

# **AIC-Automatisation avancée, intelligence artificielle et cognitive**

## **5. Commande à logique floue (cf. manipulation L-AIC-4)**

**Jean-Daniel Dessimoz**



HAUTE ÉCOLE  
D'INGÉNIERIE ET DE GESTION  
DU CANTON DE VAUD  
www.heig-vd.ch



**HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 05.03.2017**

**1**

# **AIC-Automatisation avancée, intelligence artificielle et cognitive**

## *Contenu*

- **Introduction**
- **Notion de modèle ; métrique pour le traitement d'information et pour la cognitive**
- **Choix d'une structure de commande**
- **Intelligence artificielle et « machine learning »**
- **Commande à logique floue**
- **Commande neuronale, yc. « deep learning »**
- **Commande multimodale**
- **Commande à algorithme génétique**
- **Robots mobiles autonomes**
- **Robot humanoïde NAO**
- **Conclusion**

**HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 05.03.2017**

**2**

## **Contenu des *Exposés et exercices***

<b>Notion de modèle ; métrique pour le traitement d'information et pour la cognitive</b>	<b>4p</b>
<b>Choix d'une structure de commande</b>	<b>2p</b>
<b>Intelligence artificielle et inférences bayésiennes</b>	<b>2p</b>
<b>Commande à logique floue</b>	<b>2p</b>
<b>Commande neuronale</b>	<b>2p</b>
<b>Commande multimodale</b>	<b>2p</b>
<b>Commande à algorithme génétique</b>	<b>2p</b>
<b>Robots mobiles autonomes et humanoïdes</b>	<b>4p</b>
<b>Réserve et contrôle continu (TE, corr.)</b>	<b>6p</b>

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 05.03.2017

3

## ***Travaux de laboratoire associés***

<b>Estimation de grandeurs cognitives (essais en simulation avec programmes d'évitement d'obstacles)</b>	<b>L-AIC-1</b>
<b>Test d'intelligence artificielle selon Turing et utilisation d'Eliza</b>	<b>L-AIC-2</b>
<b>Commande neuronale</b>	<b>L-AIC-3</b>
<b>Commande à logique floue</b>	<b>L-AIC-4</b>
<b>Commande à algorithme génétique</b>	<b>L-AIC-5</b>
<b>Commande multimodale</b>	<b>L-AIC-6</b>
<b>Robot mobile autonome</b>	<b>L-AIC-7</b>
<b>Robot humanoïde NAO</b>	<b>L-AIC-8</b>
<b>Inférences bayésiennes</b>	<b>L-AIC-9</b>
<b>Sur demande, l'étudiant peut échanger l'une des manipulations ci-dessus par un autre sujet (cf. manipulations LaRA)</b>	

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 05.03.2017

4

## **AIC-Automatisation avancée, intelligence artificielle et cognitive**

### *Contenu*

- Introduction
- Notion de modèle ; métrique pour le traitement d'information et pour la cognitive
- Choix d'une structure de commande
- Intelligence artificielle et « machine learning »
- **Commande à logique floue**
- Commande neuronale, yc. « deep learning »
- Commande multimodale
- Commande à algorithme génétique
- Robots mobiles autonomes
- Robot humanoïde NAO
- Conclusion

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

5

### **Commande à logique floue**

## **La logique floue**

- **La logique floue**
- **Le concept de commande à logique floue**

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

6

## Commande à logique floue

# La logique floue

- **Concept introduit L. Zadeh dans les années '50**
- **En logique floue, une variable peut prendre n'importe quelle valeur, de façon continue entre 0 (faux) et 1 (vrai). Ceci est défini par la « fonction d'appartenance ».**
- **Les opérateurs « Et » et « Ou » de la logique booléenne se généralisent en « Min » et en « Max »**

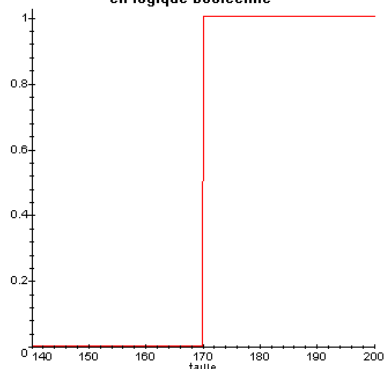
HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

7

## Commande à logique floue

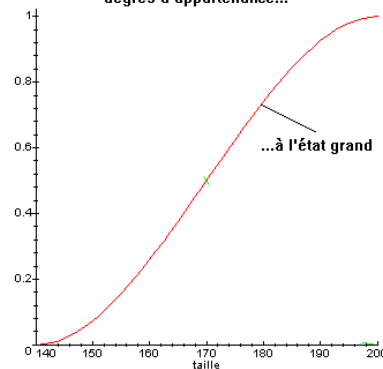
# Fonction d'appartenance

valeur de vérité de la proposition  
"l'homme est grand"  
en logique booléenne



Cas de la logique booléenne

degrés d'appartenance...



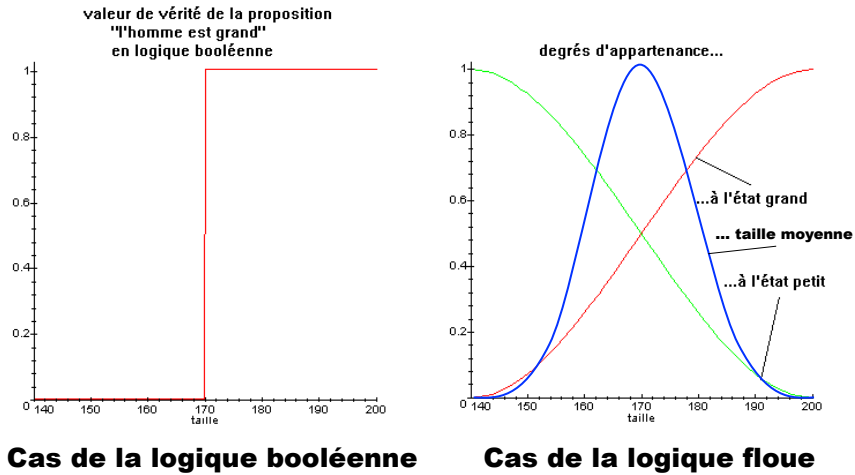
Cas de la logique floue

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

8

## Commande à logique floue

# Fonction d'appartenance



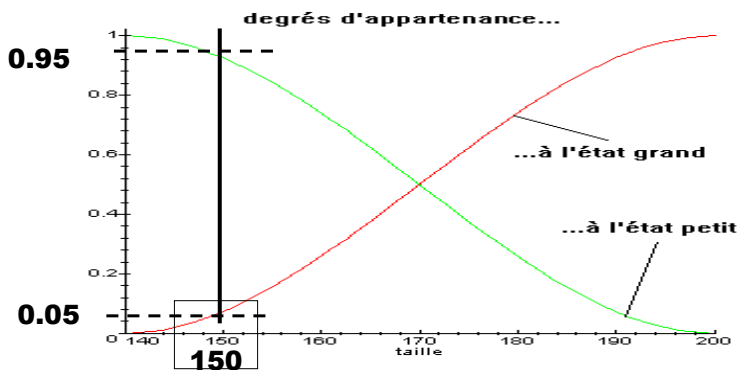
HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

9

## Commande à logique floue

# Fuzzification:

Conversion d'une grandeur ordinaire en équivalents flous



**Ex.: La fuzzification d'une taille de 150cm donne 0.05 pour grand et 0.95 pour « petit »**

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

10

## Commande à logique floue

### Opérateurs

Opérateur logique	Illustration	Op. "flou" correspondant
<b>ET</b> ex.: $A=0, B=1$ $\Rightarrow C=0$		<b>MIN</b> ex.: $A = 0.2, B = 0.8 \Rightarrow C = 0.2$
<b>OU</b> ex.: $A=0, B=1$ $\Rightarrow C=1$		<b>MAX</b> ex.: $A = 0.2, B = 0.8 \Rightarrow C = 0.8$

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

11

## Commande à logique floue

### Valeur typique

- « Singleton »
- Centre de gravité de la fonction d'appartenance
- Exemples:

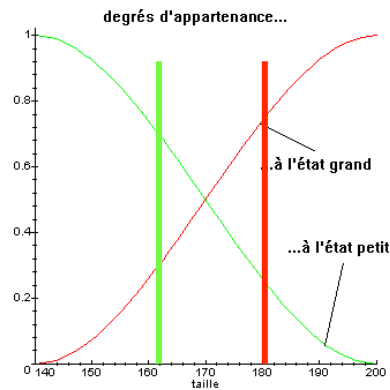
Variable floue	Courant
Positif-Grand	1A
Positif-Petit	0.4 A

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

12

## Commande à logique floue

### Exemples de valeurs typiques



Ici, grand signifie typiquement 180 cm, et petit 162 cm

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

13

## Commande à logique floue

### Défuzzification:

**Conversion d'un ensemble de variables floues en une grandeur ordinaire équivalente. Typiquement: moyenne des valeurs typiques pondérées par leur degré d'appartenance.**

$$V_{\text{défuzzifiée}} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot V_i}{\sum_{n=1}^N w_i}$$

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

14

## Commande à logique floue

### Exemple de défuzzification

Variable floue	Valeur typique (courant nominal)	Degré d'appartenance	Valeur pondérée
Positif-Grand	1A	0.3	0.3
Positif-Petit	0.4 A	0.4	0.16

**Valeur défuzzifiée:**

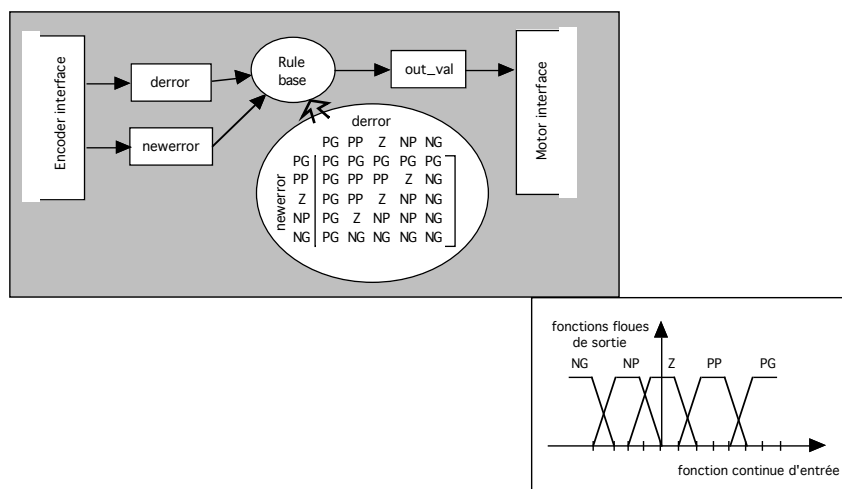
$$V_{\text{défuzzifiée}} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^N w_i} = \frac{0.46}{0.7} = 0.66A$$

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

15

## Commande à logique floue

### Système de commande



HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

16



## Commande à logique floue

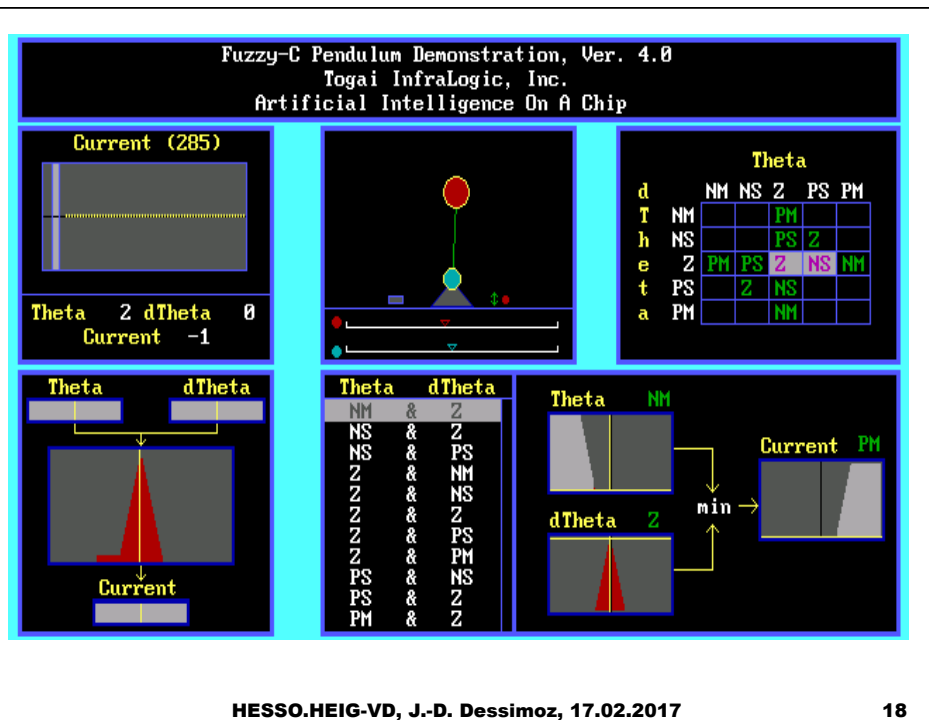
# Système de commande

Une commande à logique floue comprend typiquement 5 composantes:

- Quantification grossière
- Fuzzification
- Base de connaissance
- Régulateur élémentaire
- Défuzzification

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

17



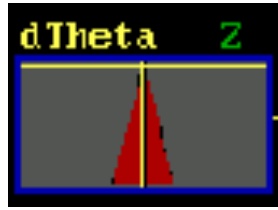
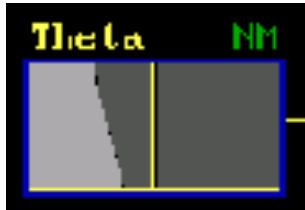
HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

18

## Commande à logique floue

### Fuzzification

Theta Z dTheta 0



Chaque variable (par ex. Theta=2 degrés) est convertie en plusieurs variables floues (par ex. NM, NS, Z, PS, PM = 0, 0, 0.9, 0.1, 0)

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

19

## Commande à logique floue

### Base de connaissance

		Theta				
		NM	NS	Z	PS	PM
d	T			PM		
h	c			PS	Z	
+	a	PM	PS	Z	NS	NM
			Z	NS		
				NM		

NxM  
régulateurs

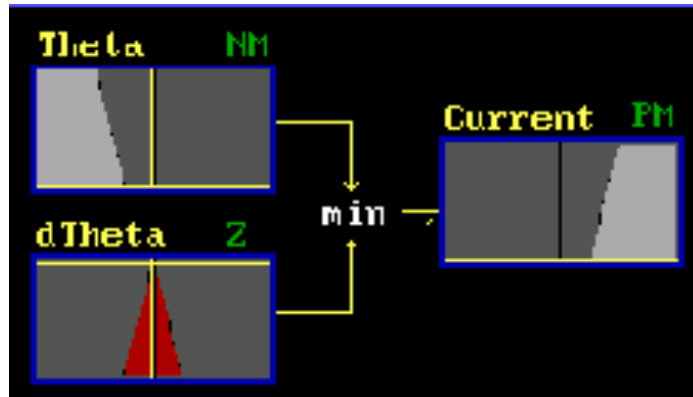
(par ex. ici 11, ou 5x5 au max régulateurs)

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

20

## Commande à logique floue

### Régulateur élémentaire



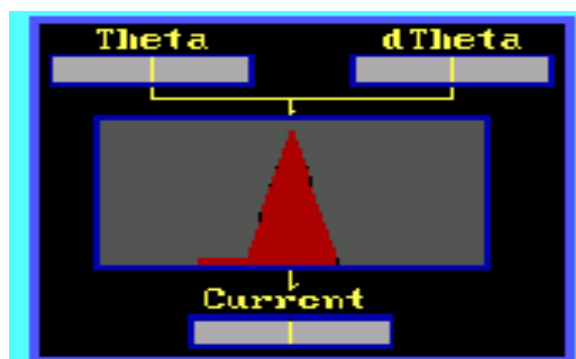
Si  $\theta$  est très nég. et  $d\theta$  nul, il faut un gd courant  
Résultat:  $C.PMi = \text{Min}(Th.NM, dTh.Z)$ ;

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

21

## Commande à logique floue

### Défuzzification



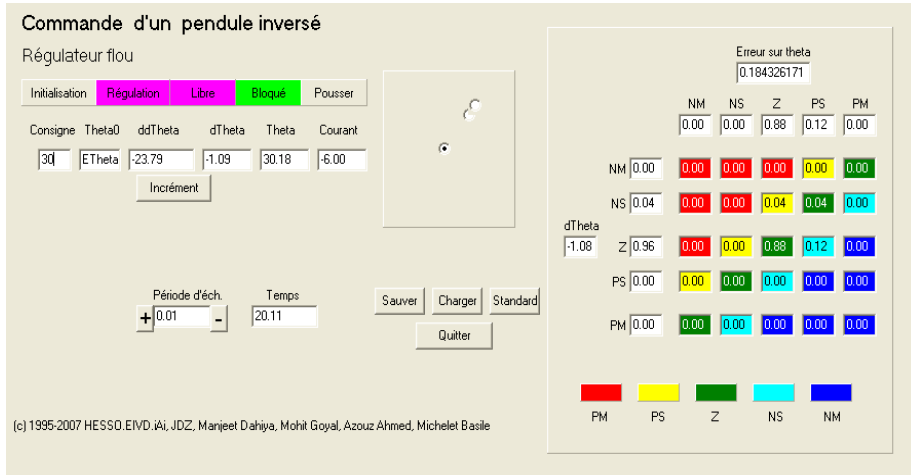
Le courant de sortie est la moyenne des commandes nominales des régulateurs (PM, PM,Z...), pondérées par leur résultat respectif (C.PM1, C.PM2, C.Z1...)

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

22

## Commande à logique floue

# Système de commande



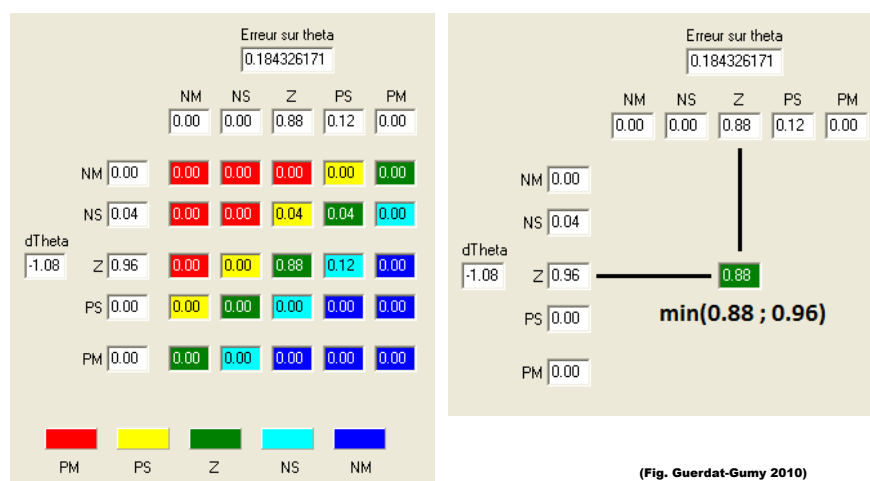
(Fig. Guerdat-Gumy 2010)

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

23

## Commande à logique floue

# Système de commande



HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 17.02.2017

24

## Commande à logique floue

# Système de commande

### Extraits de code – Simulation d'un balancier

```
void UpdateBalancier(/*float Courant,
                    float &Theta, float &dTheta, float &ddTheta*/)
{
    ddTheta=360/Lm*g*sin(Theta/180*pi)+300*Courant;
    dTheta=0.95*dTheta+ddTheta*dt;
    Theta=Theta+dTheta*dt;
    t=t+dt;
    return;
}
```

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 05.03.2017

25

## Commande à logique floue

# Système de commande

### Extraits de code – Définition des fcts d'appartenance

```
void Initialisation(tEnsembleFlou &prmThetaFlou, tEnsembleFlou &prmdThetaFlou,
                  tMatriceRegulateurs &prmMatriceRegulateurs)
{
    int l, c, i,
        j, j1, j2, j3, j4, j5;
    float pente;
    prmThetaFlou.NNiveaux=NNiveauxTheta;
    prmdThetaFlou.NNiveaux=NNiveauxdTheta;
    j1= NptsParFonctionAppartenance/6;
    j2=2*NptsParFonctionAppartenance/6;
    j3=3*NptsParFonctionAppartenance/6;
    j4=4*NptsParFonctionAppartenance/6;
    j5=5*NptsParFonctionAppartenance/6;
    pente=1/(NptsParFonctionAppartenance/6.0);
    prmThetaFlou.VarFloues[4].Nom="PM"; //( * 000 0/1 *)
    for (j= 1;j<=NptsParFonctionAppartenance;j++)
    {
        prmThetaFlou.VarFloues[4].FonctionAppartenance[j]=0;
        if(j>=j4) prmThetaFlou.VarFloues[4].FonctionAppartenance[j]=(j-j4)*pente;
        if(j>=j5) prmThetaFlou.VarFloues[4].FonctionAppartenance[j]=1;
    }
    prmThetaFlou.VarFloues[3].Nom="PS"; //( * 000 /\0 *)
    for (j=1;j<=NptsParFonctionAppartenance;j++)
    {
        prmThetaFlou.VarFloues[3].FonctionAppartenance[j]=0;
        if(j>=j3) prmThetaFlou.VarFloues[3].FonctionAppartenance[j]= (j-j3)*pente;
        if(j>=j4) prmThetaFlou.VarFloues[3].FonctionAppartenance[j]= 1-(j-j4)*pente;
        if(j>=j5) prmThetaFlou.VarFloues[3].FonctionAppartenance[j]= 0;
    }
    ....
}
```

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 05.03.2017

26

## Commande à logique floue

# Système de commande

*Extraits de code - Processus principal*

```
void CommandeFloue(float &ThetaS, float dThetaS, float &CourantS)
{ ThetaInt =int(100*(ThetaS-ThetaMin)/(ThetaMax-ThetaMin));
  dThetaInt=int(100*(dThetaS-dThetaMin)/(dThetaMax-dThetaMin));

  Fuzzifier(ThetaInt, &ThetaFlou);
  Fuzzifier(dThetaInt, &dThetaFlou);

  TransfererEnsemblesFlousDansMatriceRegulateurs(ThetaFlou, dThetaFlou,
    MatriceRegulateurs);
  EvaluerRegulateurs(MatriceRegulateurs);
  TransfererMatriceRegulateursDansEnsembleFlou(MatriceRegulateurs,
    CourantFlou);
  Defuzzifier(CourantFlou, CourantInt);

  CourantS=CourantMax*(CourantInt/100.0);
}
```

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 05.03.2017

27

## Commande à logique floue

# Conclusion

- Pour passer dans le monde flou, une variable traditionnelle se remplace typiquement par un ensemble de variables floues
- Une variable floue se caractérise par sa fonction d'appartenance et/ou par une valeur typique.
- La fuzzification consiste à estimer, pour chaque variable floue, le degré d'appartenance de la variable traditionnelle correspondante.
- Les opérateurs booléens Et et Ou se généralisent, pour traiter les variables floues, en opérateurs Min, et Max.
- Pour ramener une grandeur dans le monde physique ordinaire, la défuzzification consiste à calculer la moyenne des valeurs typiques associées, pondérées par leur degré d'appartenance respectif.
- En commande à logique floue, les variables d'entrées sont représentées par des ensembles de variables floues, et pour chaque configuration d'entrée, un régulateur spécifique, flou, est défini. Cela se représente sous la forme d'une matrice, aussi appelée base de connaissance

HESSO.HEIG-VD, J.-D. Dessimoz, 05.03.2017

28