

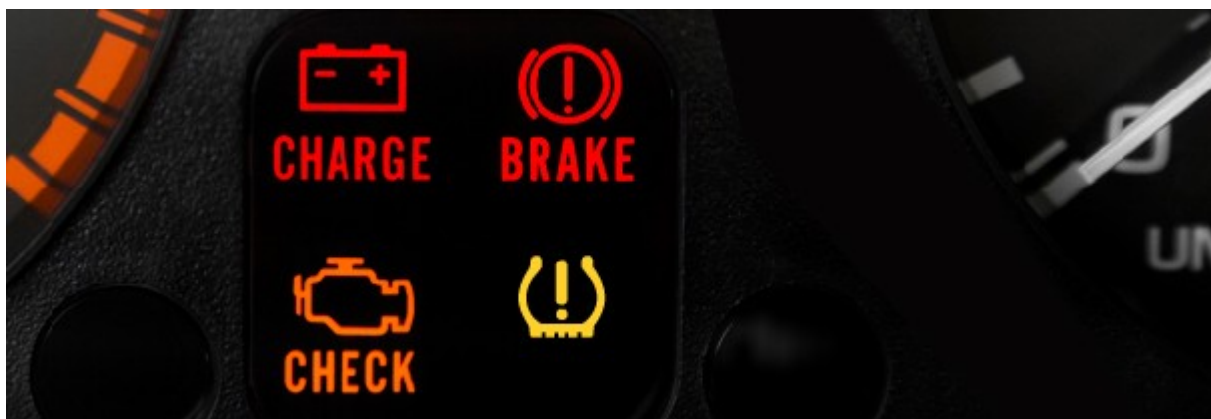


## Rapport du stage

Spécialité : Automatique  
Année scolaire : 2011/2012

# Algorithme de décision avec la logique floue

L'étude d'un SSPP dans le projet ATPMS



### Mention de confidentialité

CONFIDENTIEL RENAULT

Fin 2016

**Auteur :** Davins-Valldaura, Joan

**Promotion :** 2012

**Tuteur ENSTA ParisTech :**

**Tuteur organisme d'accueil :**

Frédéric, Jean

Monti, Alessandro

**Stage effectué du 26/03/2012 au 26/09/2012**

**NOM de l'organisme d'accueil :** RENAULT s.a.s/ Renault Guyancourt

**Adresse :** Ile de France/ 78 – Guyancourt/ Technocentre

# La note de confidentialité

Cette version de rapport est une version expurgée du rapport final.

Dans le rapport final non-expurgée il y a la conception du modèle de decision.

Le sujet du rapport est **confidentiel** jusqu'à la fin 2016.

Une version expurgée de ce rapport sera fourni aussi en version digital (sur CD).

# Table des matières

La note de confidentialité .....	2
Table des illustrations et annexes.....	4
Glossaire.....	5
0 – Renault.....	6
0.1 - Groupe.....	6
0.2 - Technocentre.....	6
Les bâtiments du Technocentre.....	7
0.3 - Projet.....	7
I.1 – Projet.....	8
I.1.1 – Historique.....	8
I.1.2 – Système de Surveillance de la Pression des Pneus .....	9
Direct.....	9
Indirects.....	9
I.1.3 – Stage.....	11
I.2 - Logique Floue.....	11
I.2.1 – Historique .....	11
I.2.2 – Concepts fondamentaux.....	11
- La théorie classique des ensembles :.....	12
- La théorie des sous-ensembles flous :.....	12
I.2.3 – Variables floues .....	13
I.2.4 – Structure.....	14
Fuzzyfication.....	14
Inférence Floue.....	15
Defuzzyfication.....	16
I.2.5 – Applications.....	18
II – Développement.....	18
II.1- Exemple Logique Floue.....	18
II.1.1 – Définition.....	18
II.1.2 – Structuration.....	18
II.1.3 – Paramètres.....	22
II.1.4 – Résultats.....	22

# Table des illustrations et annexes

Figure 1 – Les trois marques du groupe Renault.....	6
Figure 2 – Equipe du projet TPMS.....	8
Figure 3 – Principe des algorithmes temporels .....	9
Figure 4 – Bandes de fréquence d'intérêt des algorithmes fréquentiels.....	10
Figure 5 – Relation bande fréquence et forme du pneu .....	10
Figure 6 – Structure basique du SSPP indirecte.....	11
Figure 7 - L'univers du discours U avec un sous-ensemble A.....	12
Figure 8 – Ensembles classiques et flou d'un univers du discours U avec un sous-ensemble A.....	13
Figure 9 – Exemple d'un univers de discours typique en LF.....	13
Figure 10 – Structure de la logique floue comme contrôleur d'un système.....	14
Figure 11- Processus de fuzzyfication d'une variable à cinq valeurs linguistiques.	15
Figure 12 – Processus d'inférence floue de deux variables linguistiques.....	15
Figure 13 – Processus de defuzzyfication (CdM) d'une variable linguistique de trois valeurs.....	17
Figure 14 – Structure externe de l'exemple.....	18
Figure 15 – Fonctions d'appartenance des HORAIRES.....	19
Figure 16 - Fonctions d'appartenance de la METEO.....	20
Figure 17 – Fonctions d'appartenance du TRAFIC.....	21
Figure 18 – Defussyfication de l'exemple.....	22
Figure 19 - Cartographie de l'exemple obtenu à partir de la LF, laquelle est capable de déterminer le temps(z) de voyage à partir de l'heure(y) et la météo(x).....	23
Table 1- Opérateurs LF les plus utilisés :.....	16

# Glossaire

ABS = Antilock Brake System

FA = Fausses Alertes

LF = Logique Floue

MAP = Mise Au Point

ND = Non-Détections

SDC = Système de Détection de Dégonflage (algorithme temporel)

SDD = Système de Détection de Crevaisson (algorithme fréquentiel)

SSPP = Système de Surveillance de la Pression des Pneus

TCS = Traction Control System

TPMS = Tire Pressure Monitoring System

VSES = Vehicle Stability Enhancement System

## 0 – Renault

### 0.1 - Groupe

Le groupe Renault est un [constructeur automobile français](#), lié au constructeur nippon [Nissan](#) depuis 1999. Ce groupe possède des usines et filiales à travers le monde entier. Fondé par les frères Louis, Marcel et Fernand Renault en 1899, il se distingue rapidement par ses innovations. Il est nationalisé au sortir de la [Seconde Guerre mondiale](#), en grande partie à cause de la [collaboration](#) de ses dirigeants avec l'occupant [nazi](#). « Vitrine sociale » du pays, il est privatisé durant les années 1990. Il utilise la course automobile pour assurer la promotion de ses produits et se diversifie dans de nombreux secteurs.

Présent dans plus de 118 pays, le groupe Renault conçoit, fabrique et commercialise des véhicules sous trois marques : Renault, Dacia et Renault Samsung Motors. Il a également une activité de financement des ventes grâce à sa filiale RCI banque.



Figure 1 – Les trois marques du groupe Renault

Il propose une gamme de véhicules capables de répondre aux besoins de mobilité et adaptés aux spécificités de ses différents marchés.

En 2011, le groupe Renault a commercialisé 2 722 062 véhicules. Il compte 128 332 collaborateurs. Son activité est organisée en deux branches : l'activité automobile (conception, fabrication, vente) et le financement des ventes.

## 0.2 – Technocentre

Le **Technocentre Renault** est un centre de recherche où sont conçues les futures voitures du groupe Renault. Le site, inauguré en 1998, se trouve à Guyancourt dans les Yvelines à environ 30 km à l'ouest de Paris, et emploie près de 12 000 personnes – y compris les prestataires, sous-traitants et filiales de Renault.

Les salariés de l'entreprise Renault travaillant au Technocentre exercent exclusivement des métiers de l'automobile, tandis que de très nombreuses activités du centre sont sous-traitées à des prestataires extérieurs, notamment la restauration, le nettoyage, la maintenance, l'accueil, la sécurité, la gestion du parc de véhicules, l'ingénierie informatique et électronique, etc.

Le site a été conçu pour regrouper tous les acteurs de la conception d'un nouveau modèle de voiture. Renault évite ainsi un investissement de 200 000 euros dû aux déplacements.

Le Technocentre est équipé non seulement de 8 restaurants destinés à l'usage des employés du centre et de ses visiteurs, mais encore de salles de conférence, d'une banque, d'une mutuelle, d'un salon de coiffure, d'une boutique vendant les produits dérivés de la marque Renault, d'une école de formation aux métiers logistiques, de l'ingénierie véhicule, etc.

### Les bâtiments du Technocentre

- *L'Avancée*, côté nord, qui regroupe toutes les activités d'avant-projet : recherche et développement, design, etc. Il y a aussi la logistique.
- *La Ruche* au centre du complexe, où tous les projets véhicules sont menés.
- *Le Proto*, centre de fabrication de prototypes.
- *Le Labo*, où l'on s'applique à l'étude des matériaux et des procédés chimiques.
- *Le Diapason*, pour tout ce qui concerne la qualité des produits.
- *Pluton*, pour l'informatique.
- *Asteria*, où sont implantées les sociétés prestataires en ingénierie (Serma Ingénierie, etc.)
- *Le Gradient*, qui regroupe les autres activités du Technocentre (commerce,...).

## 0.3 - Projet

Le projet du TPMS concerne la collaboration de plusieurs services et directions de Renault. Je suis encadré à la *'Direction de l'Ingénierie des Equipements et Systèmes*

*Châssis*' (DIESC) avec mon encadrant chez Renault, Alessandro Monti (Architecte Métier Système).

Pour la conception du modèle de décision, j'ai travaillé avec la '*Direction de l'Electronique et des Technologies Avancées*' (DELTA), plus concrètement avec le '*Service de synthèse et contrôle véhicule*'; car ils sont les responsables de la conception des algorithmes SDD et SDC et les autres modèles de décision

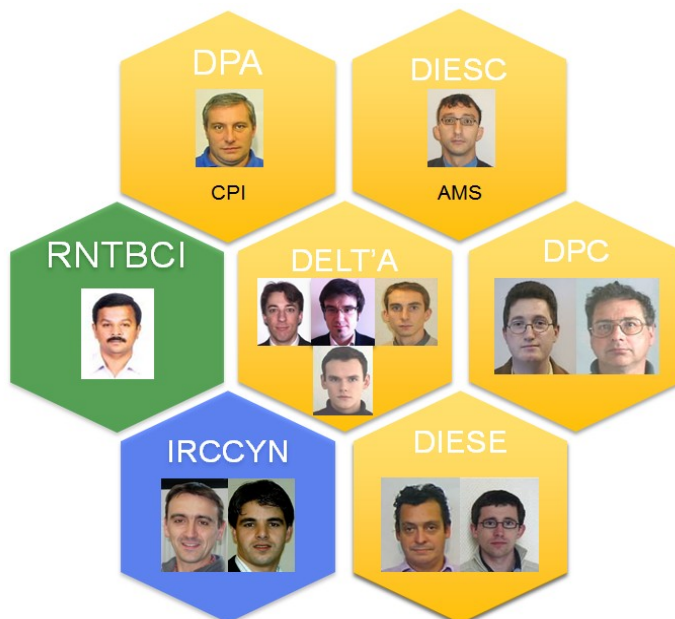


Figure 2 – Equipe du projet TPMS

## I – Introduction

### I.1 – Projet

#### *I.1.1 – Historique*

C'est à la fin des années 1980 que le constructeur automobile allemand Porsche sort le premier véhicule de tourisme possédant un système TPMS. Souhaitant mettre en avant l'aspect sécurité du produit, certains constructeurs automobiles européens ont décidé d'intégrer ce produit dans leurs gammes supérieures de luxe en option. La première voiture équipée de série fut la Chevrolet Corvette en 1997. Des constructeurs français intègrent le TPMS de série dans certaines gammes comme le cas de la Renault Laguna.

Au début des années 2000, un bouleversement apparaît dans la distribution du système TPMS. Tout commence aux USA avec une annonce de Firestone rappelant 6,5 millions de pneus défectueux du marché américain ayant causés des accidents graves. Suite à cela, le gouvernement américain a décidé de promulguer une loi nommée la « Loi de bande de roulement ». Elle énonce et exige l'utilisation d'une technologie de contrôle de pression des pneus afin d'informer le conducteur lorsque ces pneus comportent un grave problème de gonflage. Cela est devenu obligatoire aux USA pour tous les nouveaux véhicules (de moins de 3,5 tonnes) sortant de production après le 1<sup>er</sup> septembre 2007.

La communication autour du produit sera différente sur le continent américain du continent européen. L'aspect de la sécurité sera d'avantage mis en avant outre-Atlantique alors que le marché européen vantera plus les mérites écologiques et économiques du produit en plus des aspects sécuritaires. Suivant l'exemple nord-américain, l'installation du TPMS sera obligatoire en Europe sur tous les nouveaux modèles de véhicules (de moins de 3.5t) dont la production débutera après le 1<sup>er</sup> novembre 2012, et pour tous les véhicules neufs à fin de 2014.

### ***1.1.2 – Système de Surveillance de la Pression des Pneus***

Normalement, les pneus d'un véhicule sont conçus pour optimiser la sécurité en tout temps. Si la pression des pneus n'est pas conforme à la pression recommandée par le constructeur du véhicule, les dispositifs de sécurité comme les systèmes de freins antiblocage (ABS), les systèmes anti-patinage (TCS) et les systèmes de contrôle de la stabilité du véhicule (VSES) risquent de ne pas fonctionner de face optimale. En plus de contribuer à la conduite sécuritaire du véhicule, une bonne pression de gonflage favorise à économiser sur le carburant et à améliorer la durée de vie des pneus. Avoir un contrôle de la pression des pneus est actuellement important et nécessaire. Maintenant que le TPMS sera rendu obligatoire par la réglementation, deviendra une difficulté supplémentaire pour les constructeurs.

Il existe deux principes de surveillance de la pression, le direct et l'indirect :

#### **Direct**

Le système à mesure directe est le plus répandu et les plus précis, mais il est le plus coûteux. Une unité électronique montée sur la tige de valve à l'intérieur de chaque pneu met en œuvre un détecteur de pression afin de mesurer périodiquement la pression du pneu, ainsi qu'un émetteur transmettant les valeurs de pression mesurées, par transmission radiofréquence, à un récepteur (unité de contrôle électronique) monté au véhicule.

L'affichage émet également un avertissement lorsque la pression des pneus tombe au-dessous d'un certain seuil prédéfini. Les valeurs de pression sont compensées par rapport à des variations de température dans le pneu et éventuellement par rapport à des changements d'altitude.

#### **Indirects**

Il n'utilise pas de capteur de pression. Le SSPP indirecte est un projet d'investigation actuelle. La pression de chaque pneu est estimée pour l'utilisation de différents algorithmes. Les plus communs sont les algorithmes temporels et fréquentiels.

Les *algorithmes temporels* utilisent comme information principale la vitesse relative des roues. Lorsqu'un pneu est dégonflé, son diamètre décroît et le pneu doit tourner plus vite pour suivre les autres pneus. Cette écarte de vitesse est analysé pour l'algorithme.



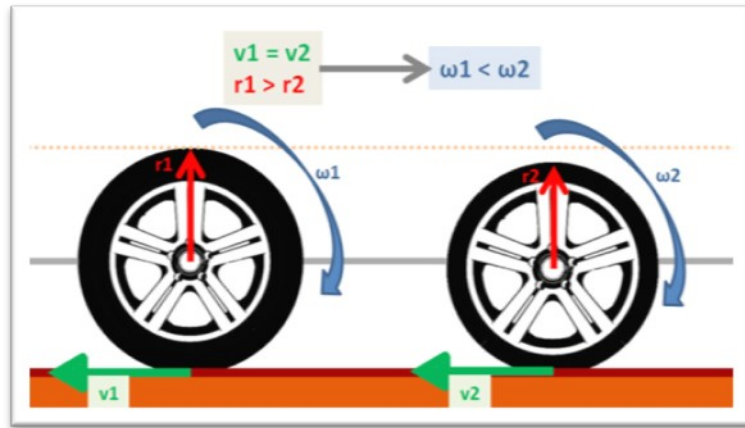


Figure 3 – Principe des algorithmes temporels

La limitation de cet algorithme est si les quatre pneus ont une baisse de pression à un niveau similaire. L'algorithme temporel ne sera pas capable de détecter les sous-gonflages parce que toutes les roues tournent à la même vitesse.

Les *algorithmes fréquentiels* utilisent comme information les harmoniques et vibrations des pneus. Il y a différentes bandes de fréquence d'intérêt :

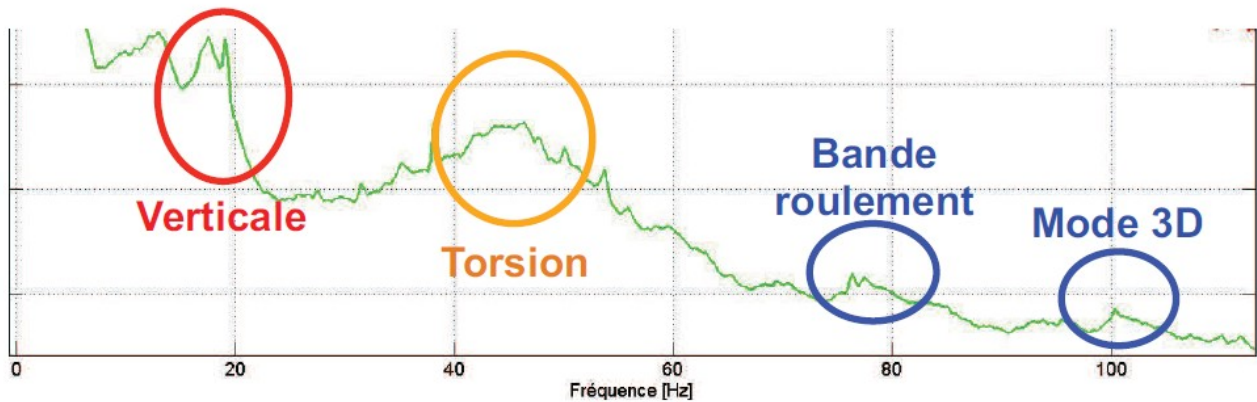


Figure 4 – Bandes de fréquence d'intérêt des algorithmes fréquentiels

Chaque bande de fréquence correspond à une variation de forme du pneu :

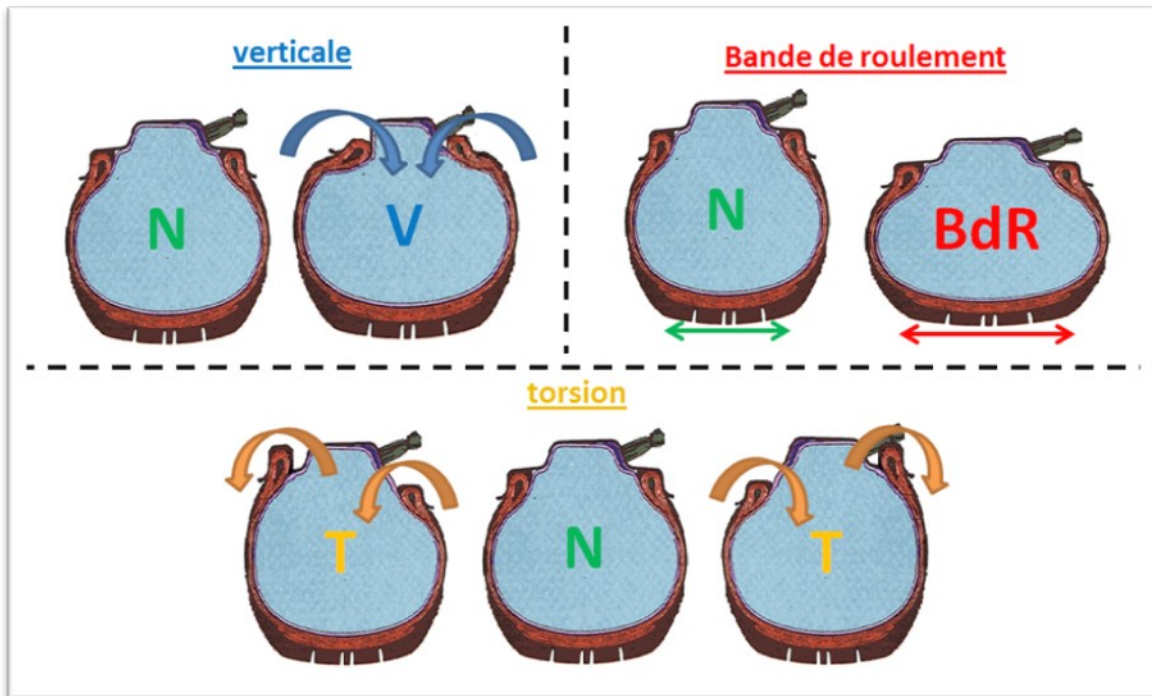


Figure 5 – Relation bande fréquence et forme du pneu

Le 'mode 3D' est la vibration de résonance qu'il y a pneu pendant le roulage. L'algorithme fréquentiel sera capable bien détecter lorsqu'il y a problèmes a plusieurs roues, mais il aura de limitations lorsqu'une seule roue est sous-gonflé.

### 1.1.3 - Stage

La mission du stage porte sur l'étude, création et mise au point d'un algorithme de décision avec la logique floue sur SSPP indirect. Le stage mettra en exergue les avantages et inconvénients des différents méthodes de décision de l'indirect.

### SSPP indirecte

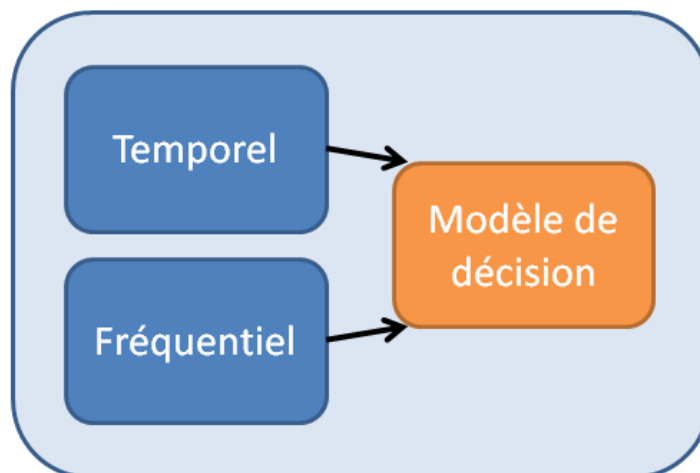


Figure 6 – Structure basique du SSPP indirecte

## I.2 - Logique Floue

### I.2.1 - Historique

La théorie des ensembles flous a été introduite en 1965 par le professeur L. A. Zadeh. En 1973, il a publié un article qui mentionne pour la première fois le terme de variables linguistiques. Un an après, il y a la première application industrielle. C'est la régulation floue d'une chaudière à vapeur, réalisée par Mamdani. En 1980 F.L. Smidth & Co (au Danemark) met en application la théorie de la logique floue dans le contrôle de fours à ciment. C'est la première mise en œuvre pratique de la LF ; Dans les années 80, plusieurs applications commencent à émerger, notamment au Japon. En 1990, il y avait une généralisation de l'utilisation de cette technique.

### I.2.2 - Concepts fondamentaux

L'idée de base de la logique floue est de définir la valeur de vérité d'une affirmation par un nombre qui varie entre 0 et 1 progressivement, contrairement à la logique classique binaire qui manipule seulement les valeurs 0 et 1.

La théorie des sous-ensembles flous utilisés par la LF est différente de la théorie classique et binaire des ensembles.

#### - La théorie classique des ensembles :

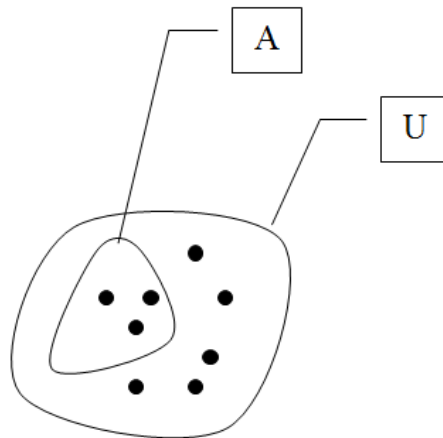


Figure 7 - L'univers du discours U avec un sous-ensemble A

Si  $\mu_A$  est la fonction d'appartenance classique de l'ensemble A, alors :

$$\forall x \in U ; \quad \mu_A(x) = 0 \text{ si } x \notin A ;$$
$$\mu_A(x) = 1 \text{ si } x \in A$$

Alors ' $\mu_A(x)$ ' ne prendra que la valeur 0 ou 1 en fonction de si 'x' appartient au sous-ensemble A.

#### - La théorie des sous-ensembles flous :

Si  $\mu_A$  est la fonction d'appartenance floue de l'ensemble A, alors :

$$\forall x \in U ; \quad \mu_A(x) \in [0, 1]$$

Le concept de sous-ensemble flou permet des graduations dans l'appartenance d'un élément à une classe.

Si  $\mu_A(x) = 0,6$  ; 'x' appartient à l'ensemble flou A avec un degré d'appartenance de 60%. Le degré d'appartenance correspond à sa valeur de vérité. Par cette raison, c'est possible d'affirmer qu'un ensemble flou est totalement déterminé par sa fonction d'appartenance.

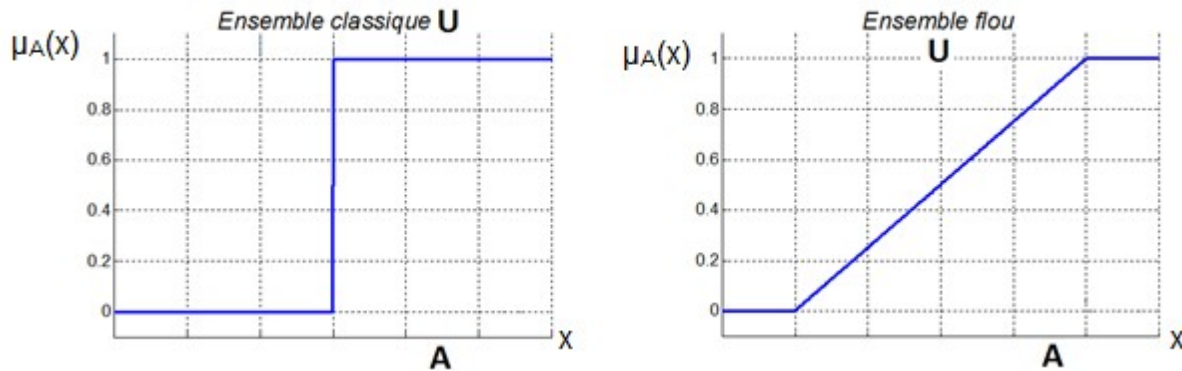


Figure 8 – Ensembles classiques et flou d'un univers du discours U avec un sous-ensemble A

### 1.2.3 - Variables floues

Pour bien comprendre le fonctionnement d'un modèle de LF, c'est nécessaire de connaître les suivants concepts: la théorie de sous-ensembles flous (déjà vu), l'utilisation de différents variables et les fonctions d'appartenance et les différentes conditions.

Par l'exemple suivant :

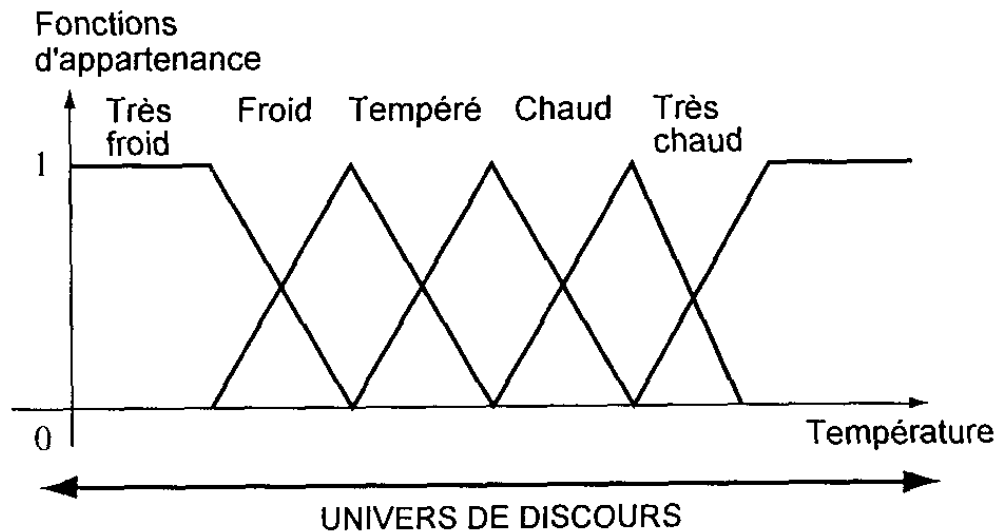


Figure 9 – Exemple d'un univers de discours typique en LF

Il faut faire attention avec trois concepts différents :

- Univers du discours : Gamme de température
- Variable linguistique : La température
- Valeurs linguistiques : Très froid, froid, tempéré, chaud, très chaud

Dans l'exemple, la variable numérique à étudier est la température. Une valeur de température (p.ex. 20°C) est située dans l'univers de discours. L'univers de discours permet de transformer la variable originalement numérique à une variable linguistique. La variable linguistique température a cinq valeurs linguistiques différentes, lesquelles sont définies pour fonctions d'appartenance différentes. Chaque valeur linguistique constitue alors un ensemble flou de l'univers du discours. Ça permettra de traiter plus facilement les données (p.ex. température = [très froids, froid, tempéré, chaud, très chaud] = [0, 30%, 70%, 0%, 0%] = [0, 0.3, 0.7, 0, 0]). Toujours le somme des différents valeurs linguistiques est égale à 1 (Somme = 0 + 0.3 + 0.7 + 0 + 0 = 1).

#### 1.2.4 - Structure

Un modèle LF a une structure prédéfini. Il y a trois grandes parties : fuzziyfication, inférence floue et défuzziyfication. Il faut avoir une base de connaissance du système global et du fonctionnement de la LF pour pouvoir bien définir chaque partie. Le modèle doit être capable de prendre différentes mesures, lesquelles il va traiter pour obtenir des valeurs utilisables par le système.

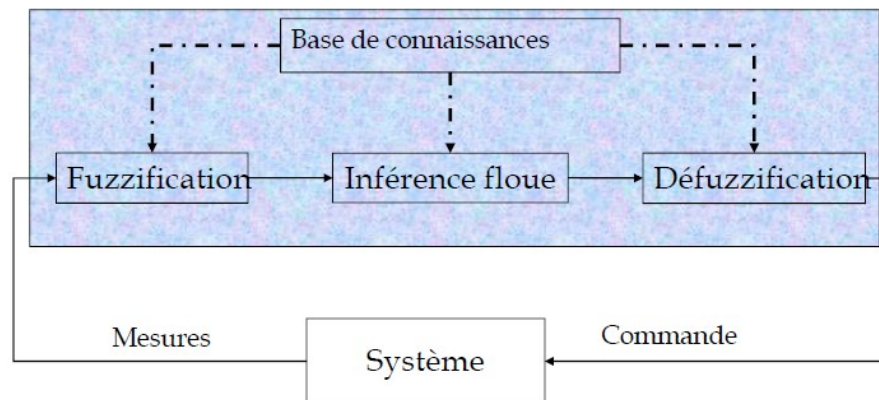


Figure 10 – Structure de la logique floue comme contrôleur d'un système

#### Fuzzyfication

Est la première partie du modèle. Normalement, il y a un processus de fuzziyfication différent pour chaque mesure (variable numérique). Le but est d'obtenir une variable linguistique avec différentes valeurs linguistiques. Dans cette partie, il faut utiliser les principes des sous-ensembles flous. Chaque valeur linguistique, définie par sa fonction d'appartenance, sera utilisée après dans le modèle LF. Alors la fuzzyfication est l'étape qui consiste en la quantification floue des valeurs réelles d'une variable.

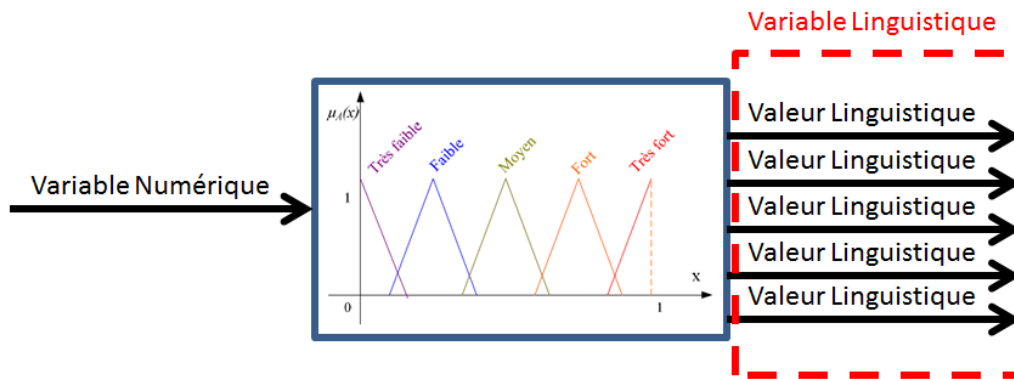


Figure 11- Processus de fuzzyfication d'une variable à cinq valeurs linguistiques

### Inférence Floue

Est la deuxième partie du modèle. Le but est d'obtenir de nouvelles variables linguistiques à partir des autres variables linguistiques. Ces nouvelles variables linguistiques ont une relation directe avec les valeurs numériques qu'il faut obtenir à la fin. Pour mélanger les valeurs linguistiques (inputs), il y a un ensemble de différents conditions (inférence floue). En fonction de besoin du système, c'est possible de modifier les conditions. Normalement, les conditions sont de facile compréhension et implémentation. Les conditions plus utilisés en les systèmes à LF sont sous forme d'une base de règles du type : Si (X est A) Alors (Y est B).

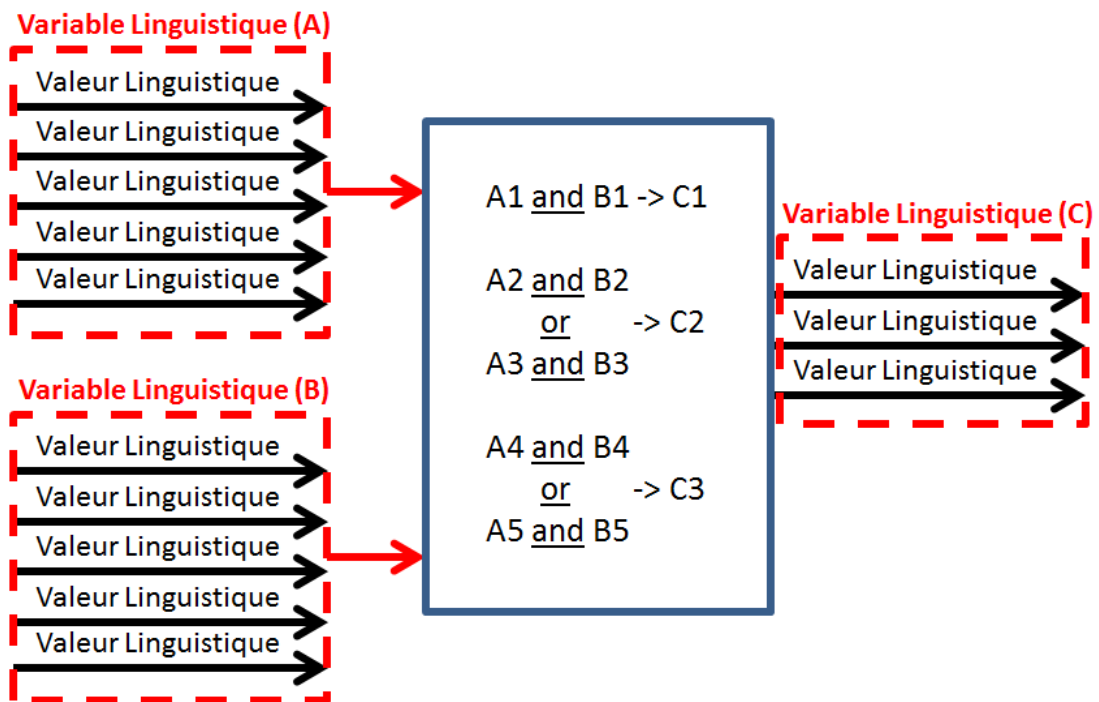


Figure 12 – Processus d'inférence floue de deux variables linguistiques

Il y a plusieurs opérateurs pour l'implication floue (mélanger différentes variables linguistiques) :

- Toute t-norme peut servir à définir l'intersection floue :

Une t-norme est une application  $T(x,y)$  satisfaisant les conditions suivantes:

- 1 est élément neutre  $\forall x \in [0,1] \quad T(x,1) = T(1,x) = x.$
- Commutative  $T(x,y) = T(y,x)$
- Associative  $T(x,T(y,z)) = T(T(x,y),z)$
- Monotone si  $x \leq z$  et  $y \leq w$  alors  $T(x,y) \leq T(z,w)$

- Toute t-conorme peut servir à définir la réunion floue :

Une t-conorme est une application  $S(x,y)$  satisfaisant les conditions suivantes

- 0 est élément neutre  $\forall x \in [0,1] \quad S(x,0) = x.$
- Commutative  $S(x,y) = S(y,x)$
- Associative  $S(x,S(y,z)) = S(S(x,y),z)$
- Monotone si  $x \leq z$  et  $y \leq w$  alors  $S(x,y) \leq S(z,w)$

Table 1- Opérateurs LF les plus utilisés :

Dénomination	Intersection ET (t-norme)	Réunion OU (t-conorme)	Complément NON
Opérateurs de Zadeh MIN/MAX	$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
Probabiliste PROD/PROBOR	$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$

### Defuzzyfication

Est la troisième et dernière partie du modèle. Le but est d'obtenir une variable numérique à partir des différentes valeurs linguistiques d'un variable linguistique. La difficulté est d'associer à cet ensemble flou un nombre interprétable par l'utilisateur, l'interface commande ...

Normalement, il y a des fonctions de defuzzyfication prédéfinies par chaque valeur linguistique. Les différentes valeurs linguistiques, obtenus à l'inférence floue, seront le sommeil de sa fonction (valeur maximum). Il y a plusieurs méthodes par le calcul de la valeur final :



centre de masse (CdM)

$$y_0 = \frac{\int_Y y \cdot \mu_{B'}(y) dy}{\int_Y \mu_{B'}(y) dy}$$

Premier maximum

$$y_0 = \min\{z/\mu_{B'}(z) = \text{Max}\mu_{B'}(y)\}$$

Dernier maximum

$$y_0 = \text{Max}\{z/\mu_{B'}(z) = \text{Max}\mu_{B'}(y)\}$$

Centre maximum

$$y_1 = \min\{z/\mu_{B'}(z) = \text{Max}\mu_{B'}(y)\}$$

$$y_2 = \text{Max}\{z/\mu_{B'}(z) = \text{Max}\mu_{B'}(y)\}$$

$$y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2}$$

En commande floue, la défuzzification CdM (centre de masse) est presque toujours utilisée. Elle prend en compte l'influence de l'ensemble des valeurs proposées par la solution floue.

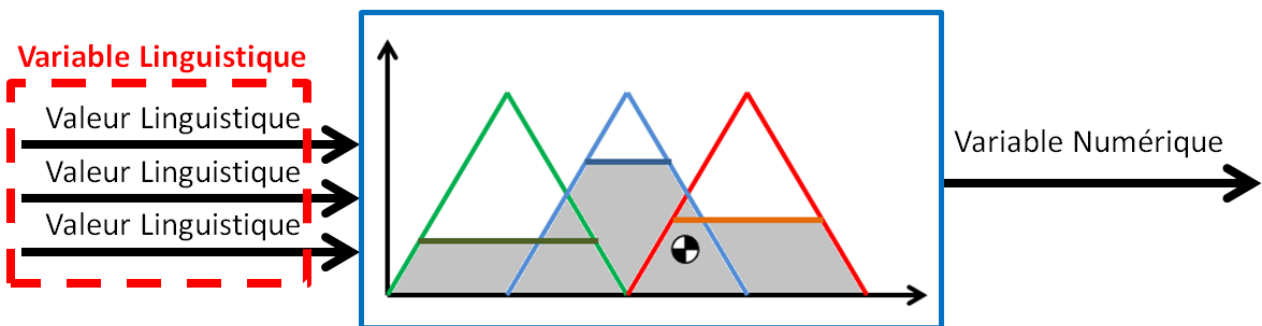


Figure 13 – Processus de defuzzification (CdM) d'une variable linguistique de trois valeurs



### *1.2.5 - Applications*

La LF actuellement est présent à :

Appareils électroménagers (lave-linges, aspirateurs, autocuiseurs)

Systèmes audio-visuels (appareils de photo autofocus, caméscopes à stabilisateur d'images, photocopieurs)

Systèmes automobiles embarqués (ABS, suspension, climatisation)

Systèmes autonomes mobiles

Système de contrôle/commande dans la plupart de domaines industriels de production

Systèmes de décision, diagnostic, reconnaissance

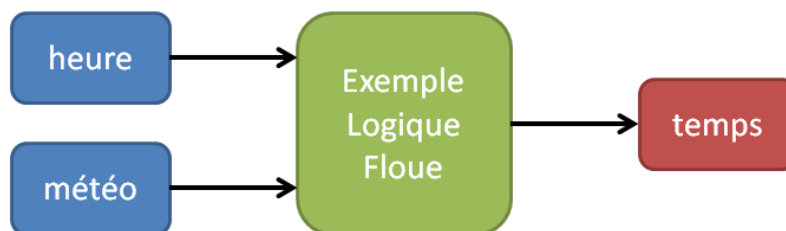
## **II - Développement**

### **II.1- Exemple Logique Floue**

#### *II.1.1 - Définition*

Pour assimiler bien la théorie et le fonctionnement d'un modèle de LF, j'ai commencé avec un exemple réel mais simple.

Le sujet élu a été le temps de voyage de Paris au Technocentre du Renault en transport commun. Les informations utilisées par l'estimation du temps seront l'heure et la météo.



*Figure 14 – Structure externe de l'exemple*

- L'heure correspond à l'heure du départ. Valeur de 0 à 24.

- La météo correspond à la valeur subjective de la météorologie de la journée. Valeur entre 0 et 10. Il faut choisir une valeur sachant que 0 correspond à 'la neige', 5 à 'la pluie' et 10 au 'soleil'.

#### *II.1.2 - Structuration*

Le modèle a deux données d'entrée, la météo et l'heure. Avec ces deux valeurs, le modèle doit d'être capable d'avoir une bonne estimation d'un temps du trajet. Aussi il y a

des paramètres ('P' sur les dessins) lesquels permettent de modifier la forme des valeurs linguistique.

Les critères plus importants et influents par rapport au temps de voyage sont :

- Les horaires du transport commun. Une fréquence plus élevée de transport diminue le temps d'attente des différents transports. Pour les définitions des fonctions d'appartenance j'ai pris connaissance des horaires de circulation des moyens de transport commun du Technocentre. Une bonne approximation avec seulement 2 paramètres a été possible de définir :

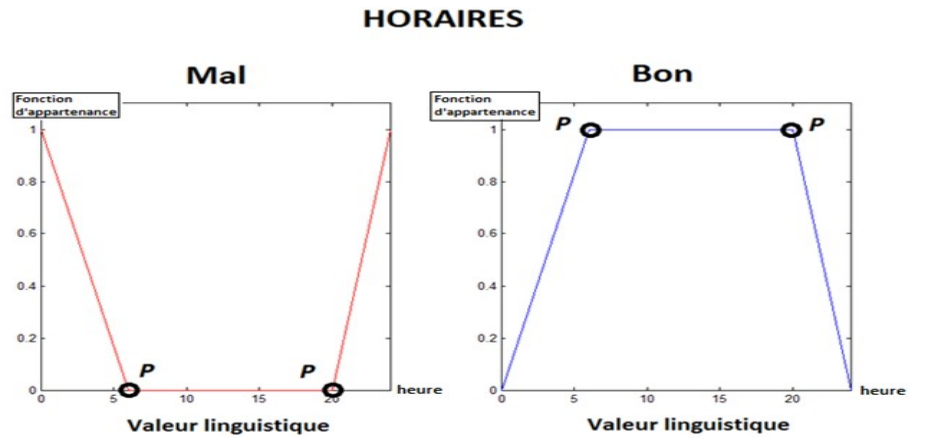


Figure 15 – Fonctions d'appartenance des HORAIRES

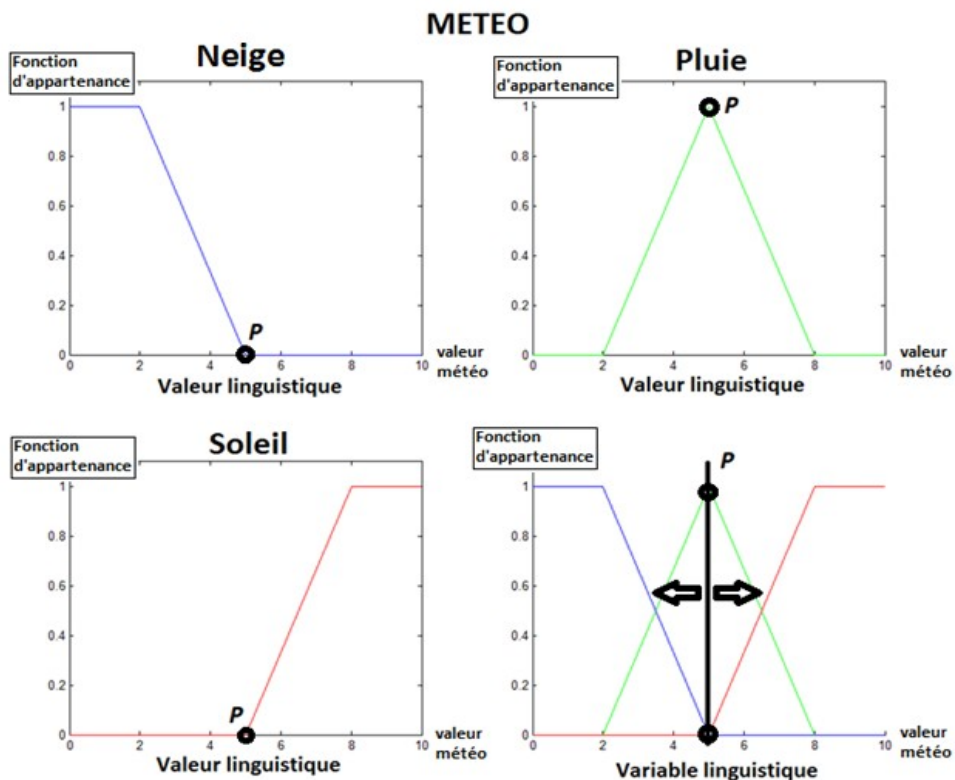


Figure 16 - Fonctions d'appartenance de la METEO

- La météo. Si le temps est mauvaise et il y a de neige ou prévision de pluie, le nombre de véhicules augmente et la vitesse de circulations descend (de 0-neige à 10-soleil). Pour les définitions des fonctions d'appartenance j'ai pris la définition typique de la LF pour la fuzzyfication à 3 valeurs linguistiques. Est un traitement simple et avec un seule paramètre, normalement utilisé en le cas de pas connaissance des données.

- Le trafic. Il y a des horaires avec des embouteillages, et la densité de véhicules basse la vitesse de circulation. Pour les définitions des fonctions d'appartenance j'ai pris connaissance des deux franges horaires des embouteillages (2 paramètres pour bien les ajuster) et des meilleurs horaires pour voyager recommandées pour le service de trafic (2 paramètres pour bien ajuster). La troisième fonction d'appartenance (moyen) a été définie pour compléter les cas intermédiaires (l'addition des 3 valeurs il faut être toujours 1)

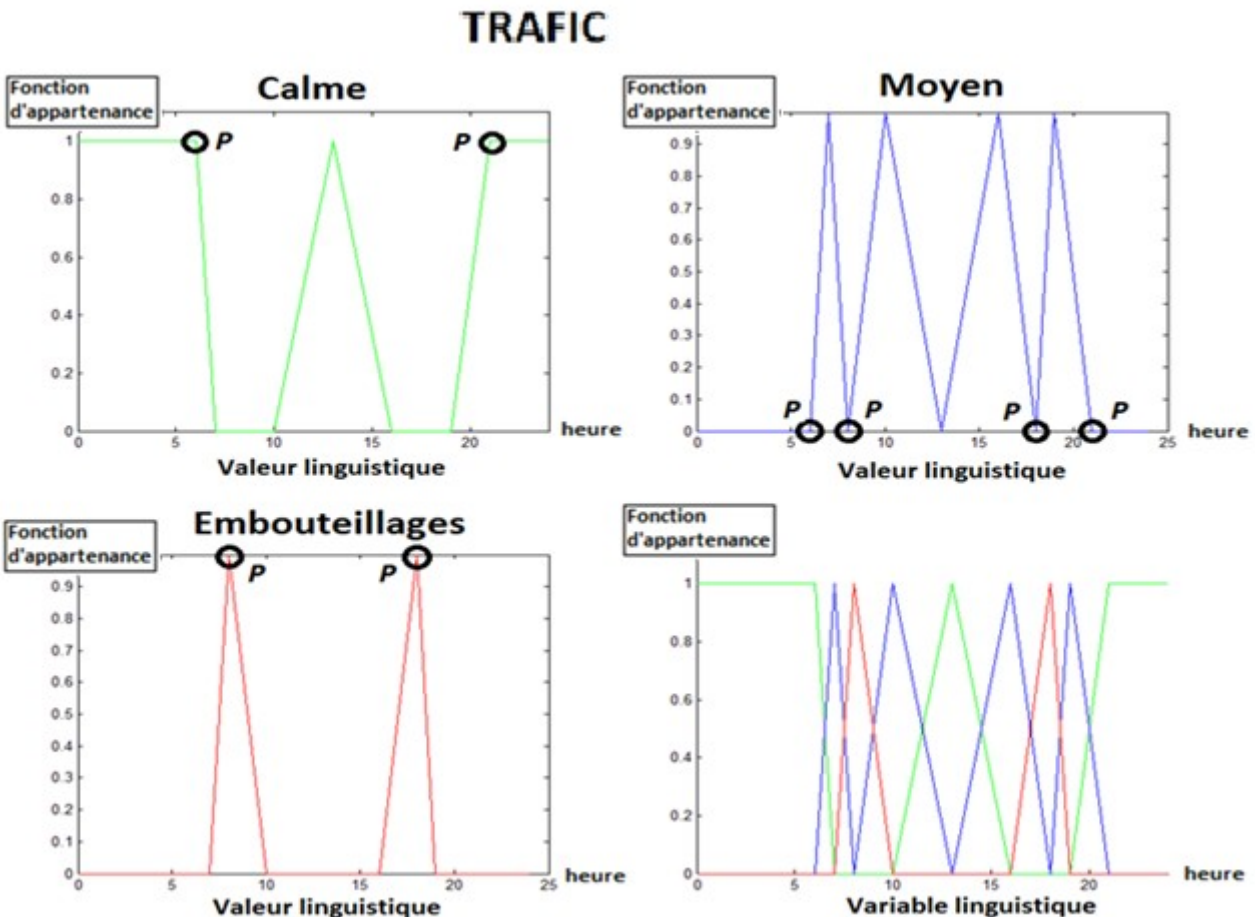


Figure 17 – Fonctions d'appartenance du TRAFIC

Avec les trois variables linguistiques et ses différentes valeurs, le modèle est capable d'utiliser conditions très simples et directes. L'objectif est d'avoir une nouvelle variable linguistique, le temps. A partir de plusieurs conditions, c'est possible d'avoir les différentes valeurs linguistiques de la variable linguistique *temps* :

- temps TROP **Si** [Horaires(Mal)]

Si le voyage est dehors le bon horaire de transport, le temps sera trop.

- temps BEAUCOUP **Si** [Horaires(Bon) AND (Trafic(Emb.) OR Météo(Neige))]  
 Si le voyage est dans le bon horaire de transport mais il y a neige ou embouteillages, il faudra prendre beaucoup de temps pour le voyage.

- temps MOYEN **Si** [Horaires(Bon) AND (Trafic(Moy.) OR Météo(Pluie))]  
 Si le voyage est dans le bon horaire de transport mais il pleut ou il y a un trafic moyen, le temps du voyage sera moyenne.

- temps PEU **Si** [Horaires(Bon) AND (Trafic(Calme) OR Météo(Soleil))]  
 Si le voyage est dans le bon horaire de transport et il y a du soleil ou le trafic est calme, le voyage nous prendra peu de temps.

Il faut que la variable linguistique temps soit defuzzyfié. Avec les différentes valeurs linguistiques du temps, s'applique le processus de defuzzyfication CdM :

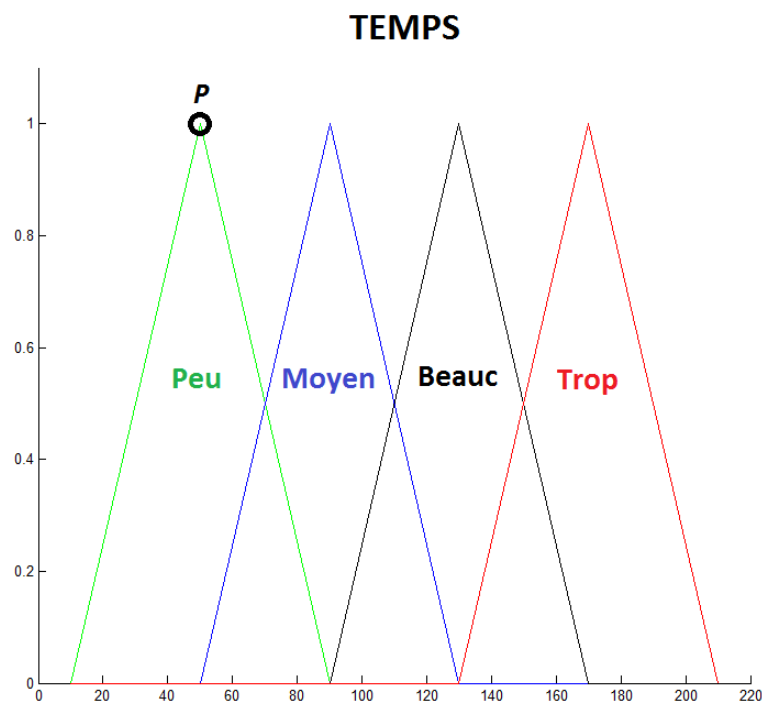


Figure 18 – Defussyfication de l'exemple

Les fonctions sont pareilles mais à un écart de 40 minutes. Le paramètre permet de bouger l'offset de la première fonction par rapport à l'origine.

### II.1.3 - Paramètres

Pour bien adapter chaque variable linguistique, il faut utiliser différents fonctions d'appartenance. Chaque fonction aura de points importants capables d'être bougés, appelés paramètres. Les paramètres permettent d'ajuster le processus de transformation de variable numérique à variable linguistique et vice-versa et s'adapter bien à les données du système. Dans l'exemple j'ai utilisé :

Dans Fuzzyfication : météo (1 param.), trafic (4 param.) et horaires (2 param.)

Dans Défuzzyfication : temps(1 param.)

L'usage de paramètres est intéressant. Un nombre élevé de paramètres fait que la MAP du modèle prend plus de temps pour la convergence des paramètres. Utiliser juste le nombre essentiel de paramètres nous optimisera le temps de la MAP.

#### II.1.4 - Résultats

la cartographie du système LF suivante permet de voir l'estimation du temps du modèle. Comme il y a seulement deux variables d'entrée, c'est possible une représentation 3D (x-météo, y-heure, z-temps) :

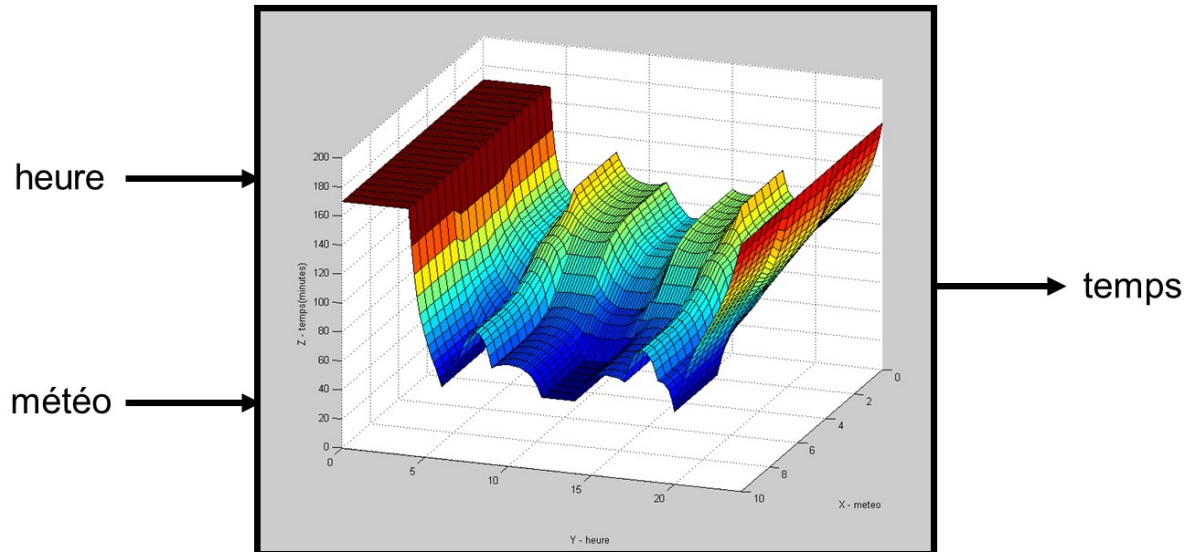


Figure 19 - Cartographie de l'exemple obtenu à partir de la LF, laquelle est capable de déterminer le temps(z) de voyage à partir de l'heure(y) et la météo(x)

Sur le graphique, il y a plusieurs commentaires à faire :

- Il y a une frange horaire (du 0h à 5h) où il n'y a pas transport commun. Le temps de trajet est maximum.
- La météo a une influence toujours, indépendamment de l'heure.
- Pendant la journée (du 6h à 20h), le temps est très variable. Le temps de voyage sera entre 40 minutes et 90 minutes. Il faut faire attention car l'écarte de 50 minutes n'est pas négligeable.