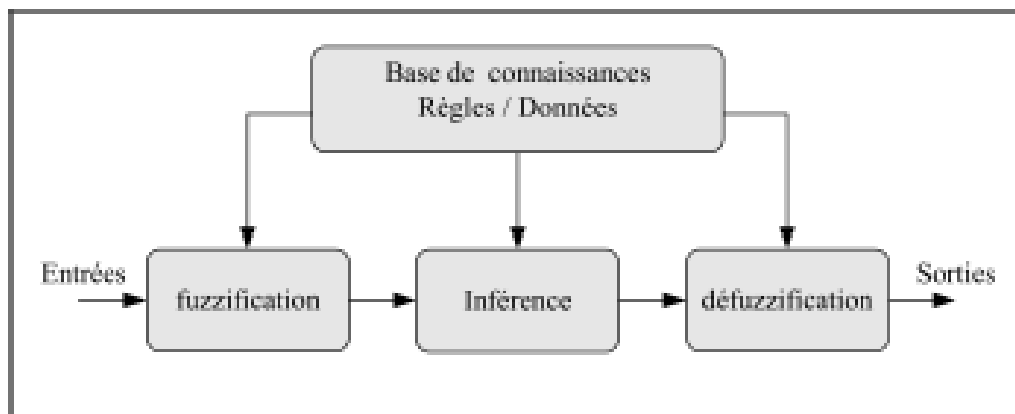


**TD N° 7- TP N°7**  
Contrôleurs flous

**Rappel :**

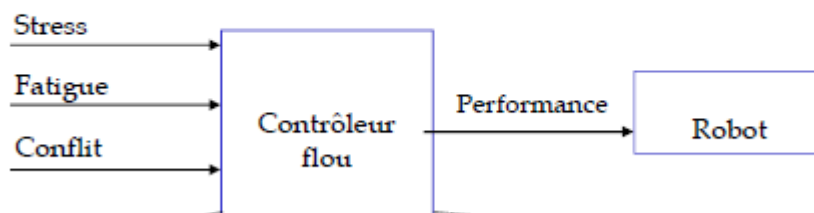
L'architecture globale d'un contrôleur flou est décrite comme suit :



**Exemple 1 :** Le contrôleur flou suivant admet trois paramètres d'entrée et fournit un paramètre de sortie :

👉 **Conception de contrôleur flou :**

Mais concrètement, qu'est ce qu'un contrôleur flou ??



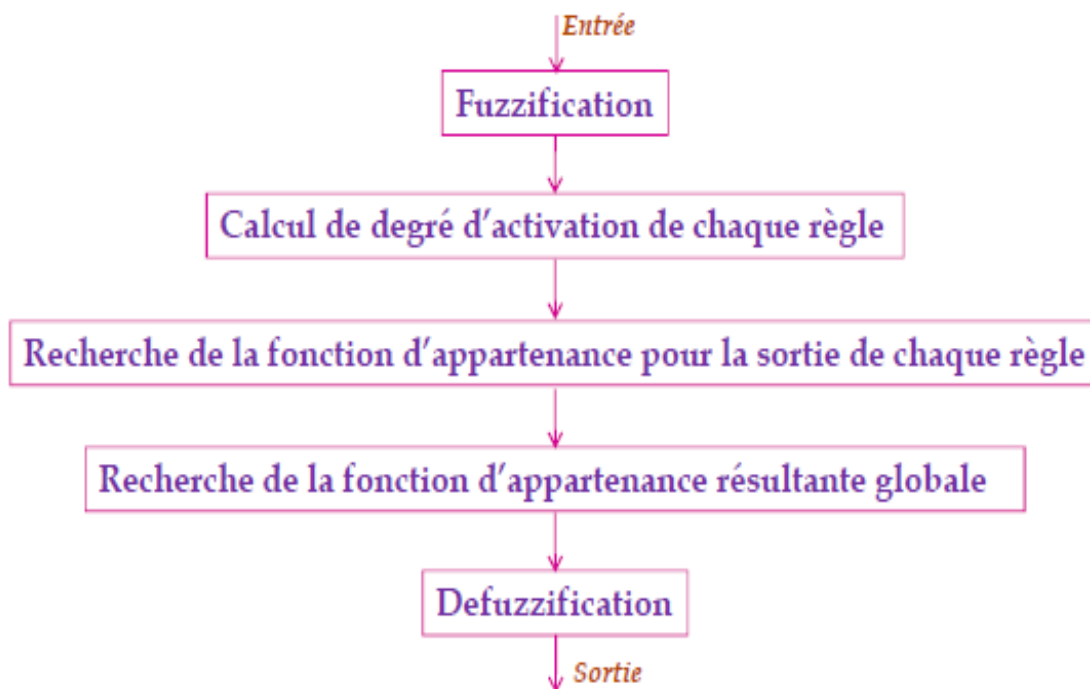
**Système d'inférence flou**

R1: SI Degré (Stress de Robot) est *Très faible* ET Degré (Fatigue de Robot) est *Très faible*  
ET Degré (Conflit de Robot) est *Faible*  
ALORS Performance est *ZE*

R2: SI Degré (Stress de Robot) est *Modéré* ET Degré (Fatigue de Robot) est *Faible*  
ET Degré (Conflit de Robot) est *Modéré*  
ALORS Performance est *PS*

R3:...

- Il y a 5 étapes à suivre pour aboutir à la sortie d'un système flou :



Les étapes 2,3,4 peuvent être regroupées en une seule étape qui consiste à spécifier les paramètres du système d'inférence flou à savoir :

- Le calcul du degré d'activation d'une règle de la base de connaissances,
- Projection du degré d'activation d'une règle sur la fonction d'appartenance de la conclusion,
- Agrégation des différentes fonctions d'appartenance des sorties de toutes les règles activables afin de définir la fonction d'appartenance de la sortie globale.

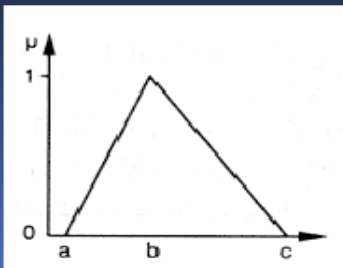
### Etape 1 : Fuzzification

Cette étape consiste à subdiviser les entrées/sorties sous forme de sous-ensembles flous en utilisant les fonctions d'appartenance.

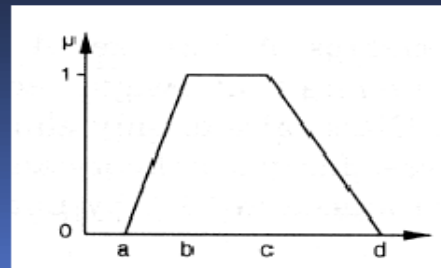
Les fonctions d'appartenance les plus courantes sont :

- Triangulaire (symétrique ou asymétrique)
- - demi-trapèze droit ou gauche
- Trapèze
- Sigmoïde
- Singleton
- 

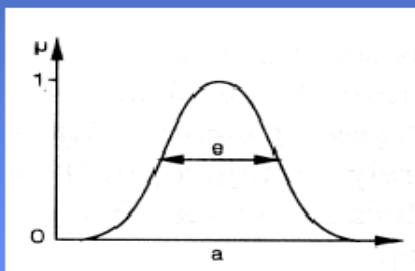
Elles sont représentées comme suit :



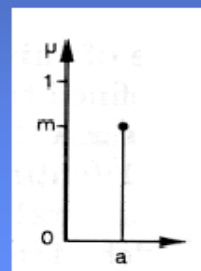
Triangle:  $[a,b,c]$



Trapezoid:  $[a,b,c,d]$



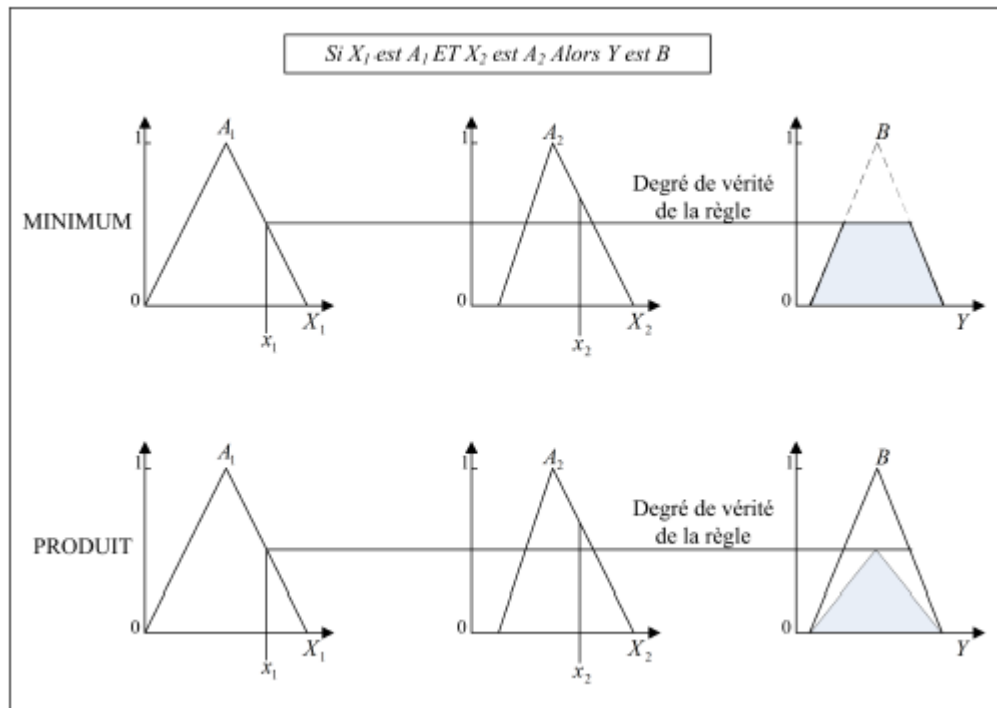
Gaussian:  $[a,\theta]$



Singleton:  $[a,m]$

## Étape 2 : Paramétrage du système d'inférence flou

Une règle floue est de la forme :



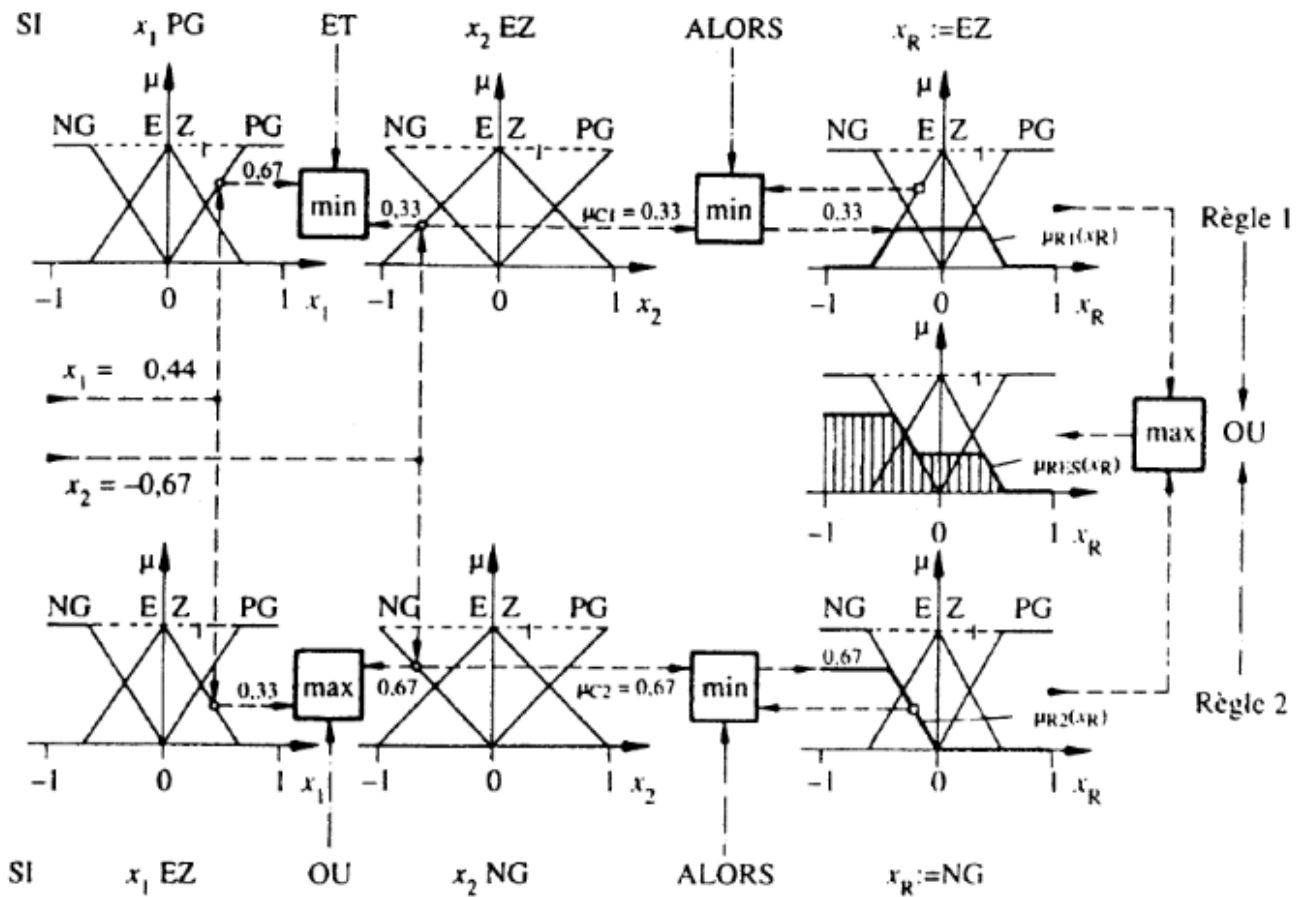
Il existe plusieurs méthodes d'inférence qui spécifient les opérateurs pour matérialiser les connecteurs logiques mis en jeu dans une règle d'inférence à savoir : la conjonction, la disjonction et l'implication.

Les méthodes les plus courantes sont résumées par le tableau suivant :

	ET	OU	IMPLICATION
Méthode MAX-MIN	Min	Max	Min
Méthode MAX-PROD	Min	Max	Produit
Méthode SOMME-PRODUIT	Produit	Somme	Produit

### Exemple 2 : Utilisation de la Méthode MAX-MIN :

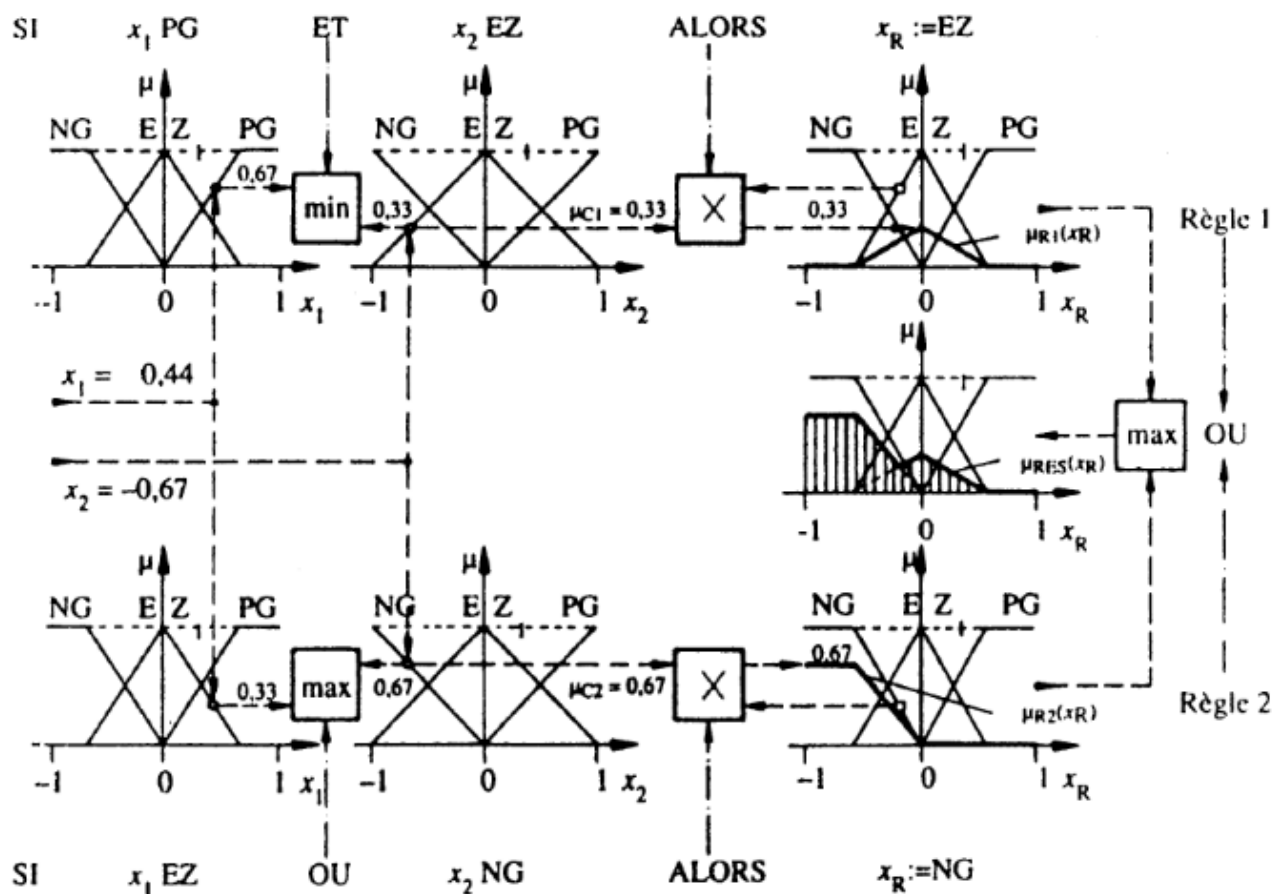
	ET	OU	IMPLICATION
Méthode MAX-MIN	Min	Max	Min



La fonction résultante est représentée par la partie hachurée qui sera traitée lors de la prochaine étape de Defuzzification afin d'obtenir la valeur réelle du paramètre de sortie.

### Exemple 3 : Utilisation de la Méthode MAX-PROD :

	ET	OU	IMPLICATION
Méthode MAX-PROD	Min	Max	Produit

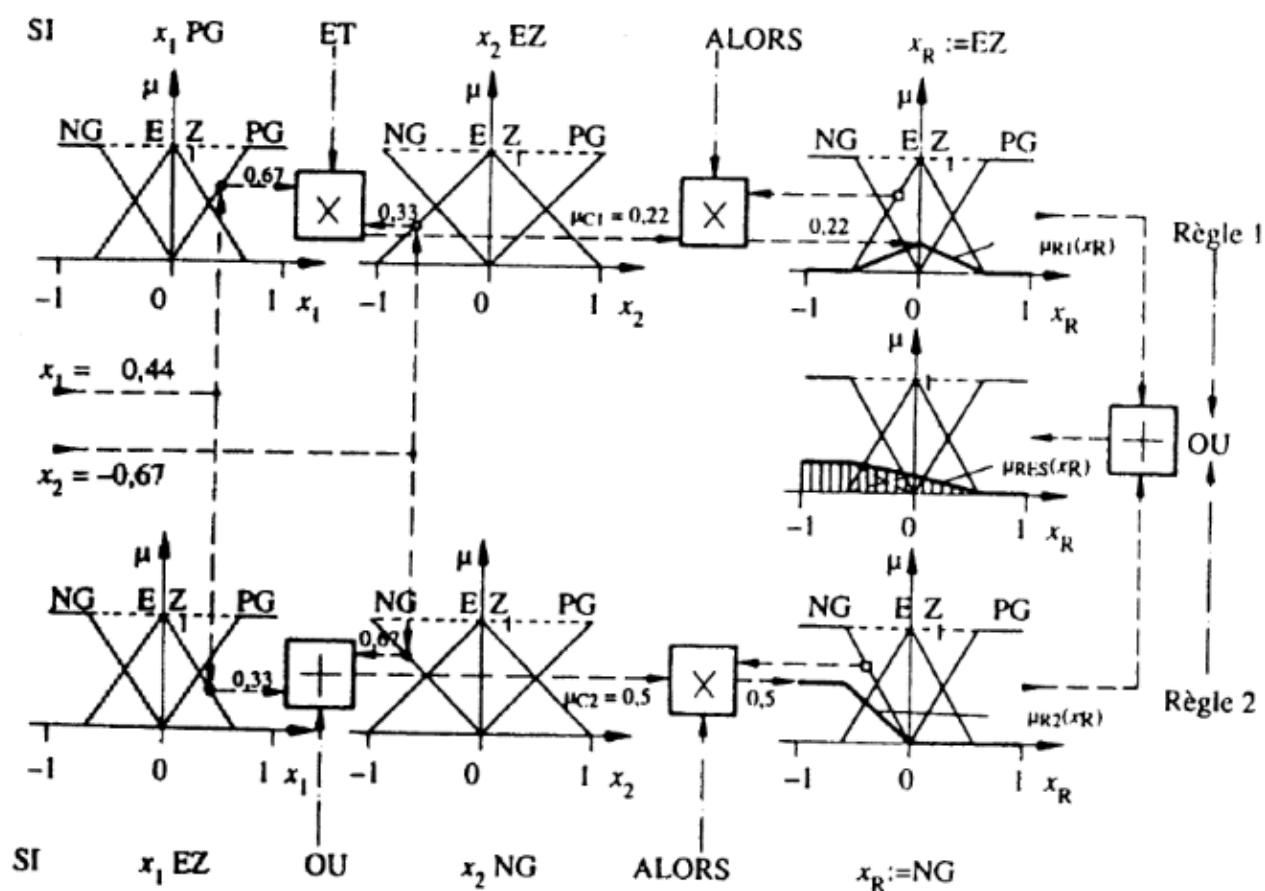


#### Exemple 4 : Utilisation de la de la Méthode SOMME-PROD :

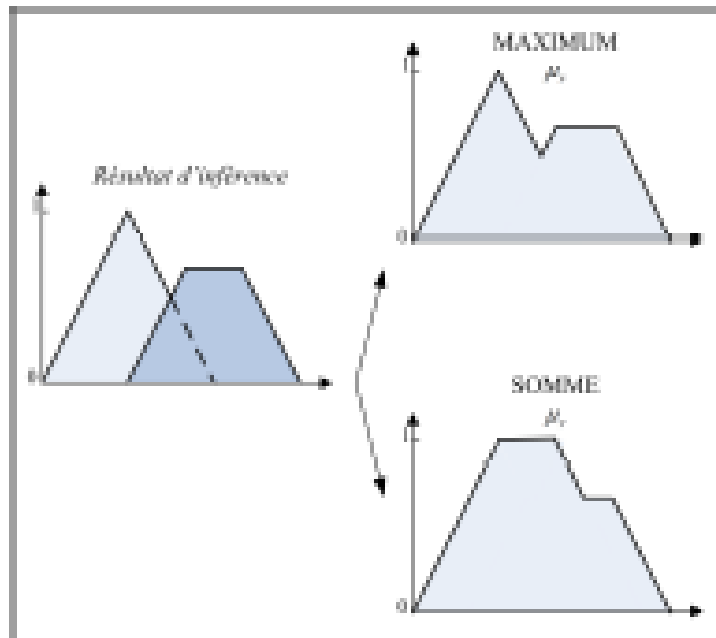
Il ne s'agit pas de la Somme « normale » mais de la valeur moyenne :

$$\mu_{A+B}(x, y) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(y)}{2}$$

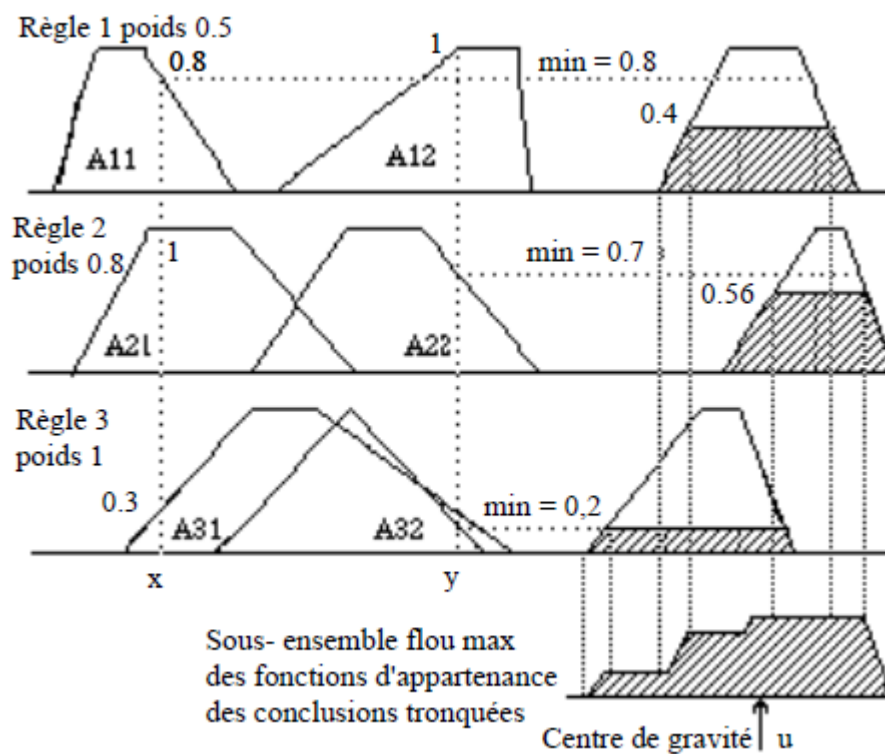
	ET	OU	IMPLICATION
Méthode SOMME-PRODUIT	Produit	Somme	Produit



**Exemple 6 : Agrégation entre deux règles activables avec les opérateurs Maximum et Somme**

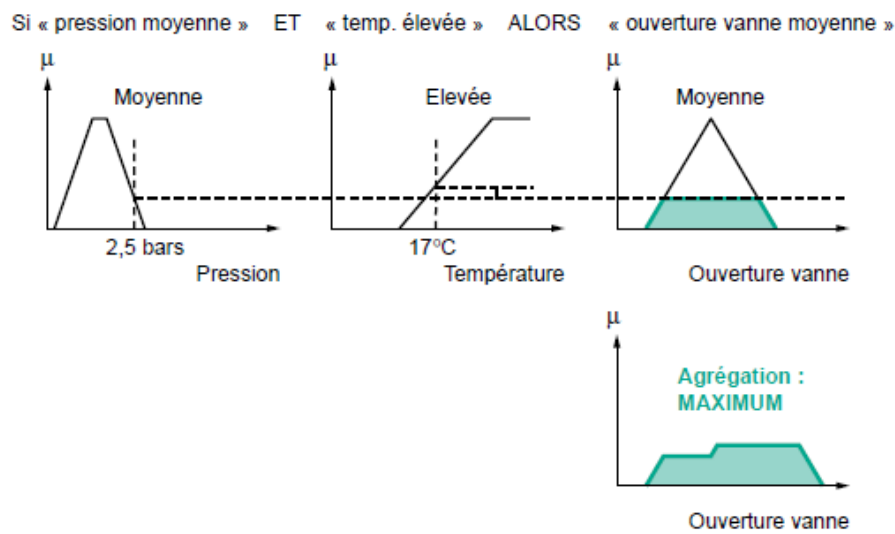
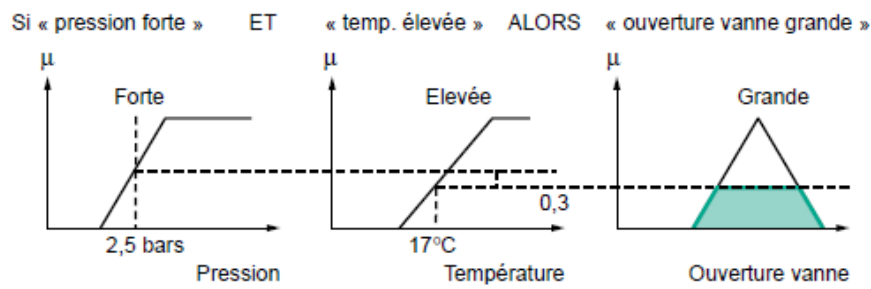


**Exemple 7 : Utilisation des opérateurs MIN-MAX appliqués à trois règles**





### Exemple 8 : Utilisation des opérateurs MIN-MAX appliqués à deux règles :



### Etape 3 : La Défuzzification

Elle consiste à transformer les sorties floues en sortie réelles. Pour cela, il faut spécifier les méthodes de transformation des sorties floues en sorties non floues. En effet, les méthodes d'inférence fournissent une fonction d'appartenance résultante pour la variable de sortie. Il s'agit donc d'une information floue qu'il faut transformer en grandeur physique. Il existe plusieurs méthodes de défuzzification. La méthode du maximum et la méthode du centre de gravité figurent parmi les procédures les plus utilisées.

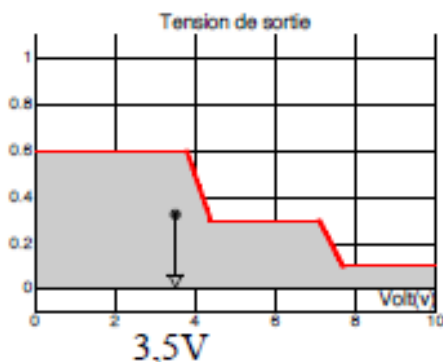
#### 1. Méthode du centre de gravité (COG)

C'est l'abscisse du centre de gravité de la surface sous la courbe résultat

$$\text{sortie} = \frac{\int_U y \cdot \mu(y) \cdot dy}{\int_U \mu(y) \cdot dy}$$

$U$  = Univers du discours

= Toutes les valeurs de sorties considérées

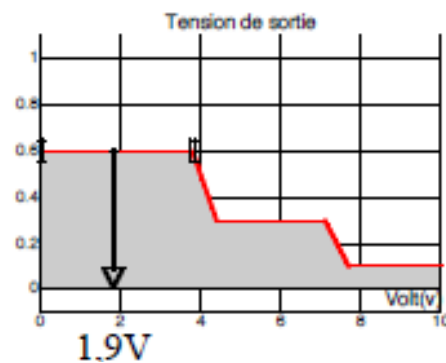


#### 2. Méthode moyenne des maximums (MM)

C'est la moyenne des valeurs de sorties les plus vraisemblables

$$\text{sortie} = \frac{\int_S y \cdot dy}{\int_S dy}$$

$$\text{où } S = \left\{ y_0 \in U / \mu(y_0) = \sup_{y \in U} (\mu(y)) \right\}$$

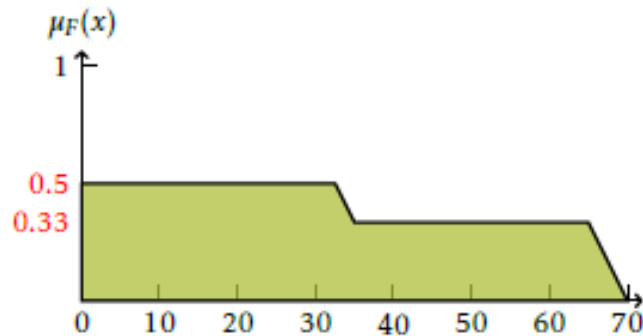


### Méthode du calcul du centre de gravité :

Le centre de gravité peut être calculé d'une manière approximative en spécifiant une fréquence par rapport aux abscisses de la fonction de sortie globale obtenue.

### Exemple 9 : Calcul approximatif du centre de gravité d'une aire

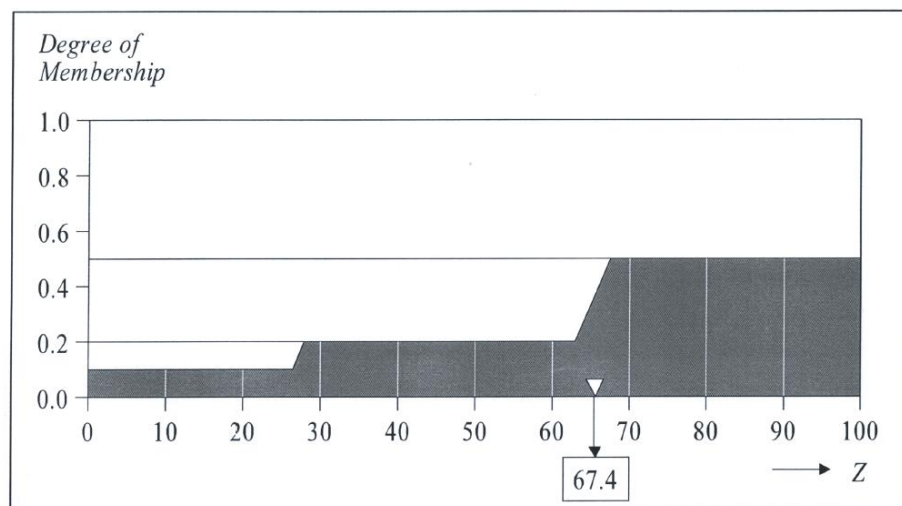
Soit la fonction de sortie suivante :



En considérant un pas de 10, le calcul du centre de gravité est estimé par la formule suivante :

$$CG = ((0+10+20+30) \times 0.5 + (40+50+60) \times 0.33) / (0.5+0.5+0.5+0.5+0.33+0.33+0.33) = 26.67$$

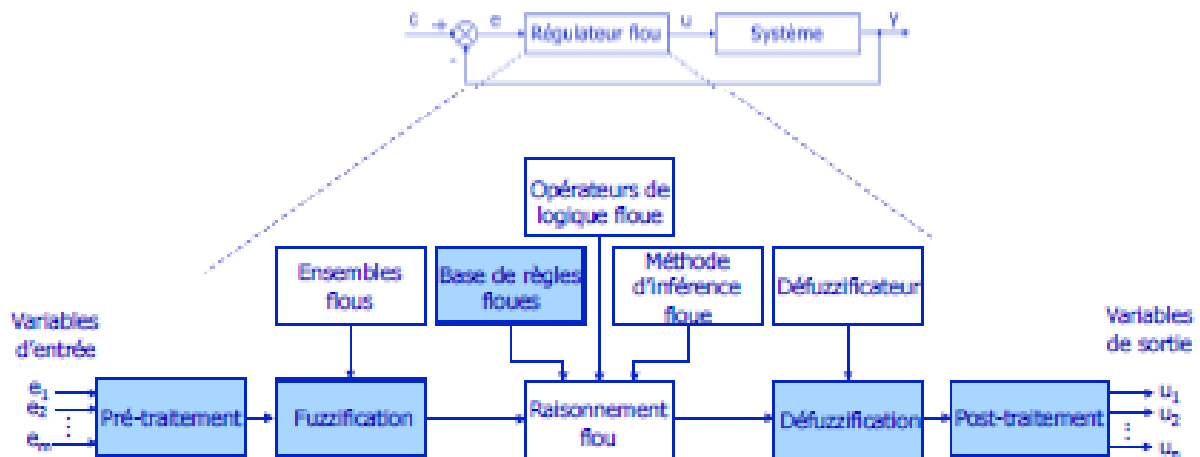
### Exemple 10 : Calcul approximatif du centre de gravité d'une aire



$$COG = \frac{(0+10+20) \times 0.1 + (30+40+50+60) \times 0.2 + (70+80+90+100) \times 0.5}{0.1+0.1+0.1+0.2+0.2+0.2+0.2+0.5+0.5+0.5+0.5} = 67.4$$

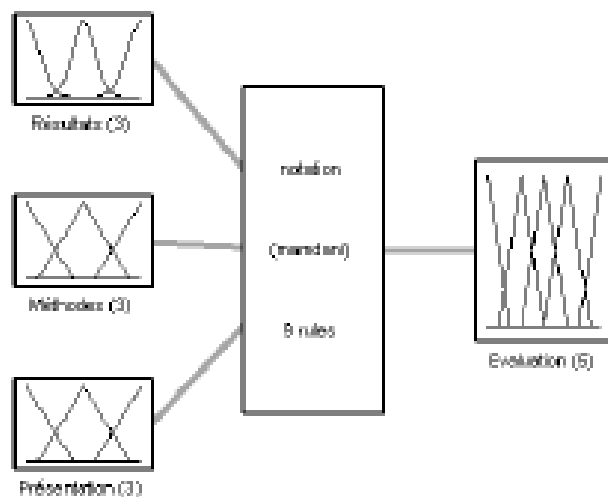
## Résumé :

Les différentes étapes de conception d'un contrôleur flou sont résumées par la figure suivante :



Le choix des différents opérateurs définissent des méthodes. L'une des méthodes les plus utilisées est celle de Mamdani :

## Choix des opérateurs flous



System notation: 3 inputs, 1 outputs, 8 rules

ET flou	: MIN
OU flou	: MAX
Implication floue	: MIN
Agrégation des règles	: MAX
Défuzzification	: COG

### Exercice 1 :

Considérons un système de contrôle des risques de la cybercriminalité (RC) en fonction de trois paramètres : la technologie de la cyber-sécurité (TC), les normes de la cyber-sécurité (NC) et la portée de l'information (PI). Ces différents paramètres sont spécifiés par les ensembles flous suivants:

- Paramètre d'entrée **TC** :

Avancée (AV)	Triangle (20,35,45)
Acceptable (AC)	Triangle (35,45,60)
Insuffisante (IN)	Triangle (45,60,80)

- Paramètre d'entrée **NC** :

Dans les normes(DN)	Trapèze (9,24,40,55)
Hors normes (HN)	Trapèze (40,55,60,70)

- Paramètre d'entrée **PI** :

Très grande (TG)	Trapèze (5,10,15,20)
Grande (GR)	Trapèze (15,20,25,30)
Moyenne (MO)	Trapèze (25,30,35,40)
Faible (FA)	Trapèze (35,40,45,50)

- Paramètre de sortie **RC** :

très fort (TF)	Triangle (-80,-50,-10)
Fort (FO)	Triangle (-50,-10,10)
Moyen (MO)	Triangle (-10,10,40)
Faible (FA)	Triangle (10,40,70)

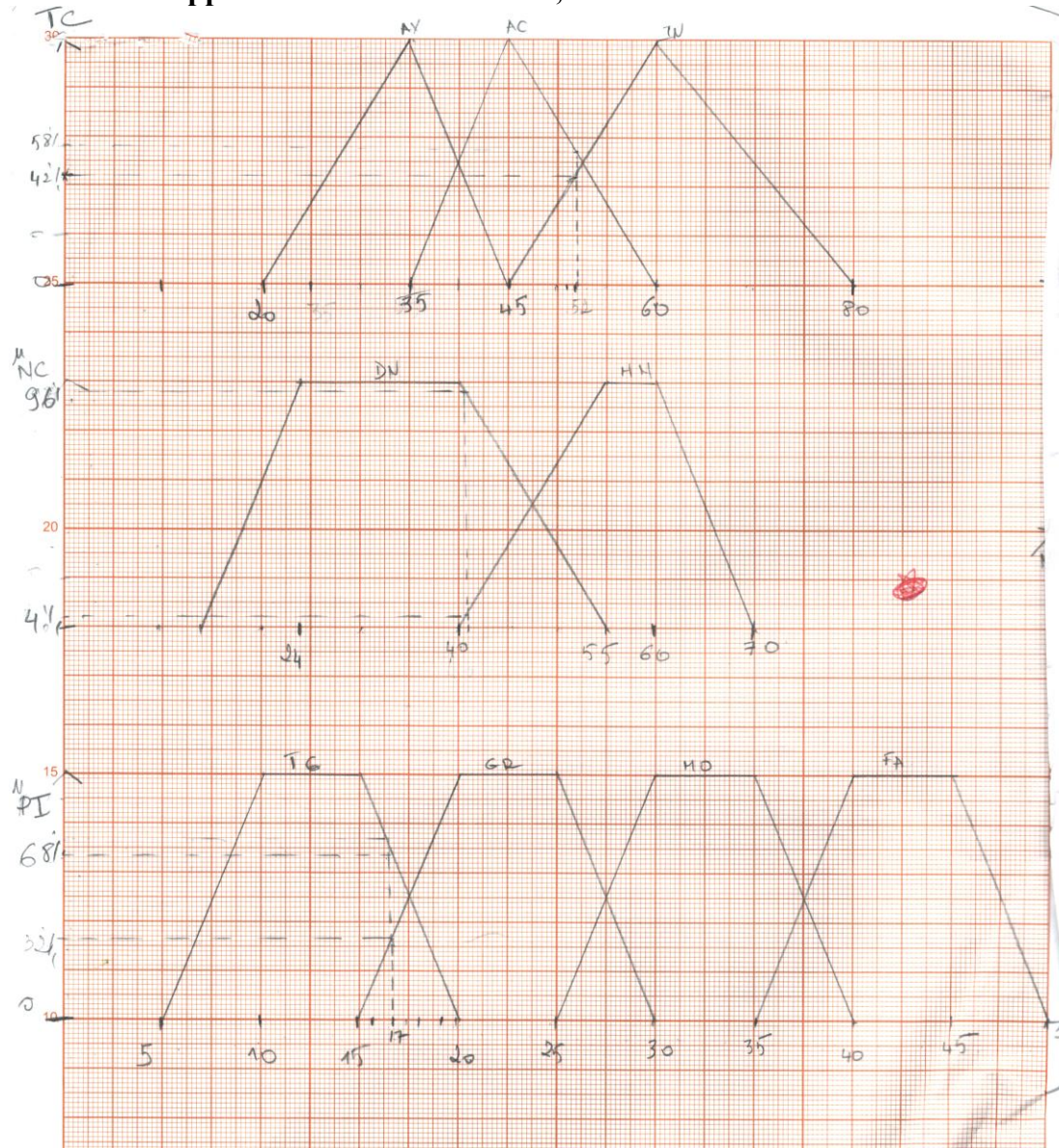
La matrice d'inférence est la suivante:

NC	DN			HN		
TC PI	AV	AC	IN	AV	AC	IN
TG	FA	FA	FA	MO	MO	MO
GR	FA	MO	MO	MO	FO	FO
MO	MO	MO	MO	FO	FO	TF
FA	FO	FO	FO	TF	TF	TF

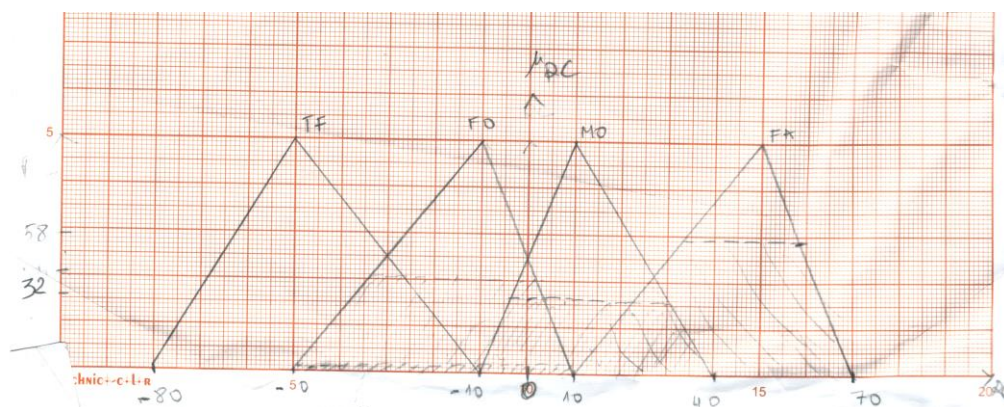
- Spécifiez les différentes étapes de la conception d'un contrôleur flou.
- Appliquez chaque étape au problème donné en précisant les connaissances utilisées.
- Simuler le fonctionnement du contrôleur avec les paramètres suivants :  
TC=52 ; NC=42 ; PI=17



### Fonctions d'appartenance des entrées TC, NC et PI :



### Fonction d'appartenance de la sortie RC (sous forme de 4 sous-ensembles flous)



## Etape 1 : Fuzzification : Entrées non floues $\Rightarrow$ Entrées floues

$$\begin{aligned}
 TC=52 &\Rightarrow \begin{cases} TC \text{ est « insuffisante » à } 42\% \\ TC \text{ est « acceptable » à } 58\% \\ TC \text{ est « avancée » à } 0\% \end{cases} \\
 NC=42 &\Rightarrow \begin{cases} NC \text{ est « hors norme » à } 4\% \\ NC \text{ est « dans les normes » à } 58\% \end{cases} \\
 PI=17 &\Rightarrow \begin{cases} PI \text{ est « très grande » à } 42\% \\ PI \text{ est « grande » à } 58\% \\ PI \text{ est « moyenne » à } 0\% \\ PI \text{ est « faible » à } 0\% \end{cases}
 \end{aligned}$$

## Etape 2 : Sélection des règles d'inférence :

Si TC= « IN »	et NC= « DN »	et PI= « GR »	alors RC= « MO »
42%	96%	32%	32%
Si TC= « IN »	et NC= « DN »	et PI= « TG »	alors RC= « FA »
42%	96%	68%	42%
Si TC= « IN »	et NC= « HN »	et PI= « GR »	alors RC= « FO »
42%	4%	32%	4%
Si TC= « IN »	et NC= « HN »	et PI= « TG »	alors RC= « MO »
42%	4%	68%	4%
Si TC= « AC »	et NC= « DN »	et PI= « GR »	alors RC= « MO »
58%	96%	32%	32%
Si TC= « AC »	et NC= « DN »	et PI= « TG »	alors RC= « FA »
58%	96%	68%	58%
Si TC= « AC »	et NC= « HN »	et PI= « GR »	alors RC= « FO »
58%	4%	32%	4%
Si TC= « AC »	et NC= « HN »	et PI= « TG »	alors RC= « MO »
58%	4%	68%	4%

## Spécification des opérateurs $\Rightarrow$

ET flou	: MIN
OU flou	: MAX
Implication floue	: MIN
Agrégation des règles	: MAX
Défuzzification	: COG

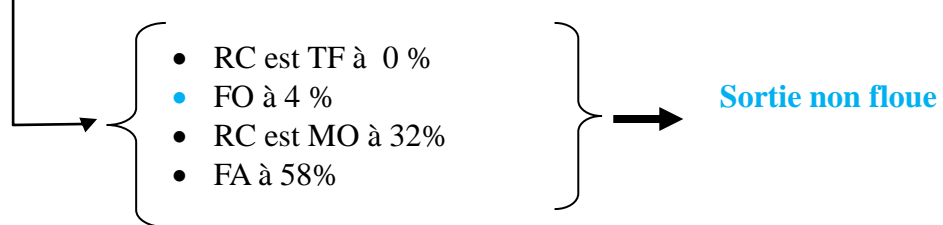
D'où la sortie floue est représentée par l'appartenance aux 4 sous-ensembles flous du paramètre RC à savoir :

- RC est TF à 0 %
- FO à 4 %
- RC est MO à 32%
- FA à 58%

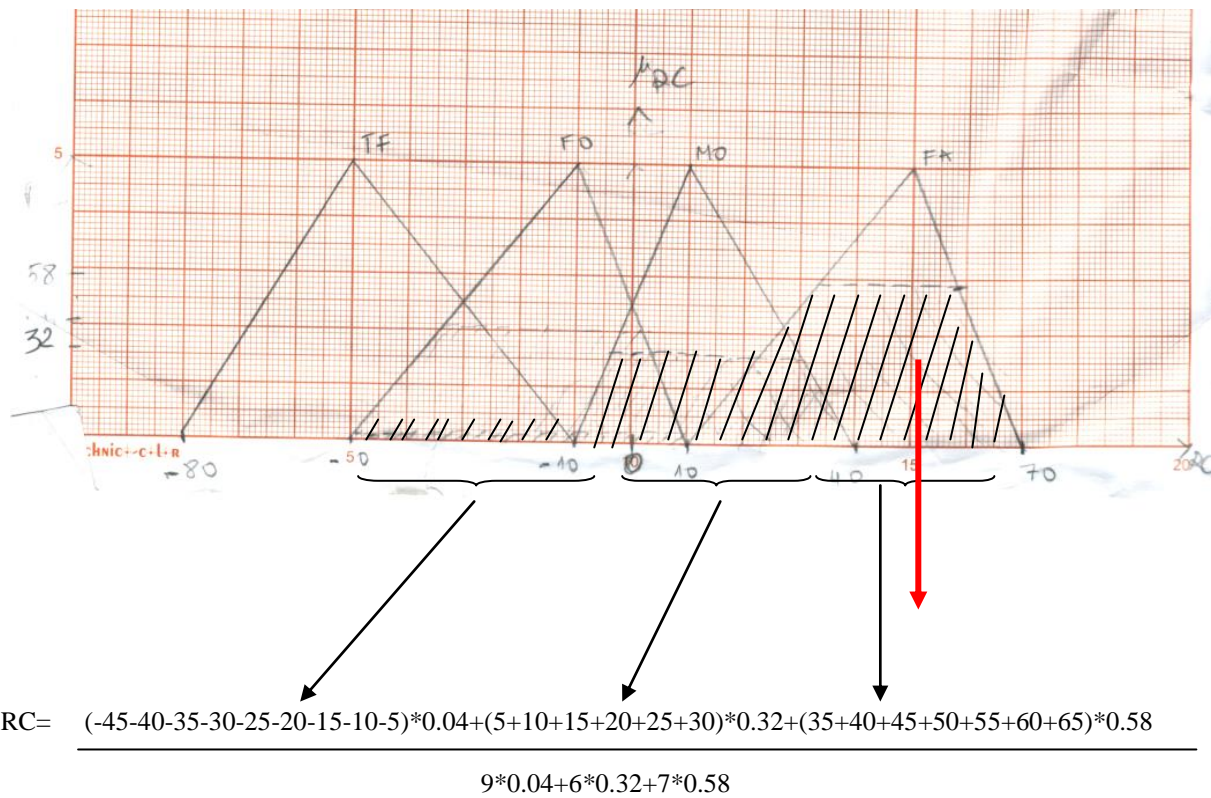


### Etape 3 : Defuzzification par la méthode de calcul du Centre de Gravité

Sortie floue :



Estimation du centre de gravité par une méthode approximative :



**RC= 51,45**



## Exercice 2 :

Considérons le problème de la prise en charge de l'épidémie du coronavirus (EC) en prenant en compte les paramètres suivants : le développement d'outils de diagnostic (OD), la connaissance du virus (CV) et le développement de vaccins (DV).

Ces différents paramètres sont spécifiés par les ensembles flous suivants:

- Paramètre d'entrée **OD** :

Avancé (AV)	Triangle (30,45,70)
Acceptable (AC)	Triangle (10,30,45)
Insuffisant (IN)	Triangle (-20,10,30)

- Paramètre d'entrée **CV** :

Non Maitrisée (NM)	Trapèze (20,40,55,70)
Maitrisée (MT)	Trapèze (55,70,90,110)

- Paramètre d'entrée **DV** :

Très important (TI)	Trapèze (90,110,115,120)
Important (IM)	Trapèze (65,80,90,110)
Moyen (MO)	Trapèze (32,50,65,80)
Faible (FA)	Trapèze (5,15,32,50)

- Paramètre de sortie **EC** :

Moyenne (MO)	Singleton (20,35)
Forte (FO)	Singleton (35,60)
Elevée (EL)	Singleton (50,80)

La matrice d'inférence est la suivante:

CV	NM				MT			
DV OD	FA	MO	IM	TI	FA	MO	IM	TI
IN	MO	MO	MO	MO	MO	MO	FO	FO
AC	MO	MO	FO	FO	FO	FO	EL	EL
AV	FO	FO	EL	EL	EL	EL	EL	EL

- d- Spécifiez les différentes étapes de la conception d'un contrôleur flou.
- e- Appliquez chaque étape au problème donné en précisant les connaissances utilisées.
- f- Simuler le fonctionnement du contrôleur avec les paramètres suivants :  
OD=20 ; CV=60; DV=100

**TP 3:**

En utilisant la "Fuzzy Toolbox" de Matlab, concevez et implémentez un contrôleur flou.