

# Projet de fin d'année

Élève Ingénieur en 3ème année

Génie Systèmes Embarqués et Informatiques Industrielle

Commande de l'inter distance entre deux véhicules

Réalisé par M. Korota Arsène COULIBALY

Encadrant ENSAF

- Pr MAZER Saïd

- Pr MELLOULI EL Mehdi

2021-2022

## Remerciement

Par ces mots je tiens à remercier mes encadrants MAZER Saïd et MELLOULI EL Mehdi pour leurs précieux conseils et leurs soutiens indéfectible tout au long de la réalisation de ce projet.

Je tiens également à remercier tous mes professeurs ayant contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

## Abstract

Plusieurs solutions sont envisagées pour la réduction des accidents de routes ou la densité de circulation. Ces solutions vont de la construction de nouvelles autoroutes à l'utilisation de systèmes qui pourront être embarqués dans les véhicules. La construction de nouvelles autoroutes n'est pas une solution envisageable vu les infrastructures urbaines déjà existantes. La meilleure solution s'avère être les dispositifs d'aide au contrôle du véhicule par exemple le contrôle latérale pour éviter de sortir de la voie ou le contrôle longitudinale. Dans ce travail nous utilisons une stratégie de commande longitudinale permettant de maintenir une certaine distance de sécurité entre deux véhicules. L'objectif c'est d'éviter un accident en cas freinage brusque et continu du véhicule maître. Une approche de modélisation adéquate à notre solution est le modèle du dumper virtuel(ressorts-amortisseurs virtuels) appliquée à la commande par logique floue.

# Tables des matières

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Remerciement .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Abstract.....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>Tables des matières .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Tables des figures et tableaux.....</b>                                      | <b>4</b>  |
| <b>Introduction générale .....</b>  | <b>5</b>  |
| I. Motivations et Justifications .....  | 5         |
| II. Objectif du projet et définition du problème.....                           | 5         |
| III. Résultat attendu du projet.....  | 5         |
| IV. Clients cible .....   | 5         |
| V. Structure du document. ....  | 5         |
| <b>PARTIE THEORIQUE.....</b>  | <b>7</b>  |
| I. Rappels sur la logique flou .....  | 8         |
| 1) Définitions.....   | 8         |
| 2) Quelques Champs d'applications.....  | 8         |
| 3) Intérêts.....  | 8         |
| 4) Structure d'une commande par logique floue. ....                             | 8         |
| 5) Notion de fonction d'appartenance.....                                       | 11        |
| II. Application de la logique flou à la commande des systèmes.....              | 12        |
| <b>PARTIE 2 : MODELISATION, SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....</b> | <b>14</b> |
| I. Organigramme des étapes de modélisation .....                                | 15        |
| 1) Choix de l'approche de modélisation.....                                     | 15        |
| 2) Choix de la méthode de développement.....                                    | 16        |
| 3) Choix des entrées/Sorties .....  | 16        |
| 4) Définition des fonctions d'appartenances .....                               | 16        |
| 5) Mise en place des règles du système sous Matlab .....                        | 17        |
| 6) Mise en place du modèle complet sur Simulink .....                           | 19        |
| II. Simulation et interprétation des résultats .....                            | 20        |
| <b>CONCLUSION GENERALE .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>REFERENCES.....</b>  | <b>23</b> |

## Tables des figures et tableaux

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Structure d'un système flou .....               | 8  |
| Figure 2 : Interface de fuzzification .....                | 9  |
| Figure 3 : Exemple de règles flou .....                    | 9  |
| Figure 4: Inférence de Mamdani .....                       | 10 |
| Figure 5 : Expression de calcul du centre de gravité.....  | 11 |
| Figure 6 : Fonctions d'appartenance .....                  | 11 |
| Figure 7 : modèle ressort-amortisseurs virtuel.....        | 12 |
| Figure 8 : paramètres inter distance .....                 | 13 |
| Figure 9 : Fonctions d'appartenances pour e.....           | 17 |
| Figure 10 : Fonctions d'appartenances pour de .....        | 17 |
| Figure 11 : Fonction d'appartenance pour la sortie du..... | 17 |
| Figure 12 : Base de règles.....                            | 18 |
| Figure 13: règles du système .....                         | 18 |

# Introduction générale

## I. Motivations et Justifications

On assiste aujourd'hui à une explosion du nombre de voitures. Chaque citoyen veut en posséder une. Les conséquences qui en découlent sont l'augmentation du nombre d'accidents, la pollution et la densité du Trafic. Ce sont les causes de nombreux décès par accidents de routes. Dans le souci de réduire le nombre de décès par accident de la circulation, les systèmes d'aides à la conduite sont devenus primordiaux. Ces systèmes d'aide à la conduite sont développés sur 03 niveaux :

- **Sécurité passive** : ces Systèmes ont pour objectif la réduction de l'impact de l'accident sans action préventive. C'est le cas de l'airbag
- **Sécurité active** : Ces systèmes modifient le comportement du véhicule en situation critique sans aucune action d'anticipation. C'est le cas du système ABS, de l'ASR...
- **Sécurité préventive** : systèmes effectuant une action préventive en anticipant les situations dangereuses.

## II. Objectif du projet et définition du problème

Dans un système de convoi, rare sont les conducteurs qui respectent généralement l'inter distance préconisé entre véhicules. Ce qui est très souvent la cause de beaucoup d'accidents lorsque le conducteur d'un véhicule maître effectue une fausse manœuvre. Nous recherchons ici une solution à la fois intuitive et efficace permettant le maintien d'une certaine distance de sécurité entre les véhicules maître et esclave.

L'objectif ici sera donc de mettre en place un algorithme d'inter distance qui sera embarqué dans les véhicules et qui permettra de maintenir ladite distance de sécurité.

## III. Résultat attendu du projet

Ce qu'on attend de ce projet est qu'en fin de réalisation nous ayons un modèle, un algorithme d'inter distance robuste, efficace et très optimisé en terme de rapidité et capable d'assurer la fonction qu'on attend de lui.

## IV. Clients cible

Le domaine ciblé est bien sûr l'industrie automobile par excellence.

## V. Structure du document.

Le document est organisé en deux grandes parties :

**PARTIE THEORIQUE :**

Cette partie aborde la notion de commande par logique ainsi que l'approche utilisé dans la mise en place de notre système. Elle est constituée des sous points suivants :

- I. Quelques rappels sur la logique floue
- II. Application de la logique flou à la commande des systèmes

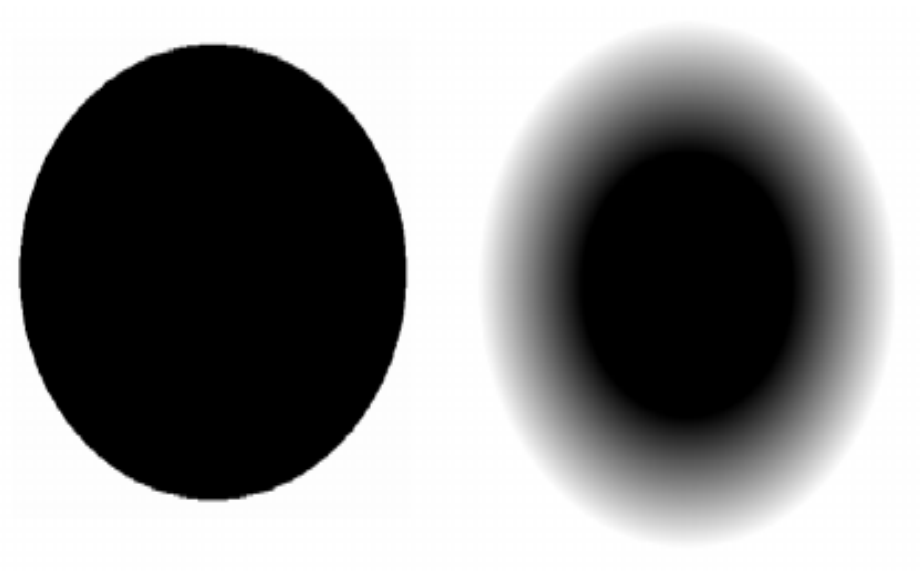
## **IMPLEMENTATION**

Cette partie décrit les différentes étapes de modélisation du système.

## **CONCLUSION GENERALE**

## **REFERENCES**

## PARTIE THEORIQUE





## I. Rappels sur la logique flou

### 1) Définitions

La logique flou est considérée comme une extension de la logique booléenne. Du point de vue mathématique elle représente une fonction non linéaire liant un vecteur de données d'entrées à un vecteur de données de sortie. Du point de vue logique elle est définie comme un système constitué de 04 blocs : la base de règles, les modules de fuzzification et de défuzzification et le moteur d'inférence. Elle fut créée en 1965 par le docteur Lotfi ZADEH. Elle généralise en quelques sorte la théorie des ensembles classiques.

### 2) Quelques Champs d'applications

- Diagnostic et aide à la décision : domaine médical
- Commande floue des systèmes
- Reconnaissance de forme.

### 3) Intérêts

- Flexibilités des raisonnements
- Règles énoncées en langages naturels
- Possibilités d'avoir d'autres états autre que 0 et 1 contrairement à la logique booléenne.

### 4) Structure d'une commande par logique floue.

La commande par logique flou est une des applications très utilisées dans la logique floue en raison de son efficacité et de sa simplicité de modélisation. En adoptant le point de vue logique on obtient une structure suivante :



Figure 1 : Structure d'un système flou

### Interface de fuzzification



Figure 2 : Interface de fuzzification

Les données fournies à un système flou sont généralement de nature physique. L'opération de fuzzification est donc chargée en général de convertir ces valeurs physiques (réelles) en valeurs floues dites variables linguistiques utilisées pour l'inférence. On peut donc affecter à ce bloc les missions suivantes :

- La mesure des variables d'entrées
- Définit les univers de discours pour les fonctions d'appartenance à partir des valeurs des variables d'entrées

### 📚 Base de connaissance ou la base de règle

Ce bloc est constitué d'un ensemble de règles floues qui définissent le comportement de notre système. Ce module est primordial car le signal de sortie dépend de ces règles. Une règle est de la forme :

Si **X** est **PETIT** ET **Y** est **GRAND** ALORS **Z** est **MOYEN** avec (X, Y) les variables d'entrées et Z la variable de sortie.

Ces règles doivent obéir à deux conditions :

- La condition de complétude : La base de règle est dite complète si pour chaque vecteur d'entrée, il existe au moins une règle floue activée.
- La condition de consistance : Le système flou est dite inconsistante s'il existe deux règles floues ayant la même prémisse mais des conclusions différentes.

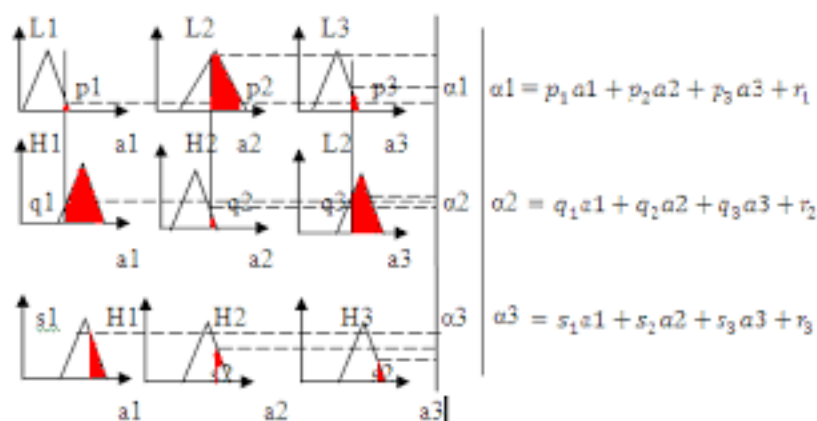


Figure 3 : Exemple de règles flou

### 📚 Le moteur d'inférence

C'est le cerveau de notre système flou. Il possède la faculté de simuler le raisonnement d'un être humain. C'est ce qui fait d'ailleurs la force du système flou. Il existe plusieurs méthode d'inférence mais celle utilisée dans notre projet est la méthode d'inférence de **Mamdani**.

Dans cette méthode l'opérateur **ET** est appliquée aux variables à l'intérieur d'une règle. Cet opérateur est interprétée comme une opération d'intersection entre variables donc le min de ces variables. L'opérateur **OU** quant à lui est utilisé pour lier les règles floues. Ce dernier est interprétée comme une opération d'union donc on considère le max.

Exemple : Soit l'inférence de Mamdani suivante où x et y représentent les variables d'entrées et z la variables de sorties.

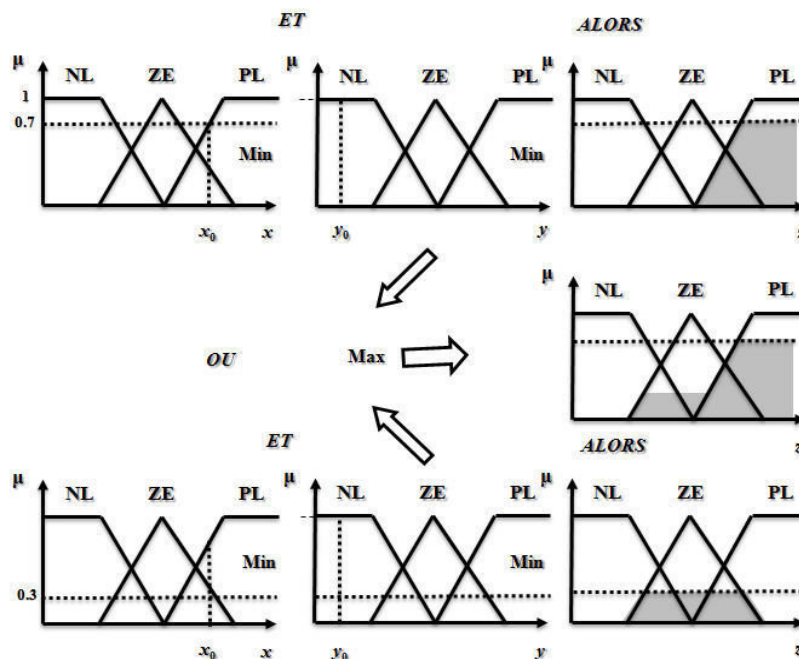


Figure 4: Inférence de Mamdani

### L'interface de défuzzification

L'objectif ici c'est d'avoir un signal de commande physique qui puisse agir sur un procédé. L'interface va donc réaliser l'opération inverse de la fuzzification en convertissant des valeurs floues en grandeurs réelles. On distingue plusieurs méthode de défuzzification mais celle utilisée ici est la méthode de fuzzification par centre de gravité.

Dans cette approche le contrôleur flou calcule d'abord l'aire sous les fonctions d'appartenance mises à l'échelle et dans la gamme de la variable de sortie.

L'équation suivante est ensuite utilisée pour calculer le centre géométrique de cette surface :

$$CoA = \frac{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x) * x \, dx}{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x) \, dx}$$

Figure 5 : Expression de calcul du centre de gravité

CoA : centre de la surface,  
 x : valeur de la variable linguistique,  
 $x_{min}$  et  $x_{max}$  : représentent la gamme de variable linguistique

## 5) Notion de fonction d'appartenance

C'est une fonction qui précise le degré à laquelle une donnée d'entrée appartient à un ensemble. Elle est toujours limitée entre 0 et 1. On distingue plusieurs types de fonctions d'appartenance :

- Triangulaire
- Trapézoïdale
- Gaussien
- Singleton
- ...

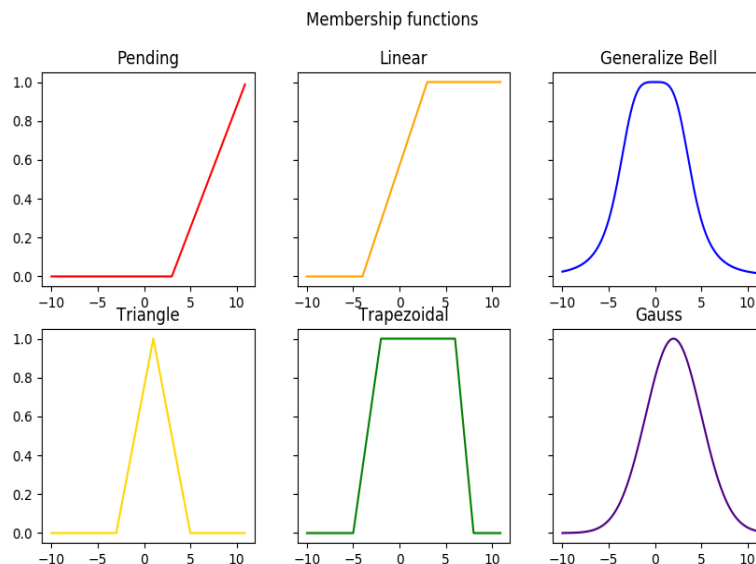


Figure 6 : Fonctions d'appartenance

## II. Application de la logique floue à la commande des systèmes

Les régulateurs traditionnels sont efficaces pour des systèmes linéaires. Mais face à des systèmes non linéaires ces régulateurs ne sont d'aucune utilité. Vu la capacité de la logique floue à simuler les décisions humaines, elle est donc plus appropriée à la modélisation des systèmes non linéaires.

Par exemple Une approche très utilisée pour la commande de l'inter distance est le modèle du dumper virtuel. Ce modèle agit comme s'il y'avait des ressorts imaginaires et des amortisseurs entre les véhicules maître et esclave. Ce type de modèle est à paramètres variables donc non linéaires nous allons donc utiliser la commande par logique floue pour la modélisation d'un tel système.

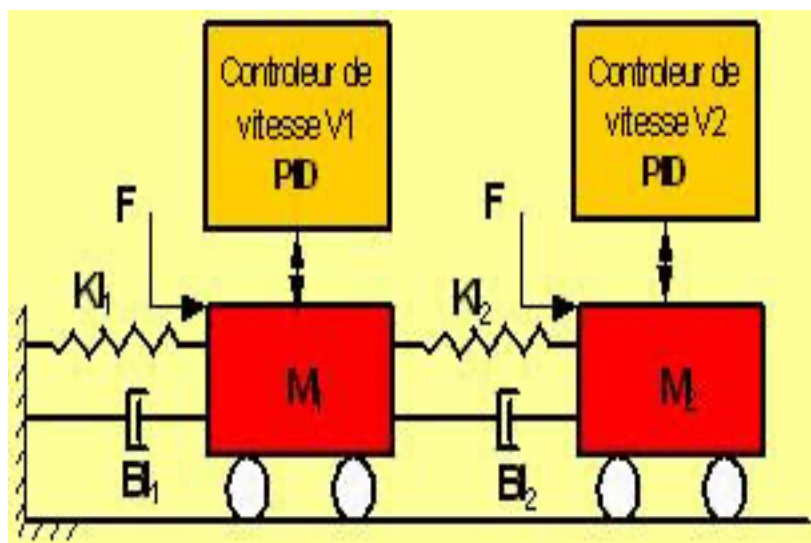


Figure 7 : modèle ressort-amortisseurs virtuel

### Concepts de l'inter distance

$$\ddot{d}_r = \ddot{x}_l - \ddot{x}_f$$

$$\ddot{x}_f = u_r(d_r, \dot{d}_r)$$

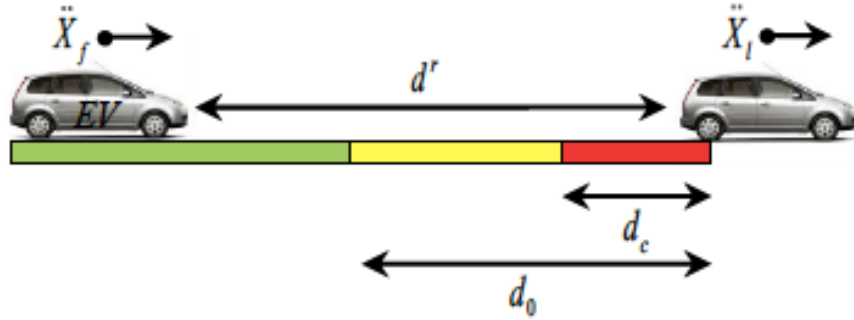


Figure 8 : paramètres inter distance

- $X_f(t)$  et  $x_l(t)$  : positions respectives des véhicules esclaves et maîtres
- $V_f, V_l$  : Vitesses respectives des véhicules esclaves et maîtres
- $d^r$  :
- $d_s$  : distance de sécurité
- $d_c$  : distance critique minimale à imposer
- $d_0$  : Inter distance nominale de sécurité

$$d_0 = \sqrt{\left(\frac{16}{27}\right) \frac{V_{\max}^2}{\beta_{\max}}} + d_c \quad c = \frac{27\beta_{\max}^2}{8V_{\max}^3}$$

$$\dot{d}_r = \frac{c}{2}(d_0 - d_r)^2 + \dot{x}_l(t) - \beta$$

$$\beta = \dot{x}_f(0) + \frac{c}{2}(d_0 - d_r(0))^2$$

$d_c, V_{\max}, B_{\max}$  sont des constantes positives

$d_c$  et  $V_{\max}$  sont imposées par le conducteur

$B_{\max}$  est imposé par les caractéristiques dynamiques du véhicule .

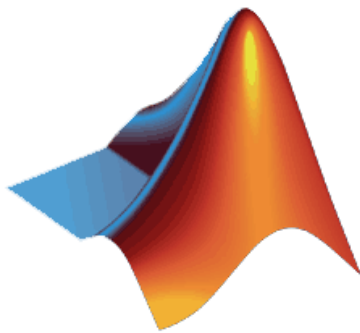
Condition pour éviter un accident :  $d^r \geq d_c$

Condition de freinage maximale :  $V_l(t) \leq -B_{\max}$

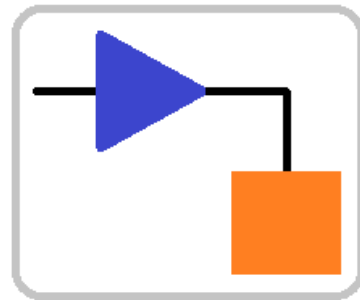
Vitesse maximale initiale à l'instant de franchir la zone jaune :  $V_l(t) \leq V_{\max}$ .

## PARTIE 2 : MODELISATION, SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

PFA ▶ vehicle-modeling-master ▶ vehicle-modeling-master ▶ VehicleModeling4p0 ▶ 1\_Simulink ▶ Glider ▶

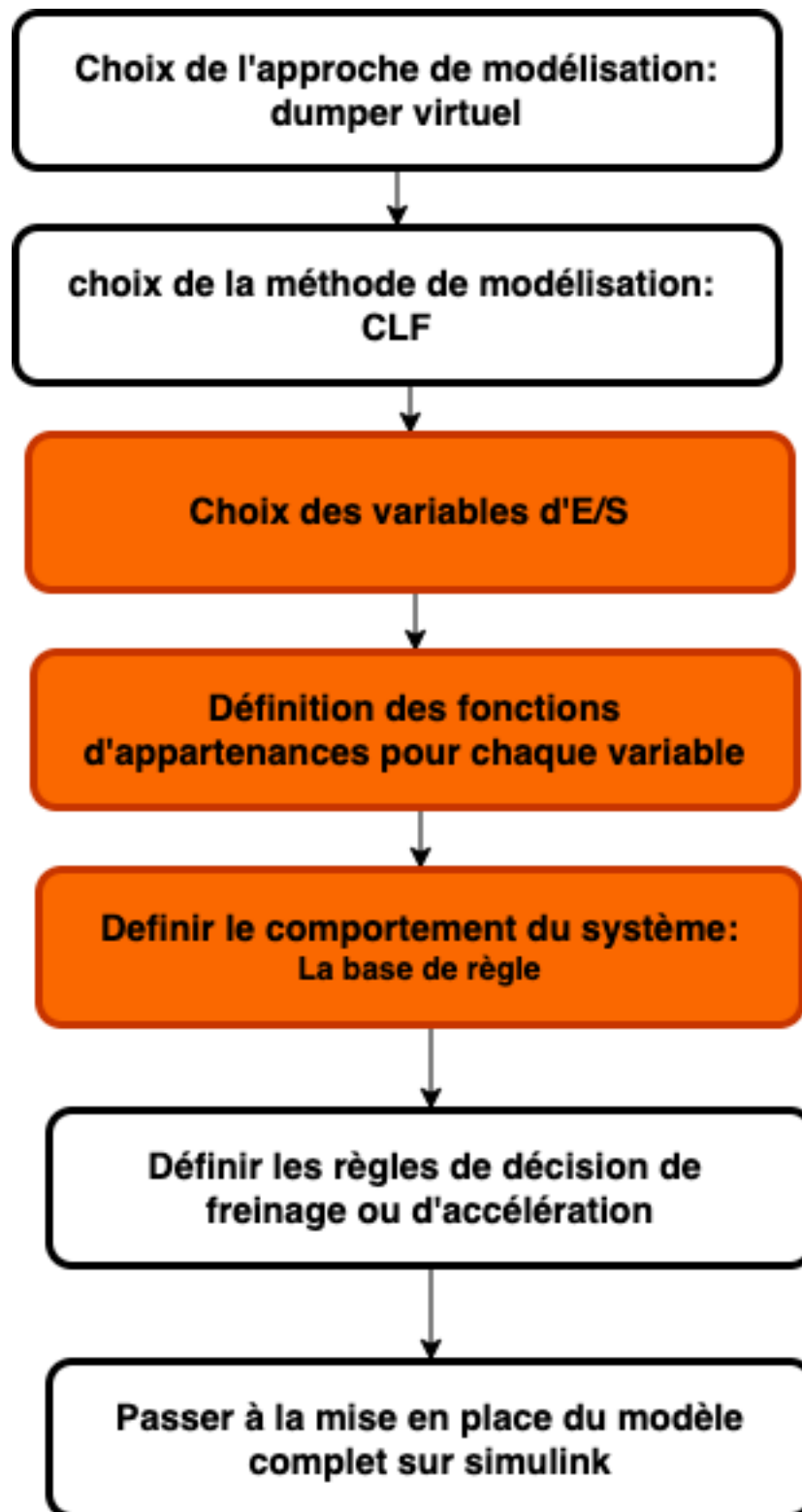


+



**MATLAB**  
**SIMULINK®**

## I. Organigramme des étapes de modélisation



### 1) Choix de l'approche de modélisation



Il s'agit ici de choisir une approche de développement, un modèle à suivre. Nous avons proposé précédemment le modèle ressort-amortisseurs virtuel et c'est ce modèle que nous allons implémenté sous Simulink.

## 2) Choix de la méthode de développement

Vu que nous sommes en face d'un systèmes non linéaire nous avons choisi la commande par logique flou pour la modélisation de notre système.

## 3) Choix des entrées/Sorties

C'est une étape très importante dans la modélisation du système. Le choix des entrées et sorties dépend du type de contrôle que l'on désire réaliser :

- Qu'est-ce-que l'on désire commander ?
- Quels sont les paramètres qui me permettront d'obtenir une telle commande ?

Par la suite il faut définir les univers des discours de ces variables ainsi que leurs subdivisions en sous ensemble flous.

Dans notre cas on choisiras comme entrée de notre système :

- $e$  = erreur entre la distance de sécurité généré par le modèle de référence et la distance réelle entre les deux véhicules mesuré par un capteur
- $de$  = la dérivée de l'erreur

$$e[k] = ds[k] - dr[k]$$
$$de[k] = e[k] - e[k-1]$$

Comme sortie de notre système on prendra la valeur d'accélération ou de freinage sur les actionneurs de traction ou de freinage nommée **du**.

## 4) Définition des fonctions d'appartenances

On a choisi ici une fonction d'appartenance de type triangulaire pour chaque variable d'entrée et de sortie.

En tapant fuzzy sur le workspace de Matlab on tombe sur une interface graphique nous permettant de mettre en place rapidement et facilement notre contrôleur flou.

En ce qui concerne la variable d'entrée  $e$  on obtient :

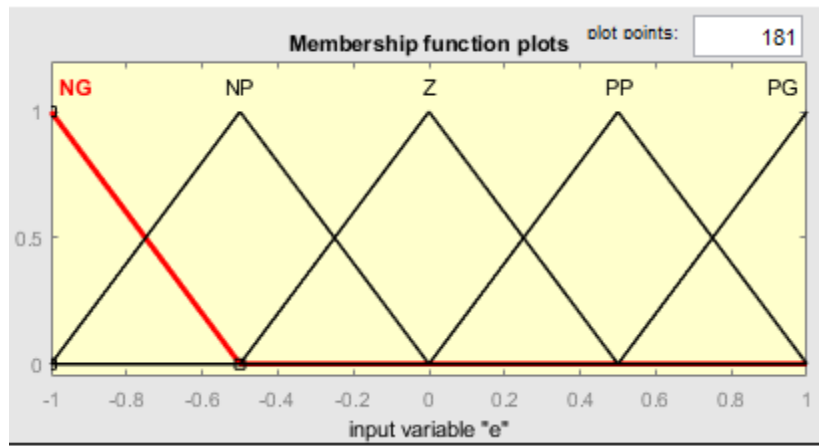


Figure 9 : Fonctions d'appartenances pour e

Pour la dérivée de l'erreur de :

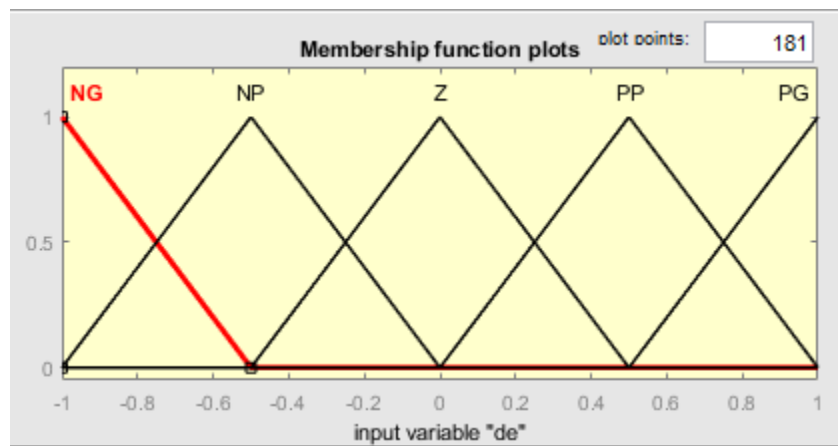


Figure 10 : Fonctions d'appartenances pour de

Pour la sortie du :

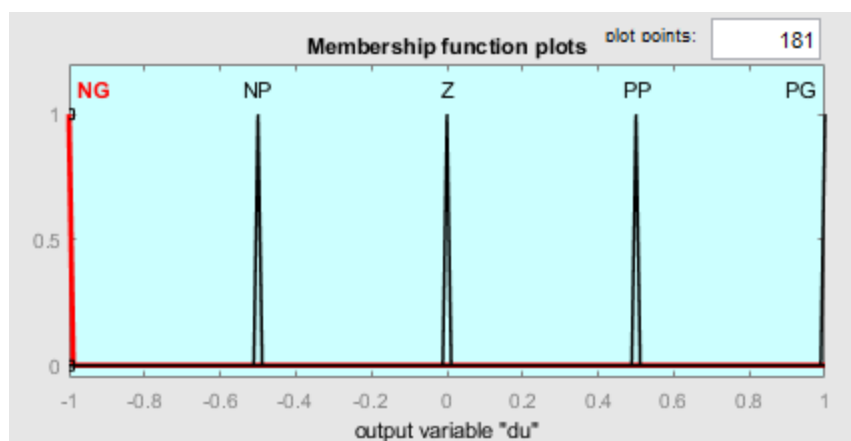


Figure 11 : Fonction d'appartenance pour la sortie du

## 5) Mise en place des règles du système sous Matlab

Les règles définissent le comportement du système. Il faut une certaine expérience dans le domaine pour effectuer une telle tâche car ce travail est fastidieux. Pour notre système voici l'ensemble des règles qui régissent le comportement de notre système :

- NG = Négatif grand
- PG = Positif grand
- NP = Négatif Petit
- PP = Positif Petit
- Z = zéro

| $e/\dot{e}$ | NG | NP | Z  | PP | PG |
|-------------|----|----|----|----|----|
| NG          | NG | NG | NG | NP | Z  |
| NP          | NG | NG | NP | Z  | PP |
| Z           | NG | NP | Z  | PP | PG |
| PP          | NP | Z  | PP | PB | PG |
| PG          | Z  | PP | PG | PG | PG |

Figure 12 : Base de règles

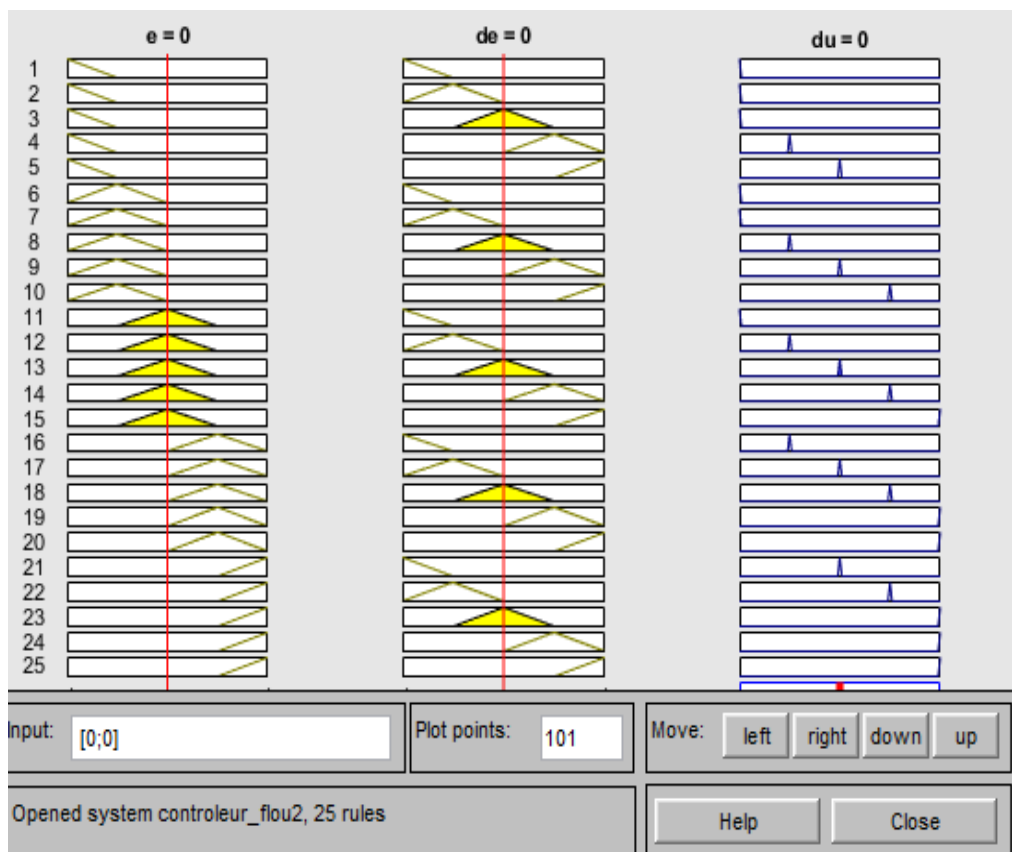


Figure 13: règles du système

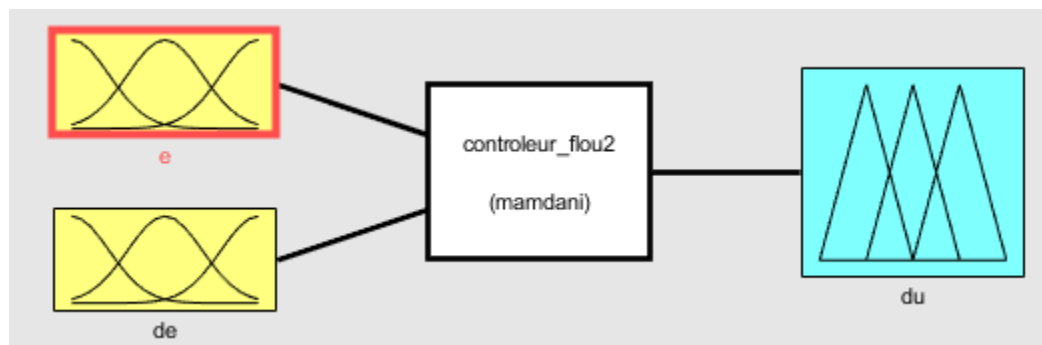
Nous avons un total de 25 règles

## 6) Règles de décision de freinage ou d'accélération

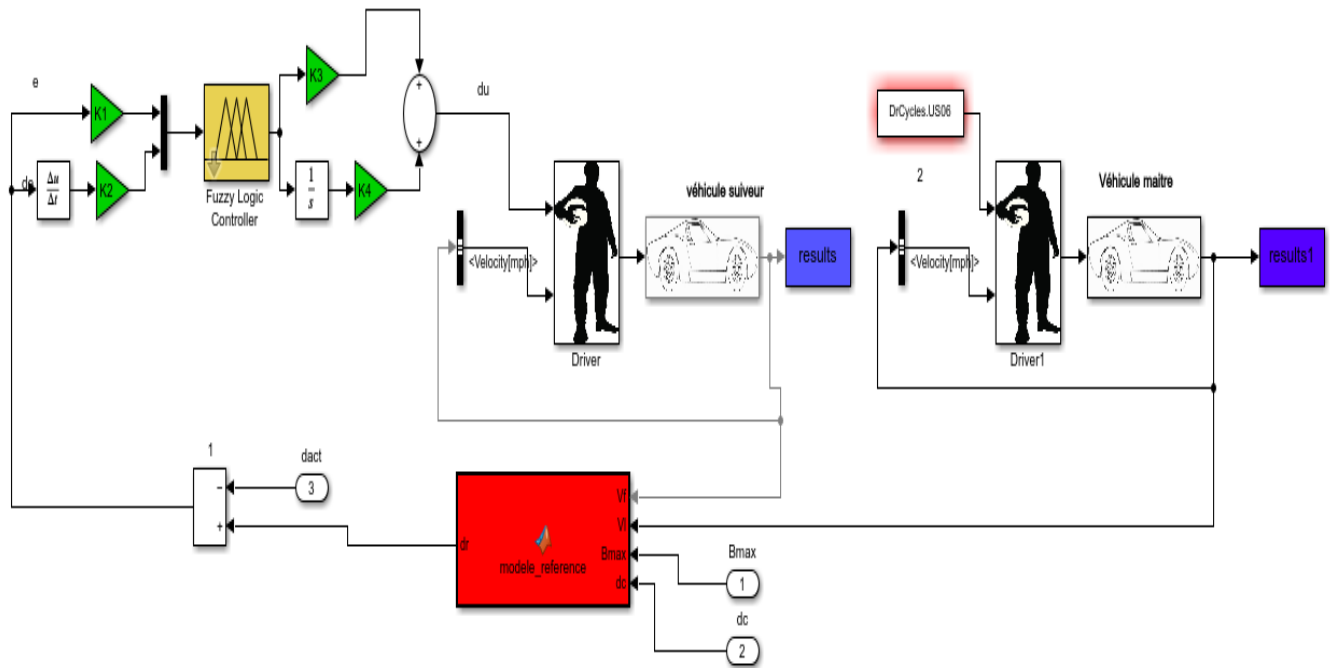
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{If } u_{I-PID-FLC} < 0 \text{ and } \frac{d}{dt}(u_{I-PID-FLC}) < 0 \text{ et } |d_r - (x_l - x_f)| > \varepsilon, \quad \begin{cases} u_e = u_{I-PID-FLC} \\ u_b = u_{I-PID-FLC} \end{cases} \\ \text{autrement } \begin{cases} u_e = u_{I-PID-FLC} \\ u_b = 0 \end{cases} \end{array} \right.$$

## 7) Mise en place du modèle complet sur Simulink

Le modèle de notre contrôleur flou :



La modélisation complète de notre système :



On a utilisé le model based design pour la modélisation de la voiture et son conducteur. Cette stratégie de modélisation consiste à utiliser un modèle déjà existant et l'adapter à son projet. Le model based design permet un gain de temps énorme et garanti une robustesse du système.

Nous avons mis en place ici un contrôleur flou PID. Puisque la sortie du Contrôleur est une association d'un PI et d'un PD.

**Commande = Fuzzy(e, de) + Fuzzy( $\int e dt$ , de)**

La nécessité des gains en sortie du CLF est due au fait que les valeurs fournies par le contrôleur flou sont normalisées entre 0 et 1.

## II. Simulation et interprétation des résultats

Concernant la partie simulation il fallait attribuer un rôle à chaque véhicule. Soit le véhicule est esclave dans ce cas il interagit directement avec le véhicule qui le précède ou bien il est le véhicule maître dans ce cas il interagit directement avec l'environnement. Selon le rôle affecter à chaque véhicule on distinguera 3 stratégie de commande pour la simulation:

- Stratégie de commande globale(SCG) : On applique une vitesse de consigne au véhicule maître. Les vitesses des autres véhicules dépendent du maître
- La Stratégie de Commande Locale(SCL) : C'est une commande de proche en proche utilisée entre seulement deux véhicules qui se suivent. La manière d'appliquer la consigne est identique à la stratégie SCG.
- La stratégie de commande Mixte(SCM) : Même façon d'appliquer la consigne qu'en SCG sauf que le contrôle de l'inter-distance se fait en locale.

Pour la suite de la simulation nous allons adopter la stratégie de Commande Locale.

## CONCLUSION GENERALE

A travers ce projet nous avons développé une nouvelle compétence. Celle de la maîtrise de la notion de Commande par logique floue. Pour la réalisation de ce projet il nous a fallu comprendre d'abord ce que c'est que la théorie de la logique floue et son application dans la commande des systèmes. Ensuite comprendre la notion du contrôle de l'inter-distance en s'imprégnant d'abord de beaucoup littérature. C'est-à-dire lire beaucoup d'articles scientifiques afin de pouvoir mettre en place un état de l'art. Et à partir de cet état de l'art choisir une des solutions proposées et y apporter notre touche personnelle. La solution adoptée ici est le modèle « ressorts-amortisseurs virtuels ». Pour la modélisation il fallait d'abord définir les différentes étapes de modélisation. Parmi ces étapes on peut retenir : le choix de l'approche de modélisation, le choix des E/S, la définition des fonctions d'appartenance, la définition de la base de connaissance en se basant sur une réponse temporelle à échelon unité du système, définir quand tester freiner ou accélérer, et finalement la mise en place du système complet sur Simulink. Quant à la partie simulation nous avons opté pour la stratégie de commande locale car étant la mieux adaptée à notre situation. Notre modèle se limite à uniquement deux véhicules. La question qui se pose maintenant est : Ne pourrait-on pas améliorer le modèle afin qu'il prenne en compte tout un convoi de véhicules ?

## REFERENCES

- [1] Avanzini, P., Thuilot, B., and Martinet, P. Accurate platoon control of urban vehicles, based solely on monocular vision. In Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE/RSJ International Conference, pages 6077 -6082, 2010
- [2] Bom, J., Thuilot, B., Marmoiton, F., and Martinet, P. Nonlinear control for urban vehicles platooning, relying upon a unique kinematic gps. In Robotics and Automation. ICRA. Proceedings of IEEE International Conference, pages 4138- 4143, 2005
- [3] Ioannou, P. and Chien, C. Autonomous intelligent cruise control. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 42(4):657 -672, 1993.
- [19] Sheikholeslam, Shahab; Desoer, C. A. Longitudinal control of a platoon of vehicles. ii, first and second order time derivatives of distance deviations. UC Berkeley: California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH), 1989.
- [20] Sheikholeslam, S. and Desoer, C. A. Longitudinal control of a platoon of vehicles i: Linear model. Technical Report UCB/ERL M89/106, EECS Department, University of California, Berkeley, 1989.
- [21] Sheikholeslam, S., Desoer, C.A., Combined Longitudinal and Lateral Control of a Platoon of Vehicles, American Control Conference, pp.1763,1767, 24-26 June. 1992.