336	-5.05		15.8560	21.1916	-0.0998		4.9695	31.3177	-9.52
18.0595	31.4950	-3.27		7.8891	28.7339	-6.29		19.6224	1.5122	10.8
20.6764	3.0963	11		22.4445	14.3820	8.61		13.5162	23.8889	-2.1

2.5146	29.4501	-8.73		6.8693	18.3429	-3.09		27.4001	36.8992	-1.79
4.5713	32.3262	-9.9		24.7745	43.5892	-5.13		16.1503	23.9100	-1.05
29.8840	14.6316	12		2.3453	4.7533	0.123		13.2803	27.4931	-3.65
3.1996	35.0461	-11		28.8569	19.0554	9.23		0.1390	4.0870	0.387
23.2473	11.9912	9.82		24.5191	6.9146	12.4		26.0608	12.6452	10.9
2.5331	19.8038	-4.9		11.9935	23.7214	-2.76		7.7961	20.5841	-3.13
24.0021	39.3917	-4.11		12.9424	23.3123	-2.15		27.3194	42.4630	-4.07
5.4554	28.6969	-7.94		7.9141	43.0962	-11.8		4.3662	10.8318	-1.37
4.0821	30.4255	-9.24		26.0788	13.0079	10.9		17.3911	30.2314	-3.2
16.4958	31.2813	-3.93		4.3486	3.0597	0.733		25.5909	11.4656	11.4
18.6617	10.0818	8.65		10.5286	30.0525	-5.76		15.3975	37.9976	-7.02
12.0542	15.5008	0.464		2.2790	35.1234	-11.1		7.1975	30.3899	-7.69
3.6996	0.3022	1.02		5.5172	27.0977	-7.12		7.1986	17.4047	-2.32
12.5180	41.2196	-9.49		1.4896	0.0518	1.01		27.0815	20.8102	6.66
28.3436	19.0957	9.2		14.7259	20.7412	-0.481		14.6776	34.6572	-5.99
10.1316	14.5112	0.33		27.0016	35.3133	-1.48		11.0774	21.2111	-2.05
3.3361	1.6093	1.01		23.4076	7.9143	11.8		11.6922	32.4791	-6.34
7.2507	21.3069	-3.87		12.1174	6.8725	3.2		2.8936	15.3506	-3.18
3.9592	27.3325	-7.9		28.2615	8.6285	13.8		28.6840	33.2292	-0.323
17.2563	10.9282	5.9		1.7934	41.2841	-13.7		7.0434	12.1078	-0.292
10.5948	34.4475	-7.38		24.6358	8.4898	12.5		0.4621	12.9374	-2.22
1.2907	4.1001	0.382		5.0697	25.9294	-7.29		19.4735	30.7513	-2.65
21.9517	24.5967	1.2		19.4324	19.1578	2.83		13.5277	28.9999	-4.1
16.4103	29.1428	-3.07		8.8896	30.5558	-6.73		22.3408	28.6104	-0.543
5.6687	42.5328	-13.7		20.6033	9.4021	10.3		5.5053	31.9177	-9.08
11.0545	10.6304	2.57		18.7686	5.3728	8.82		23.4068	27.3287	0.481
2.4338	20.2562	-5.15		27.8816	20.6426	7.34		23.2714	29.7875	-0.53
14.6037	34.6628	-6.03		13.0758	15.7598	0.925		13.4035	29.7904	-4.46
9.1905	18.7271	-1.88		15.2553	37.8868	-7.02		15.3231	37.4813	-6.81
24.5288	11.5398	10.7		23.8449	27.6057	0.472		19.3295	26.2012	-0.812
11.3583	24.3333	-3.14		24.3474	39.1473	-3.92		15.9848	11.9151	4.34
10.5218	14.3133	0.593		28.1700	5.3647	14.3		26.2783	42.2923	-4.34
16.5047	29.0498	-3.01		18.6743	21.5758	0.889		17.6113	28.7693	-2.44
6.2323	24.5122	-5.77		9.0374	29.1290	-6.03		14.1277	24.4749	-2.14
6.9146	32.4471	-8.58		25.3293	23.5123	3.56		5.8429	44.7167	-13.5
6.7777	9.8404	0.294		5.1212	4.7609	0.691		6.8299	4.9364	1.5
13.0710	2.8616	7.54		9.3331	18.2061	-1.7		27.7014	20.1768	7.73
12.9062	16.4617	0.64		5.5445	34.3577	-9.98		27.1464	28.2553	2.02
29.3925	34.7391	-0.847		13.1661	41.9784	-9.37		3.3336	43.7733	-14.2
7.7419	8.6413	1.15		12.2616	6.2493	3.69		17.8469	31.3320	-3.33
7.8664	4.2219	3.81		18.0853	23.6432	-0.169		21.3365	23.8655	1.42
6.6524	38.7513	-11.3		3.5225	21.8184	-5.66		8.9003	17.7055	-1.6
9.5633	30.2144	-6.36		12.7250	33.3566	-6.25		15.2357	23.4024	-1.23
2.5655	15.6471	-3.3		7.8745	6.7499	1.59		24.0304	26.3741	1.02
0.8766	11.7965	-1.68		27.8656	2.0004	14.3		21.9099	33.9720	-2.87
14.6583	10.9253	4.32		17.3558	19.9081	0.959		7.1185	30.9508	-7.92
13.7655	16.1653	1.01		28.8927	33.1353	-0.296		16.4042	17.7618	1.37
15.6341	30.7537	-4.04		6.9478	31.6821	-8.26		14.6669	19.9037	-0.12

18.7218	0.8810	10.5		20.3741	14.8886	7.38		11.8655	19.0939	-0.896
11.0231	12.1622	1.85		29.6395	8.8674	13.6		1.1322	36.9775	-11.7
26.5550	19.3465	7.95		27.3986	39.9497	-3.03		23.8855	17.6032	7.68
2.9614	34.6101	-10.8		7.8561	17.8556	-2.03		10.0607	36.3831	-8.51
20.3918	33.9785	-3.34		4.0966	16.9828	-3.73		21.6368	9.7209	11
3.2029	35.5683	-11.3		19.6127	42.7187	-7.18		14.8252	14.7404	1.91
23.3716	30.2069	-0.721		21.4511	19.7390	3.37		27.1116	37.5075	-2.2
26.7277	34.5984	-1.13		10.0249	7.5264	1.08		20.9624	38.7891	-5.09
5.9343	44.5442	-13.4		0.9162	23.1491	-6.3		22.3222	39.7926	-5.01
15.0007	26.4612	-2.57		14.3977	6.9639	4.65		27.1417	8.9938	13.6
18.2960	18.3130	2.67		18.5300	33.6918	-4.02		25.7833	37.1513	-2.47
24.1647	35.5483	-2.69		17.3016	14.3336	3.73		5.4877	24.0329	-6.01
7.1980	4.0478	3.17		26.5954	5.0268	13.9		0.8602	6.1332	3.05e016
14.6970	30.5394	-4.49		5.0378	22.2830	-5.81		29.3604	8.5370	13.8
21.3808	22.2753	2.08		15.0141	6.6424	5.4		14.1327	2.4738	8.63

- 4^{eme} approche

Le fichier.dat contient les 300 valeurs suivantes :

0	0	0	0	0	-15.0000
0.1000	0.1500	0.0833	0.1500	0.1000	-14.9000
0.2000	0.3000	0.1666	0.3000	0.2000	-14.8000
0.3000	0.4500	0.2499	0.4500	0.3000	-14.7000
0.4000	0.6000	0.3332	0.6000	0.4000	-14.6000
0.5000	0.7500	0.4165	0.7500	0.5000	-14.5000
0.6000	0.9000	0.4998	0.9000	0.6000	-14.4000
0.7000	1.0500	0.5831	1.0500	0.7000	-14.3000
0.8000	1.2000	0.6664	1.2000	0.8000	-14.2000
0.9000	1.3500	0.7497	1.3500	0.9000	-14.1000
1.0000	1.5000	0.8330	1.5000	1.0000	-14.0000
1.1000	1.6500	0.9163	1.6500	1.1000	-13.9000
1.2000	1.8000	0.9996	1.8000	1.2000	-13.8000
1.3000	1.9500	1.0829	1.9500	1.3000	-13.7000
1.4000	2.1000	1.1662	2.1000	1.4000	-13.6000
1.5000	2.2500	1.2495	2.2500	1.5000	-13.5000
1.6000	2.4000	1.3328	2.4000	1.6000	-13.4000
1.7000	2.5500	1.4161	2.5500	1.7000	-13.3000
1.8000	2.7000	1.4994	2.7000	1.8000	-13.2000
1.9000	2.8500	1.5827	2.8500	1.9000	-13.1000
2.0000	3.0000	1.6660	3.0000	2.0000	-13.0000
2.1000	3.1500	1.7493	3.1500	2.1000	-12.9000
2.2000	3.3000	1.8326	3.3000	2.2000	-12.8000
2.3000	3.4500	1.9159	3.4500	2.3000	-12.7000
2.4000	3.6000	1.9992	3.6000	2.4000	-12.6000
2.5000	3.7500	2.0825	3.7500	2.5000	-12.5000
2.6000	3.9000	2.1658	3.9000	2.6000	-12.4000
2.7000	4.0500	2.2491	4.0500	2.7000	-12.3000
2.8000	4.2000	2.3324	4.2000	2.8000	-12.2000

2.9000	4.3500	2.4157	4.3500	2.9000	-12.1000
3.0000	4.5000	2.4990	4.5000	3.0000	-12.0000
3.1000	4.6500	2.5823	4.6500	3.1000	-11.9000
3.2000	4.8000	2.6656	4.8000	3.2000	-11.8000
3.3000	4.9500	2.7489	4.9500	3.3000	-11.7000
3.4000	5.1000	2.8322	5.1000	3.4000	-11.6000
3.5000	5.2500	2.9155	5.2500	3.5000	-11.5000
3.6000	5.4000	2.9988	5.4000	3.6000	-11.4000
3.7000	5.5500	3.0821	5.5500	3.7000	-11.3000
3.8000	5.7000	3.1654	5.7000	3.8000	-11.2000
3.9000	5.8500	3.2487	5.8500	3.9000	-11.1000
4.0000	6.0000	3.3320	6.0000	4.0000	-11.0000
4.1000	6.1500	3.4153	6.1500	4.1000	-10.9000
4.2000	6.3000	3.4986	6.3000	4.2000	-10.8000
4.3000	6.4500	3.5819	6.4500	4.3000	-10.7000
4.4000	6.6000	3.6652	6.6000	4.4000	-10.6000
4.5000	6.7500	3.7485	6.7500	4.5000	-10.5000
4.6000	6.9000	3.8318	6.9000	4.6000	-10.4000
4.7000	7.0500	3.9151	7.0500	4.7000	-10.3000
4.8000	7.2000	3.9984	7.2000	4.8000	-10.2000
4.9000	7.3500	4.0817	7.3500	4.9000	-10.1000
5.0000	7.5000	4.1650	7.5000	5.0000	-10.0000
5.1000	7.6500	4.2483	7.6500	5.1000	-9.9000
5.2000	7.8000	4.3316	7.8000	5.2000	-9.8000
5.3000	7.9500	4.4149	7.9500	5.3000	-9.7000
5.4000	8.1000	4.4982	8.1000	5.4000	-9.6000
5.5000	8.2500	4.5815	8.2500	5.5000	-9.5000
5.6000	8.4000	4.6648	8.4000	5.6000	-9.4000
5.7000	8.5500	4.7481	8.5500	5.7000	-9.3000
5.8000	8.7000	4.8314	8.7000	5.8000	-9.2000
5.9000	8.8500	4.9147	8.8500	5.9000	-9.1000
6.0000	9.0000	4.9980	9.0000	6.0000	-9.0000
6.1000	9.1500	5.0813	9.1500	6.1000	-8.9000
6.2000	9.3000	5.1646	9.3000	6.2000	-8.8000
6.3000	9.4500	5.2479	9.4500	6.3000	-8.7000
6.4000	9.6000	5.3312	9.6000	6.4000	-8.6000
6.5000	9.7500	5.4145	9.7500	6.5000	-8.5000
6.6000	9.9000	5.4978	9.9000	6.6000	-8.4000
6.7000	10.0500	5.5811	10.0500	6.7000	-8.3000
6.8000	10.2000	5.6644	10.2000	6.8000	-8.2000
6.9000	10.3500	5.7477	10.3500	6.9000	-8.1000
7.0000	10.5000	5.8310	10.5000	7.0000	-8.0000
7.1000	10.6500	5.9143	10.6500	7.1000	-7.9000
7.2000	10.8000	5.9976	10.8000	7.2000	-7.8000
7.3000	10.9500	6.0809	10.9500	7.3000	-7.7000
7.4000	11.1000	6.1642	11.1000	7.4000	-7.6000
7.5000	11.2500	6.2475	11.2500	7.5000	-7.5000
7.6000	11.4000	6.3308	11.4000	7.6000	-7.4000

7.7000	11.5500	6.4141	11.5500	7.7000	-7.3000
7.8000	11.7000	6.4974	11.7000	7.8000	-7.2000
7.9000	11.8500	6.5807	11.8500	7.9000	-7.1000
8.0000	12.0000	6.6640	12.0000	8.0000	-7.0000
8.1000	12.1500	6.7473	12.1500	8.1000	-6.9000
8.2000	12.3000	6.8306	12.3000	8.2000	-6.8000
8.3000	12.4500	6.9139	12.4500	8.3000	-6.7000
8.4000	12.6000	6.9972	12.6000	8.4000	-6.6000
8.5000	12.7500	7.0805	12.7500	8.5000	-6.5000
8.6000	12.9000	7.1638	12.9000	8.6000	-6.4000
8.7000	13.0500	7.2471	13.0500	8.7000	-6.3000
8.8000	13.2000	7.3304	13.2000	8.8000	-6.2000
8.9000	13.3500	7.4137	13.3500	8.9000	-6.1000
9.0000	13.5000	7.4970	13.5000	9.0000	-6.0000
9.1000	13.6500	7.5803	13.6500	9.1000	-5.9000
9.2000	13.8000	7.6636	13.8000	9.2000	-5.8000
9.3000	13.9500	7.7469	13.9500	9.3000	-5.7000
9.4000	14.1000	7.8302	14.1000	9.4000	-5.6000
9.5000	14.2500	7.9135	14.2500	9.5000	-5.5000
9.6000	14.4000	7.9968	14.4000	9.6000	-5.4000
9.7000	14.5500	8.0801	14.5500	9.7000	-5.3000
9.8000	14.7000	8.1634	14.7000	9.8000	-5.2000
9.9000	14.8500	8.2467	14.8500	9.9000	-5.1000
10.0000	15.0000	8.3300	15.0000	10.0000	-5.0000
10.1000	15.1500	8.4133	15.1500	10.1000	-4.9000
10.2000	15.3000	8.4966	15.3000	10.2000	-4.8000
10.3000	15.4500	8.5799	15.4500	10.3000	-4.7000
10.4000	15.6000	8.6632	15.6000	10.4000	-4.6000
10.5000	15.7500	8.7465	15.7500	10.5000	-4.5000
10.6000	15.9000	8.8298	15.9000	10.6000	-4.4000
10.7000	16.0500	8.9131	16.0500	10.7000	-4.3000
10.8000	16.2000	8.9964	16.2000	10.8000	-4.2000
10.9000	16.3500	9.0797	16.3500	10.9000	-4.1000
11.0000	16.5000	9.1630	16.5000	11.0000	-4.0000
11.1000	16.6500	9.2463	16.6500	11.1000	-3.9000
11.2000	16.8000	9.3296	16.8000	11.2000	-3.8000
11.3000	16.9500	9.4129	16.9500	11.3000	-3.7000
11.4000	17.1000	9.4962	17.1000	11.4000	-3.6000
11.5000	17.2500	9.5795	17.2500	11.5000	-3.5000
11.6000	17.4000	9.6628	17.4000	11.6000	-3.4000
11.7000	17.5500	9.7461	17.5500	11.7000	-3.3000
11.8000	17.7000	9.8294	17.7000	11.8000	-3.2000
11.9000	17.8500	9.9127	17.8500	11.9000	-3.1000
12.0000	18.0000	9.9960	18.0000	12.0000	-3.0000
12.1000	18.1500	10.0793	18.1500	12.1000	-2.9000
12.2000	18.3000	10.1626	18.3000	12.2000	-2.8000
12.3000	18.4500	10.2459	18.4500	12.3000	-2.7000
12.4000	18.6000	10.3292	18.6000	12.4000	-2.6000

12.5000	18.7500	10.4125	18.7500	12.5000	-2.5000
12.6000	18.9000	10.4958	18.9000	12.6000	-2.4000
12.7000	19.0500	10.5791	19.0500	12.7000	-2.3000
12.8000	19.2000	10.6624	19.2000	12.8000	-2.2000
12.9000	19.3500	10.7457	19.3500	12.9000	-2.1000
13.0000	19.5000	10.8290	19.5000	13.0000	-2.0000
13.1000	19.6500	10.9123	19.6500	13.1000	-1.9000
13.2000	19.8000	10.9956	19.8000	13.2000	-1.8000
13.3000	19.9500	11.0789	19.9500	13.3000	-1.7000
13.4000	20.1000	11.1622	20.1000	13.4000	-1.6000
13.5000	20.2500	11.2455	20.2500	13.5000	-1.5000
13.6000	20.4000	11.3288	20.4000	13.6000	-1.4000
13.7000	20.5500	11.4121	20.5500	13.7000	-1.3000
13.8000	20.7000	11.4954	20.7000	13.8000	-1.2000
13.9000	20.8500	11.5787	20.8500	13.9000	-1.1000
14.0000	21.0000	11.6620	21.0000	14.0000	-1.0000
14.1000	21.1500	11.7453	21.1500	14.1000	-0.9000
14.2000	21.3000	11.8286	21.3000	14.2000	-0.8000
14.3000	21.4500	11.9119	21.4500	14.3000	-0.7000
14.4000	21.6000	11.9952	21.6000	14.4000	-0.6000
14.5000	21.7500	12.0785	21.7500	14.5000	-0.5000
14.6000	21.9000	12.1618	21.9000	14.6000	-0.4000
14.7000	22.0500	12.2451	22.0500	14.7000	-0.3000
14.8000	22.2000	12.3284	22.2000	14.8000	-0.2000
14.9000	22.3500	12.4117	22.3500	14.9000	-0.1000
15.0000	22.5000	12.4950	22.5000	15.0000	0
15.1000	22.6500	12.5783	22.6500	15.1000	0.1000
15.2000	22.8000	12.6616	22.8000	15.2000	0.2000
15.3000	22.9500	12.7449	22.9500	15.3000	0.3000
15.4000	23.1000	12.8282	23.1000	15.4000	0.4000
15.5000	23.2500	12.9115	23.2500	15.5000	0.5000
15.6000	23.4000	12.9948	23.4000	15.6000	0.6000
15.7000	23.5500	13.0781	23.5500	15.7000	0.7000
15.8000	23.7000	13.1614	23.7000	15.8000	0.8000
15.9000	23.8500	13.2447	23.8500	15.9000	0.9000
16.0000	24.0000	13.3280	24.0000	16.0000	1.0000
16.1000	24.1500	13.4113	24.1500	16.1000	1.1000
16.2000	24.3000	13.4946	24.3000	16.2000	1.2000
16.3000	24.4500	13.5779	24.4500	16.3000	1.3000
16.4000	24.6000	13.6612	24.6000	16.4000	1.4000
16.5000	24.7500	13.7445	24.7500	16.5000	1.5000
16.6000	24.9000	13.8278	24.9000	16.6000	1.6000
16.7000	25.0500	13.9111	25.0500	16.7000	1.7000
16.8000	25.2000	13.9944	25.2000	16.8000	1.8000
16.9000	25.3500	14.0777	25.3500	16.9000	1.9000
17.0000	25.5000	14.1610	25.5000	17.0000	2.0000
17.1000	25.6500	14.2443	25.6500	17.1000	2.1000
17.2000	25.8000	14.3276	25.8000	17.2000	2.2000

17.3000	25.9500	14.4109	25.9500	17.3000	2.3000
17.4000	26.1000	14.4942	26.1000	17.4000	2.4000
17.5000	26.2500	14.5775	26.2500	17.5000	2.5000
17.6000	26.4000	14.6608	26.4000	17.6000	2.6000
17.7000	26.5500	14.7441	26.5500	17.7000	2.7000
17.8000	26.7000	14.8274	26.7000	17.8000	2.8000
17.9000	26.8500	14.9107	26.8500	17.9000	2.9000
18.0000	27.0000	14.9940	27.0000	18.0000	3.0000
18.1000	27.1500	15.0773	27.1500	18.1000	3.1000
18.2000	27.3000	15.1606	27.3000	18.2000	3.2000
18.3000	27.4500	15.2439	27.4500	18.3000	3.3000
18.4000	27.6000	15.3272	27.6000	18.4000	3.4000
18.5000	27.7500	15.4105	27.7500	18.5000	3.5000
18.6000	27.9000	15.4938	27.9000	18.6000	3.6000
18.7000	28.0500	15.5771	28.0500	18.7000	3.7000
18.8000	28.2000	15.6604	28.2000	18.8000	3.8000
18.9000	28.3500	15.7437	28.3500	18.9000	3.9000
19.0000	28.5000	15.8270	28.5000	19.0000	4.0000
19.1000	28.6500	15.9103	28.6500	19.1000	4.1000
19.2000	28.8000	15.9936	28.8000	19.2000	4.2000
19.3000	28.9500	16.0769	28.9500	19.3000	4.3000
19.4000	29.1000	16.1602	29.1000	19.4000	4.4000
19.5000	29.2500	16.2435	29.2500	19.5000	4.5000
19.6000	29.4000	16.3268	29.4000	19.6000	4.6000
19.7000	29.5500	16.4101	29.5500	19.7000	4.7000
19.8000	29.7000	16.4934	29.7000	19.8000	4.8000
19.9000	29.8500	16.5767	29.8500	19.9000	4.9000
20.0000	30.0000	16.6600	30.0000	20.0000	5.0000
20.1000	30.1500	16.7433	30.1500	20.1000	5.1000
20.2000	30.3000	16.8266	30.3000	20.2000	5.2000
20.3000	30.4500	16.9099	30.4500	20.3000	5.3000
20.4000	30.6000	16.9932	30.6000	20.4000	5.4000
20.5000	30.7500	17.0765	30.7500	20.5000	5.5000
20.6000	30.9000	17.1598	30.9000	20.6000	5.6000
20.7000	31.0500	17.2431	31.0500	20.7000	5.7000
20.8000	31.2000	17.3264	31.2000	20.8000	5.8000
20.9000	31.3500	17.4097	31.3500	20.9000	5.9000
21.0000	31.5000	17.4930	31.5000	21.0000	6.0000
21.1000	31.6500	17.5763	31.6500	21.1000	6.1000
21.2000	31.8000	17.6596	31.8000	21.2000	6.2000
21.3000	31.9500	17.7429	31.9500	21.3000	6.3000
21.4000	32.1000	17.8262	32.1000	21.4000	6.4000
21.5000	32.2500	17.9095	32.2500	21.5000	6.5000
21.6000	32.4000	17.9928	32.4000	21.6000	6.6000
21.7000	32.5500	18.0761	32.5500	21.7000	6.7000
21.8000	32.7000	18.1594	32.7000	21.8000	6.8000
21.9000	32.8500	18.2427	32.8500	21.9000	6.9000
22.0000	33.0000	18.3260	33.0000	22.0000	7.0000

22.1000	33.1500	18.4093	33.1500	22.1000	7.1000
22.2000	33.3000	18.4926	33.3000	22.2000	7.2000
22.3000	33.4500	18.5759	33.4500	22.3000	7.3000
22.4000	33.6000	18.6592	33.6000	22.4000	7.4000
22.5000	33.7500	18.7425	33.7500	22.5000	7.5000
22.6000	33.9000	18.8258	33.9000	22.6000	7.6000
22.7000	34.0500	18.9091	34.0500	22.7000	7.7000
22.8000	34.2000	18.9924	34.2000	22.8000	7.8000
22.9000	34.3500	19.0757	34.3500	22.9000	7.9000
23.0000	34.5000	19.1590	34.5000	23.0000	8.0000
23.1000	34.6500	19.2423	34.6500	23.1000	8.1000
23.2000	34.8000	19.3256	34.8000	23.2000	8.2000
23.3000	34.9500	19.4089	34.9500	23.3000	8.3000
23.4000	35.1000	19.4922	35.1000	23.4000	8.4000
23.5000	35.2500	19.5755	35.2500	23.5000	8.5000
23.6000	35.4000	19.6588	35.4000	23.6000	8.6000
23.7000	35.5500	19.7421	35.5500	23.7000	8.7000
23.8000	35.7000	19.8254	35.7000	23.8000	8.8000
23.9000	35.8500	19.9087	35.8500	23.9000	8.9000
24.0000	36.0000	19.9920	36.0000	24.0000	9.0000
24.1000	36.1500	20.0753	36.1500	24.1000	9.1000
24.2000	36.3000	20.1586	36.3000	24.2000	9.2000
24.3000	36.4500	20.2419	36.4500	24.3000	9.3000
24.4000	36.6000	20.3252	36.6000	24.4000	9.4000
24.5000	36.7500	20.4085	36.7500	24.5000	9.5000
24.6000	36.9000	20.4918	36.9000	24.6000	9.6000
24.7000	37.0500	20.5751	37.0500	24.7000	9.7000
24.8000	37.2000	20.6584	37.2000	24.8000	9.8000
24.9000	37.3500	20.7417	37.3500	24.9000	9.9000
25.0000	37.5000	20.8250	37.5000	25.0000	10.0000
25.1000	37.6500	20.9083	37.6500	25.1000	10.1000
25.2000	37.8000	20.9916	37.8000	25.2000	10.2000
25.3000	37.9500	21.0749	37.9500	25.3000	10.3000
25.4000	38.1000	21.1582	38.1000	25.4000	10.4000
25.5000	38.2500	21.2415	38.2500	25.5000	10.5000
25.6000	38.4000	21.3248	38.4000	25.6000	10.6000
25.7000	38.5500	21.4081	38.5500	25.7000	10.7000
25.8000	38.7000	21.4914	38.7000	25.8000	10.8000
25.9000	38.8500	21.5747	38.8500	25.9000	10.9000
26.0000	39.0000	21.6580	39.0000	26.0000	11.0000
26.1000	39.1500	21.7413	39.1500	26.1000	11.1000
26.2000	39.3000	21.8246	39.3000	26.2000	11.2000
26.3000	39.4500	21.9079	39.4500	26.3000	11.3000
26.4000	39.6000	21.9912	39.6000	26.4000	11.4000
26.5000	39.7500	22.0745	39.7500	26.5000	11.5000
26.6000	39.9000	22.1578	39.9000	26.6000	11.6000
26.7000	40.0500	22.2411	40.0500	26.7000	11.7000
26.8000	40.2000	22.3244	40.2000	26.8000	11.8000

26.9000	40.3500	22.4077	40.3500	26.9000	11.9000
27.0000	40.5000	22.4910	40.5000	27.0000	12.0000
27.1000	40.6500	22.5743	40.6500	27.1000	12.1000
27.2000	40.8000	22.6576	40.8000	27.2000	12.2000
27.3000	40.9500	22.7409	40.9500	27.3000	12.3000
27.4000	41.1000	22.8242	41.1000	27.4000	12.4000
27.5000	41.2500	22.9075	41.2500	27.5000	12.5000
27.6000	41.4000	22.9908	41.4000	27.6000	12.6000
27.7000	41.5500	23.0741	41.5500	27.7000	12.7000
27.8000	41.7000	23.1574	41.7000	27.8000	12.8000
27.9000	41.8500	23.2407	41.8500	27.9000	12.9000
28.0000	42.0000	23.3240	42.0000	28.0000	13.0000
28.1000	42.1500	23.4073	42.1500	28.1000	13.1000
28.2000	42.3000	23.4906	42.3000	28.2000	13.2000
28.3000	42.4500	23.5739	42.4500	28.3000	13.3000
28.4000	42.6000	23.6572	42.6000	28.4000	13.4000
28.5000	42.7500	23.7405	42.7500	28.5000	13.5000
28.6000	42.9000	23.8238	42.9000	28.6000	13.6000
28.7000	43.0500	23.9071	43.0500	28.7000	13.7000
28.8000	43.2000	23.9904	43.2000	28.8000	13.8000
28.9000	43.3500	24.0737	43.3500	28.9000	13.9000
29.0000	43.5000	24.1570	43.5000	29.0000	14.0000
29.1000	43.6500	24.2403	43.6500	29.1000	14.1000
29.2000	43.8000	24.3236	43.8000	29.2000	14.2000
29.3000	43.9500	24.4069	43.9500	29.3000	14.3000
29.4000	44.1000	24.4902	44.1000	29.4000	14.4000
29.5000	44.2500	24.5735	44.2500	29.5000	14.5000
29.6000	44.4000	24.6568	44.4000	29.6000	14.6000
29.7000	44.5500	24.7401	44.5500	29.7000	14.7000
29.8000	44.7000	24.8234	44.7000	29.8000	14.8000
29.9000	44.8500	24.9067	44.8500	29.9000	14.9000
30.0000	45.0000	24.9900	45.0000	30.0000	15.0000

- 5^{eme} Approche de cinq entée

Le fichier.dat contient les 300 valeurs suivantes :

24.4417	2.6828	38.2821	74.0951	15.1134	0
27.1738	30.6887	25.2252	12.7824	14.6878	13.9200
3.8096	1.9094	41.8324	19.3344	26.3115	0
27.4013	3.2150	31.3500	29.7599	10.5943	0
18.9708	23.4742	26.2256	5.5496	13.4833	6.4000
2.9262	4.3529	36.6929	51.3072	28.9059	-15.0400
8.3549	36.8167	39.5556	30.1791	1.2689	0
16.4064	36.7896	44.5010	73.7126	29.1888	-1.1200
28.7252	32.5098	0.0235	30.1638	5.6762	0
28.9467	6.7439	38.9447	46.5504	20.0136	0

4.7284	29.6822	27.5655	11.5777	17.5932	-1.1200
29.1178	23.3368	44.5478	28.6009	20.2534	0
28.7150	43.7839	23.7456	12.0850	10.8307	0
14.5613	29.2046	21.5786	56.8584	18.6084	-0.4800
24.0084	36.0149	36.0606	65.3333	24.3345	2.1472
4.2566	20.4209	10.2529	26.3083	0.5777	0
12.6528	19.4576	22.4142	51.4152	2.5162	0
27.4721	37.1391	40.5384	22.0611	29.2441	0
23.7662	3.7561	25.8598	39.7972	19.5405	0
28.7848	5.9927	38.0330	62.4318	6.9371	0
19.6722	7.8025	33.2388	44.8118	12.1047	0
1.0714	17.5922	26.3694	25.1483	3.6606	-2.1228
25.4739	37.4121	11.1031	22.4419	8.0532	15.0683
28.0198	36.1514	29.9887	33.9444	7.7354	0
20.3621	2.7212	3.7567	31.6984	9.9500	0
22.7322	17.9666	28.1682	26.9705	4.5670	7.2114
22.2940	23.7094	29.7425	41.8739	10.4402	5.8335
11.7668	18.7560	32.8388	55.6909	3.6498	0
19.6643	29.5587	40.0838	31.8251	26.5246	0.0000
5.1356	28.2588	44.2036	32.2017	2.8284	0
21.1814	13.1393	34.6063	9.3655	27.9012	0
0.9550	19.4243	26.1651	1.8326	11.9706	0
8.3077	0.6969	41.7741	21.7639	1.4220	0
1.3851	44.2829	26.1041	23.8140	10.2712	-4.3200
2.9140	7.5226	0.7642	49.0268	22.0790	-13.9200
24.7037	4.7797	5.4387	71.7702	23.8405	0
20.8449	16.7584	38.8220	70.1798	16.3472	0
9.5130	8.9153	21.7933	34.3415	20.5867	-7.4504
28.5067	22.0359	38.0185	18.0359	26.8090	0
1.0334	15.2772	9.4232	57.2923	1.6438	0
13.1623	42.8234	24.8531	56.9496	9.1098	-0.0000
11.4468	41.4149	28.3448	55.5486	1.3857	0
22.9655	2.3705	1.4396	55.7766	5.8643	0
23.8560	33.2036	27.6621	7.9440	21.6050	0
5.6062	12.1104	16.3085	51.1170	21.6526	-15.0400
14.6929	19.0276	2.2290	34.7445	26.3340	-2.0800
13.3676	24.6542	22.0306	15.9122	17.4730	1.1196
19.3894	42.4232	8.6630	7.3889	2.1205	0
21.2809	18.7985	5.5388	61.7681	27.6823	0
22.6406	44.2374	9.2472	13.1257	24.0112	0
8.2808	13.5655	6.5932	12.2677	8.5784	0.4800
20.3911	31.5494	8.5082	49.9490	16.3099	0
19.6529	29.9852	1.9194	67.0792	29.5433	0
4.8784	24.2607	28.5839	38.7419	21.4703	-3.2000
3.5699	31.4147	12.6840	52.7027	25.1691	0
14.9509	29.9938	24.2369	11.5193	12.9978	1.1200
28.7923	8.0160	31.2823	71.5093	14.1187	0
10.2116	5.7606	22.4602	40.5663	16.8214	0
17.5580	44.9586	24.1110	50.9800	8.0727	-0.0000

6.7144	7.7004	20.0332	2.7422	22.4706	0
22.5380	1.4670	5.5770	60.6903	15.1166	0
7.6529	25.2540	22.0661	56.1464	19.4043	-1.9325
15.1787	39.6840	38.3849	9.0140	9.2324	0
20.9723	30.1129	39.3267	39.3784	4.1617	0
26.7271	8.5695	12.1632	24.4375	14.2672	11.7220
28.7787	16.6012	9.3808	40.9837	10.8738	11.7219
16.4165	20.7327	25.4241	29.9161	23.6434	1.0403
4.1587	44.1737	28.8140	31.1320	23.4089	-6.5872
4.4788	7.0382	18.7663	13.5553	20.0554	0
7.7252	38.4985	9.2689	19.1540	4.0051	-1.1200
25.2215	29.0144	42.6570	1.5402	0.6467	0
7.6285	16.9322	3.6932	69.2757	16.7952	-2.1056
24.4285	8.5916	4.7569	49.0275	9.0246	0
7.3057	19.2714	6.3919	69.9460	28.1823	0
27.8779	21.6910	7.4907	12.2634	29.4271	0
10.4995	5.4275	27.9431	69.0823	8.5986	0
5.8979	26.5278	25.8169	59.5993	24.0246	-7.9370
7.5325	10.1784	2.3435	43.3046	26.8833	-8.0000
18.4813	17.3079	41.9041	33.0027	17.9258	1.6000
14.1987	26.2344	32.7898	19.3210	26.5205	0
10.5498	11.3313	33.2029	56.3960	28.3119	0
24.9249	13.0698	2.8532	17.1502	16.4747	10.6425
17.5579	27.7691	38.7198	4.8140	21.8516	0
16.4917	11.9376	42.0482	57.5497	17.3027	0
27.5158	37.0969	44.2979	50.3402	0.7757	0
8.5752	44.2199	38.6522	53.6409	13.3959	0
22.7160	32.8612	35.3502	48.1546	19.3891	5.3182
22.6119	15.4745	23.1020	31.4286	15.6361	5.9200

➢ Cerebot™32MX4

The Cerebot 32MX4 board is a useful tool for embedded control and robotics projects for both students and hobbyists. Its versatile design and programmable microcontroller lets you access numerous peripheral devices and program the board for multiple uses. The board has many I/O connectors and power supply options. The Cerebot 32MX4 works with the Microchip MPLAB development environment and provides built in programming and debugging support under MPLAB.

The Cerebot 32MX4 provides a number of connections for peripheral devices. It has nine connectors for attaching Digilent Pmod™ peripheral modules. Digilent peripheral modules include H-bridges, analog-to-digital and digital-to-analog converters, speaker amplifier, switches, buttons, LEDs, as well as converters for easy connection to RS232, screw terminals, BNC jacks, servo motors, and more.

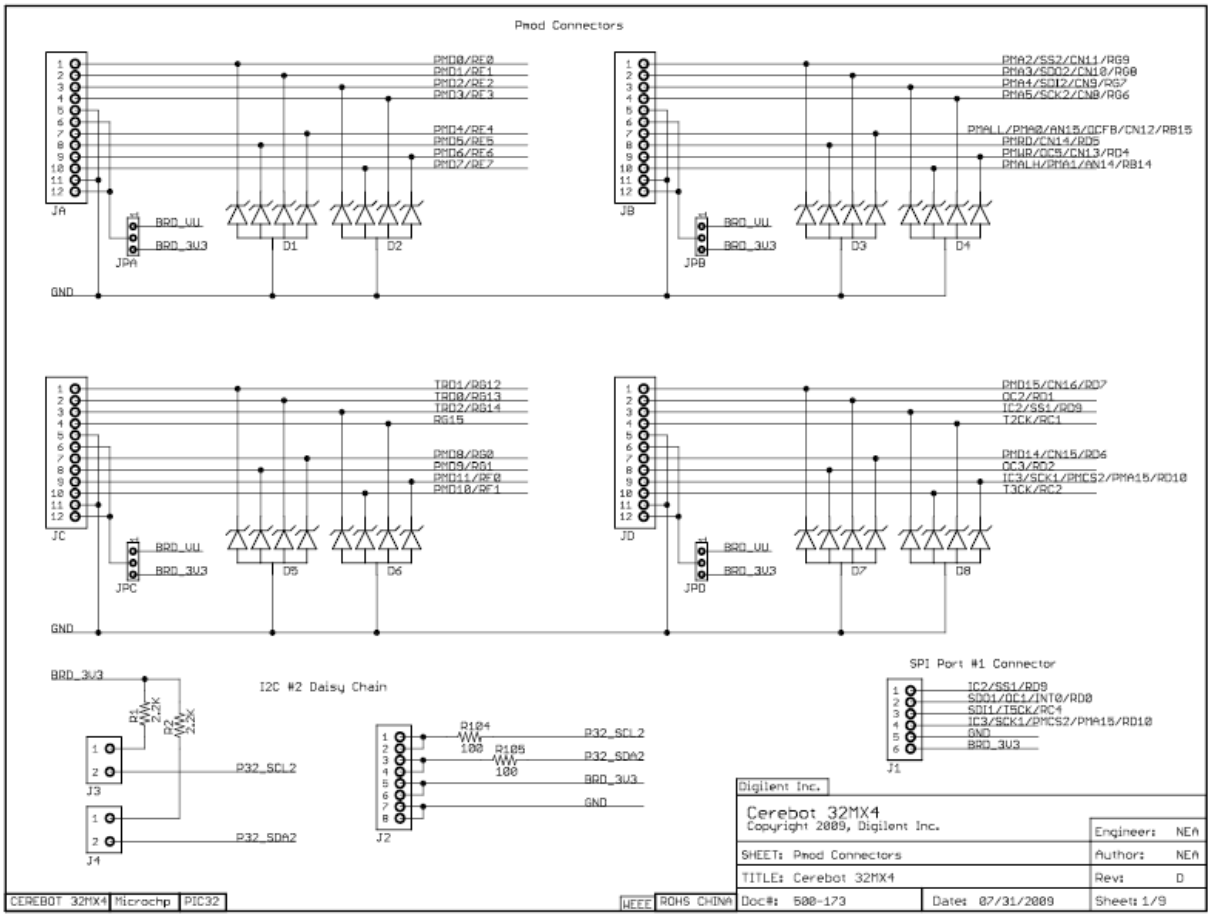
Features include:

• a PIC32MX460F512L microcontroller
• support for programming and debugging within the Microchip MPLAB development environment
• nine Pmod connectors for Digilent peripheral module boards
• eight hobby RC servo connectors
• USB 2.0 Device, Host, and OTG support
• two push buttons
• four LEDs
• multiple power supply options, including USB powered
• ESD protection and short circuit protection for all I/O pins.



IC :	Microchip® PIC32MX460F512L processeur MIPS 32 bits
Connecteurs:	• 8X2 Broches Pmod™ tetes • 1X6 Broches Pmod™ tetes • 8XR/C connecteurs de servo • Port USB • 2 ports SDIx • 2Xports I2C
Programmation :	Programme en utilisant programme MPLAB par le circuit de programmation a bord

Il faut avoir d'abord le schéma interne de microchip pour avoir comment le connecté avec notre maquette



➢ Maquette :

La réalisation de maquette possède :

1. 54 LEDs « 18 LEDs vert, 18 LEDs orange et 18 LEDs rouge » ;
2. 24 résistances connectées en série avec les LEDs ;
3. plaque d'essai « Plaque Perforé » ;
4. 3 connecteurs à 12 pines ;
5. 3 nappes ;
6. Fils isolants.

