



Département : Génie industriel et maintenance

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de :

Ingénieur d'état

Spécialité :

Management et ingénierie de la maintenance industrielle

Thème :

Amélioration de la méthode de l'abaque de Noiret par les neuro-flous.

Réaliser par :

BEROUANE Manel Nesrine

ADIB Mehdi

Les membres de Jury :

GOUICCEM AliMohamed Tahar	Président
SALHI Nedjma	Promotrice
MERADI Samir	Examineur

Alger, le 06/07/ 2022

Années universitaire : 2021 / 2022

Dédicace

A la mémoire de mon très cher papa que Dieu bénisse son âme qui était et restera à jamais dans mon cœur, et à ma mère que je remercie infiniment pour son soutien et ses conseils tout au long de mes études.

A ma chère sœur Randa et mon cher frère Riad avec tous mes souhaits de succès dans leur vie.

A ma chère tante Noura et ma grande mère Houria.

A ma chère nièce Nihel.

A mes chères cousine Amira, Ikram, Roufaïda et Baya.

A mes meilleures amies et mes sœurs Djawher, Hassna et Lamia.

A mes chères amies Damia, Chaima, Nesrine, Manel, Sonia et Nora.

A toute ma famille de près et de loin.

A tous mes amis, en leur souhaitant tout le succès.

A tous ceux qui me sont chers.

Je leur dédie ce modeste travail.

Que la paix d'ALLAH soit avec tous...

Manel Nesrine

Dédicace

Je dédie ce travail,

A mes chers parents, à ma mère pour son amour et ses encouragements,

À mon père pour son soutien et la confiance qu'il m'a accordé.

À tous les membres de ma famille qui mon soutenu durant

Tout mon parcours universitaire, et à tous mes amis.

Merci d'être toujours présents pour moi, que ce projet soit

Le meilleur cadeau que je puisse vous offrir.

A l'étudiante Kaouz Henia Nour elhouda

Mehdi

Remerciements

Le grand remerciement est revient à Dieu, qui nous a donnés la force et le pouvoir pour terminer ce modeste travail.

Nous voulons adresser toute notre gratitude à notre encadreur Mme SALHI Nadjma, pour l'aide qu'elle nous a fournie et les connaissances qu'elle a sues nous transmettre. Nous la remercions également pour sa disponibilité, ses conseils avisés qui ont contribué à alimenter notre réflexion et sa supervision éclairée tout au long de la rédaction du mémoire.

Nous remercions Dr GOUCCEM Ali Mohamed Tahar, d'avoir accepté la présidence du jury, et Dr MERADI Samir pour avoir accepté d'être membre de jury.

Nous présentons nos remerciements à tous nos enseignants(es) tout au long de notre cursus universitaire.

Je tiens à tiens à remercier à remercier Mr. Khatem Bachir pour son accueil dans l'entreprise.

Nous remercions tout particulièrement nos parents, pour leur soutien inconditionnel tout au long de ces longues années d'études, ainsi que pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

Nous remercions également AMIRA Djawher.

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés de loin ou de près.

Sommaire

<i>Liste des figures.....</i>	<i>1</i>
<i>Liste des tables.....</i>	<i>3</i>
<i>Liste des abréviations.....</i>	<i>4</i>
<i>Introduction générale.....</i>	<i>5</i>
 Chapitre 1 : Recherche bibliographique sur la politique de la maintenance.	
1.1 Introduction.....	8
1.2 Explication de la dernière version de la définition de la maintenance.....	8
1.3 La politique de la maintenance industrielle.....	8
1.3.1 La définition de la politique de la maintenance.....	8
1.3.2 Critère de choix de la politique de la maintenance.....	9
1.3.3 Les objectifs de la politique de maintenance.....	10
1.3.4 La mise en œuvre d'une politique de maintenance.....	10
1.3.5 Types de politique de la maintenance.....	11
1.4 Stratégie de maintenance.....	12
1.5 Conclusion.....	13
 Chapitre 2 : Généralités sur la logique floue et les neuro-flous.	
2.1 Introduction.....	15
2.2 La logique floue.....	15
2.2.1 Principe de la logique floue.....	15

2.2.2	<i>Les éléments de base de la logique floue</i>	15
2.2.3	<i>Opérateurs de la logique floue</i>	17
2.2.4	<i>Propriétés des ensembles flous</i>	18
2.2.5	<i>Structure d'un régulateur flou</i>	19
2.2.6	<i>L'application de la logique floue dans l'industrie</i>	20
2.3	<i>Les neuro-flous</i>	21
2.3.1	<i>Définition des neuro-flous</i>	21
2.3.2	<i>Combinaison des réseaux de neurones et de la logique floue</i>	21
2.3.3	<i>Les avantages des systèmes neuro-flous</i>	24
2.3.4	<i>La création d'un système neuro-floue</i>	24
2.4	<i>Conclusion</i>	25

Chapitre 3 : Application de la méthode abaque de Noiret pour le tour SPRINT 65 et le broyeur SH 2213

3.1	<i>Introduction</i>	27
3.2	<i>La méthode abaque de Noiret</i>	27
3.2.1	<i>Définition de la méthode</i>	27
3.2.2	<i>Les critères de l'abaque de Noiret</i>	27
3.3	<i>Déroulement de la méthode</i>	31
3.3.1	<i>Méthode graphique</i>	31
3.3.2	<i>Méthode analytique</i>	32
3.3.3	<i>Interprétation</i>	32
3.4	<i>Programmation avec Python</i>	32
3.5	<i>Conclusion</i>	33

Chapitre 4 : Hybridation de la méthode de l'abaque de Noiret avec la logique floue

4.1	Introduction.....	35
4.2	L'abaque de Noiret.....	35
4.2.1	Les nouveaux critères.....	35
4.2.2	La pondération.....	36
4.2.3	La mise en œuvre de l'abaque de Noiret avec les nouveaux critères	37
4.3	Hybridation de la logique floue.....	37
4.3.1	Insertion des concepts de la logique floue dans la méthode de l'abaque de Noiret	37
4.4	Elaboration du modèle flou par Matlab.....	40
4.4.1	La fuzzification.....	41
4.4.2	Les règles d'inférence floue.....	43
4.4.3	Défuzzification.....	44
4.5	L'application du modèle flou sur les deux équipements.....	44
4.5.1	Application du modèle flou sur le tour SPRINT 65	45
4.5.2	Application de modèle flou sur le broyeur SH 2213	46
4.5.3	Interprétation des résultats.....	49
4.7	La procédure de l'hybridation de la méthode de l'abaque de Noiret avec les neuroflous.....	49
4.8	Conclusion	50

Chapitre 5 : Suivi de la prise de décision de la politique de la maintenance avec les neuro-flous

5.1	Introduction.....	52
5.2	La méthode abaque de Noiret et ses critères.....	52

5.3	<i>Le système neuro-flou hybride</i>	53
5.3.1	<i>Modèle ANFIS</i>	53
5.3.2	<i>Le modèle Mamdani</i>	59
5.3.3	<i>Modèle de Takagi-Sugeno</i>	64
5.4	<i>Résultats et discussions</i>	67
5.5	<i>Interprétation générale</i>	67
5.6	<i>Conclusion</i>	67
	<i>Conclusion générale</i>	68
	<i>Annexe A</i>	70
	<i>Annexe B</i>	72
	<i>Annexe C</i>	75
	<i>Annexe D</i>	80
	<i>Annexe E</i>	82
	<i>Bibliographie</i>	83

Liste des figures

Figure 1- 1 : Le choix de la politique de maintenance [03]	9
Figure 1- 2: La politique de la maintenance [05]	11
Figure 3- 1: La prise de décision pour le tour SPRINT 65	33
Figure 3- 2: La prise de décision pour le broyeur SH 2213	33
Figure 4- 1: les entrées du modèle	41
Figure 4- 2: les VL de la méthode d'exploitation	42
Figure 4- 3: les VL de l'investissement et délai	42
Figure 4- 4: La sortie de modèle flou	42
Figure 4- 5: Les règles de SIF	43
Figure 4- 6: Les RIF et sortie de modèle flou	43
Figure 4- 7: La courbe des caractéristiques du matériel	44
Figure 4- 8: La courbe délai et temps	44
Figure 4- 9: La courbe d'investissement et charge	44
Figure 4- 10: La courbe de méthodes d'exploitation	44
Figure 4- 11: Application de modèle lo pour le 1er cas sur le tour SPRINT 65	46
Figure 4- 12: Application du modèle flou pour le 2ème cas sur le tour SPRINT 65	46
Figure 4- 13: Application du modèle flou pour le 1ér cas sur le broyeur SH 2213	48
Figure 4- 14: Application du modèle flou pour le 2ème cas sur le broyeur SH 2213	48
Figure 4- 15: Application du modèle flou pour le 3ér cas sur le broyeur SH 2213	49
Figure 4- 16: Procédure de la logique floue	50
Figure 5- 1: Flux de base pour la conception d'un modèle ANFIS	53
Figure 5- 2: La structure du modèle	55
Figure 5- 3: La phase d'apprentissage pour la fonction Trimf	56
Figure 5- 4: La phase de test pour la fonction Trimf	57
Figure 5- 5: La phase d'apprentissage pour la fonction Gaussmf	57
Figure 5- 6: La phase de test pour la fonction Gaussmf	57
Figure 5- 7: La phase d'apprentissage pour la fonction Gbellmf	58
Figure 5- 8: La phase de test pour la fonction Gbellmf	58
Figure 5- 9: La phase d'apprentissage pour la fonction Gauss2mf	58
Figure 5- 10: La phase de test pour la fonction Gauss2mf	58
Figure 5- 11: Les inputs de système	60
Figure 5- 12: les VL de l'entrée TTR	61
Figure 5- 13: les VL de l'entrée coût	61
Figure 5- 14: La sortie de modèle	62
Figure 5- 15: Les règles de modèle	62
Figure 5- 16: Les RIF et sortie de modèle floue	63
Figure 5- 17: La courbe des coûts de maintenance	63
Figure 5- 18: La courbe de TTR	63
Figure 5- 19: La sortie du modèle	65
Figure 5- 20: Les RIF de modèle takagi sugeno	65

Figure 5- 21: La représentation des RIF	66
Figure 5- 22: La courbe de TTR.....	66
Figure 5- 23: La courbe de coût de maintenance	66
Figure C- 1: La fonction d'appartenance triangulaire.....	75
Figure C- 2: La fonction d'appartenance trapézoïdale	75
Figure C- 3: La fonction singleton	76
Figure C- 4: Système neuro-flou coopératif [31]	76
Figure C- 5: Système neuro-flou en série avec prétraitement neuronal [32].....	77
Figure C- 6: Système neuro-flou en parallèle [32].....	78
Figure C- 7: Système neuro-flou concurrent. [31]	79
Figure D- 1: Le tour automatique SPRINT 65 [45]	80
Figure D- 2: Le tour SPRINT 65 avec 2 tourelles. [45]	80
Figure D- 3: Le broyeur SH 2213	81
Figure E- 1: la grille de décision [46]	82

Liste des tables

Tableau 3- 1: Critère de l'âge de l'équipement [38].....	28
Tableau 3- 2: Critère d'interdépendance de matériel [38]	28
Tableau 3- 3: Critère de coût de matériel [38]	29
Tableau 3- 4: Critère de complexité du matériel [38].....	29
Tableau 3- 5: Critère de robustesse du matériel [38]	29
Tableau 3- 6: Critère d'origine du matériel [38].....	30
Tableau 3- 7: Critère de conditions de travail [38]	30
Tableau 3- 8: Critère de perte de produit [38]	31
Tableau 3- 9: Critère de délais d'exécution [38]	31
Tableau 3- 10: Grille de décision [39]	32
Tableau 4- 1: Les pondérations de critère de lieu et sous-traitance	36
Tableau 4- 2: les pondérations de critère de cout de maintenance	37
Tableau 4- 3: La construction des VL adaptés à nouvelles entrées	39
Tableau 4- 4: les intervalles des VL de chaque entrée.....	39
Tableau 4- 5: RIF de modèle approprié à l'abaque amélioré	40
Tableau 4- 6: La grille de choix de la politique de maintenance.	40
Tableau 4- 7: Les critères de la méthode abaque de Noiret pour le tour SPRINT 65.....	45
Tableau 4- 8: Les critères de la méthode abaque de Noiret pour le broyeur SH 2213	47
Tableau 5- 1: Les données des interventions.....	52
Tableau 5- 2: Les paramètres d'ANFIS	56
Tableau 5- 3: Les fonctions d'appartenance.	59
Tableau 5- 4: Les RIF de modèle de Mamdani	60
Tableau 5- 5: Les moyennes pondérées pour chaque panne	64
Tableau D- 1: Le tour SPRINT 65 avec 2 tourelles. [45].....	81

Liste des abréviations

- GMAO : Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur.
- SNVI : société nationale des véhicules industriels.
- IA : intelligence artificielle.
- RNA : Réseaux neurones artificiels.
- LF : logique floue.
- NF : Un neurone flou.
- ANFIS : Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System.
- SIF : Un système d'inférence floue.
- RIF : Règles d'inférence floue.
- VL : variable linguistique
- E : Entrée.
- SAV : service après-vente.
- Trimf : la fonction triangulaire.
- Gaussmf : la fonction gaussienne.
- TTR : time to repaire.
- PDR : pièce de rechange.

Introduction générale

Choisir la politique de maintenance à appliquer n'est pas toujours si simple, c'est pourquoi des méthodes aident les responsables de maintenance à prendre les décisions adéquates. Heureusement, l'évolution technologique et les améliorations faites dans l'industrie permettent de lever plusieurs limites relatives aux méthodes classiques utilisées.

L'intelligence artificielle est utilisable dans les entreprises de plusieurs façons soit avec la logique floue, les neurones artificiels ou bien la combinaison de ces deux derniers et on aura les neurone-flous. Chaque méthode a des avantages et des inconvénients.

Afin de choisir la meilleure politique de maintenance adaptée pour chaque cas et chaque équipement, il existe plusieurs outils d'aide à la décision. L'abaque de Noiret est une méthode utilisée pour choisir la politique de maintenance acclimatée avec la situation. Dans le but d'utilisation de cette méthode il faut prendre en considération quelques critères pour avoir des résultats exacts et correspondants avec l'équipement.

Après l'application de la méthode de l'abaque de Noiret, ses utilisateurs trouvent des problèmes avec elle, où ils remarquent que les critères ou bien les facteurs nécessaires pour le choix de la politique de maintenance sont insuffisants et il faut rajouter d'autres facteurs pour avoir le meilleur résultat et donc améliorer la décision.

Ce projet de fin d'étude a deux problématiques, la première est de prouver que par le rajout de nouveaux critères et en appliquant la logique floue à la méthode de l'abaque de Noiret, nous pouvons diminuer la zone d'incertitude pour la prise de décision pour le choix de la politique de la maintenance. La deuxième problématique, est de continuer à évaluer si vraiment la prise de décision a été correcte ou non durant une année. Nous tenterons de le démontrer en utilisant les algorithmes hybrides des neuro flous.

Le mémoire est structuré de la manière suivante :

Le premier chapitre est une recherche bibliographique sur les politiques de maintenance, les types de la politique de la maintenance et nous discuterons de l'évolution de la définition normative de la maintenance.

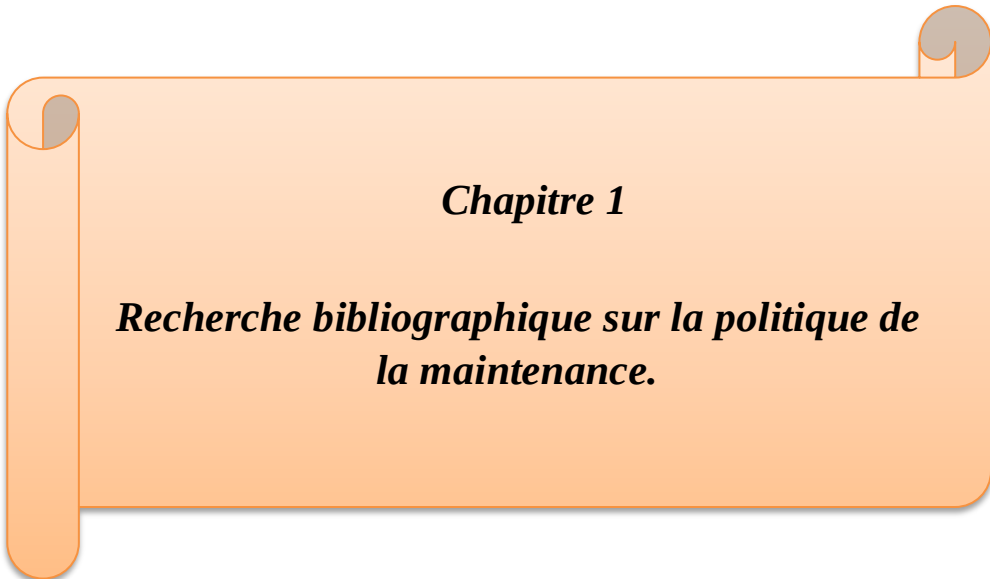
Le deuxième chapitre traite les généralités sur la logique floue et les neuro-flous. Dans ce chapitre on va voir les deux méthodes, leurs avantages et leurs inconvénients ainsi que des applications dans le domaine industriel et les caractéristiques et les éléments de base pour chaque méthode.

Le troisième chapitre, présente l'application directe de la méthode abaque de Noiret sur deux équipements dans deux entreprises différentes, De cette manière, nous aurons une décision pour le choix de la politique de la maintenance selon les deux méthodes analytique et graphique. Nous présenterons un programme informatique avec le langage Python, qui nous permet de valider les résultats précédents.

Le quatrième chapitre est dédié à résoudre la première problématique en développant de l'idée d'hybridation de l'abaque de Noiret par la logique floue, à l'aide du logiciel Matlab on va créer un modèle flou pour notre application afin d'améliorer la décision pour le choix de la politique de la maintenance.

Le dernier chapitre est une solution pour résoudre la problématique concernant l'apprendre de décision de la continuation ou pas dans la même politique de maintenance. Dans ce chapitre on va utiliser les différents algorithmes et modèle de système hybride des neuro-flous qui sont ANFIS, modèle de Mamdani et le modèle de Takagi-Sugeno dans le but de trouver le meilleur modèle adéquat pour prendre de cette décision.

Enfin on va terminer par une conclusion générale pour ce travail, et des perspectives pour ce projet.

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a darker orange border. It has a vertical strip on the left side and a small tab on the right side, giving it the appearance of a rolled-up document.

Chapitre 1

Recherche bibliographique sur la politique de la maintenance.

1.1 Introduction

Afin d'assurer le fonctionnement normal et la stabilité des équipements de l'entreprise de production, un ensemble d'actions doit être effectué régulièrement, et l'outil qui nous permet de confirmer ces actions s'appelle la gestion de la maintenance. La place de la maintenance dans la structure générale d'une entreprise affecte grandement son efficacité. La maintenance peut bénéficier d'une meilleure collaboration d'autres fonctions, d'une meilleure assistance technique ou de plus d'avantages de la part de la direction, selon sa place dans la structure globale.

Dans ce chapitre, on va voir c'est quoi la maintenance ainsi ses différents types, ensuite on va parler sur la politique de la maintenance, ses objectifs et leurs types ainsi définir la stratégie de la maintenance.

1.2 Explication de la dernière version de la définition de la maintenance

La norme de maintenance industrielle NF EN 13306 (janvier 2018) est une norme qui s'attache quant à elle à décrire de façon détaillée les différents types de maintenance à mettre en œuvre. Reprenant les grands principes des versions précédemment publiées, elle distingue notamment trois grandes catégories d'opérations. La maintenance préventive, facilement intégrable dans un logiciel GMAO professionnel, correspond ainsi à des opérations programmées selon des critères décrits par le constructeur, l'historique de la machine et le retour des techniciens. Son objectif est bien entendu de réduire les probabilités de panne ou de défaillance de l'équipement en question [01].

Selon cette norme la maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise [01].

1.3 La politique de la maintenance industrielle

1.3.1 La définition de la politique de la maintenance

Selon XP X60 – 020 (1995) : « la politique de la maintenance est l'orientation et les objectifs généraux d'une entreprise, en ce qui concerne la maintenance, tel qu'ils sont exprimés formellement par la direction générale » [02].

La politique de la maintenance est la conduite à tenir sur le choix de type de la maintenance [les types de maintenance en détaillent en annexe B] à exploiter pour garder les unités de production à un bon niveau de disponibilité [03]. La politique de maintenance conduit en particulier à faire des choix entre :

- Maintenance préventive et/ou corrective.
- Maintenance internalisée ou externalisée.

1.3.2 Critère de choix de la politique de la maintenance

Pour un choix de la politique de la maintenance on trouve plusieurs critères [01] :

- Budget octroyé à la maintenance.
- Ressource humaine disponible au sein du service maintenance, (en termes d'effectif et de niveaux de compétence)
- Les objectifs de la production et le positionnement de l'entreprise sur le marché, (cadence de production, haute saison ou pas).

En matière de politique de maintenance [03], il faut distinguer deux niveaux :

- Le niveau global de l'entreprise, où l'on définit une politique de maintenance générique.
- Le niveau d'une machine ou d'un équipement, pour lequel on définit le type de maintenance en fonction de critères économiques, stratégiques, etc.

La mise en place d'une politique de maintenance nécessite une analyse rigoureuse du système de production, des modes de dégradation, des paramètres physiques pertinents, des moyens à mettre en œuvre, des coûts induits, des objectifs en disponibilité et en gain économique, des qualifications du personnel, des réticences des personnels et des conséquences sur l'organisation générale du service. La figure 1-1 représente la démarche suivie pour le choix d'un type de maintenance ou on va choisir un type de maintenance parmi les autres selon les données qu'on a ou bien selon le cas correspond et l'incidence de la machine.

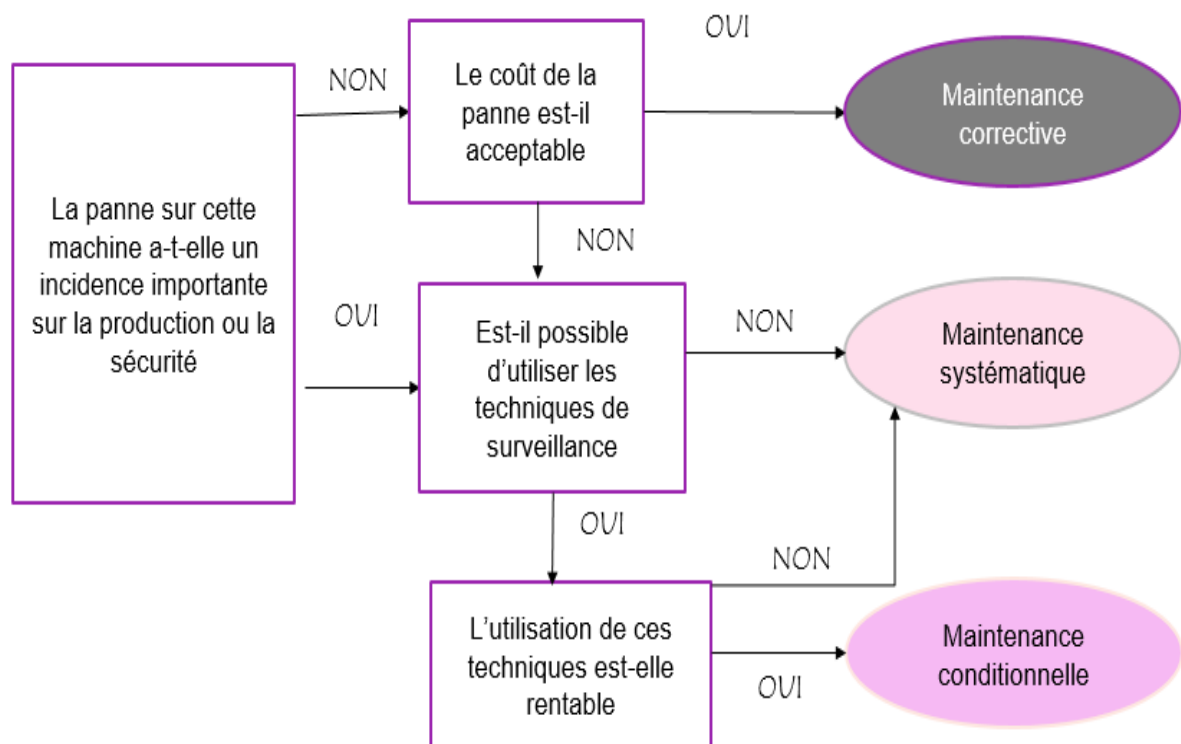


Figure 1- 1 : Le choix de la politique de maintenance [03]

1.3.3 Les objectifs de la politique de maintenance

On trouve trois types d'objectifs : opérationnels, socio-économiques ou organisationnels. Ces objectifs doivent faire l'objet d'un compromis entre les trois facteurs (humain, technique et économique) ainsi doivent être cohérents selon les niveaux hiérarchiques [04] :

1.3.3.1 Objectifs opérationnels

Ce sont les objectifs qui concernent les missions à assurer sur les équipements :

- Maintenir les équipements de production dans les meilleures conditions possibles.
- Assurer la disponibilité du matériel à un coût optimum.
- Avoir un rendement maximal d'une machine sur une période assez conséquente.
- Assurer une durée de vie de l'équipement la plus longue possible.
- Organiser les interventions rapides et efficaces.

1.3.3.2 Objectifs socio-économiques

Ces objectifs tendent à :

- Assurer la sécurité du personnel et des installations.
- Diminuer les coûts directs (de maintenance) et indirects (de perte de production).
- Réduire les coûts annexes en diminuant les stocks de rechange.
- Augmenter les performances du personnel de maintenance.
- Optimiser (minimiser) les coûts de possession des équipements.
- Fidéliser la clientèle par une production de bonne qualité à des coûts compétitifs.

1.3.3.3 Objectifs organisationnels

Il s'agit d'objectifs qui permettent d'organiser les activités de maintenance :

- Bien répartir les charges de travail des différentes équipes d'intervention.
- Améliorer l'efficacité de l'ordonnancement.
- Mieux définir les politiques de sous-traitance et/ou d'approvisionnement.

1.3.4 La mise en œuvre d'une politique de maintenance

La politique de maintenance peut s'articuler et s'organiser autour du concept ci-après :

Pour déterminer une démarche de la maintenance on trouve différentes étapes, pour commencer on saisit les équipements, les matériels ainsi l'ensemble et sous ensemble après il faut faire une estimation des coûts, une prévention des défaillances. La réussite de ces trois étapes déterminera les objectifs visés et donc assurer la qualité, sécurité, disponibilité et la durabilité. La figure 1-2 illustre un organigramme qui représente ces activités.

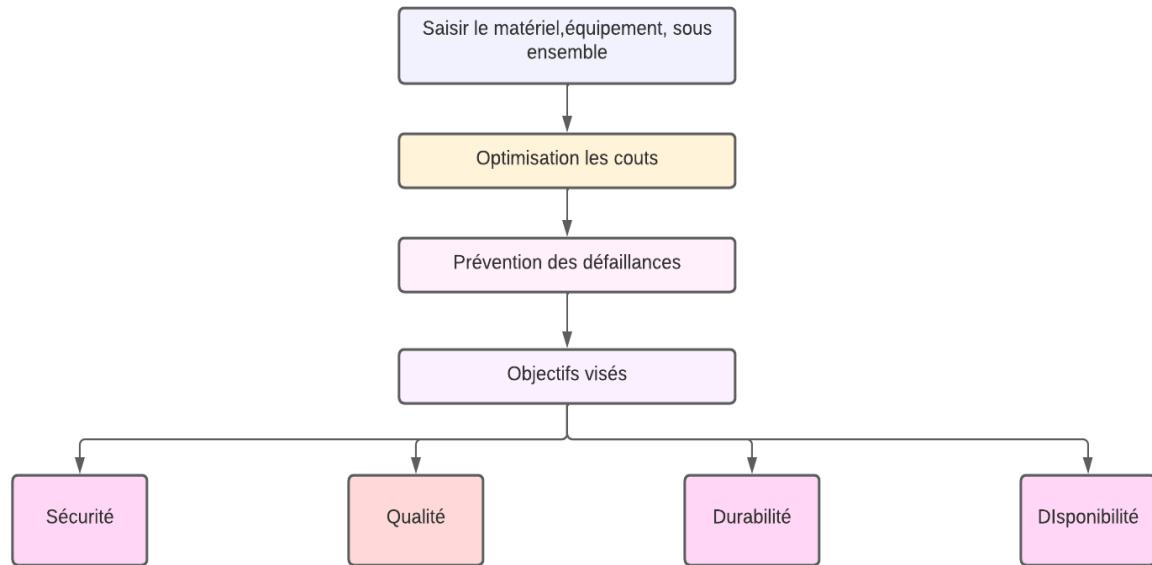


Figure 1- 2: La politique de la maintenance [05]

1.3.5 Types de politique de la maintenance

D'après Derradji Tahar [06], on peut trouver différents types de la politique de maintenance.

1.3.5.1 La politique de maintenance élémentaire

Les politiques de maintenance élémentaires ont conduit à la construction des premières politiques de type remplacement systématique ou par bloc. La différence entre ces deux politiques est la prise en compte de l'instant de défaillances du système dans la détermination du temps de remplacement préventif du système.

1.3.5.1.1 Politiques basés sur l'âge

Les politiques de maintenance basées sur l'âge, déterminent le temps de remplacement préventif du système par un système neuf après « T » unités de temps d'usage. L'optimisation de ces politiques est de trouver le paramètre de décision T qui minimise un coût de maintenance représentant le meilleur compromis entre actions correctives et préventives.

Un des premiers modèles proposés par R.E. Barlow et L.C Hunter [07] est de considérer la politique de remplacement du système après sa défaillance ou après une durée d'usage constante T. En accord avec des concepts de réparation minimale et de maintenance imparfaite, plusieurs extensions de ce modèle ont été proposées. D'après de l'auteur de [08] a considéré qu'il existe deux types de défaillance. Le premier est surmonté par la réparation minimale avec le coût dépendant de l'âge du système, tandis que le type II nécessite le remplacement par un système neuf. En 2000, [09] a proposé un modèle dans lequel le système peut être remplacé ou réparé à l'état de défaillance. Le coût de réparation minimale est aléatoire et donc doit être observé lorsque le système tombe en panne. La politique optimale prescrit de remplacer le système à l'âge T ou au moment où le coût cumulé de réparation minimale dépasse un certain seuil.

L'inconvénient principal de cette politique est la difficulté de surveiller les systèmes complexes.

1.3.5.1.2 Politiques de blocs

Contrairement aux politiques basés sur l'âge, le programme de maintenance préventive du système ne dépend pas de l'instant de défaillance. [07] a également considéré la politique de remplacement périodique avec la réparation minimale lors de défaillances. Plusieurs extensions et variations de ce modèle ont été proposées.

L'avantage des modèles de type bloc est que sa mise en œuvre est plus simple que pour ceux basés sur l'âge et plus appropriés pour les systèmes multi-composants. Elle offre également la possibilité d'intégrer plus facilement des exigences ou contraintes provenant de processus connexes.

1.3.5.2 La politique de la maintenance conditionnelle

Un des avantages principaux de la maintenance conditionnelle par rapport aux politiques élémentaires est que les décisions sont prises sur la base des observations d'état du système en ligne. L'inspection joue ici un double rôle, à savoir la détection au plus tôt de la défaillance et le retour d'information sur l'état du système.

1.3.5.2.1 Politique d'inspection périodique

Le système est inspecté périodiquement. Lorsque son niveau de dégradation atteint un seuil p , une maintenance préventive est effectuée. La défaillance qui peut être détectée par l'inspection ou immédiatement sans l'inspection [10] est généralement suivie d'un remplacement parfait. Les paramètres de décision dans ce cadre sont l'intervalle d'inspection et le seuil de maintenance préventive. On se retrouve alors face à un problème d'optimisation à deux dimensions.

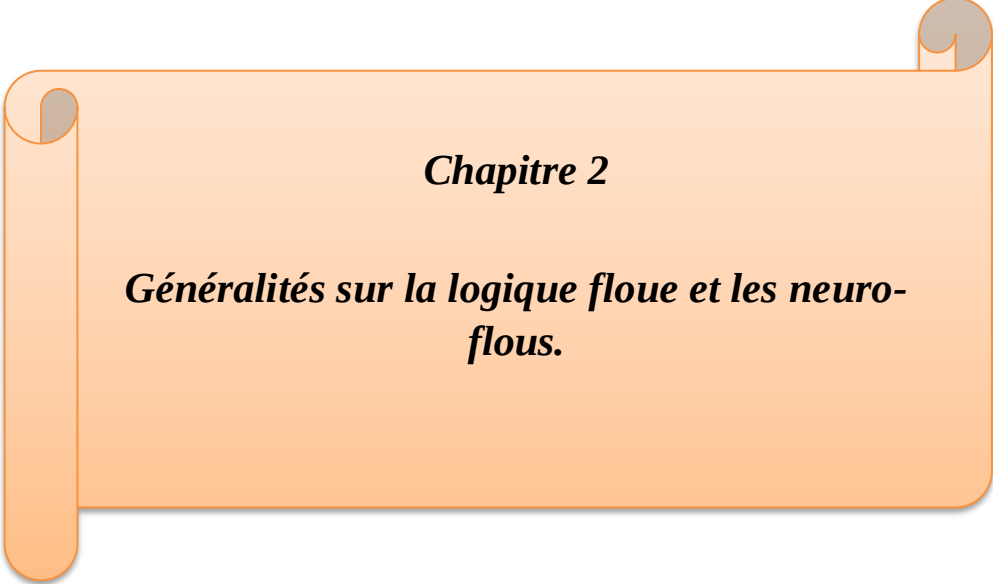
1.4 Stratégie de maintenance

Selon NF en 13306 (JUN 2001) « Méthode de management utilisé en vue d'atteindre des objectifs de maintenance » : La stratégie de maintenance est l'ensemble des décisions qui conduisent à définir le portefeuille d'activités de la production de maintenance. C'est à dire, à décider des politiques de maintenance des équipements (méthodes correctives, préventives, à appliquer à chaque équipement), organiser conjointement et structurellement le système de conduite et les ressources productives pour y parvenir dans le cadre de la mission impartie (objectifs techniques, économiques et humains). Cependant, il existe différents points de vue sur le choix d'une stratégie de maintenance appropriée. Ils sont aussi variés que celles des systèmes sur lesquels elles s'appliquent. Cependant elles visent le maintien du système dans un état de bon fonctionnement le plus longtemps possible ou la restauration la plus brève lors d'une défaillance. L'objectif de la stratégie de maintenance préventive est de devancer les opérations de maintien ou de réparation d'un bien matériel pour assurer une qualité de service optimale [03], [11].

1.5 Conclusion

La maintenance des machines et équipements à la plus grande partie d'importance pour assurer des produits finis qui répondent aux cahiers des charges, également sur le chiffre d'affaire de l'entreprise sans perte de temps et de coût. Il existe plusieurs types de maintenance et chaque type a des paramètres différents des autres. Donc il est nécessaire de définir la politique de la maintenance par le suivi de certaines étapes et choisir le type de maintenance adapté pour chaque situation.

Afin d'assurer le bon choix de la décision dans le département maintenance, les décideurs utilisent des outils qui aident à la prise de décision, dans les chapitres suivants on va détailler une parmi ces outils et l'améliorer afin de prendre la meilleure décision concernant le choix de la politique de la maintenance adéquate pour pallier aux contraintes imposées pour chaque situation.

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a thin orange border. It has a vertical strip on the left side and a small circular tab on the right side.

Chapitre 2

Généralités sur la logique floue et les neuro-flous.

2.1 Introduction

De nos jours, êtres humains et machines génèrent des données plus vite qu'il n'est humainement possible de les absorber et de les interpréter pour prendre des décisions complexes. L'intelligence artificielle IA est la base de tout apprentissage par un ordinateur et représente l'avenir des processus décisionnels complexes [12]. Elle consiste à mettre en œuvre un certain nombre de techniques visant à permettre aux machines d'imiter une forme d'intelligence réelle. L'IA se retrouve implémentée dans un nombre grandissant de domaines d'application [13].

Dans ce chapitre, on va voir les deux méthodes de l'intelligence artificielle, dans la première partie les concepts de base de la logique floue et comment l'utiliser ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients et dans la deuxième partie on va voir les principaux aspects des systèmes neuro-flous ainsi leurs applications dans le domaine industriel.

2.2 La logique floue

La logique floue suscite actuellement un intérêt général de la part des chercheurs parce qu'elle est une logique qui se rapporte à l'étude des méthodes et des principes de raisonnement humaine contrairement de la logique classique qui a deux valeurs, "vrai" ou "faux".

Cependant, de nombreux concepts sont à peine décrits par une logique aussi simple. Le terme « flou » fait référence au fait que la logique impliquée peut traiter de concepts qui ne peuvent pas être exprimés comme "partiellement vrai" ou "partiellement faux" [14].

2.2.1 Principe de la logique floue

La complexité croissante des processus industriels et leur mise en œuvre sur la base de la logique floue, Le principe du réglage par logique floue s'approche de la démarche humaine dans le sens que les variables traitées ne sont pas des variables logiques (au sens de la logique binaire par exemple) mais des variables linguistiques, proches du langage humain de tous les jours. De plus ces variables linguistiques sont traitées à l'aide de règles qui font références à une certaine connaissance du comportement du système [15], [16].

2.2.2 Les éléments de base de la logique floue

2.2.2.1 Univers de discours

C'est l'ensemble des valeurs réelles (l'intervalle numérique) qui peut prendre la variable floue, en général l'univers de discours est noté par des lettres en majuscule « U, W, ... ». Les valeurs linguistiques seront alors projetées dans l'univers de discours pour définir le sous-ensemble associé à chaque valeur linguistique [17].

2.2.2.2 Les variables et les valeurs linguistiques

La logique floue se repose sur des variables floues dites variables linguistiques à valeurs linguistiques dans l'univers de discours « U ». Une variable linguistique représente un état dans le système à régler ou une variable de réglage dans un contrôleur flou. Chaque valeur

constitue un ensemble flou de l'univers de discours. Une variable linguistique est généralement caractérisée par [18] et il est illustré dans la figure 2-2 :

- ✓ Un nom de la variable linguistique.
- ✓ Un ensemble des valeurs linguistique qui peut prendre la variable linguistique.
- ✓ L'univers de discours, c'est-à-dire l'ensemble des valeurs numérique sur lesquelles est défini.

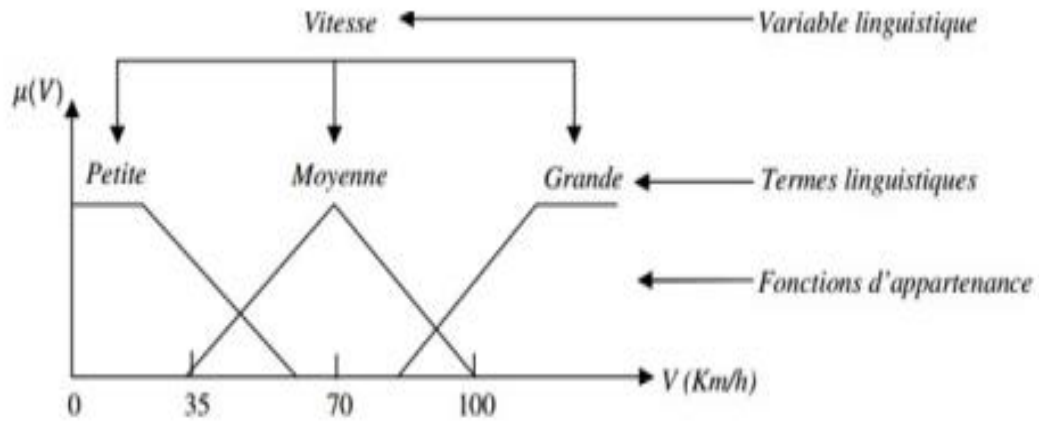


Figure 2- 1: Les variables linguistiques [14]

2.2.2.3 Les ensembles flous

Un ensemble flou est une classe d'objets dans laquelle la transition de l'appartenance aux non appartenances est graduelle au lieu d'être brusque [19].

Une définition plus mathématique peut être établie comme suit : Si U est une collection d'objets ou de valeurs notés par " u ", alors un ensemble flou A dans U est défini par l'ensemble des paires ordonnées :

$$A = \{(u, \mu_A(u)) / u \in U\} \quad (2-1)$$

Où $(\mu_A(u))$ est une fonction qui prend des valeurs comprises entre 0 et 1 et est appelée fonction d'appartenance. Elle caractérise l'ensemble flou A et fournit une mesure du degré d'appartenance d'un objet u de U dans l'ensemble flou A. Elle peut être notée comme suit :

$$\mu_A : \begin{cases} U \rightarrow [0, 1] \\ u \rightarrow \mu_A(u) \end{cases} \quad (2-2)$$

U Peut contenir des valeurs continues ou discrètes.

Généralement, A s'écrit sous la forme :

$$\text{Si } U \text{ est continue} \quad A = \int \mu_A(u) / u \quad (2-3)$$

$$\text{Si } U \text{ est discret} \quad A = \sum_{u_i \in U} \mu_A(u_i) / u \quad (2-4)$$

Dans ces équations les signes d'intégral et de sommation ne désignent pas une intégration ou une addition arithmétique, respectivement, mais une collection de tous les points $u \in U$ avec leur fonction d'appartenance $\mu_A(u)$.

2.2.2.4 La fonction d'appartenance

Il s'agit d'établir une relation entre le degré de vérité de la variable floue et la grandeur d'entrée correspondante, les sous-ensembles flous sont ceux caractérisés par une fonction d'appartenance notée $\mu_A(u)$ définie sur $[0,1]$ [20].

Le choix des formes des fonctions d'appartenance est arbitraire. Des études comparatives ont montré qu'avec les différentes formes des fonctions d'appartenance, les résultats sont pratiquement similaires en boucle fermée. La forme la plus fréquemment utilisée en commande floue est la fonction triangulaire. En général, on introduit pour une variable linguistique trois, cinq ou sept ensembles flous. Le choix du nombre dépend de la précision souhaitée. Les fonctions d'appartenance peuvent être symétriques, non symétriques et équidistantes ou non équidistantes [20]. Il existe différentes formes de fonctions d'appartenances comme la fonction triangulaire, trapézoïdale, gaussienne et singleton (annexe C).

2.2.3 Opérateurs de la logique floue

Soit d'ensemble flou A et B définies sur des univers de discours V et W, avec une fonction d'appartenance μ_A et μ_B respectivement [21] :

2.2.3.2 Union de l'ensemble flou (Union flou)

La fonction d'appartenance d'union μ_A et μ_B est définie par :

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A, \mu_B) \quad (2-5)$$

2.2.3.3 L'intersection floue

La fonction d'appartenance de l'intersection μ_A et μ_B est donnée par :

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A, \mu_B) \quad (2-6)$$

2.2.3.4 Le complément flou

Le complément $\bar{A}$ de A de l'ensemble flou incluse dans V avec la fonction d'appartenance définie par :

$$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A \quad (2-7)$$

La figure 2-2 résume toutes ces opérations :

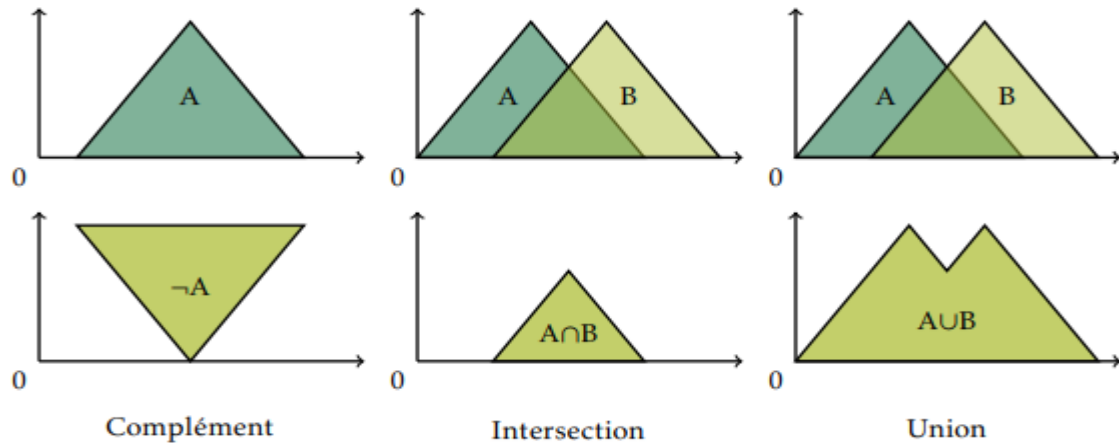


Figure 2- 2: Les opérations floues [22]

2.2.3.5 Les règles linguistiques

L'idée principale des systèmes basés sur la logique floue est d'exprimer la connaissance humaine sous la forme de règles linguistiques de forme **SI, ALORS**. Chaque règle à deux parties [23] :

1. Partie antécédente (prémisse ou condition) est la description de l'état du système, exprimée par **Si...**
2. La partie conséquente (conclusion) est l'action que l'opérateur qui contrôle le système doit exécuter, exprimée par **Alors...**

Chaque règle floue est basée sur l'implication floue, la notion de règle floue sous la forme :

Règle : Si x est A alors y est B .

2.2.4 Propriétés des ensembles flous

Les ensembles flous ont plusieurs propriétés [24], [25] qui sont représentées dans la figure 2-3.

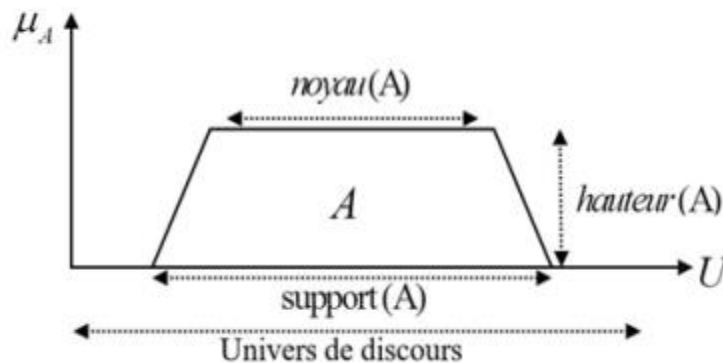


Figure 2- 3: les propriétés d'un ensemble flou [14]

2.2.4.1 Support

On appelle "support" d'un ensemble flou A dans U l'ensemble ordinaire de point u dans U tel que $\mu_A(u) > 0$. Il est noté par S(A), et défini par :

$$S(A) = \{u \in U / \mu_A(u) > 0\} \quad (2-8)$$

L'ensemble flou dont le support est un ensemble singleton est appelé « singleton flou ».

2.2.4.2 Hauteur

La "hauteur" d'un ensemble flou A est la plus grande valeur du degré d'appartenance. Elle est notée par hgt(A) et définie par :

$$\text{hgt}(A) = \max_{u \in U} \mu_A(u) \quad (2-9)$$

Un ensemble flou A est appelé normal si $\text{hgt}(A) = 1$, et sous normal si $\text{hgt}(A) < 1$.

2.2.4.3 Noyau

Le noyau d'un ensemble flou A, noté C(A) est l'ensemble ordinaire qui contient tous les éléments totalement possibles u dans U de A. Il est noté par C(A) et défini comme suit :

$$C(A) = \{u \in U / \mu_A(u) = 1\} \quad (2-10)$$

S'il y a un seul point avec un degré d'appartenance égale à 1, alors ce point est appelé la valeur modale de A.

2.2.4.4 α -coupe

Une α -coupe de A est le sous-ensemble classique des éléments ayant un degré d'appartenance supérieur ou égal à α :

$$\alpha\text{-coupe}(A) = \{u \in U / \mu_A(u) \geq \alpha\} \quad (2-11)$$

2.2.5 Structure d'un régulateur flou

Après avoir présenté les concepts de la base les plus utilisés en logique floue, nous examinons la structure d'un régulateur flou. La structure conventionnelle d'une commande floue est présente sur la figure 2-4, elle est composée de quatre blocs distincts dont les définitions sont données ci dessous.

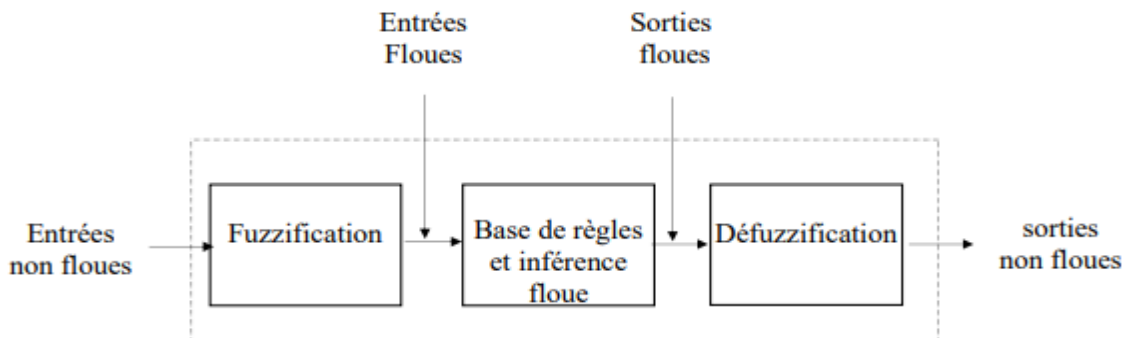


Figure 2- 4: Schéma de principe d'un régulateur à logique floue [26]

2.2.5.1 La fuzzification

L'objet de la fuzzification est de transformer les variables déterministes d'entrée en variables linguistiques, en définissant des fonctions d'appartenance pour différentes variables d'entrée [27]. Un degré de compatibilité est obtenu par superposition des variables numériques d'entrées est des variables linguistiques.

2.2.5.2 L'inférence floue

L'inférence floue consiste à créer des règles dont la syntaxe est très stricte bien que les termes utilisés paraissent naturels. La création de l'ensemble des règles de contrôle linguistique recourt le plus souvent aux connaissances d'experts ou d'opérateurs qualifiés travaillant sur le processus lui-même.

Le réglage découle donc a priori des connaissances du fonctionnement du système. La représentation linguistique des règles est la suivante [28] :

« **Si** antécédent 1 **ET** antécédent 2 **ALORS** conséquence 1 »

La quantité de règles dépend du nombre d'entrées et du nombre de zones de chacune d'elles. Si l'on considère n univers de discours U_i pour les entrées du système flou et que chaque univers U_i est partitionné en m_i fonctions d'appartenance floues, alors le nombre maximal de règles (r_{max}) est donné par l'équation suivante [28] :

$$r_{max} = \sum m_i \quad n_i=1 \quad (2-12)$$

Plusieurs approches sont proposées pour le traitement numérique des règles d'inférences. Par exemple, la méthode de Mamdani qui utilise les opérateurs min et max pour l'implication et l'agrégation ou encore la méthode de Larsen qui utilise un produit et l'opérateur max [28].

2.2.5.3 La défuzzification

La dernière étape, mais non la moindre, est la défuzzification. Le système d'inférence fournit une sortie floue par l'évaluation des règles à la suite d'une ou plusieurs entrées réelles. Se pose alors le problème de lui donner une représentation floue approximative ou une valeur précise, c'est la défuzzification [28].

La défuzzification est généralement l'une des tâches qui prend le plus de temps d'opération du traitement flou. Il existe de nombreuses méthodes de défuzzification, mais seulement quatre sont pratiquées. Les méthodes les plus couramment utilisées sont [28] :

- ✓ La méthode des surfaces.
- ✓ La méthode des hauteurs.
- ✓ La méthode du centre de gravité.
- ✓ La méthode des maximums.

2.2.6 L'application de la logique floue dans l'industrie

La logique floue est utilisée dans diverses applications et dans les différents domaines comme les appareils électro-ménagers, systèmes des décisions et de diagnostics [29], [30].

Depuis quelques années, on voit émerger, notamment aux États-Unis, plusieurs applications utilisant des systèmes de contrôle basés sur la théorie des ensembles flous. Les principaux domaines de recherche et d'application de la logique floue sont les suivants [28] :

- ✓ Automatisation de la production de fer et de l'acier, purification de l'eau, chaîne de montage et robots de fabrication.
- ✓ Commande des instruments (capteur et instruments de mesure), et reconnaissance de voix et de caractères.
- ✓ Conception, jugement et décision (consultation, investissement).
- ✓ Commande des unités arithmétiques et des micro- ordinateurs.

2.3 Les neuro-flous

2.3.1 Définition des neuro-flous

Les réseaux neuro-flous sont nés de l'association des réseaux de neurones avec la logique floue, de manière à tirer profit des avantages de chacune de ces deux techniques. Leur principale propriété est la capacité à traiter dans un même outil des connaissances numériques et symboliques d'un système. Ce sont des réseaux neuronaux dont l'élément de base est un opérateur flou qui est souvent appelé le neurone flou. Un neurone flou (NF) est un système mathématique possédant la même architecture que son homologue le neurone formel. [31].

On peut dire que les systèmes neuro-flous sont des systèmes flous formés par un algorithme d'apprentissage inspiré de la théorie des réseaux de neurones. La technique d'apprentissage opère en fonction de l'information locale et produit uniquement des changements locaux dans le système flou d'origine [32].

2.3.2 Combinaison des réseaux de neurones et de la logique floue

Les systèmes neuro-flous peuvent être classés en trois catégories [32], [33] :

- ✓ Systèmes neuro- flous coopératifs.
- ✓ Systèmes neuro-flous concurrents.
- ✓ Systèmes neuro-flous hybrides.

Ces trois catégories sont détaillées dans l'annexe C. Dans les systèmes neuro-flous hybrides il y a aussi trois types qui sont :

2.3.2.1 Le système neuro-flou hybride de type Mamdani

Le système neuro-flou hybride de Mamdani utilise la technique d'apprentissage supervisé (rétro propagation) pour faire un apprentissage des paramètres de fonctions d'appartenance. L'architecture du système neuro-flou hybride de Mamdani est illustrée sur la figure 2-5. Les détails de chaque couche sont ainsi présentés [32].

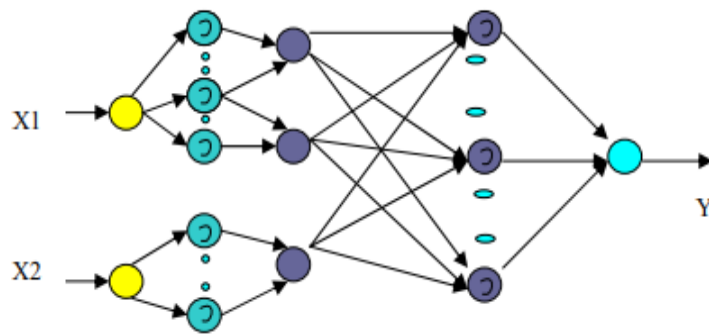


Figure 2- 5: Le système neuro-flou de Mamdani [32]

○ **La couche 1 (la couche d'entrée)**

Aucun calcul n'est fait dans cette couche. Chaque nœud dans cette couche qui correspond à une variable d'entrée transmet seulement et directement des valeurs d'entrée à la prochaine couche. Le poids du lien dans la couche 1 est de 1.

○ **La couche 2 (la couche de fuzzification)**

Chaque nœud dans cette couche correspond à un terme linguistique (excellent, bon, etc.) à une des variables d'entrée dans la couche 1. C'est le lien de la production qui représente la valeur d'appartenance qui spécifie le degré auquel une valeur d'entrée appartient à un ensemble flou est calculé dans la couche 2. Un algorithme de regroupement décidera du nombre initial et du type de fonctions d'appartenance qui doit être alloué à chacun de la variable d'entrée.

○ **La couche 3 (la couche de permise des règles)**

Un nœud dans cette couche représente la partie antérieure d'une règle. Habituellement un opérateur t-norme est utilisé dans ce nœud. La sortie d'un nœud de la couche 3 représente la « force du tir » de la règle.

○ **La couche 4 (la couche de la partie conclusion des règles)**

Ce nœud a deux tâches fondamentales : combiner les nouveaux antécédents des règles, et déterminer le degré auquel ils appartiennent à la variable linguistique de sorties (haut, moyen, bas, etc.). Le nombre de nœuds dans cette couche sera égal au nombre de règles.

○ **La couche 5 (la couche de combinaison et de défuzzification)**

Ce nœud fait la combinaison de tous les conséquents des règles et finalement calcule la sortie après défuzzification.

2.3.2.2 Le système neuro-flou de type Takagi-Sugeno

Les systèmes neuro-flous de type Takagi-Sugeno font usage d'un mélange d'algorithme de rétro propagation pour faire un apprentissage des fonctions d'appartenance et la méthode de moindre carré pour déterminer les coefficients des combinaisons linéaires dans les conclusions de la règle. Un pas dans la procédure d'apprentissage a obtenu deux parties, dans la première partie, les modèles de l'entrée sont propagés, et les paramètres de la sortie optimaux sont estimés par la procédure du moindre carré, pendant que les paramètres antérieurs sont supposés être fixés pour le cycle courant à travers l'ensemble de l'apprentissage [32].

Dans la deuxième partie, les modèles sont encore propagés, et dans cette tâche, la rétro propagation est utilisée pour modifier les paramètres antérieurs, pendant que les paramètres de la conclusion « conséquence » restent fixes. Cette procédure sera alors répétée [32].

2.3.2.3 Le système neuro-flou de type ANFIS

ANFIS c'est un système d'inférence adaptatif neuro-flou qui consiste à utiliser un réseau neurone de type MLP (Multi-Layer perceptron) à 5 couches pour lequel chaque couche correspond à la réalisation d'une étape d'un système d'inférence floue de type Takagi-Sugeno. Pour la simplicité, nous supposons que le système d'inférence flou à deux entrées x et y et à comme une sortie f . Supposer que la base de règle contient deux règles floues de type Takagi-Sugeno [34].

- ✓ **Règle 1** : SI x est A_1 et y est B_1 alors $f_1 = p_1x + q_1y + c_1$.
- ✓ **Règle 2** : SI x est A_2 et y est B_2 alors $f_2 = p_2x + q_2y + c_2$.

Parmi tous les systèmes neuro-flous, le modèle ANFIS présente la plus faible erreur moyenne quadratique [35]. L'ANFIS à une architecture posée par cinq couches [26] comme représenté sur la figure 2-6 suivante :

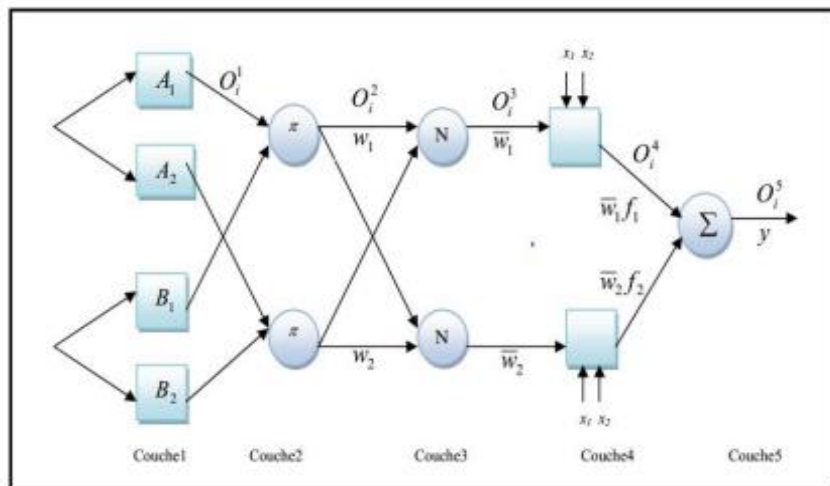


Figure 2- 6: L'architecteur de l'ANFIS [37]

- **Couche 1** : Agit comme un tampon qui transmet simplement les données d'entrée à la couche de fuzzification.
- **Couche 2** : Les neurones de cette couche réalisent chacun un ensemble flou qui servira dans les antécédents des règles. Chaque neurone reçoit une valeur d'entrée précise et génère son degré d'appartenance à l'ensemble flou représenté par le neurone. Dans le cas d'ensembles flous triangulaires, on peut utiliser des fonctions d'appartenance de même forme.
- **Couche 3** : Elle réalise les conjonctions des antécédents de règles floues. Chaque neurone dans la couche reçoit comme entrée les degrés d'appartenance définis dans la couche 2.
- **Couche 4** : Elle réalise les disjonctions des antécédents de règles floues. Chaque neurone dans cette couche reçoit comme entrée les degrés d'appartenance définis dans la couche 3.
- **Couche 5** : Chaque neurone dans cette couche prend les ensembles flous précédents, écrêtés par la force des règles correspondantes, et les combine en un seul ensemble flou. Ce dernier est alors défuzzifié par une méthode standard.

2.3.3 Les avantages des systèmes neuro-flous

Les neuro-flous ont plusieurs avantages, parmi ces avantages on trouve [32] :

2.3.3.1 La rapidité de calcul

Les systèmes neuro-flous sont très rapides parce que l'évaluation d'un système compétent implique typiquement des opérations de la comparaison simple et un nombre limité de calculs de la surface linéaire.

2.3.3.2 La Flexibilité

Un système neuro-flou peut traiter des problèmes complexes avec beaucoup de variables de l'entrée. Au lieu d'adapter une architecture interne fixe, l'architecture d'un système neuro-flou peut grandir dynamiquement et efficacement en réponse à la complexité des données d'apprentissage. La structure d'un système neuro-floue représente efficacement le rapport entre les entrées de votre problème et les sorties.

2.3.3.3 Généralisation des connaissances

Les systèmes d'apprentissage ont souvent des difficultés quand il y a un manque de données historiques pour former, ou bien les données contiennent trop de bruit. Les systèmes neuro-flous peuvent compenser ces problèmes pendant la phase de l'apprentissage en changeant (adapter) leur structure interne.

2.3.4 La création d'un système neuro-floue

Pour créer un système neuro-floue il faut suivre plusieurs étapes, d'abord on va choisir une fonction d'appartenance selon l'entrée du système ensuite on utilise la base initiale des règles flous s'elles existent. Dans cette étape on s'intéresse à l'apprentissage qui contient deux étapes, la création et le réglage des règles floues ; réglage des fonctions d'appartenance selon ces règles. On passe maintenant au raffinement du système neuro-floue où on trouve également deux étapes : la suppression pour les variables et pour les règles.

On fait un test et selon ses résultats on prend la décision si elles sont satisfaites le système neuro-flou est prêt à l'utilisation sinon on revient à l'étape de l'apprentissage et régler une autre fois les règles et la fonction d'appartenance jusqu'à la satisfaction des résultats de test. On peut schématiser cette démarche dans la figure 2-7 :

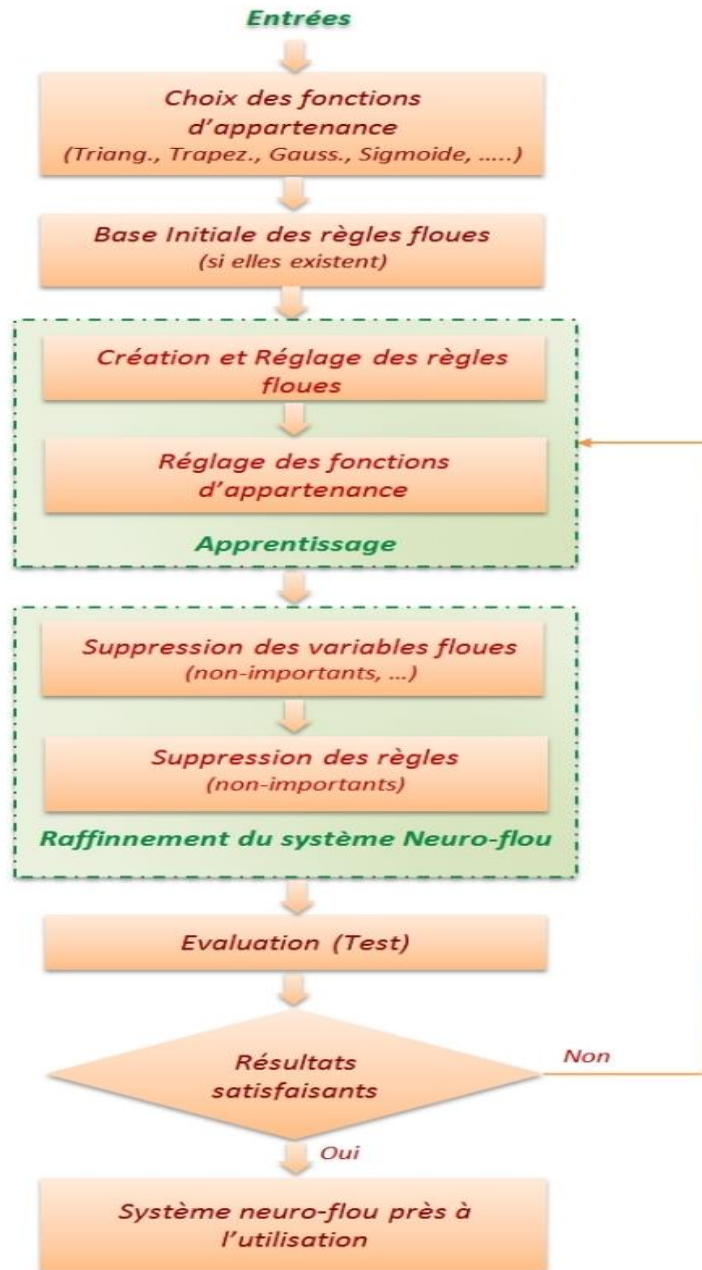
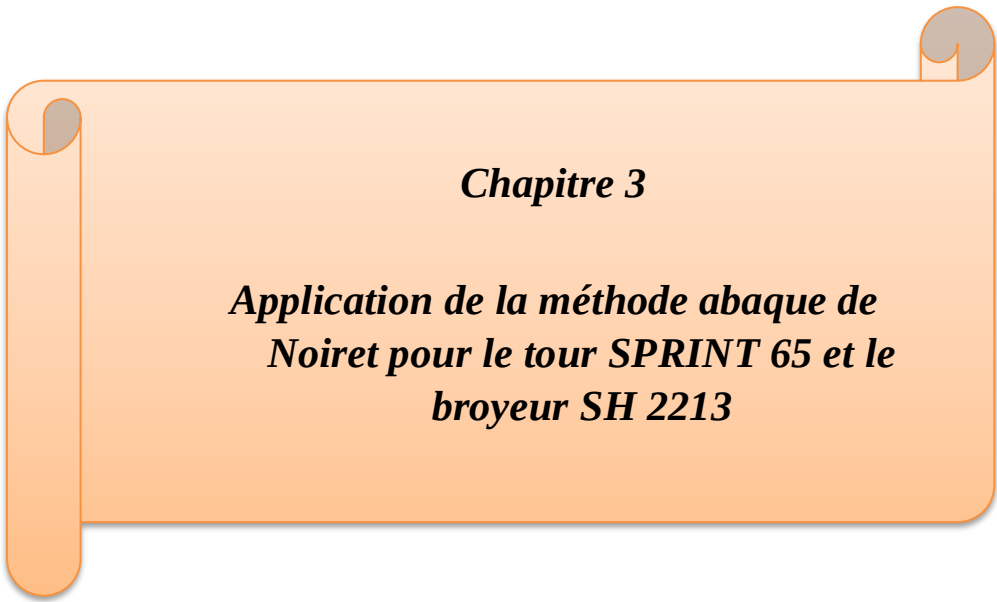


Figure 2- 7: Les étapes de création d'un système neuro-flous [31]

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les deux méthodes de l'intelligence artificiel la première est la logique floue où on a vu les différents concepts de base pour l'application ainsi la structure d'un régulateur flou et finalement les domaines d'application de la logique floue et leurs avantages et inconvénients. Pour la deuxième méthode on a parlé des neuro-flous et des différents systèmes existants aussi on a vu les avantages de cette méthode par rapport aux autres méthodes et comment peut-on créer un système neuro-flous et l'appliquer dans l'industrie.

Dans les chapitres suivants, nous présentons nos études de cas pour valider ou non des méthodes de prise de décision pour le choix d'une politique de maintenance.

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a thin orange border. It has a vertical strip on the left side and a small circular tab on the top right corner. The text is centered within the main body of the scroll.

Chapitre 3

***Application de la méthode abaque de
Noiret pour le tour SPRINT 65 et le
broyeur SH 2213***

3.1 Introduction

La méthode abaque de Noiret est une méthode d'aide à la décision pour le choix de politique de maintenance. Dans ce chapitre on va choisir deux équipements stratégiques au sein de deux entreprises, le tour SPRINT 65 de la société nationale des véhicules industrielle SNVI, le broyeur SH 2213 de l'entreprise El Batoul Emballage. On applique directement la méthode l'abaque de Noiret, on va collecter les données ayant une relation avec cette méthode et les neuf critères. Ensuite on utilise les méthodes analytique et graphique pour élire le type de maintenance à appliquer sur les équipements, préventive, corrective ou bien dans la zone d'incertitude.

3.2 La méthode abaque de Noiret

3.2.1 Définition de la méthode

Afin de bien choisir le type de maintenance à mettre en œuvre, des outils « d'aide à la décision » existe, parmi ces outils on trouve l'abaque de Noiret, ce dernier permet d'opter pour une stratégie préventive ou corrective à appliquer sur un équipement. C'est un outil de calcul scientifique qui permet d'orienter le choix de la politique de maintenance en fonction [38] :

- Des caractéristiques de l'équipement.
- De son utilisation.

Elle est basée sur les critères suivants :

- L'âge de l'équipement.
- Son interdépendance.
- Son coût.
- Sa complexité et son accessibilité.
- Sa robustesse et sa précision.
- Son origine.
- Son utilisation dans le temps.
- Les conséquences de ses défaillances sur les produits.
- Les délais de production qui sont alloués.

La méthode abaque de Noiret permet de prendre la décision même en l'absence des données historique.

3.2.2 Les critères de l'abaque de Noiret

Dans cette méthode, neuf facteurs de choix adaptés à un environnement industriel. Chaque critère se décline en plusieurs options qui chacune correspond à un certain nombre de points. A cette étape on va choisir l'option correspondante à nos équipements (Annexe D).

3.2.2.1 L'âge de l'équipement

Le tableau 3-1 représenté les différentes sous critères de l'âge de l'équipement.

Tableau 3- 1: Critère de l'âge de l'équipement [38]

	Le critère	Points	Coefficient
L'âge du matériel	Matériel neuf (-1 an)	45	2
	Matériel jeune (1 à 5 ans)	30	
	Matériel âgé (5à 10 ans)	20	
	Matériel démodé (10 ans)	5	

Le tour SPRINT 65 est un matériel jeune (2 ans) donc d'après le tableau 1 il a 30 points.

Le broyeur SH 2213 est un équipement âgé donc matériel a 20 points.

3.2.2.2 Son interdépendance

Le tableau 3-2 représenté les différentes sous critères de l'indépendance de l'équipement.

Tableau 3- 2: Critère d'interdépendance de matériel [38]

	Le critère	Points	Coefficient
Interdépendance du matériel	Matériel d'infrastructure à marche continue	35	2
	Matériel d'infrastructure à marche discontinue	25	
	Matériel sans tampon amont ou aval	25	
	Matériel indépendant	10	
	Matériel double	5	

Le tour SPRINT 65 et le broyeur SH 2213 sont des équipements d'infrastructure à marche discontinue donc d'après le tableau 2 ils ont 25 points.

3.2.2.3 Son coût

Le tableau 3-3 représenté les différentes sous critères de coût d'acquisition du matériel.

Tableau 3- 3: Critère de coût de matériel [38]

	Le critère	Points	Coefficient
Le cout de matériel	Matériel à 1 seule unité ou très spéciale	55	1
	Matériel coûteux	25	
	Matériel peu coûteux	15	
	Matériel pas coûteux	5	

Le tour SPRINT 65 est un matériel coûteux (des milliards) donc d'après le tableau 3 il a 25 points.

Le broyeur SH 2213 est un équipement peu couteux donc ce matériel a 15 points.

3.2.2.4 Sa complexité et son accessibilité :

Le tableau 3-4 représenté les différentes sous critères de la complexité et accessibilité d'équipement.

Tableau 3- 4: Critère de complexité du matériel [38]

	Le critère	Points	Coefficient
La complexité et accessibilité du matériel	Très complexe et inaccessible	45	1
	Peu complexe et inaccessible	25	
	Très complexe et accessible	25	
	Peu complexe et accessible	5	

Le tour SPRINT 65 et le broyeur SH 2213 sont des équipements très complexes et accessibles, d'après le tableau 4 ils ont 25 point.

3.2.2.5 Sa robustesse et sa précision :

Le tableau 3-5 représenté les différentes sous critères de la robustesse et précision d'équipement.

Tableau 3- 5: Critère de robustesse du matériel [38]

	Le critère	Points	Coefficient
La robustesse du matériel	Matériel de grande précision et de maniement délicat	30	1
	Matériel travaillant en surcharge	30	
	Matériel peu robuste	25	
	Matériel de précision robuste	10	
	Matériel robuste	5	

Le tour SPRINT 65 est un matériel de précision robuste donc d'après le tableau 5 il a 10 points.

Le broyeur SH 2213 est un équipement robuste donc d'après le même tableau ce matériel a 30 points.

3.2.2.6 Son origine

Le tableau 3-6 représenté les différentes sous critères de l'origine du matériel soit national ou étrangère.

Tableau 3- 6: Critère d'origine du matériel [38]

	Le critère	Points	Coefficient
L'origine du matériel	Matériel étranger sans SAV	45	2
	Matériel étranger avec SAV	25	
	Matériel local petite diffusion	20	
	Matériel local grande diffusion	10	

Le tour SPRINT 65 et le broyeur SH 2213 sont des équipements étrangers avec service après-vente donc d'après le tableau 6 ils ont 25 points.

3.2.2.7 Son utilisation dans le temps

Le tableau 3-7 représenté les différentes sous critères des conditions de travail.

Tableau 3- 7: Critère de conditions de travail [38]

	Le critère	Points	Coefficient
Les conditions de travail	Production continue 3*8	50	5
	Production de jour 2*8	35	
	Production en 1 poste 1*8	15	

Pour la production et les conditions de travail à SNVI, il s'agit du deuxième cas 2*8 donc d'après le tableau 7 il a 35 points.

Ainsi pour el Batoul Emballage on tombe dans le premier cas, ils travaillent 3*8 donc ils ont 50 points

3.2.2.8 Les conséquences de ses défaillances sur les produits

Le tableau 3-8 représenté les différentes sous critères des pertes de produit.

Tableau 3- 8: Critère de perte de produit [38]

	Le critère	Points	Coefficient
Perte de produit	Produits perdus non commercialisables (ferrailles)	55	1
	Pièces à reprendre	35	
	Pièces commercialisables sans reprises	10	

Pour le produit et les pertes, S'il y a une défaillance du tour ou bien le broyeur on aura des pièces perdues non commerciales donc ils ont 55 points.

3.2.2.9 Les délais de production qui lui sont disponibles

Le tableau 3-9 représenté les différentes sous critères de la complexité et accessibilité d'équipement.

Tableau 3- 9: Critère de délais d'exécution [38]

	Le critère	Points	Coefficient
Le délai d'exécution	Délais impératifs avec perte de clients	45	5
	Délai impératif avec paiement d'indemnité	30	
	Délais serrés	20	
	Délais inexistantes	5	
	livraison sur stock		

Pour les délais de production qui lui sont disponibles, on a des délais serrés pour le tour SPRINT 65 donc d'après le tableau 9, il a 20 points et des délais inexistantes alors, il s'agit d'une livraison sur stock. Le broyeur SH 2213 a donc 5 points.

3.3 Déroulement de la méthode

Pour faire sortir un type de maintenance approprié aux équipements à partir de l'abaque, deux manières de la mise en œuvre de l'abaque sont disponibles : une méthode graphique et une méthode analytique.

3.3.1 Méthode graphique

Elle est basée sur le principe de la projection sur la carte de l'abaque de Noiret (Annexe E), après la sélection de niveau de chaque critère, on les mentionne chacun dans leur espace spécial, en suivant le classement des critères, à la fin des projections nous obtenions le type de maintenance qui convient à l'équipement en fonction de ses critères on doit faire :

- Une maintenance corrective obligatoire.
- Une maintenance corrective souhaitable.

- Une maintenance préventive souhaitable.
- Une maintenance préventive obligatoire.

Donc d'après les informations qu'on a dans la partie précédente et la grille d'abaque de Noiret on trouve que pour les deux équipements le tour SPRINT 65 et le broyeur SH 2213 sont dans **la zone incertaine**.

3.3.2 Méthode analytique

Elle est basée sur le principe d'addition des points de neuf critères chacun multipliés par son coefficient. En suivant la grille de classement des types de maintenance, on choisit le type correspondant à la somme obtenue. Le tableau 3-10 illustre la recommandation pour chaque intervalle des points.

Tableau 3- 10: Grille de décision [39]

Domaines	Recommandation
160 à 340	Maintenance corrective obligatoire
340 à 515	Maintenance corrective souhaitable
515 à 565	Zone incertaine avec maintenance préventive possible
565 à 740	Maintenance préventive souhaitable
740 à 910	Maintenance préventive obligatoire

❖ **Pour le tour SPRINT 65 :**

$$30 \times 2 + 25 \times 2 + 25 \times 1 + 25 \times 1 + 10 \times 1 + 25 \times 2 + 35 \times 5 + 55 \times 1 + 20 \times 5 = 550.$$

❖ **Pour le broyeur SH 2213 :**

$$20 \times 2 + 25 \times 2 + 15 \times 1 + 25 \times 1 + 30 \times 1 + 25 \times 2 + 50 \times 5 + 55 \times 1 + 5 \times 5 = 540.$$

D'après le tableau 3-10 on trouve que ces scores appartiennent à l'intervalle [515 ; 565], donc cet intervalle correspondant à **la zone incertaine avec maintenance préventive possible**.

3.3.3 Interprétation

Après avoir utilisé la représentation graphique et analysé la méthode de l'abaque de Noiret sur les équipements étudiés, nous avons constaté que dans les deux cas nous étions dans une zone d'incertitude. Cette dernière est la zone entre les applications de maintenance préventive et les applications de maintenance corrective, nous ne pouvons donc pas définir la politique de maintenance correspondante à ce score, c'est pourquoi l'apprentissage de la décision est impossible, ce qui est le but de l'application de la méthode de l'abaque de Noiret.

Cette limitation nous a poussés à essayer d'apporter des améliorations, en utilisant l'intelligence artificielle ainsi qu'en proposant des critères supplémentaires pour améliorer le choix des décisions prises pour la politique de maintenance de nos équipements (le tour et le broyeur), cette approche sera abordée dans les prochains chapitres.

3.4 Programmation avec Python

Avec le logiciel Python on va créer un programme pour la prise de décision, on va définir les neuf critères, et les sous critères de la méthode de l'abaque de Noiret, ainsi que leurs points en prenant en considération les coefficients. A travers ce programme on va saisir les

points de chaque critère pour définir la politique de maintenance. Les figure 3-1 et 3-2 illustrent le choix de la politique de maintenance pour chaque équipement qui valide les résultats précédents.

```
main x
Veillez introduire l age de lequipement :30
Matériel démodé
Veillez introduire l interdependece :25
Veillez introduire le cout :25
Veillez introduire le niveau de complexité :25
Veillez introduire la robustesse et la precision :10
Veillez introduire l origine :25
Veillez introduire l utilisation dans le temps :35
Veillez introduire les conséquences de defaillances :55
Veillez introduire le delais de production :20
la somme est: 550.0
Zone incertaine ,une maintenance préventive est possible
```

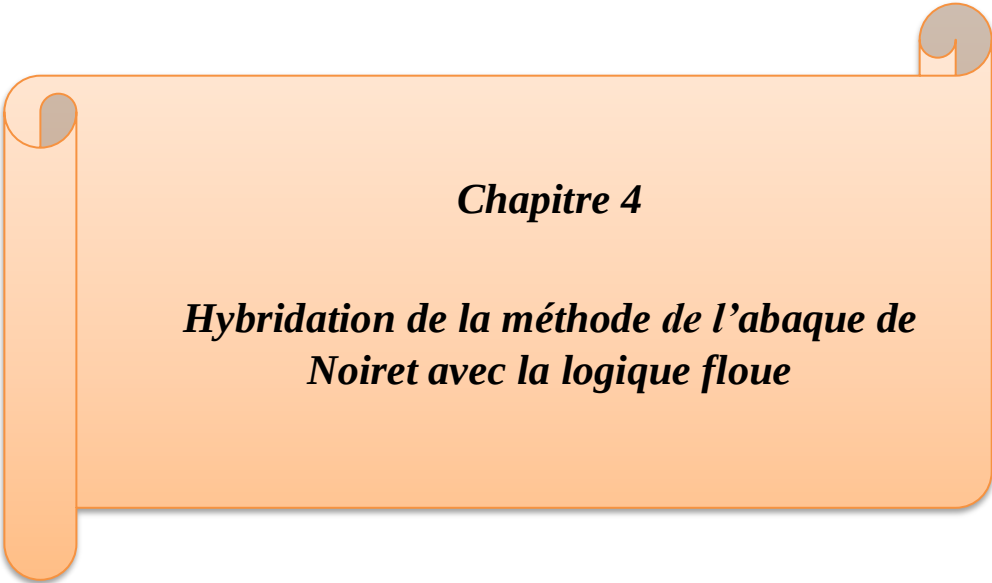
Figure 3- 1: La prise de décision pour le tour SPRINT 65

```
main x
Veillez introduire l age de lequipement :20
Matériel démodé
Veillez introduire l interdependece :25
Veillez introduire le cout :15
Veillez introduire le niveau de complexité :25
Veillez introduire la robustesse et la precision :30
Veillez introduire l origine :25
Veillez introduire l utilisation dans le temps :50
Veillez introduire les conséquences de defaillances :55
Veillez introduire le delais de production :5
la somme est: 540.0
Zone incertaine ,une maintenance préventive est possible
```

Figure 3- 2: La prise de décision pour le broyeur SH 2213

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons choisi des équipements stratégiques dans les entreprises citer les entreprises et nous avons présenté la méthode de l'abaque de Noiret, cité les différents critères utilisés ensuite sélectionné les points correspondants pour chaque équipement, finalement nous avons utilisé les différentes approches analytiques et graphiques de l'abaque de Noiret. Le résultat pour les deux équipements est dans la zone incertaine car la méthode de l'abaque de Noiret est une méthode d'aide à la décision. Dans les chapitres suivant nous allons tenter d'améliorer cette méthode par la logique floue et améliorer la prise de décision par les neuro floues pour le choix d'une politique de maintenance adéquate.

An orange rectangular area with rounded corners, featuring a scroll-like design on the left and right sides. The left side has a vertical strip that looks like a scroll edge, and the right side has a small circular element at the top right corner.

Chapitre 4

Hybridation de la méthode de l'abaque de Noiret avec la logique floue

4.1 Introduction

Les entreprises d'aujourd'hui doivent répondre à des exigences croissantes en matière de qualité et de quantité de produits et des services, de réactivité et de réduction des coûts. Pour répondre à ces exigences, les entreprises doivent toujours s'assurer de la disponibilité de leurs équipements afin d'éviter les pertes de toutes natures, qu'elles soient de coût, de temps ou autres.

On a déjà vu la méthode de l'abaque de Noiret et son rôle dans la prise de décision, dans le deuxième chapitre aussi on a vu les deux techniques qui sont la logique floue et les neuro-floues, ainsi que leurs utilisations dans les entreprises et dans le domaine industriel en général.

Dans ce chapitre on va combiner entre la logique floue et la méthode « abaque de Noiret » pour améliorer la décision qu'on a eu dans le troisième chapitre, par la suite on va utiliser les deux méthodes de l'abaque de Noiret analytique et graphique en introduisant la logique floue sur nos équipements pour voir si on a une décision fiable et précise.

4.2 L'abaque de Noiret

4.2.1 Les nouveaux critères

L'abaque de Noiret est une méthode très intéressante qui permet d'orienter une décision pour le choix de la politique de maintenance afin d'améliorer cette méthode et d'éviter leurs points faibles.

Nous remarquons que les neuf critères basiques de l'abaque de Noiret ne couvrent pas tous les points nécessaires pour un bon choix de la politique de maintenance ; l'absence des notions critiques de la gestion des coûts de maintenance sauf le prix d'acquisition. Dans le domaine de la maintenance les coûts jouent un rôle très important dans les critères de sélection de succès de l'organisme de la gestion de la maintenance.

Un service de maintenance représente un des piliers de l'entreprise, il prend la responsabilité de gestion de parcs matériels de production dans tous ses aspects (défaillance, panne, entretien, révision et contrôle) avec la gestion des coûts de ces derniers.

Certaines opérations de maintenance exigent la sous-traitance pour leurs réalisations, en suivant un cahier de charge et un contrat de travail regroupant tous les points essentiels (le coût de l'opération, le lieu, les personnes, les tâches à effectuer.). En conséquence de ce raisonnement, nous introduisons deux nouveaux critères à la liste des critères de l'abaque de Noiret :

- Lieu et sous-traitance.
- Les coûts de maintenance.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédant, chaque critère parmi les neuf englobe des sous critères dont chacun représente l'état du matériel. Donc il faut que les nouveaux critères comprennent aussi ces options pour représenter les différents états que nous pouvons rencontrer.

4.2.1.1 Lieu et sous-traitance

Selon l'AFNOR : la sous-traitance est définie comme l'opération par laquelle un entrepreneur confié par un sous-traité, et sous sa responsabilité, à une autre personne appelée sous-traitant, tout ou partie de l'exécution du contrat d'entreprise ou du marché public conclu avec le maître de l'ouvrage. Dans le domaine industriel, qu'il existe ou non un marché initial

ou un contrat de principe préalable. Lors de la rédaction du contrat de sous-traitance il faut prendre en considération plusieurs points.

Dans ce critère nous nous intéressons aux différents cas possibles des lieux des opérations de maintenance soit à l'intérieur ou à l'extérieur de l'entreprise avec la possibilité de sous-traitance. Selon le lieu (interne ou externe) et la sous-traitance (avec ou sans sous-traitance) :

- Interne avec ou sans sous-traitance.
- Externe avec ou sans sous-traitance.

4.2.1.2 Les coûts de maintenance

Pour les coûts de maintenance, on trouve deux types de coût soit des coûts directs (les coûts de défaillance) et des coûts indirects (les coûts des arrêts) qui représentent les coûts de d'indisponibilité.

On peut regrouper les coûts de maintenance en deux sous critères :

- Coût de défaillance.
- Coût de l'indisponibilité.

4.2.2 La pondération

Dans cette partie la pondération, nous allons pondérer les nouveaux critères c'est-à-dire mettre un coefficient pour chaque critère et des points pour chaque sous critère. Nous effectuons la pondération afin de pouvoir utiliser la méthode abaque de Noiret.

Cette pondération s'effectue à base des pondérations des autres critères, selon la manière d'influence du critère sur la production et son temps. Les critères qui influencent directement ont des coefficients plus élevés que les autres.

Les nouveaux critères ont une relation directe avec la production et le temps car ils ne représentent pas les caractéristiques du matériel, alors que les coûts de maintenance sont onéreux ou bien la maintenance demande une sous-traitance, ceci influence le temps de production et la production elle-même. Donc d'après ce raisonnement nous allons trouver :

4.2.2.1 Lieu et sous-traitance

Le tableau 4-1 englobe les sous critères du critère lieu et sous-traitance.

Tableau 4- 1: Les pondérations de critère de lieu et sous-traitance

Critère	Sous critères	Points	Coefficient
Lieu et Sous-traitance	Interne avec sous-traitance	30	4
	Interne sans sous-traitance	20	
	Externe avec sous-traitance	50	
	Externe sans sous-traitance	35	

4.2.2.2 Coûts de maintenance

Le tableau 4-2 englobe les sous critères du critère lieu et sous-traitance.

Tableau 4- 2: les pondérations de critère de cout de maintenance

Critère	Sous critères	Points	Coefficient
Coûts de maintenance	Coût d'indisponibilité	35	2
	Coût défaillance	50	

4.2.3 La mise en œuvre de l'abaque de Noiret avec les nouveaux critères

Comme nous l'avons vu précédemment dans le chapitre 03, il existe deux méthodes pour rendre l'abaque de Noiret en service une analytique et l'autre graphique, chacune d'elles est basée sur un principe mais à la fin elles conduisent à un seul résultat.

Le procédé de déroulement *la méthode analytique* conserve son principe après l'addition de ces critères, les changements se manifestent dans la grille de décision et le nombre de critères devient onze. Nous obtenons une nouvelle carte des intervalles de choix de type de maintenance adaptée à la nouvelle liste des critères. Ces changements sont la résultante de la pondération.

Par contre, nous trouvons des difficultés dans *la méthode graphique* à cause de la carte graphique, nous n'avons pas accès à la carte pour ajouter les nouveaux critères et de proposer une autre grille de décision. Pour résoudre ce problème nous devons élaborer une nouvelle grille de décision pour les onze critères. Donc nous pouvons inclure l'intelligence artificielle pour avoir une nouvelle grille de décision. La solution proposée est d'utiliser la logique floue.

4.3 Hybridation de la logique floue

L'idée de base de la logique floue est de modéliser des phénomènes ou des procédés comme le ferait l'être humain, c'est-à-dire de mettre en algorithmes, composés essentiellement par des règles du type {Si ... alors ...}, le raisonnement humain. En effet, l'homme a tendance à tirer des conclusions sur certaines situations à partir de données imprécises ou incomplètes et à agir en fonction d'un ensemble de règles implicites au raisonnement. C'est une technique pour le traitement de connaissances imprécises et incertaines. Elle permet de prendre en considération des variables linguistiques dont les valeurs sont des mots ou des expressions du langage naturel, telle que faible, élevée, rapide, lent, grand, petit...etc. [28].

4.3.1 Insertion des concepts de la logique floue dans la méthode de l'abaque de Noiret

Pour réaliser un modèle flou on doit suivre certaines étapes :

4.3.1.1 Elaboration des variables linguistiques

Nous devons élaborer les variables d'entrées, dans notre cas nous avons onze variables d'entrée (les onze critères) pour avoir la sortie équivalente. Chacun de ces critères à ses propres options (sous critères). Les entrées sont représentées par la nouvelle liste des critères, les VL de ces entrées sont extraites à partir de sous critères. Nous devons trouver des termes linguistiques adaptés à chaque sous critères.

4.3.1.2 Choix de fonction d'appartenance

En réalité il existe plusieurs fonctions d'appartenance, dans notre cas une fonction trapézoïdale peut nous aider à concevoir notre modèle flou, le choix de cette fonction est effectué à base de ses caractéristiques.

4.3.1.3 Les règles floues

Les règles représentent la base des données du système flou où les entrées sont traitées, et donnent la sortie appropriée au modèle. Les entrées de notre système sont les onze critères, mais ici nous trouvons un problème car ce nombre représente un grand problème lors de la réalisation des règles car le but est de réaliser un modèle flou général, ce dernier doit compter toutes les règles que nous pouvons construire à partir de nos entrées pour mettre en œuvre tous les cas possibles qui peuvent être rencontrés par le système modélisé.

La quantité de règles d'inférences dépend du nombre d'entrées et du nombre de zones de chacune d'elles. Les onze critères sont partitionnés en sous critères. Le nombre moyen des variables linguistiques est trois dans chaque univers de discours. Donc le nombre max des règles est : $11^3 = 1331$. Ce dernier est trop grand, ce qui nous pose de grandes difficultés lors de la réalisation des règles. Pour donner suite à ce problème, nous cherchons une solution qui permet de réduire ce nombre pour optimiser les règles.

La solution est de réduire le nombre d'entrées. Pour cet objectif nous regroupons les critères en fonction des caractéristiques communes :

a) Méthode d'exploitation

- ❖ Condition de travail.
- ❖ Perte de produit.
- ❖ Interdépendance du matériel.

b) Caractéristique de matériel

- ❖ Origine du matériel.
- ❖ Complexité du matériel.
- ❖ Robustesses du matériel.

c) Temps et délais :

- ❖ Délais d'exécution.
- ❖ Age du matériel.

d) Investissement et charge

- ❖ Coût d'achat.
- ❖ Coûts de Maintenance.
- ❖ Lieu et sous-traitance.

4.3.1.4 Les nouvelles variables linguistiques adaptées aux nouvelles entrées

Après la réduction du nombre d'entrées, nous sommes tombées dans le problème de modélisation des VL à cause de la nature différente des critères regroupés. Pour cela, nous devons chercher un caractère commun entre les critères qui peut formuler des VL adaptées à chaque catégorie. Les pondérations (points et coefficients) représentent le seul caractère commun entre les critères regroupés, nous sélectionnons deux variables selon le tableau 4-3 :

Tableau 4- 3: La construction des VL adaptés à nouvelles entrées

Caractéristiques	Critères	Points			Score	
		Max	Min	Coef	Max	Min
Méthode d'exploitation	Condition de travail	50	15	5	375	95
	Perte de produit	55	10	1		
	Interdépendance du matériel	35	5	2		
Caractéristique du matériel	Origine de matériel	45	10	2	165	30
	Complexité du matériel	45	5	1		
	Robustesses du matériel	30	5	1		
Temps et délais	Délais d'exécution	45	5	5	315	35
	Age de matériel	45	5	2		
Investissements et charges	Coût d'achat	55	35	1	355	155
	Coût de maintenance	50	5	2		
	Lieu et sous-traitance	50	20	4		
Score final des extrémités					1210	315

Le tableau 4-3 englobe les caractéristiques et les critères de la méthode abaque de Noiret. Ainsi les variables : Max qui revient à l'intervalle de score extrême de chaque entrée. Min qui revient à l'intervalle de score bas de chaque entrée. Ces variables représentent la somme de la multiplication des points et coefficient pour chaque caractéristique aussi il définit le score final. Pour déterminer les intervalles flous nous devons faire l'intersection de ces deux intervalles, le tableau 4-4 représente les intervalles min et max ainsi le domaine floue.

Tableau 4- 4: les intervalles des VL de chaque entrée

Entrées	Variable linguistique	Intervalles
Méthode d'exploitation	Min	[0 ; 125]
	Domaine flou	[125 ; 250]
	Max	[250 ; 375]
Caractéristiques du matériel	Min	[0 ; 30]
	Domaine flou	[30 ; 55]
	Max	[110 ; 165]
Temps et délais	Min	[0 ; 105]
	Domaine flou	[105 ; 210]
	Max	[210 ; 315]
Investissement et charges	Min	[0 ; 155]
	Domaine flou	[118 ; 236]
	Max	[236 ; 355]

4.3.1.5 Les règles d'inférence floues

Suite à ces changements dans les paramètres du modèle flou : Quatre entrées, Deux variables linguistiques. Nous avons obtenu seize règles d'inférences ($4^2 = 16$). Le tableau 4-5 représenté toutes les règles et les cas possible.

Tableau 4- 5: RIF de modèle approprié à l'abaque amélioré

Conjonction ET				Score	Résultat
E1	E2	E3	E4		
Max	Max	Max	Max	1210	Maintenance préventive obligatoire
Max	Max	Max	Min	1010	Maintenance préventive obligatoire
Max	Max	Min	Max	930	Maintenance préventive obligatoire
Max	Max	Min	Min	730	Maintenance préventive souhaitable
Max	Min	Max	Max	1075	Maintenance préventive obligatoire
Max	Min	Max	Min	875	Maintenance préventive obligatoire
Max	Min	Min	Max	795	Maintenance préventive obligatoire
Max	Min	Min	Min	595	Recommandation
Min	Max	Max	Max	930	Maintenance préventive obligatoire
Min	Max	Max	Min	730	Maintenance préventive souhaitable
Min	Max	Min	Max	650	Recommandation
Min	Max	Min	Min	450	Maintenance corrective obligatoire
Min	Min	Max	Max	795	Maintenance préventive obligatoire
Min	Min	Max	Min	595	Recommandation
Min	Min	Min	Max	515	Maintenance corrective souhaitable
Min	Min	Min	Min	315	Maintenance corrective obligatoire

4.3.1.6 La nouvelle grille de décision

Selon les résultats précédents, nous pouvons construire une nouvelle grille de décision du choix de type de maintenance cohérente à la liste des onze critères qui est représenté dans le tableau 4-6 :

Tableau 4- 6: La grille de choix de la politique de maintenance.

Domaines	Recommandation
315 à 515	Maintenance corrective obligatoire
515 à 595	Maintenance corrective souhaitable
595 à 650	Zone incertaine (recommandée)
650 à 730	Maintenance préventive souhaitable
730 à 1210	Maintenance préventive obligatoire

4.4 Elaboration du modèle flou par Matlab

Pour l'élaboration du modèle flou par Matlab on va suivre les trois étapes précédentes pour réaliser ce modèle de l'abaque de Noiret, on va créer les quatre variables E1, E2, E3, E4 et à l'aide du tableau 4-4, on rajoute les intervalles pour chaque VL. Dans l'étape qui suit on va ajouter les intervalles pour la sortie et pour chaque type de maintenance et à la fin on rajoute les règles définit dans le tableau 4-5. La construction d'un modèle flou est basée sur trois étapes essentielles, nous avons suivi cet enchaînement pour réaliser notre modèle.

4.4.1 La fuzzification

Dans la première partie « fuzzification » nous devons entrer nos quatre catégories comme variable d'entrées, ainsi la politique de maintenance comme variable de sortie. Toutes les entrées et la sortie du système sont définies en utilisant la théorie des ensembles flous. Pour chaque entrée une fonction d'appartenance doit être définie. Le choix correct de ces fonctions joue un rôle essentiel dans la réussite d'une application.

4.4.1.1 Définition des entrées

Comme nous disons précédemment les quatre catégories méthode d'exploitation, caractéristique de matériel, temps et délais et investissement et charge sont des variables d'entrées donc nous commençons par la définition des variables comme illustre la figure 4-1.

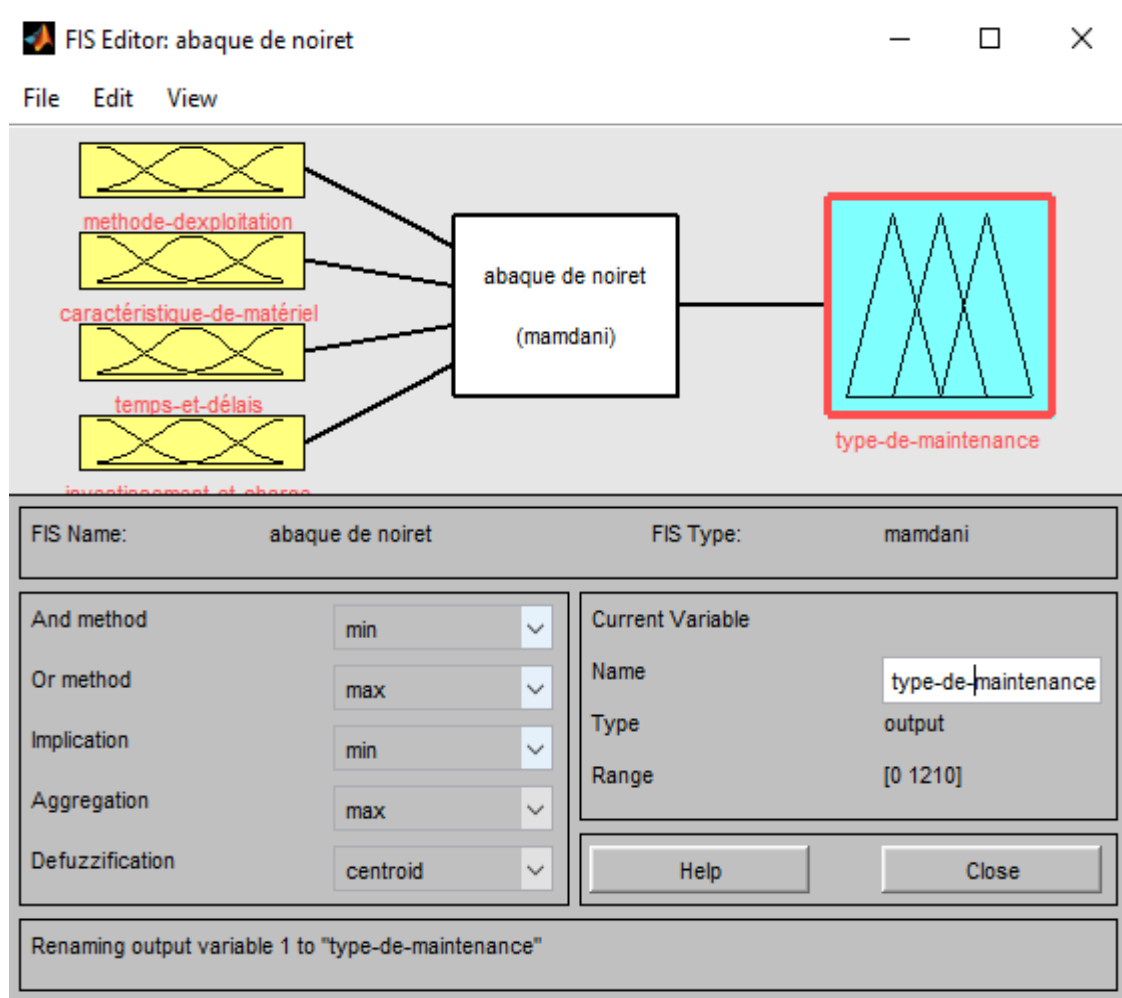


Figure 4- 1: les entrées du modèle

4.4.1.2 Les variables linguistiques

Dans le tableau 4-4 nous définissons tous les intervalles pour nos VLs donc dans cette étape nous allons définir les intervalles « le range » par la suite nous choisissons la fonction trapézoïdale et finalement on définit les intervalles pour chaque variable Min et Max ainsi le domaine flou. Les figures 4-2 et 4-3 présentes les VL de deux entrées.

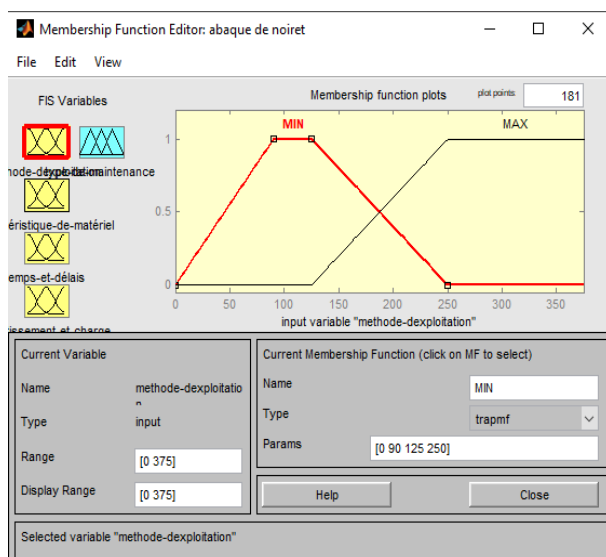


Figure 4- 2: les VL de la méthode d'exploitation

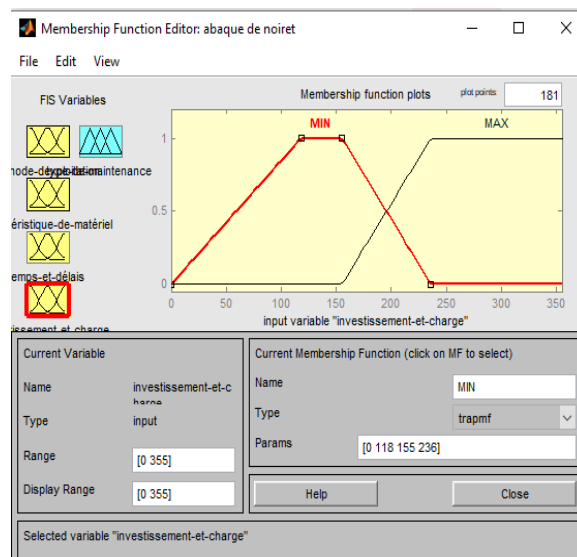


Figure 4- 3: les VL de l'investissement et délai

4.4.1.3 La sortie

La sortie de notre modèle est la politique de maintenance, on va trouver dans cette partie les trois possibilités de sortie : une maintenance préventive, corrective ou bien recommandation. La sortie du modèle flou est configurée dans la figure 4-4 :

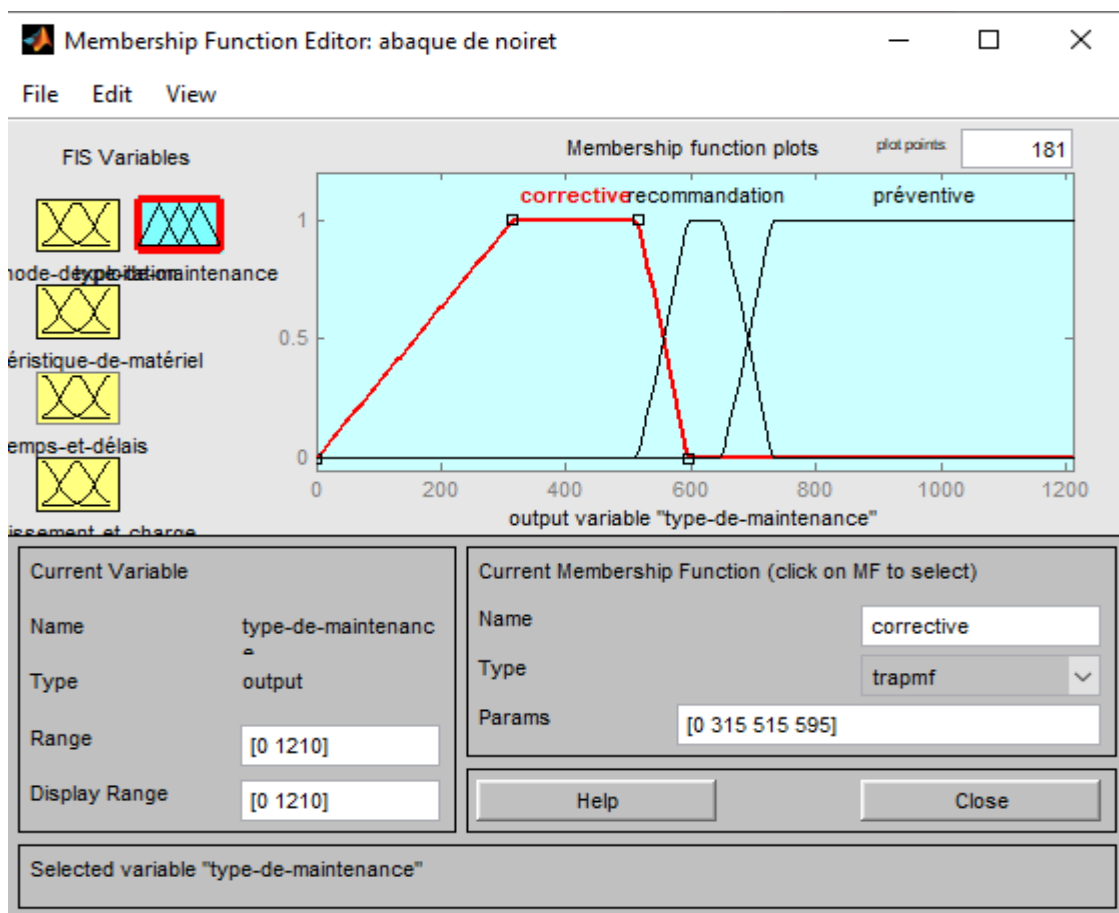


Figure 4- 4: La sortie de modèle flou

4.4.2 Les règles d'inférence floue

Passons maintenant aux règles d'inférence floue, dans cette étape on va insérer les règles qui sont représenté dans tableau 4-5. La figure 4-5 représente les règles de notre modèle flou. Pour ajouter les règles sur Matlab il faut cliquer sur édit par la suite sur rules et ajouter les seize règles.

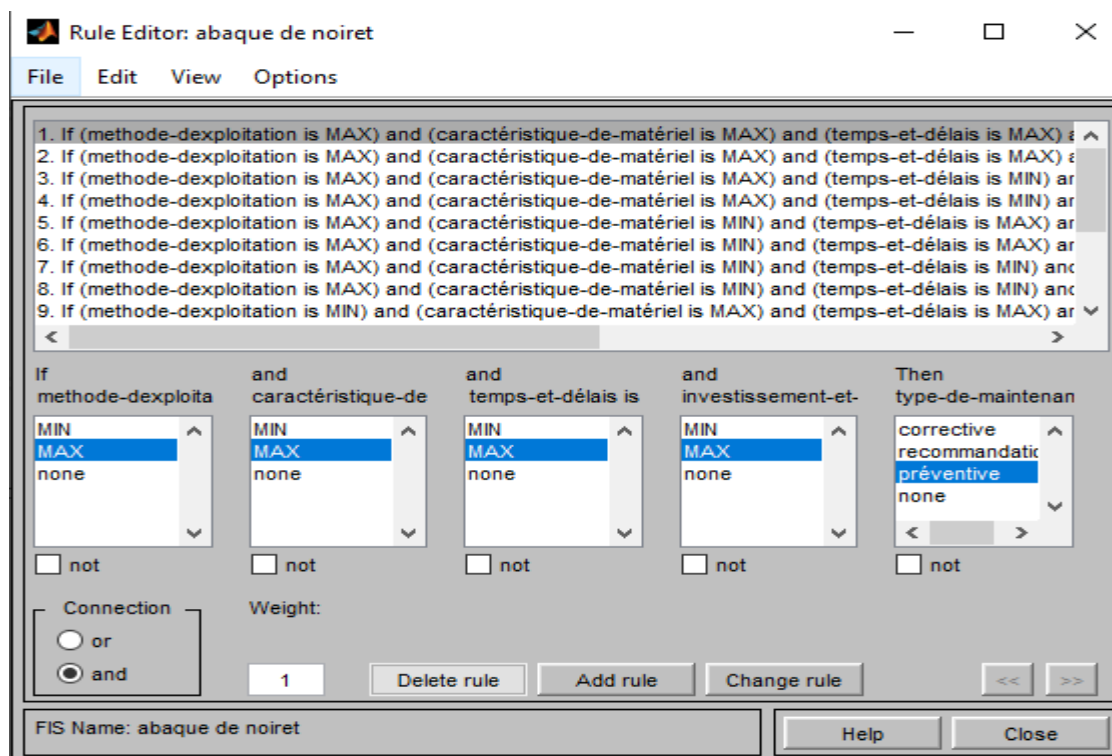


Figure 4- 5: Les règles de SIF

Les résultats de notre modèle flou sont affichés et illustré dans la Figure 4-6 en utilisant la commande view Rules dans editor FIS.

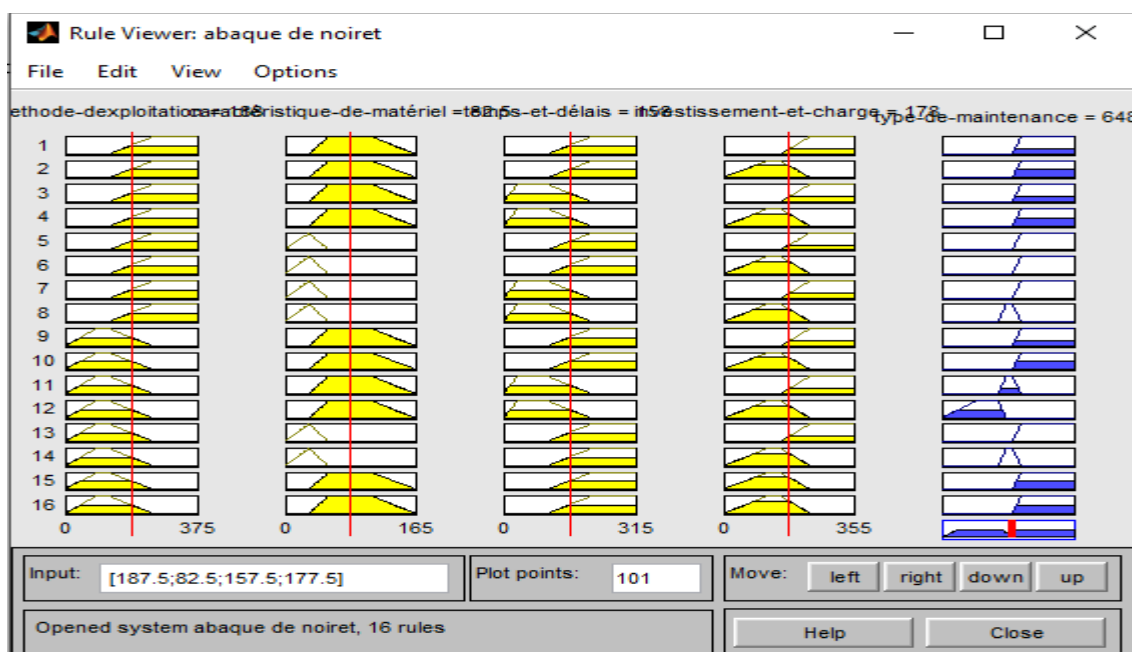


Figure 4- 6: Les RIF et sortie de modèle flou

4.4.3 Défuzzification

Les courbes de défuzzification peuvent être affichées comme illustré dans les figures 4-7, 4-8, 4-9, 4-10 pour chaque catégorie, ces courbes représentent le type de maintenance en fonction de chaque catégorie.

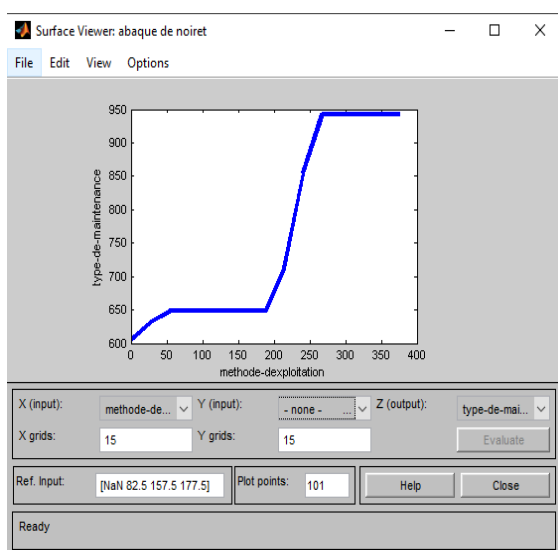


Figure 4- 7: La courbe des caractéristiques du matériel

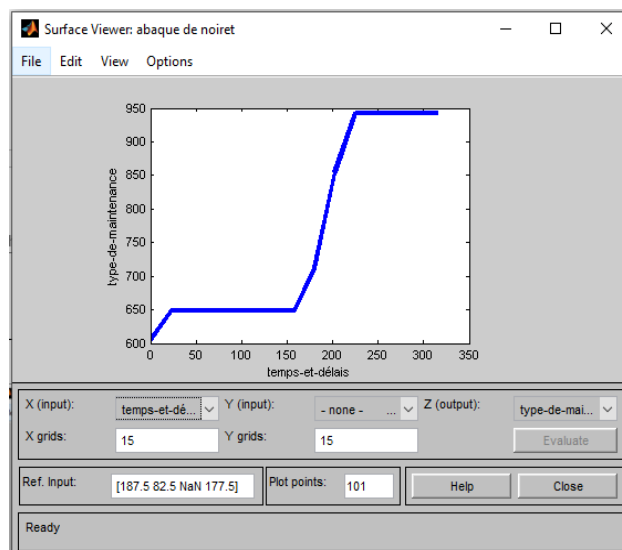


Figure 4- 8: La courbe délai et temps

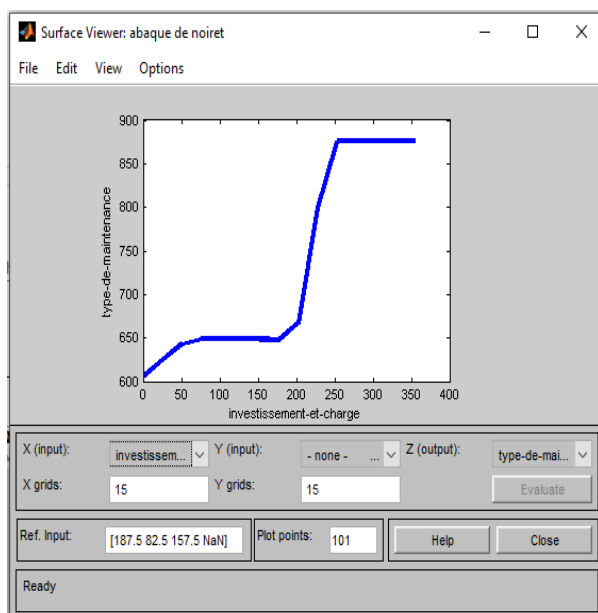


Figure 4- 9: La courbe d'investissement et charge

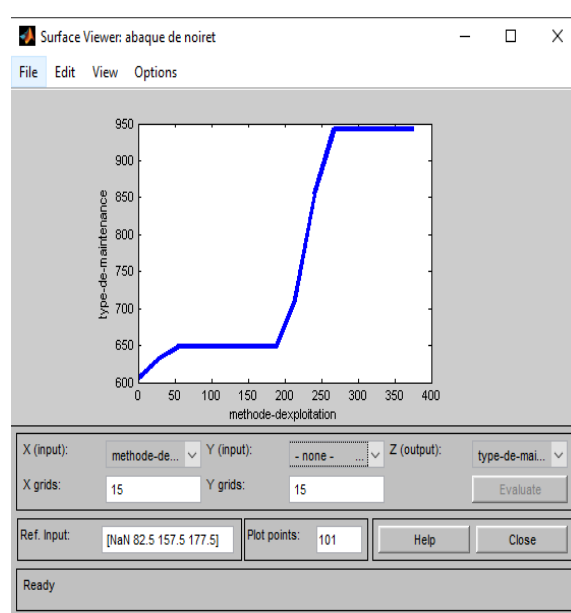


Figure 4- 10: La courbe de méthodes d'exploitation

4.5 L'application du modèle flou sur les deux équipements

Dans le chapitre précédent nous avons appliqués la méthode abaque de Noiret sur deux équipements différents, le premier est le tour SPRINT 65 de l'entreprise SNVI et le deuxième est le broyeur SH 2213 de l'entreprise El Batoul emballage.

4.5.1 Application du modèle flou sur le tour SPRINT 65

Dans cette partie nous allons appliquer le modèle flou sur l'équipement tour SPRINT 65.

Dans le chapitre 03 on a appliqué l'abaque de Noiret directement sur cet équipement, le tableau 4-7 résume les informations nécessaires de cet équipement ainsi que les deux nouveaux critères de cette méthode.

Tableau 4- 7: Les critères de la méthode abaque de Noiret pour le tour SPRINT 65

Caractéristiques	Critères	Sous-critères	Points	Coef	Score	
Méthode d'exploitation	Condition de travail	Production de jour 2*8	35	5	280	
	Perte de produit	Produits perdus non commercialisables (ferrailles)	55	1		
	Interdépendance du matériel	Matériel d'infrastructure à marche discontinue	25	2		
Caractéristiques du matériel	Origine du matériel	Matériel étranger avec SAV	25	2	85	
	Complexité et accessibilité du matériel	Très complexe et accessible	25	1		
	Robustesses du matériel	Matériel de précision robuste	10	1		
Temps et délais	Délais d'exécution	Délais serrés	20	5	160	
	Age du matériel	Matériel jeune (1 à 5 ans)	30	2		
Investissement et charge	Coût d'achat	Matériel coûteux	25	1	245	265
	Coût de maintenance	Coût de défaillance	50	2		
	Lieu et sous-traitance	Interne avec sous-traitance	30	4		
		Externe sans sous-traitance	35			
Score final					770	790

Pour ces scores et résultats nous utilisons notre modèle sur Matlab pour la méthode graphique. Premièrement et vu que nous avons deux cas, on remplit les informations et l'intervalle de chaque cas, et à partir des graphes on va trouver la décision à prendre pour la politique de maintenance à choisir.

Sur Matlab en utilisant la commande view Rules dans editor FIS et en bas on ajoute les scores correspondants à chaque entrée commençant par la catégorie méthode d'exploitation, caractéristique de matériel et puis le délais et temps, finalement l'investissement et charge. Les figures 4-11, 4-12 nous montrent le modèle flou pour chaque cas et le résultat obtenu.

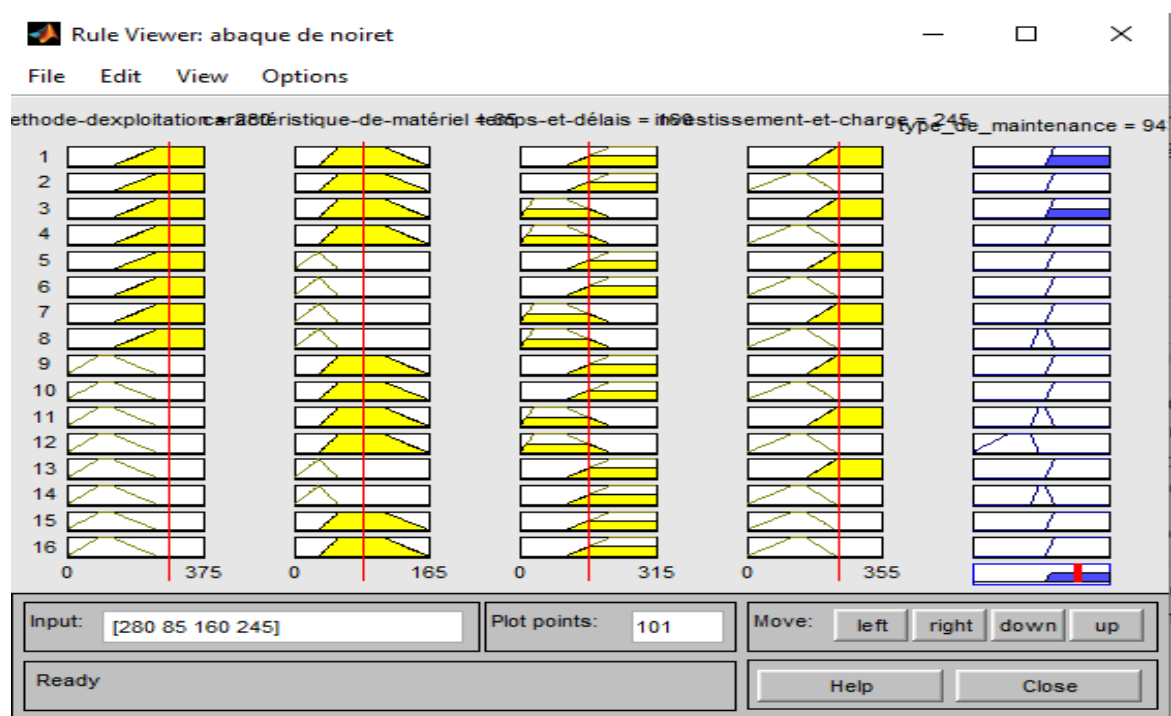


Figure 4- 11: Application de modèle lo pour le 1er cas sur le tour SPRINT 65

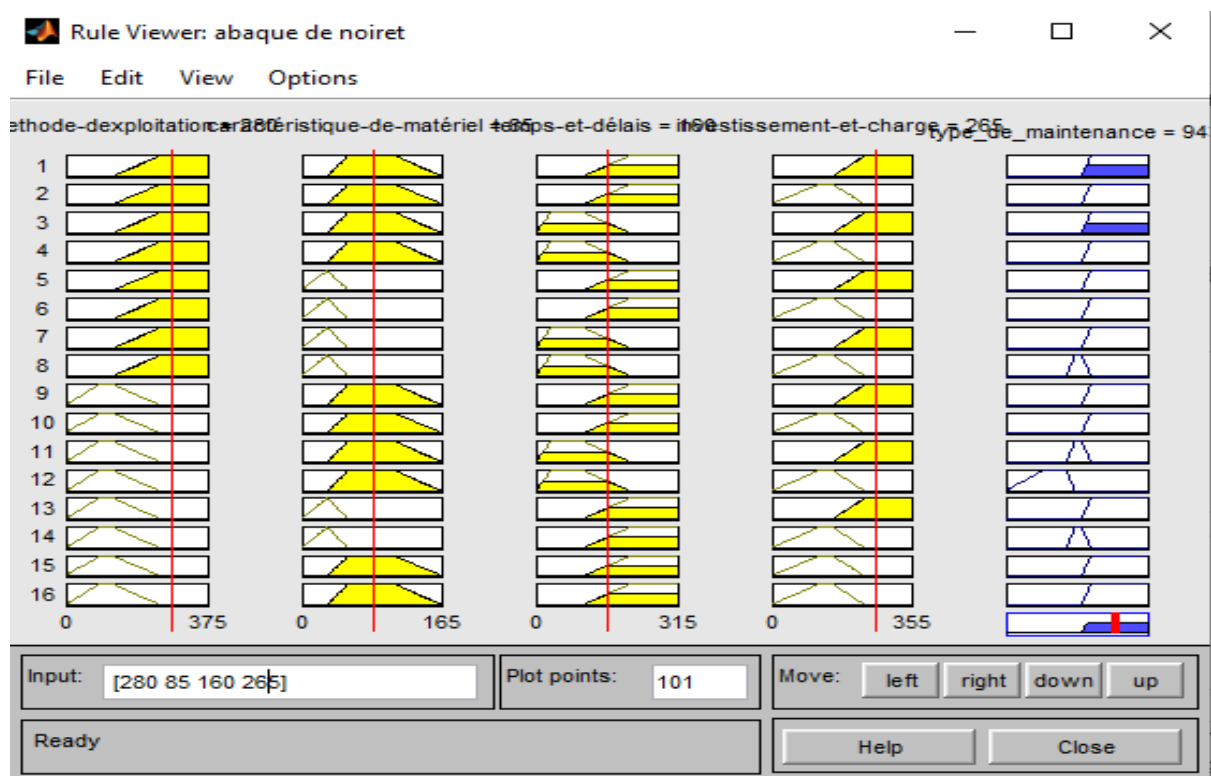


Figure 4- 12: Application du modèle flou pour le 2éme cas sur le tour SPRINT 65

4.5.2 Application de modèle flou sur le broyeur SH 2213

D'après les informations nécessaires du broyeur SH 2213 dans le troisième chapitre on réfère le même travail appliqué dans le titre précédent pour le tour SPRINT 65. Le tableau 4-8 regroupe toutes les informations de broyeur SH 2213 :

Tableau 4- 8: Les critères de la méthode abaque de Noiret pour le broyeur SH 2213

Caractéristiques	Critères	Sous-critères	Points	Coef	Score		
Méthode d'exploitation	Condition de travail	Production continu 3*8	50	5	355		
	Perte de produit	Produits perdus non commercialisables (ferrailles)	55	1			
	Interdépendance du matériel	Matériel d'infrastructure à marche discontinue	25	2			
Caractéristiques du matériel	Origine du matériel	Matériel étranger avec SAV	25	2	105		
	Complexité et accessibilité du matériel	Très complexe et accessible	25	1			
	Robustesses du matériel	Matériel travaillant en surcharge	30	1			
Temps et délais	Délais d'exécution	Délais inexistant	5	5	65		
	Age du matériel	Matériel âgé (5 à 10 ans)	20	2			
Investissement et charge	Coût d'achat	Matériel peu coûteux	15	1	235	255	315
	Coût de maintenance	Coût de défaillance	50	2			
	Lieu et sous-traitance	Interne avec sous-traitance	30	4			
		Externe sans sous-traitance	35				
		Externe avec sous-traitance	50				
Score final					760	780	840

Pour ces scores et résultats nous utilisons notre modèle sur Matlab pour la méthode graphique. Premièrement et vu que nous avons trois cas, on remplit les informations et l'intervalle de chaque cas et à partir des graphes on va trouver la bonne décision et quelle politique de maintenance nous devons la choisir.

On réapplique les mêmes étapes comme l'équipement précède, les figures 4-13, 4-14 et 4-15 représentent les résultats d'application de modèle flou pour chaque score.

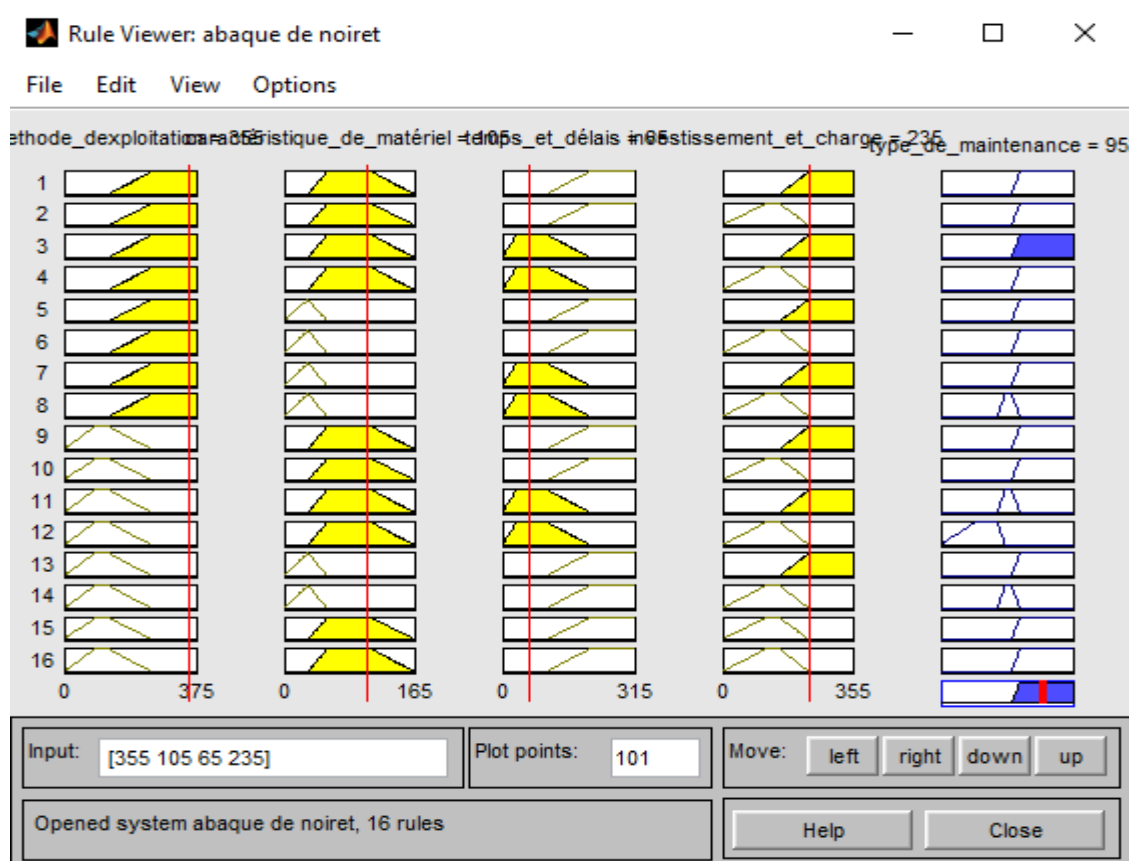


Figure 4- 13: Application du modèle flou pour le 1ér cas sur le broyeur SH 2213

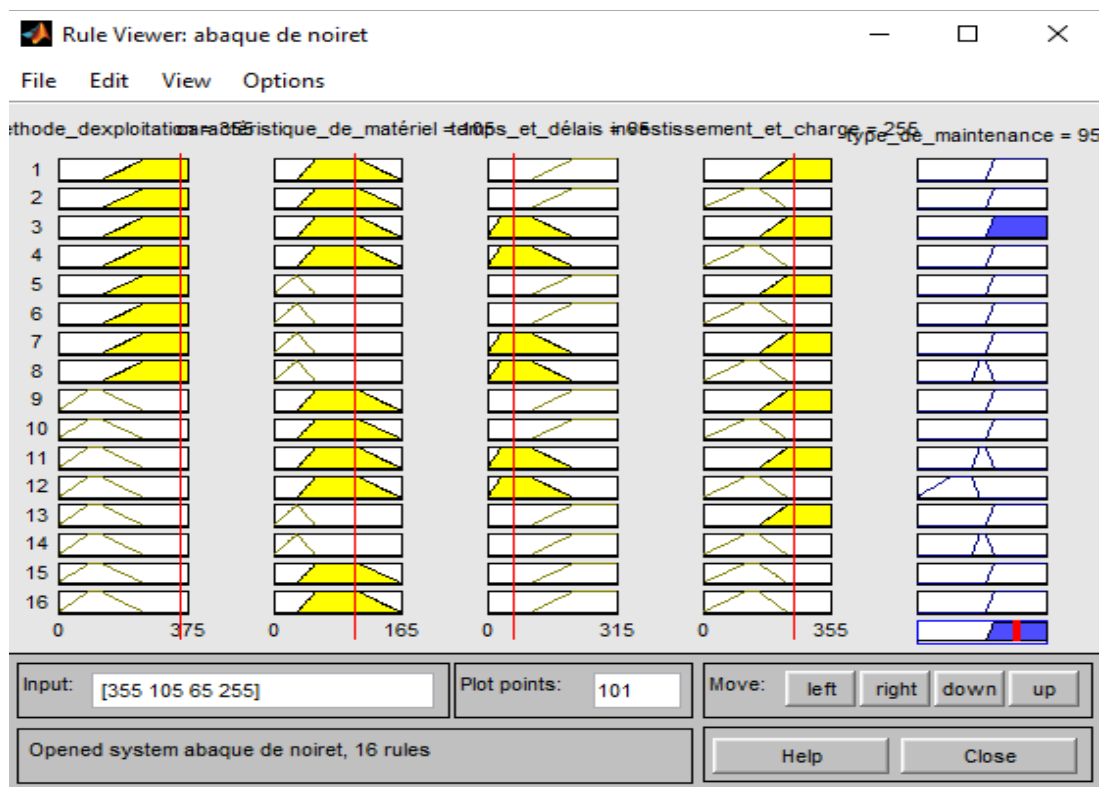


Figure 4- 14: Application du modèle flou pour le 2ème cas sur le broyeur SH 2213

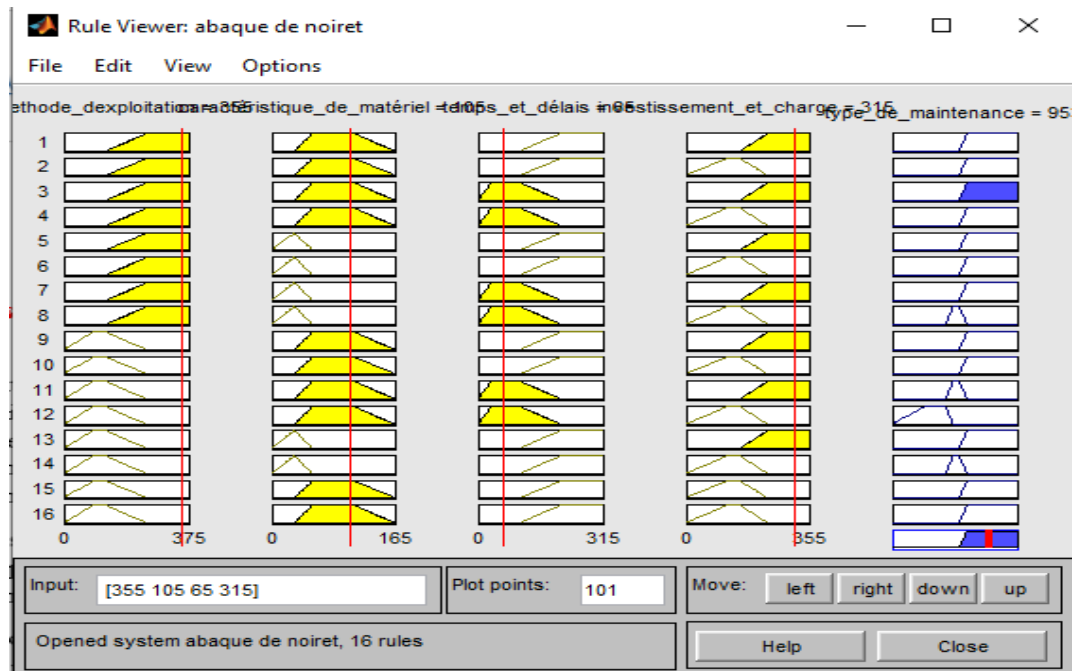


Figure 4- 15: Application du modèle flou pour le 3^{er} cas sur le broyeur SH 2213

4.5.3 Interprétation des résultats

A partir du tableaux 4-7 et 4-8 qui englobent les critères de la méthode abaque de Noiret ainsi que leurs points et d'après les scores finaux qui représentent la somme du score de chaque catégorie on peut appliquer la méthode analytique sur ces équipements et on trouve que ces scores appartiennent à l'intervalle [730,1210], d'après le tableau 4-6 nous sommes dans le cas de choix d'une maintenance préventive obligatoire comme une décision de la politique de la maintenance.

Passons maintenant à la méthode graphique, d'après l'application du modèle flou sur notre équipement et à partir des deux figures 4-11 et 4-12 pour l'équipement tour SPRINT 65 et les figures 4-13, 4-14, 4-15 pour le broyeur SH 2213, on trouver aussi pour le choix de la politique de maintenance le type de ***maintenance préventive obligatoire***.

Nous remarquons qu'après l'addition des deux nouveaux critères, la prise de décision est améliorée avec la logique floue car on a une décision et un type de maintenance défini. Ce qui n'était pas le cas pour le chapitre précédent là où on s'est retrouvé dans la zone d'incertitude après avoir appliqué la LF, nous avons obtenu une nouvelle grille de décision des méthodes adaptées aux nouveaux critères. A travers ce modèle flou on a pu savoir directement la politique de maintenance correspondante à n'importe quel équipement et sans perte de temps, c'est qu'un point très intéressant et essentiel dans l'industrie.

4.7 La procédure de l'hybridation de la méthode de l'abaque de Noiret avec les neuroflous.

Nous récapitulons la procédure d'hybridation dans la figure (mentionner le numéro de figure 4-16)

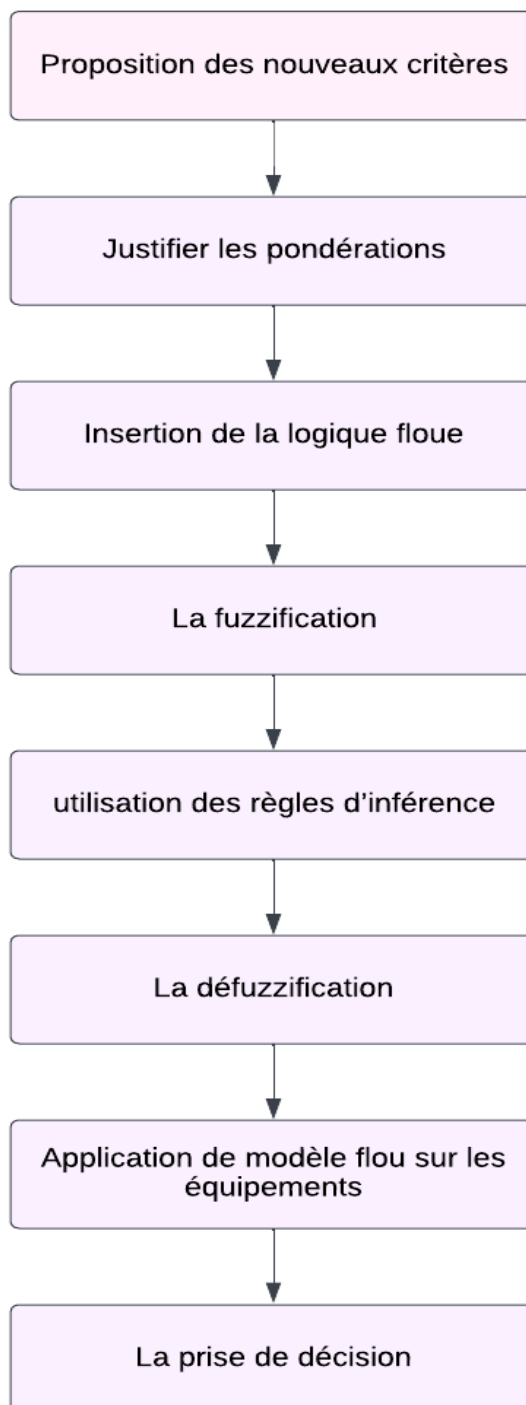
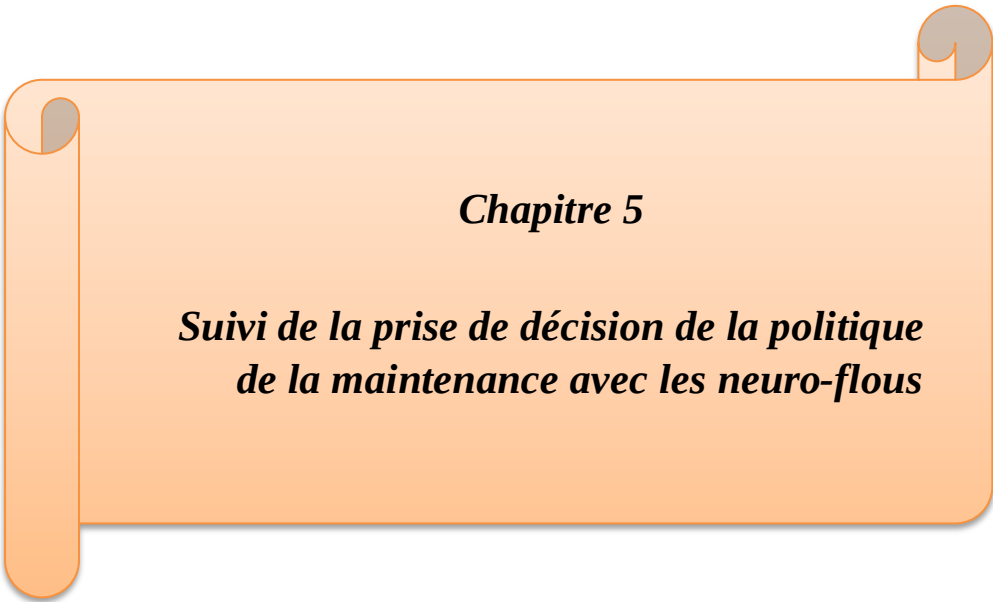


Figure 4- 16: Procédure de la logique floue

4.8 Conclusion

A travers ce chapitre on a créé un modèle flou qui nous a permis de prendre une décision et un résultat plus fiable par rapport à l'utilisation de la méthode de l'abaque de Noiret. Le choix des nouveaux critères et l'application de la logique floue, ont permis d'affiner la prise de décision pour la politique de la maintenance à adopter sur le terrain.

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a thin orange border. It has a vertical strip on the left side and a small circular tab on the top right corner. The text is centered within the main body of the scroll.

Chapitre 5

***Suivi de la prise de décision de la politique
de la maintenance avec les neuro-flous***

5.1 Introduction

Dans le cadre d'amélioration de la prise de décision, et le bon choix de la politique de maintenance, on donne suite à notre travail mais cette fois ci, on va créer des modèles neuro-flous. Donc selon la chronologie des pannes on va sélectionner l'algorithme des neuro-flou adéquat pour prendre une décision permettant de savoir si on doit continuer avec la même politique de maintenance ou pas. Car une nouvelle problématique à prendre en considération dans un service maintenance qui est, appliqué une politique de maintenance certes, mais sans dépasser le budget annuel octroyer à la maintenance et en surveillant d'une manière direct ou indirect les indicateurs de fiabilité.

Dans ce dernier chapitre on va voir la méthode abaque de Noiret et les différentes modifications sur ces critères et aussi sur les données utilisées, on passe par la suite au système neuro-floue hybride et dans cette partie on va voir les trois modèles ANFIS, Mamdani et Takagi-Sugeno ainsi la création de chaque modèle sur Matlab. Pour clôturer on va faire une interprétation de ces trois modèles et on va choisir le bon modèle qui nous aide dans le choix de la politique de la maintenance.

5.2 La méthode abaque de Noiret et ses critères

On a vu avant que la méthode abaque de Noiret se base sur neuf critères, et avec les deux nouveaux critères on aura onze critères. On remarque que neuf critères parmi les onze restent constants et fixent pour chaque panne ou arrêt de l'équipement de l'entreprise, contrairement aux coûts de maintenance et aux délais qui représentent les durées de chaque panne.

Pour cela on a collecté une série de données des pannes pour l'équipement tour SPRINT 65 dans l'entreprise SNVI pour l'année 2021 qui sont représenté dans le tableau 5-1 :

Tableau 5- 1: Les données des interventions

La date	La durée de panne (min)	Les coûts de la maintenance (DA)
15/01/2021	180	30020
09/03/2021	15	3510
23/04/2021	420	49880
19/05/2021	20	3580
22/06/2021	300	35000
13/07/2021	135	20590
10/09/2021	30	9220
20/09/2021	90	7860
10/11/2021	660	97240
06/12/2021	15	3510

Les coûts de maintenance sont la somme des coûts direct et indirect de chaque panne. Donc on doit prendre en considération les coûts de sous-traitances, coûts de main d'œuvre et les coûts des pièces de rechanges PDR.

5.3 Le système neuro-flou hybride

Le système neuro-flou hybride est une combinaison de la logique floue et les réseaux neurones qui sont expliqués dans le chapitre 02. La catégorie la plus répandue dans les neuro-flous est les systèmes hybride, ces systèmes contiennent trois différents types de modèle :

- Modèle d'ANFIS.
- Modèle de Mamdani.
- Modèle de Takagi-Sugeno.

Dans la partie suivante on va expliquer chaque modèle et l'appliquer sur Matlab pour avoir les résultats nécessaires pour le choix de la politique de maintenance ainsi on pourra sélectionner le système le plus intéressant pour notre étude.

5.3.1 Modèle ANFIS

5.3.1.1 Définition du modèle

Dans le but de l'application du modèle d'ANFIS, on doit passer par six étapes qui sont illustré dans la figure5-1.

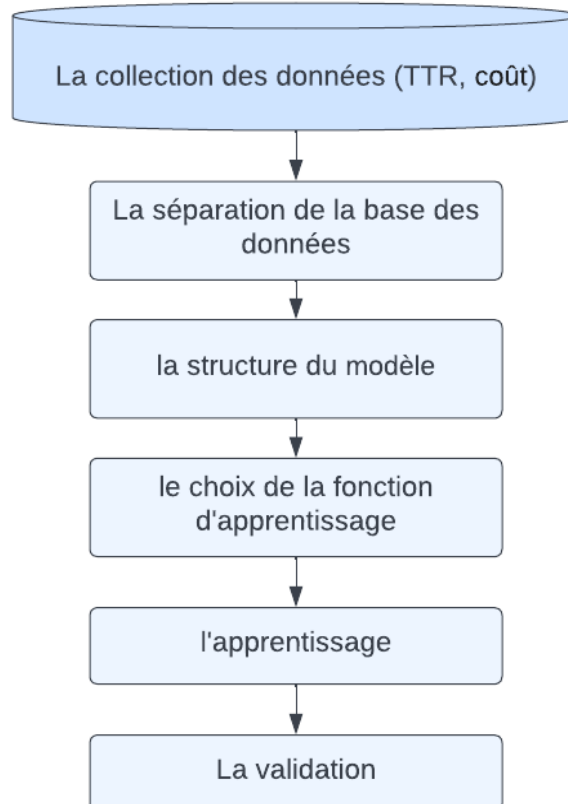


Figure 5- 1: Flux de base pour la conception d'un modèle ANFIS

5.3.1.1.1 La collecte des données

L'objectif de cette étape est d'amasser un ensemble de données suffisant et fiable pour la création du modèle ANFIS et donc à travers cet ensemble on pourra faire l'apprentissage et le test du réseau de neurones.

Dans cette partie on va collecter toutes les informations concernant le temps de chaque panne ou bien le TTR (TIME TO REPAIRE) et le coût de défaillance de chaque panne. Nous avons analysé l'historique des pannes pour l'année 2021 à partir du 01 janvier jusqu'au 31 décembre 2021. Les résultats sont illustrés dans le tableau 5-1.

5.3.1.1.2 La séparation des données

Après avoir collecté les données nécessaires pour l'application, nous commençons la séparation des données en deux ensembles :

- **Etape d'apprentissage ou d'entraînement (Training)** : Lors de cette étape, le système ANFIS a besoin d'un ensemble de données qui lui permet d'en sortir une règle générale. Le système boucle sur lui-même jusqu'à l'obtention d'une erreur minimale.
- **Etape de test** : Encore un ensemble de données différent de ceux utilisés pour l'apprentissage. Ensuite on va tester et analyser la réponse du système créé.

La partie de l'apprentissage contient 70% du nombre totale des données et le 30% restant est dédié à la partie de test. Donc on a sept pannes pour l'apprentissage et les trois autres pannes sont dédiées pour le test.

5.3.1.1.3 La structure du modèle

La structure (détaillée dans le chapitre 02) d'un modèle change d'un modèle à un autre et selon leurs entrées, le nombre de sous couches choisies et le nombre des sorties du modèle. Notre modèle est composé de deux entrées qui sont le temps de chaque panne TTR et les coûts de la maintenance, avec une seule sortie qui est le coût cumulé.

5.3.1.1.4 Le choix de la fonction d'appartenance

Il existe plusieurs fonctions d'appartenance comme la fonction triangulaire, trapézoïdale et d'autres comme il est mentionné dans l'annexe C.

Dans cette partie on choisit parmi ces fonctions les fonctions triangulaire et gaussiennes, on les utilise pour avoir des résultats qui nous permettent de définir l'erreur par la suite.

5.3.1.1.5 L'apprentissage

L'apprentissage est une étape très intéressante dans la création d'un modèle de neuro-flou. Dans cette phase et après l'étape de choix de l'architecture de notre réseau il faut calculer pour les différentes liaisons les pondérations optimales.

5.3.1.1.6 La validation

Après l'étape de l'apprentissage il faut toujours faire des tests pour estimer la qualité de généralisation et en l'alimentant avec des bases de données différentes de celles Pour apprendre la validation croisée. Si les performances ne sont pas satisfaites, on modifie l'architecture du réseau, ou bien les paramètres de l'apprentissage.

5.3.1.2 La création du modèle ANFIS sur Matlab

Pour créer ce modèle pour l'équipement tour SPRINT 65 sur Matlab on va suivre les étapes ci-dessus. Les données des inputs sont la durée de panne TTR en minutes et les coûts de maintenance en dinar Algérien.

5.3.1.2.1 La structure du modèle ANFIS

Le modèle ANFIS est structuré comme illustré dans la figure 5-2 où on trouve de la gauche vers la droite : les deux inputs du modèle, les inputmf, rules, outputmf et finalement l'output du modèle qui est le coût cumulé.

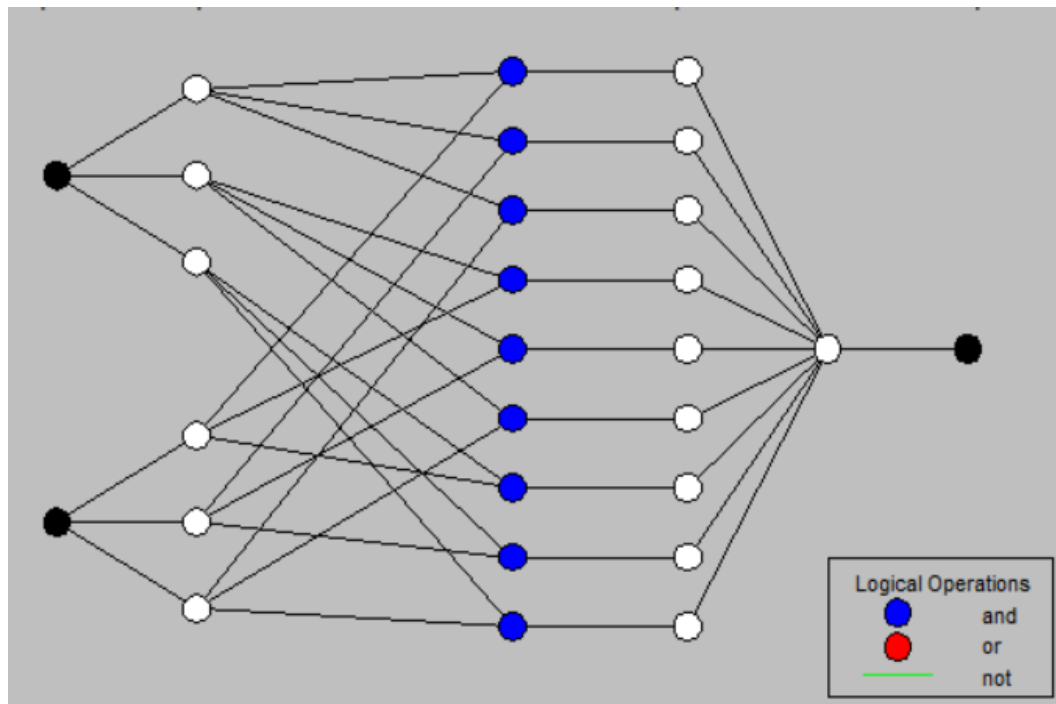


Figure 5- 2: La structure du modèle

Nous avons fixé le nombre des nœuds à 3 pour chaque entrée pour obtenir les meilleurs résultats et aussi nous avons fixé le nombre d'itérations à 420 pour assurer la conformité de traitement des données chargée. Le tableau 5-2 représente le modèle ANFIS, qui nous a donné les différents paramètres que nous avons choisis.

Tableau 5- 2: Les paramètres d'ANFIS

La fonction	Trimf	Trapmf	Gbellmf	Gaussmf	Gauss2mf	Pimf	Dsignmf	psigmf
Nombre des nœuds	35	35	35	35	35	35	35	35
Nombre de paramètres linéaires	9	9	9	9	9	9	9	9
Nombre de paramètres non linéaires	18	24	18	12	24	24	24	24
Nombre total des paramètres	27	33	27	21	33	33	33	33
Nombre de paires de 'training data'	7	7	7	7	7	7	7	7
Nombre de paires 'checking data'	0	0	0	0	0	0	0	0
Nombre de règles flous	9	9	9	9	9	9	9	9

5.3.1.2.2 Les résultats de la simulation

La simulation nous permet une prévision sous forme d'une courbe en étoiles rouges, tandis que les valeurs réelles sont représentées par une courbe bleue. On fait la simulation pour quelque fonction :

✓ La fonction triangulaire « Trimf »

Les figures 5-3 et 5-4 illustrent les résultats de la simulation pour la phase de test et d'apprentissage avec la fonction « trimf » :

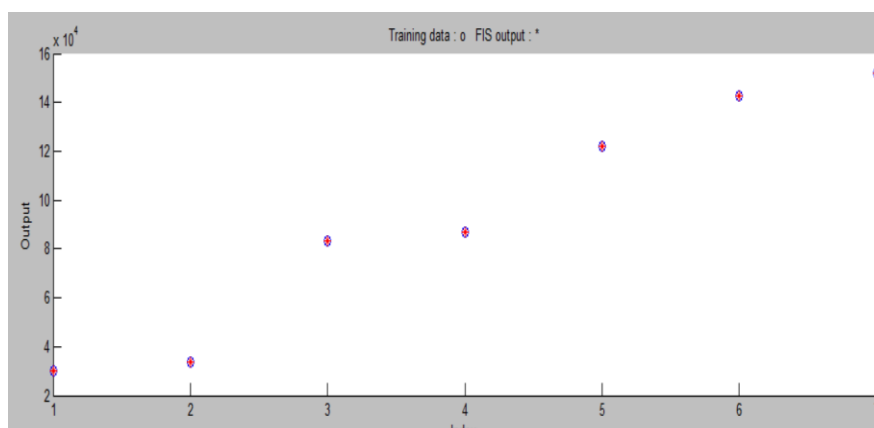


Figure 5- 3: La phase d'apprentissage pour la fonction Trimf

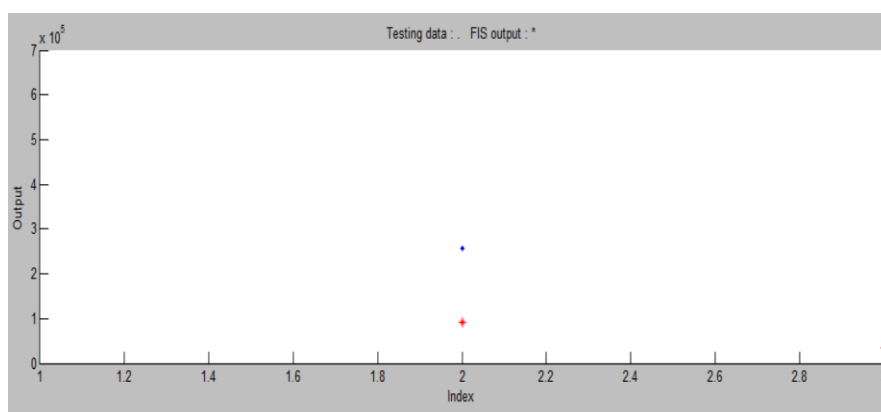


Figure 5-4: La phase de test pour la fonction *Trimf*

✓ **La fonction gaussienne « *Gaussmf* »**

Les figures 5-5 et 5-6 illustrent les résultats de la simulation pour la phase de test et d'apprentissage avec la fonction « *gaussmf* » :

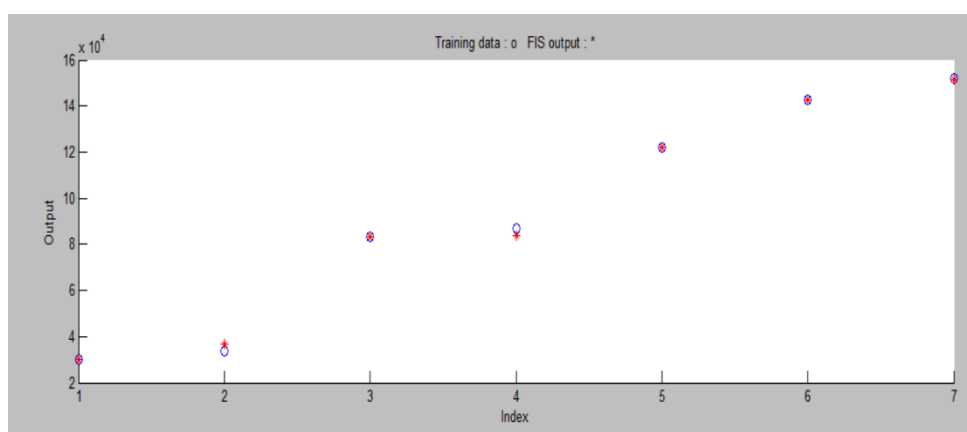


Figure 5-5: La phase d'apprentissage pour la fonction *Gaussmf*

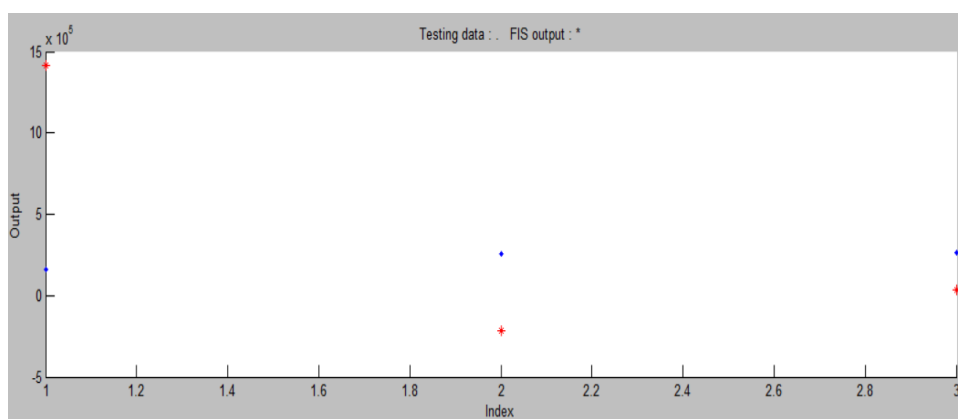


Figure 5-6: La phase de test pour la fonction *Gaussmf*

✓ **La fonction « *Gbellmf* »**

Les figures 5-7 et 5-8 illustrent les résultats de la simulation pour la phase de test et d'apprentissage avec la fonction « *gbellmf* » :



Figure 5- 7: La phase d'apprentissage pour la fonction Gbellmf

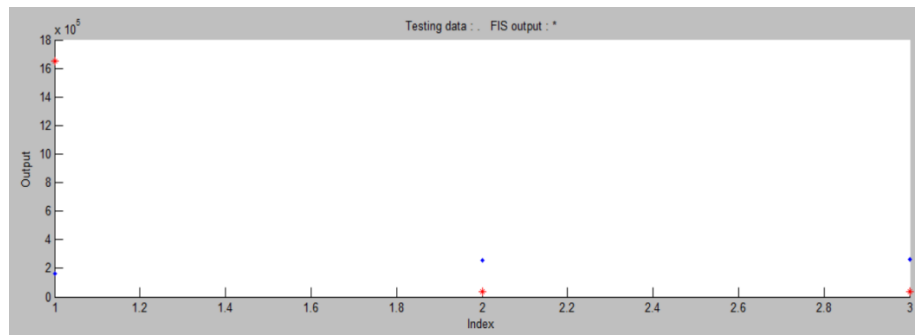


Figure 5- 8: La phase de test pour la fonction Gbellmf

✓ **La fonction gaussien « Gauss2mf »**

Les figures 5-9 et 5-10 illustrent les résultats de la simulation pour la phase de test et d'apprentissage avec la fonction « gauss2mf » :

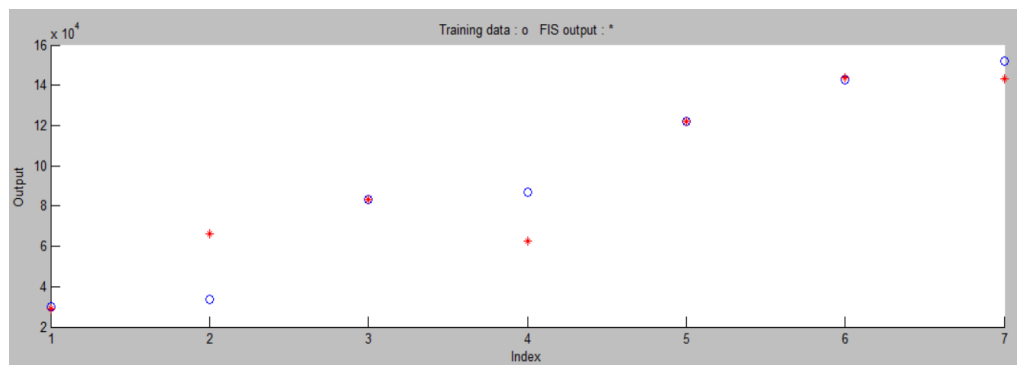


Figure 5- 9: La phase d'apprentissage pour la fonction Gauss2mf

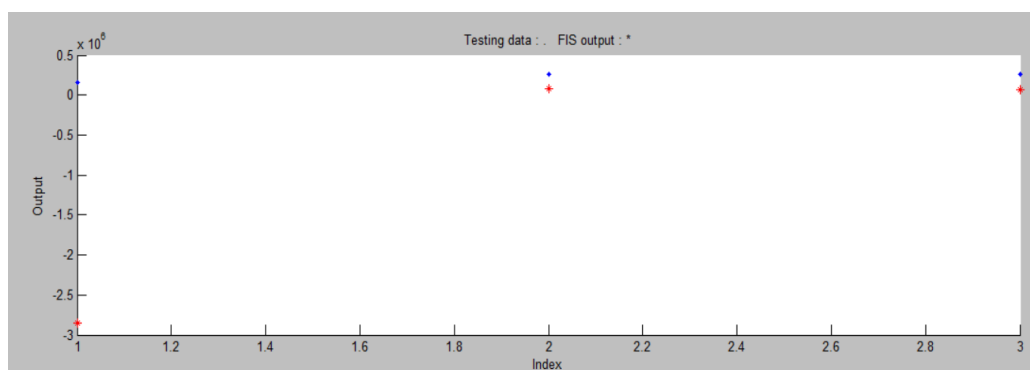


Figure 5- 10: La phase de test pour la fonction Gauss2mf

5.3.1.2.3 Interprétation

Nous avons simulé plusieurs fonctions d'appartenance, et pour cela on a fait des tests pour l'apprentissage afin de suggérer la fonction la plus adéquate. Le tableau 5-3 représente les différentes erreurs soit pour l'apprentissage ou bien le test pour chaque fonction d'appartenance.

Tableau 5- 3: Les fonctions d'appartenance.

Fonctions	Erreur d'apprentissage	Erreur de test
Trimf	183,5373	183,5373
Trapmf	31657,4678	31657,4678
Gbellmf	2885,844	3052,1785
Gaussmf	1684,7856	1689,1038
Gauss2mf	15721,4836	15741,2275
Pimf	31657,4681	31657,4681
Dsigmf	13583,5391	13583,5391
Psigmf	16203,7594	16203,7594

D'après les résultats du tableau nous remarquons qu'il y a égalité ou presque entre les erreurs de test et d'apprentissage.

5.3.2 Le modèle Mamdani

5.3.2.1 Définition du modèle

L'outil Mamdani est le plus répandu car il fournit des résultats raisonnables avec une structure relativement simple et aussi en raison de la nature intuitive et interprétable de la base des règles.

Les systèmes Mamdani ont des bases de règles plus intuitives et plus facile à comprendre, ils sont bien adaptés aux applications de systèmes experts où les règles sont créées à partir de connaissances expertes humaines, telles que les diagnostics médicaux pour la prise de décisions Mamdani utilise comme sortie de type non continues.

5.3.2.1.1 Les entrées du modèle

Dans cette partie on va créer le modèle de Mamdani comme on a fait dans le chapitre quatre avec les critères de la méthode abaque de Noiret mais cette fois ci les inputs de notre système sont la durée de panne et les coûts de maintenance et pour la sortie c'est l'acceptation ou non de ces coûts par rapport au budget prévisionnel.

(E1) : la durée de pannes.

(E2) : le coût de maintenance.

5.3.2.1.2 Les règles d'inférence floue

Pour ce système on a deux entrées, deux variables linguistiques. Nous avons obtenu quatre règles d'inférences ($2^2 = 4$). Le tableau 5-4 représente toutes les règles et les cas possibles.

Tableau 5- 4: Les RIF de modèle de Mamdani

Conjonction ET		Résultats
E1	E2	
Faible	Faible	Acceptable
Faible	Fort	Acceptable
Fort	Faible	Acceptable
Fort	Fort	Non acceptable

5.3.2.2 La création du modèle sur Matlab

Pour créer ce modèle sur Matlab on doit suivre les quatre étapes qui sont expliquées dans le chapitre 02.

5.3.2.2.1 La fuzzification

Comme on a vu précédemment dans le quatrième chapitre, on va utiliser la toolbox « fuzzy », dans cette première étape on va ajouter les deux entrées de notre modèle le coût et le TTR ainsi que la sortie de ce modèle sans oublier la définition de la fonction d'appartenance (chapitre 02) pour chaque entrée, dans notre cas on va choisir la fonction trapézoïdale.

✓ Définition des entrées

On va définir les deux entrées de notre modèle sur Matlab. Après l'écriture de fuzzy dans « command window » de Matlab une fenêtre s'affiche dans laquelle on choisit les deux entrées et leurs intervalles comme illustré dans la figure 5-11.

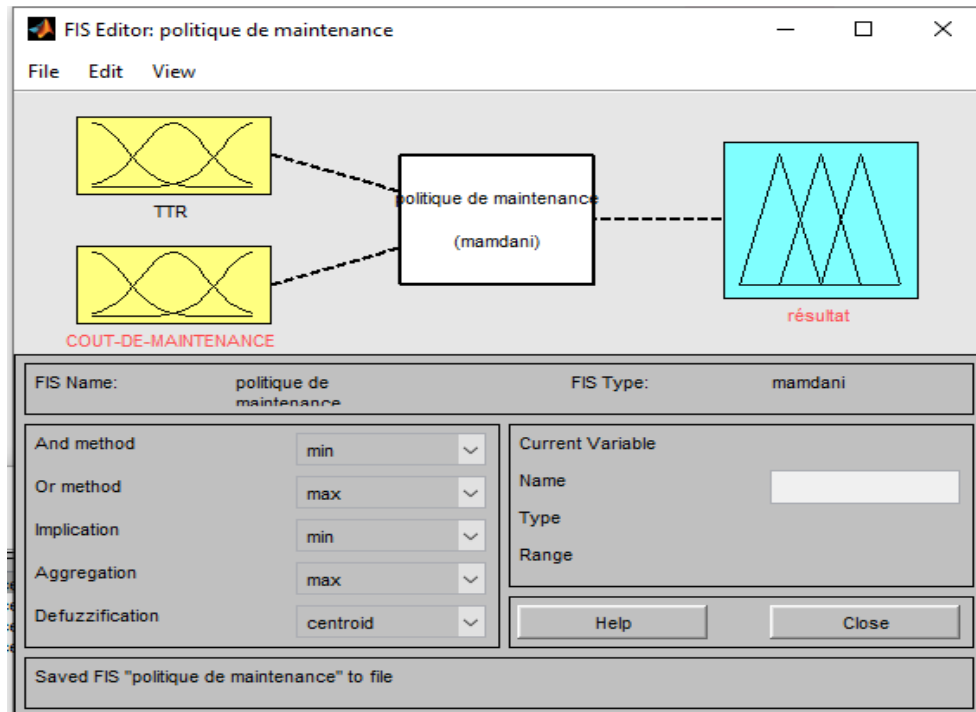


Figure 5- 11: Les inputs de système

✓ Les variables linguistiques

Dans cette étape il faut définir pour chaque entrée ses variables linguistiques et définir la fonction trapézoïdale comme fonction d'appartenance. Les figures suivantes illustrent les VL pour chaque entrée.

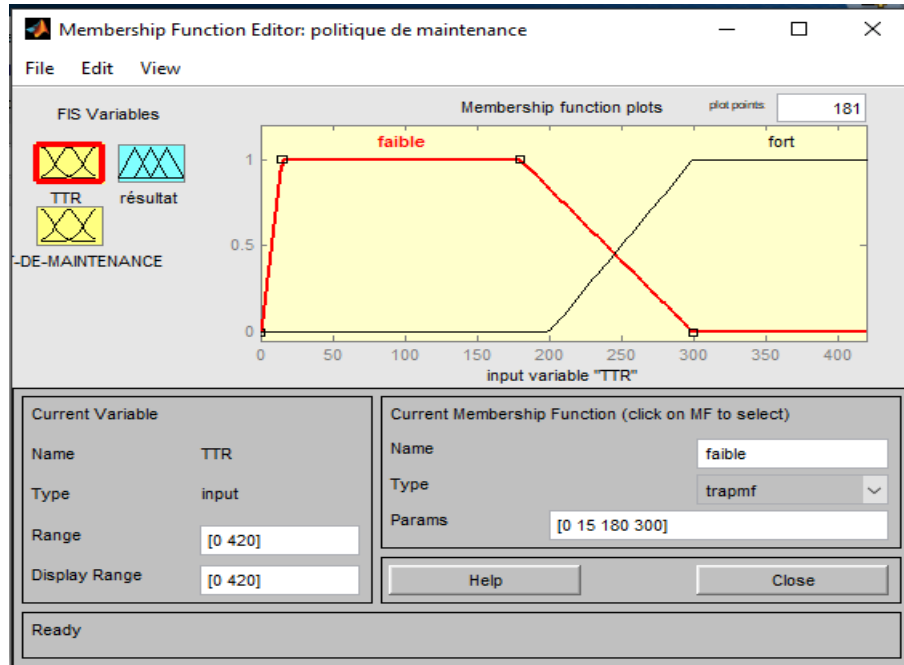


Figure 5- 12: les VL de l'entrée TTR

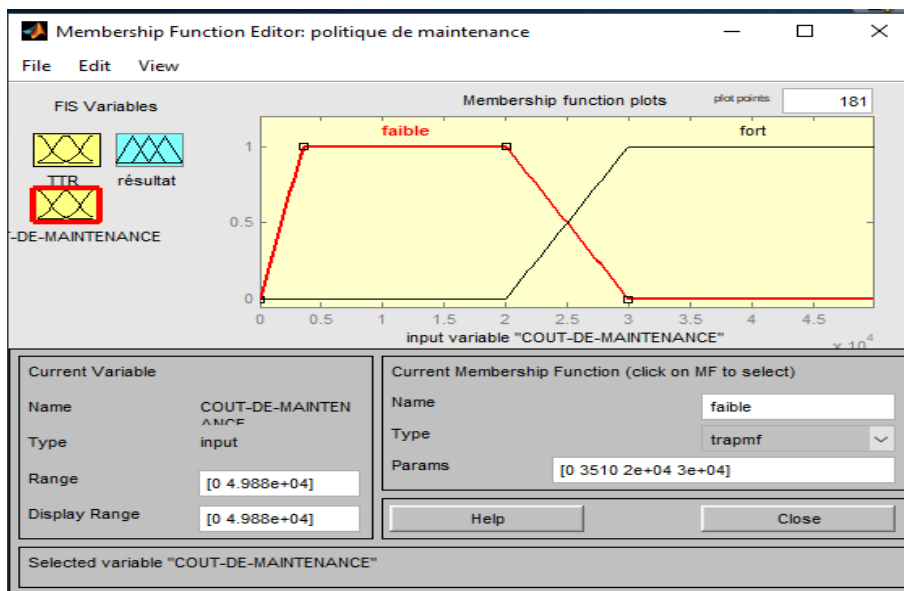


Figure 5- 13: les VL de l'entrée coût

✓ La sortie du modèle

Dans cette partie on a deux VL la première est l'acceptation de ces coûts et la deuxième est la non-acceptation par rapport au budget prévisionnel. D'après l'entreprise SNVI leur budget prévisionnel de cette année est 1632000 DA. La figure 5-14 montre la sortie de modèle.

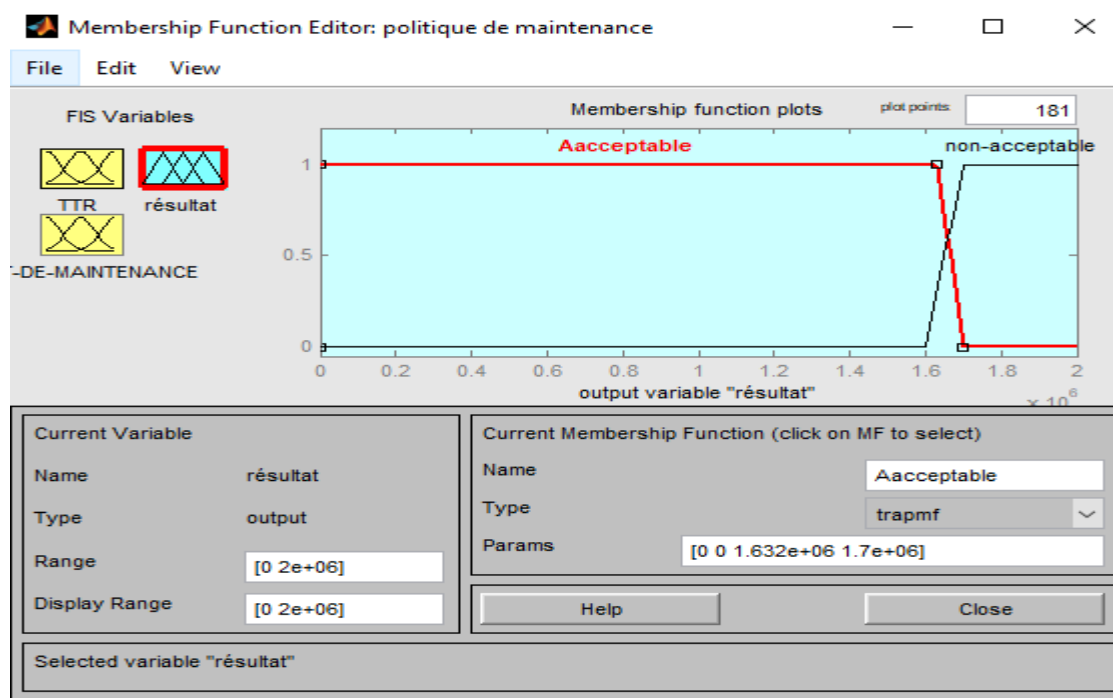


Figure 5- 14: La sortie de modèle

5.3.2.2.2 Les règles d'inférence floue

Pour ajouter les règles sur Matlab il faut cliquer sur édit après sur rules et ajouter les quatre règles qui sont représenté dans le tableau 5-4. La figure 5-15 représente les règles du ce modèle.

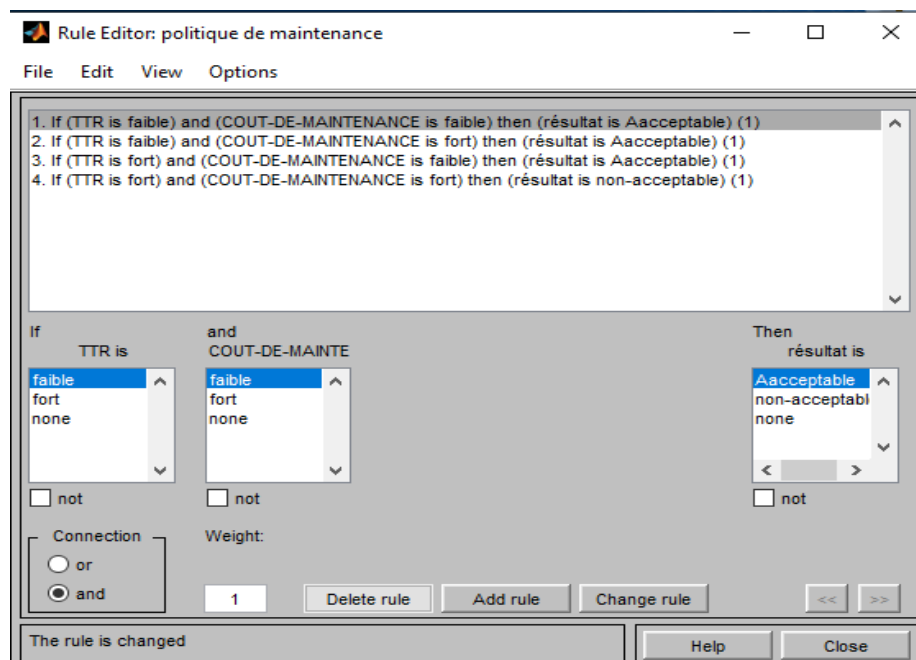


Figure 5- 15: Les règles de modèle

Les résultats de notre modèle flou peuvent être affichés comme illustré par la figure 5-16 en utilisant la commande view Rules dans editor FIS.

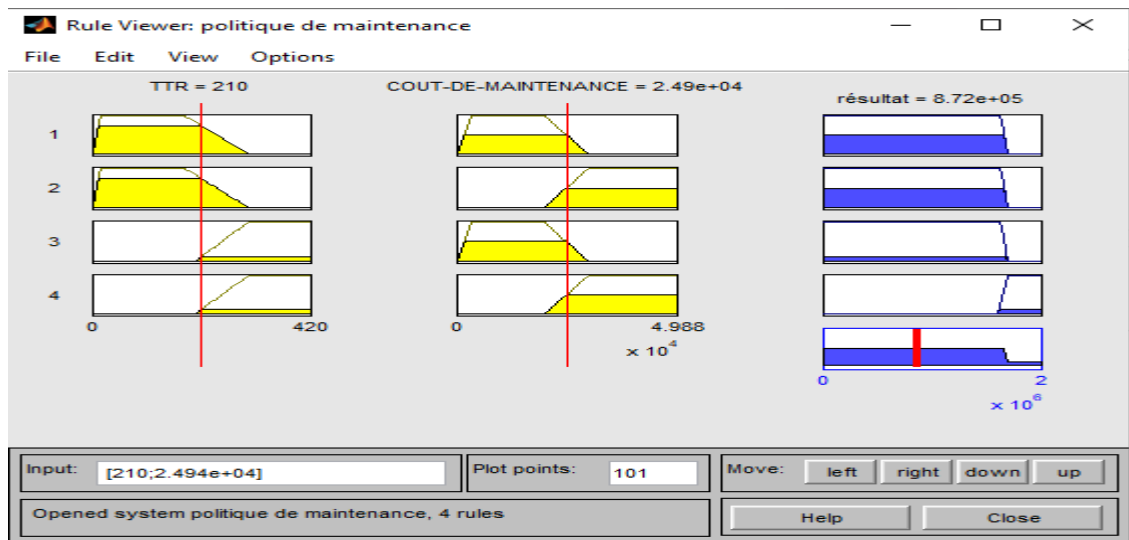


Figure 5-16: Les RIF et sortie de modèle floue

5.3.2.2.3 La défuzzification

Les figures 5-17 et 5-18 affichent les courbes de défuzzification pour chacun pour les entrées. Ces courbes donnent la représentation graphique de la sortie en fonction de chaque entrée.

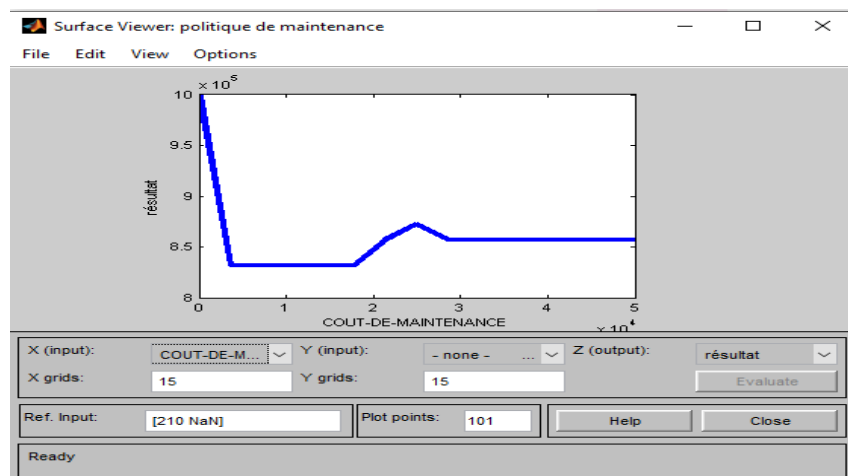


Figure 5-17: La courbe des coûts de maintenance

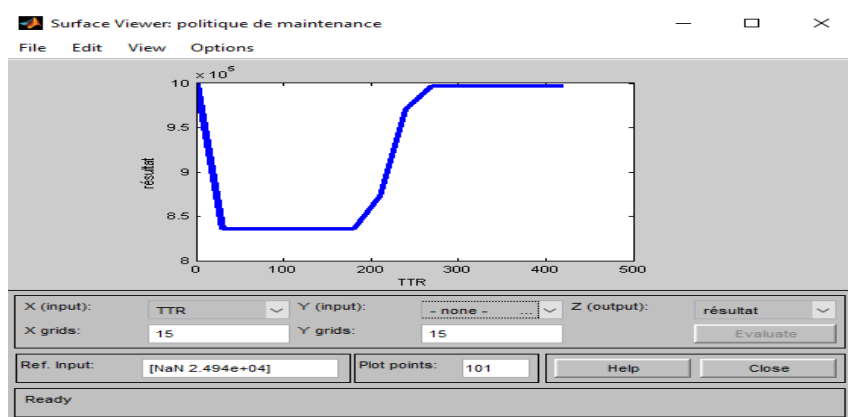


Figure 5-18: La courbe de TTR

5.3.3 Modèle de Takagi-Sugeno

5.3.3.1 Définition du modèle

Le modèle flou de Takagi-Sugeno est décrit par un ensemble de règles floues SI-ALORS, représentant des relations locales d'entrées/sorties linéaires selon différents points de fonctionnement d'un système [40].

La particularité d'un modèle flou de T-S est que la logique floue est seulement utilisée dans la partie prémisse des règles. La partie conclusion utilise des variables numériques et non pas des variables linguistiques et elle s'exprime sous la forme d'une constante ou de manière générale d'une fonction ou d'une équation différentielle dépendant des variables d'entrées.

Dans ce modèle on suivra les mêmes étapes de modèle de Mamdani qui sont détaillé avant, La seule différence entre ce modèle et le modèle de Mamdani est dans la fuzzification à l'étape de la sortie, la sortie du modèle de Takagi-Sugeno est la moyenne pondérée des coûts pour chaque panne, ces moyennes sont représenté dans le tableau 5-5.

Tableau 5- 5: Les moyennes pondérées pour chaque panne

La panne	La moyenne pondérée
1	3979
2	22531
3	23839
4	22461
5	8959
6	5451
7	16821
8	18181
9	71199
10	22531

5.3.3.2 La création du modèle Takagi-Sugeno sur Matlab

Dans le but de créer un modèle de Takagi-Sugeno, on va utiliser « fuzzy toolbox » après choisi le modèle de Takagi-Sugeno et suivre les mêmes étapes de modèle Mamdani.

5.3.3.2.1 La fuzzification

Dans cette partie on va insérer les entrées de ce modèle qui sont le TTR et les coûts de maintenance aussi la sortie du modèle, qui est la moyenne pondérée en plus de la fonction d'appartenance, où on va toujours garder la fonction trapézoïdale parce qu'elle est la plus simple et aide dans la réalisation de ce modèle.

✓ Définition des entrées et les variables linguistiques

Les entrées et les variables linguistiques du modèle de Takagi-Sugeno restent les mêmes comme le modèle Mamdani qui sont le TTR et coût de maintenance de chaque panne. Ces

entrées en plus des variables linguistiques sont représentées dans les figures 5-11, 5-12 et 5-13 dans la partie du modèle de Mamdani.

✓ La sortie du modèle

La sortie de ce modèle est la moyenne pondérée des coûts de maintenance qui sont représenté dans le tableau 5-5, la sortie de notre modèle est illustrer dans la figure 5-19.

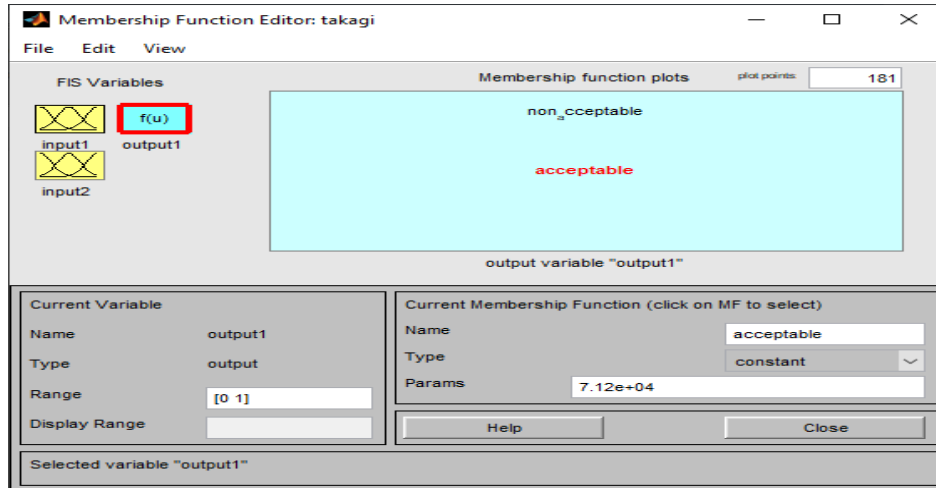


Figure 5- 19: La sortie du modèle

5.3.3.2 Les règles d'inférence floue

Dans cette partie on va ajouter les quatre règles de notre modèle. Pour les ajouter on choisit edit après rules et les modifier comme il est représenté dans la figure 5-20.

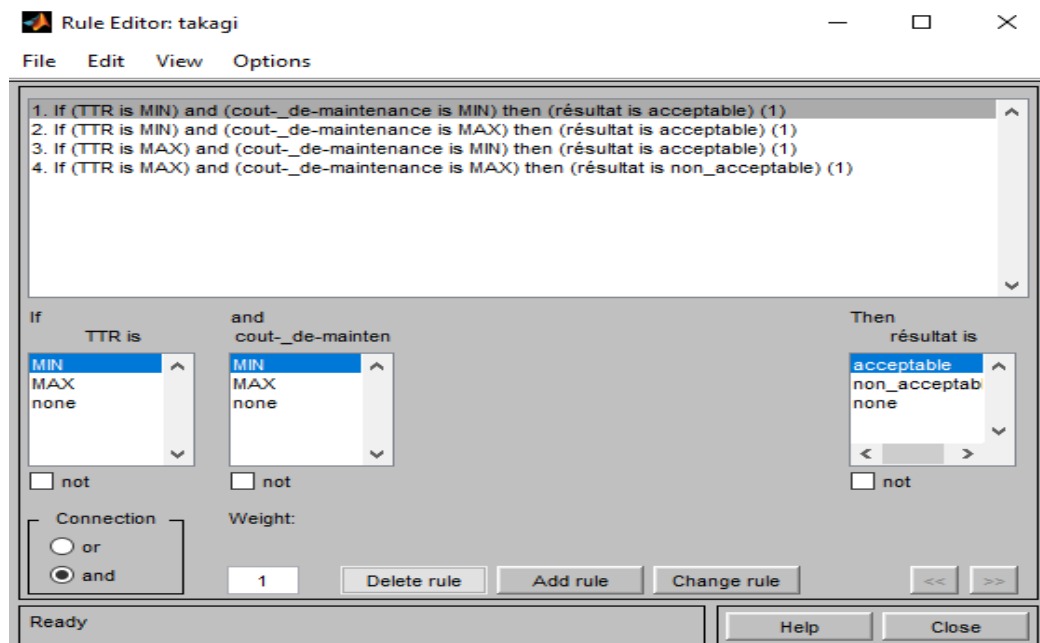


Figure 5- 20: Les RIF de modèle takagi sugeno

Si on veut voir la représentation de ces règles on choisit view ensuite rules et donc la fenêtre qui représente l'ensemble des règles de ce modèle s'affiche cette fenêtre dans la figure 5-21 :

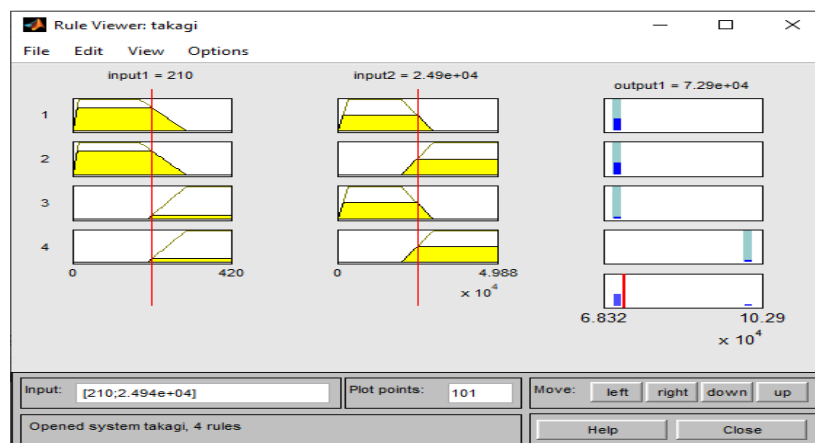


Figure 5- 21: La représentation des RIF

5.3.3.2.3 La défuzzification

Pour faire la défuzzification et voir les différentes courbes on doit choisir view dans l'editor et choisir la surface. Les courbes de résultat en fonction des entrées de ce modèle sont illustrées dans ces figures 5-22 et 5-23.

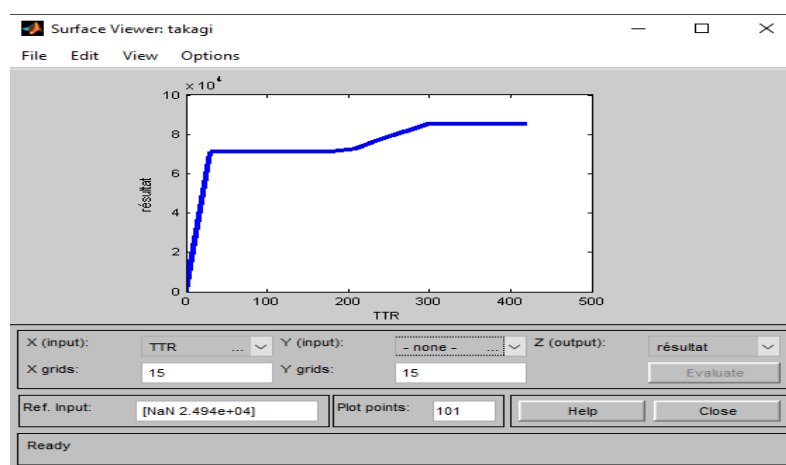


Figure 5- 22: La courbe de TTR

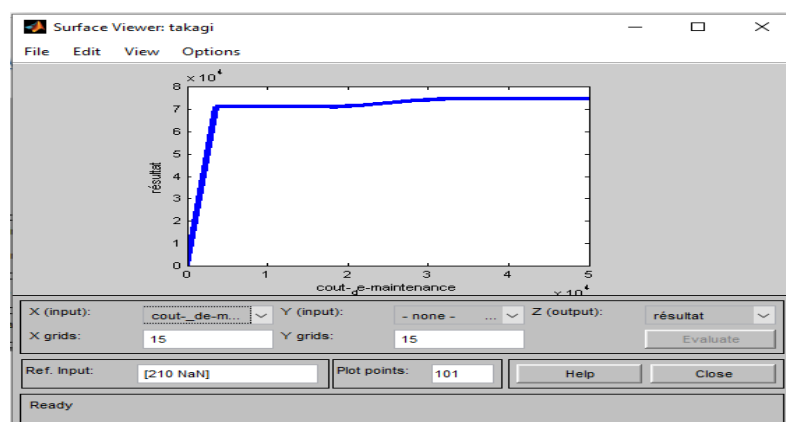


Figure 5- 23: La courbe de coût de maintenance

5.4 Résultats et discussions

Dans le but d'hybrider la méthode abaque de Noiret et l'utilisation des méthodes de l'intelligence artificielle plus précisément les neuro-flous, on a créé plusieurs modèles du système hybride afin de prendre le bon choix pour la politique de la maintenance.

Commençons par le modèle « ANFIS », D'après les simulations précédentes, la fonction triangulaire nous donne des résultats où l'erreur est minimale, elle est la meilleure fonction par rapport aux autres fonctions. Le modèle ANFIS nous a aidés à donner des résultats de prévision proche des valeurs réelles à l'aide des historiques de pannes pour l'année 2021.

Pour le modèle de Mamdani on a inséré les entrées avec une seule sortie, si cette sortie est supérieure à ce budget prévisionnel (non acceptable). Donc on n'a pas choisi la bonne politique de la maintenance et il faut refaire l'analyse car ces résultats sont non acceptables. Si ce n'était pas le cas et les résultats ont été acceptables donc on aurait choisi la bonne politique de maintenance et donc on pourrait continuer à travailler avec cette dernière.

Finalement pour le modèle de Takagi-Sugeno on a le même principe du modèle précédent mais la sortie de ce modèle nous donne des informations sur les moyennes pondérées des coûts et donc on peut aussi comparer ces résultats avec le budget prévisionnel car s'il ne dépasse pas le budget, on a un bon choix de la politique de maintenance. Sinon on doit vérifier la gestion du département maintenance et faire une analyse afin de résoudre ce problème.

5.5 Interprétation générale

Dans ce chapitre on a utilisé les trois modèles de système hybride des neuro-flous pour la prise de décision concernant la politique de maintenance donc on a exploité ces algorithmes pour savoir et classer selon le budget prévisionnel est ce que on le dépasse ou pas. Le but de l'utilisation du neuro-flou est de connaître si la politique de la maintenance d'une année (2021) est adéquate ou non en suivant la chronologie des pannes.

Commençant par le modèle ANFIS, ce modèle ne nous donne pas des résultats fiables pour notre problématique car il ne nous donne pas un seuil concernant le budget prévisionnel qui est le but de notre travail donc on ne sait pas si on dépasse ce budget ou pas de façon générale la surveillance avec ANFIS est impossible. Le seul cas pour savoir si les coûts dépassés le budget prévisionnel est d'attendre jusqu'à la fin d'année pour comparer ces deux paramètres. Par contre nous avons trouvé que le modèle ANFIS est excellent pour faire la prévision de l'année prochaine. Concernant les deux autres modèles qui nous aide mieux qu'ANFIS car ils sont des modèles itératifs et nous donnent des résultats pour la politique de la maintenance après chaque panne à l'aide à les règles linguistiques.

5.6 Conclusion

Ce chapitre est une continuation du travail effectué dans les deux chapitres précédents, après l'application de la méthode abaque de Noiret dans les entreprises on a essayé d'améliorer le choix de la politique de maintenance à travers l'application des modèles de neuro-flous. Pour cela on a utilisé les trois modèles du système neuro-flou hybride pour assurer le bon choix de la politique de la maintenance tout au long d'une année, et ce en prenant en considération les TTR et les couts de défaillance de chaque panne.

Conclusion générale

L'objectif principal visé dans ce mémoire est l'amélioration de la prise de décision pour la politique de la maintenance avec l'utilisation de la méthode abaque de Noiret à l'aide de quelques outils de l'intelligence artificielle.

Le travail mené au cours de ce mémoire nous a permis d'élaborer des modèles pour améliorer l'efficacité de la méthode d'abaque de Noiret et donc éviter la zone de l'incertitude qui est l'un des fléaux lors la prise de décision. Ce mémoire est divisé sur deux parties, les deux premiers chapitres sont des recherches bibliographiques, et un rappel sur les définitions et caractéristiques de base nécessaires dans notre travail. Alors que la deuxième partie est l'application de ces connaissances, dans cette partie on a créé des modèles à l'aide des outils de l'intelligence artificielle qui sont la logique floue et les neurofloue, afin de résoudre notre problématique qui concerne la prise de décision de la politique la maintenance.

Le premier chapitre définit les notions de base dans le domaine de la maintenance industrielle, à travers des normes on a défini les notions essentielles et nécessaires et on a su ce qu'est la maintenance et la politique de la maintenance. Ensuite le deuxième chapitre est un rappel sur les différents outils de l'intelligence artificielle que nous ont utilisé dans notre travail qui sont la logique floue et les neuro-flous ainsi que leurs avantages et les domaines d'application.

Dans la deuxième partie de ce travail où on a commencé par l'application de la méthode abaque de Noiret sur deux différents types d'équipement qui sont le tour SPRINT 65 et le broyeur SH 2213. Dans cette partie on a appliqué sur ces deux équipements les neuf critères de la méthode afin de pouvoir d'utiliser la méthode graphique ou analytique et prendre la décision.

Après cette application on a remarqué que cette méthode de prise de décision n'est pas suffisante et fiable pour tous les cas, parce qu'on tombe parfois dans la zone d'incertitude et donc on n'aura pas de décision claire pour la politique de maintenance et on a confirmé ça avec un programme sur python. A travers cette application on a pu trouver les lacunes de cette et les énumérer donc ce qui nous a amené à proposer une hybridation de l'abaque de Noiret avec des méthodes de l'IA.

Dans le but de la résolution de ce problème, on a appliqué le premier outil de l'intelligence artificielle qui est la logique floue. On a utilisé la logique floue pour créer un modèle flou de la méthode. Pour cela on a utilisé Matlab et insérer les entrées et créer les règles d'inférence pour avoir une sortie relative à la politique de maintenance mais avant l'utilisation de cet outil, on a fait des modifications sur la méthode abaque de Noiret comme d'ajouter des critères. Donc la logique floue a amélioré la méthode de l'abaque de Noiret pour la prise de décision car avec cette amélioration et le choix de nouveaux critères (les couts de maintenance, lieu et sous-traitance) donc Onze au lieu de neuf, la possibilité d'être dans la zone d'incertitude est minimisée.

Finalement pour renforcer cette étude on a utilisé un autre outil de l'intelligence artificielle qui est les neuro-flous plus précisément on a utilisé les trois algorithmes des systèmes hybride qui sont le modèle d'ANFIS, modèle de Mamdani et le modèle de Takagi-Sugeno dans le but de choisir le meilleur modèle qui s'adapte avec la prise d'une décision concernant la

continuation ou le changement de la politique de la maintenance actuel. Dans ce concept on a créé dans Matlab les trois modèles, chaque modèle nous a donné des résultats qui peuvent nous aider dans le choix de la politique de la maintenance selon le budget prévisionnel de l'entreprise. Donc finalement l'apport de cette dernière contribution est de faire le suivi tout au long de l'année pour décider de garder ou non la même politique de maintenance.

Plusieurs perspectives pourraient compléter ce travail, tel que l'implémentation en entreprise, des solutions proposées pour les deux problématiques de ce Projet de fin d'étude.

Annexe A : Les organismes de normalisation

Un organisme de normalisation est un organisme dont les activités premières sont l'établissement puis le maintien de normes destinées à des utilisateurs extérieurs à cette organisation. Leurs activités peuvent inclure le développement, la coordination, la promulgation, la révision, la modification, la réédition ou l'interprétation de telles normes. Pour les désigner, on utilise parfois le sigle anglais SDO pour Standard Development Organisation. On trouve l'AFNOR en France, le CEN en Europe, l'ISO sur le plan international.

1. ISO

ISO (International Organization for Standardization) ou organisation Internationale de Normalisation : C'est la principale organisation internationale de normalisation, reconnue par l'ONU.



Créée en 1957, l'ISO est une organisation non gouvernementale qui regroupe des représentants d'organismes nationaux de normalisation de 163 pays.

De 1947 à nos jours, l'ISO a publié plus de 19 000 Normes internationales dans de multiples domaines, allant des normes pour l'agriculture et le bâtiment aux développements les plus récents dans les technologies de l'information, en passant par la mécanique et les dispositifs médicaux.

Exemples de normes :

- ISO 26000 (2010) : Lignes directrices relatives à la responsabilité sociétale.
- ISO 31000 (2009) : Management du risque - Principes et lignes directrices.
- ISO 14001 (2004) : Systèmes de management environnemental - Exigences et lignes directrices pour son utilisation.
- ISO 9001 norme relative à l'assurance qualité ...

2. AFNOR

AFNOR signifie Association Française de Normalisation, créée en 1929, l'association française de normalisation est l'organisation officielle en charge des normes en France. Depuis 2004 et sa fusion avec l'Agence française pour l'amélioration et le management de la qualité (AFAQ), elle est rattachée au groupe AFNOR qui agit dans les domaines de la normalisation, la certification, l'édition spécialisée et la formation.



L'AFNOR est composé de près de 2 500 entreprises adhérentes. Sa mission est d'animer et de coordonner le processus d'élaboration des normes et de promouvoir leur application.

Reconnue par les pouvoirs publics - qui ont confié au Ministère chargé de l'industrie un rôle de coordination interministérielle et de contrôle - AFNOR est le noyau central du système français de normalisation. Rassemblant autour d'elle tous les grands acteurs socio-économiques, elle est à l'écoute de leurs besoins et collabore étroitement avec les 25 bureaux de normalisation et autres instances professionnelles. Elle développe une collection de normes répondant à leurs objectifs stratégiques.

AFNOR a individualisé au sein de filiales ses activités commerciales et concurrentielles avec la création d'AFNOR Certification et d'AFNOR Compétences dans le domaine de la formation.

3. Comité européen de normalisation

Le CEN ou Comité européen de normalisation (en anglais European Committee for Standardization ; en allemand Europäisches Komitee für Normung), dont le siège se situe à Bruxelles, fut créé en 1961 afin d'harmoniser les normes élaborées en Europe. Tous ses membres nationaux qu'ils soient membres de plein droit, affiliés ou organismes de normalisation partenaires, ils sont également membres de l'Organisation internationale de normalisation (ISO).



Le CEN fut fondé à l'origine par les organismes nationaux de normalisation de la France, de l'Allemagne et des pays du Benelux. Il s'est depuis élargi, et ses membres de plein droit sont actuellement les organismes nationaux de normalisation des 28 États membres de l'Union européenne (UE) et des trois pays de l'Association européenne de libre-échange (AELE) qui disposent d'un tel organisme (nommément la Suisse, la Norvège et l'Islande). Dans le cadre de leur procédure d'adhésion à l'Union européenne et de la reprise de l'acquis communautaire, les organismes de normalisation turque et macédonienne sont devenus membre du CEN respectivement en janvier et juillet 2012, portant le nombre total de membres de plein droit à 33.

Le CEN contribue aux objectifs fixés par l'UE et les pays de l'AELE en élaborant des normes techniques volontaires appelées normes européennes. Normes EN ou Eurocorps en faveur des échanges internationaux et de la concurrence, de la sécurité des travailleurs et consommateurs, de l'interopérabilité des réseaux (poste, chemins de fer, réseaux routiers, transport de l'énergie, de l'eau et des autres ressources, etc.), de la protection de l'environnement, de la recherche et des programmes de développement, et des conditions d'accès aux marchés et aux financements publics.

Un grand nombre de normes européennes dites « harmonisées » permettent également aux acteurs du marché d'appliquer la législation européennes [pas clair] à laquelle sont subordonnés leurs produits ou services (voir Les normes européennes).

Annexe B : La politique de la maintenance

I. Discussion sur l'évolution de la définition normative de la maintenance

Une première définition normative de la maintenance est donnée par l'AFNOR en 1994 (norme NFX 60-010), à savoir « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

Depuis 2001, elle a été remplacée par une nouvelle définition, désormais européenne (NF EN 13306 X 60-319).

On trouve quelques normes relatives à la maintenance [01] :

- Maintenance industrielle (afnor 1996) : Tome 1 : méthode et outils-qualité et efficacité des organisations.
- NF EN 60300 – 2 (juillet 2004) : Gestion de la sureté de fonctionnement. Partie2.
- NF EN 60300 – 3 – 1 (aout 2005) : Gestion de la sureté de fonctionnement partie 3-1.
- NF EN 15341 (juin 2007) : Maintenance-indicateur de performances clés pour la maintenance- Homologuée (version française et anglais)
- NF X50 – 501 (septembre 2007) : Maintenance – Etats de référence des biens : vocabulaire des activités de rénovation et de reconstruction – Homologuée.
- NF EN 31010 (juillet 2010) : Gestion des risques - Technique des risques – homologuée.
- NF X60 – 027 (aout 2013) : Processus de maintenance et indicateurs associés. Annulée. Remplacée par NF EN 17007 (octobre 2017).
- NF EN 15628 (octobre 2014) : Qualification du personnel de maintenance – norme homologuée.
- NF EN 60300 – 1 (novembre 2014) : Gestion de la sureté de fonctionnement – partie 1 : gestion du programme de sureté de fonctionnement – homologuée (version française et anglaise).
- NF EN 16646 (février 2015) : Maintenance
- NF X60 – 000 (avril 2016) : Maintenance industrielle – fonction maintenance – fascicule de documentation
- NF EN 17007 (octobre 2017) : Processus maintenance et indicateurs associés.
- NF EN 13306 (janvier 2018) : Maintenance – Terminologie de la maintenance- Homologuée (version française, allemande et anglais)

II. Les types de maintenance

Pour chaque cas ou situation, le département de maintenance applique un parmi les types de la maintenance sur la machine pour régler ses problèmes et il sera capable accomplir sa fonction requise.

Il existe trois types de maintenance corrective, préventive et prévisionnelle [02] :

1. Maintenance corrective

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, elle est subdivisée en :

a) Maintenance palliative

Action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelée couramment « dépannage », la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui doivent être suivies d'actions curatives.

b) Maintenance curative

Action de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié pour lui permette d'accomplir une fonction requise. Le résultat des actions réalisées doit présenter un caractère permanent.

2. Maintenance préventive

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique) et/ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

a) Maintenance préventive systématique

Les remplacements des pièces et des fluides ont lieu quel que soit leur état de dégradation, et de façon périodique.

b) Maintenance préventive conditionnelle

Les remplacements ou les remises en état des pièces, les remplacements ou les appoints en fluides ont lieu après une analyse de leur état de dégradation.

Une décision volontaire est alors prise d'effectuer les remplacements ou les remise en état nécessaires,

3. Maintenance prévisionnelle

La maintenance prévisionnelle aussi appelée « la maintenance prédictive » est, selon la norme NF EN 13306 X 60-319, une « maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ».

Son principe est le suivant : tout élément manifeste des signes, visibles ou non, de dégradation qui en annonce la défaillance. Le tout est de savoir reconnaître ces signes précurseurs. Des appareils permettent de mesurer cette dégradation, laquelle peut être une variation de température, de vibration, de pression, de dimension, de position, de bruit, etc. Ces dégradations peuvent donc être d'ordre physique, chimique, comportemental, électrique ou autre. [41]

La différence entre la maintenance préventive et la maintenance prédictive est que cette dernière facilite le suivi de l'entretien des outils de production, mais est complexe à mettre en place. La maintenance préventive répond à la logique inverse : plus simple à mettre en place, mais moins pertinente. [42]

Annexe C : La logique floue et les neuro-flous

1. Les fonctions d'appartenance dans la logique floue

Les fonctions d'appartenance sont nombreuses, parmi ces fonctions [43], [44] :

❖ Triangulaire

$$\mu_A(u) = \begin{cases} \frac{u_1 - u}{u_1 - u_0} & \text{Si } u \in [u_1, u_0] \\ \frac{u - u_2}{u_0 - u_2} & \text{Si } u \in [u_0, u_2] \end{cases} \quad (\text{C-1})$$

La figure C-1 montre la fonction d'appartenance triangulaire :

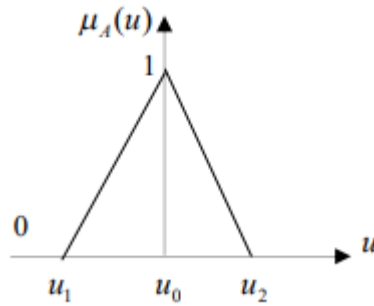


Figure C- 1: La fonction d'appartenance triangulaire

❖ Trapèze

$$\mu_A(u) = \begin{cases} \frac{u - u_1}{u_2 - u_1} & \text{Si } u \in [u_1, u_2] \\ 1 & \text{Si } u \in [u_2, u_3] \\ \frac{u - u_4}{u_3 - u_4} & \text{Si } u \in [u_3, u_4] \end{cases} \quad (\text{C-2})$$

Et la figure C-2 montre la fonction d'appartenance trapézoïdale :

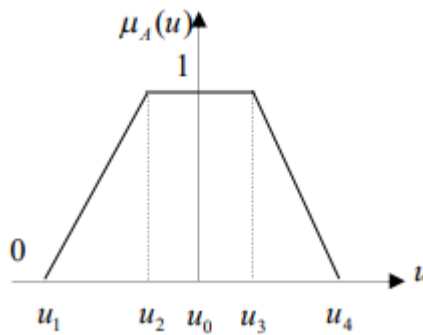


Figure C- 2: La fonction d'appartenance trapézoïdale

❖ **Gaussienne**

La fonction gaussienne définie comme :

$$\mu_A(x) = \exp\left(-\left(\frac{x-a}{\theta}\right)^2\right) \quad (C-3)$$

❖ **Singleton**

Pour la fonction singleton est défini par l'équation et la figure C-3 :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x = a \\ 0 & \text{Si } x \neq a \end{cases} \quad (C-4)$$

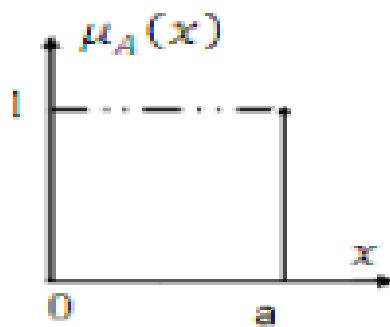


Figure C-3: La fonction singleton

2. Les systèmes neuro-flous

Il existe trois types des systèmes :

a) Systèmes neuro-flous coopératifs

L'un des deux systèmes, flou ou neuronal, intervient une seule fois pour effectuer une tâche spécifique. Les résultats obtenus du premier sont injectés et utilisés par le second système [33].

La figure C-4 représente un système de neuro-flou coopératif, elle représente la combinaison entre La logique floue et RNA.

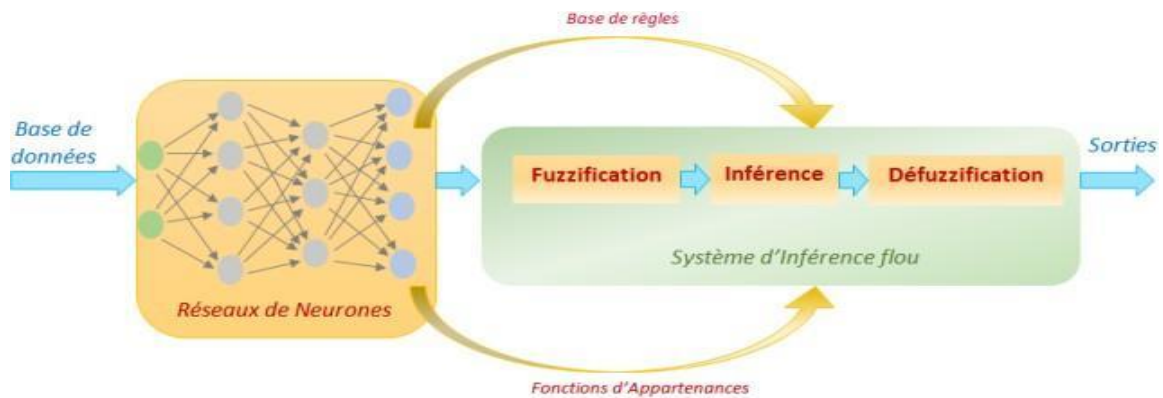


Figure C-4: Système neuro-flou coopératif [31]

Systèmes neuro-flous coopératifs utilise des réseaux de neurones et des systèmes flous associés en série ou en parallèle. Plusieurs variantes d'utilisation sont ainsi possibles : Le réseau de neurones fonctionne en amont du système flou. Les variantes d'entrées du système flou sont déterminées à partir des sorties du réseau de neurones (dans le cas où elles ne sont pas mesurables directement) ou encore un réseau de neurones effectue une tâche de classification ou de reconnaissance de formes, suivie d'un système flou d'aide à la décision. Un réseau de neurones qui fonction aval du système flou, dans le but d'ajuster les sorties d'un système de commande floue à de nouvelles connaissances obtenues, les variables de sorties étant les erreurs sur les variables de sortie du système flou [32].

Deuxièmement le système en série, qui serait utilisé si la sortie n'est convenable pour une relation directe à l'entrée du système flou. Les systèmes post-traitement existent aussi et dans lesquels la sortie d'un système flou n'est pas convenable par rapport direct aux systèmes externes (figure C-5), et par conséquent un réseau neurone fournit une interface qui exécute une projection topographique qui ne pourrait pas être porté facilement.

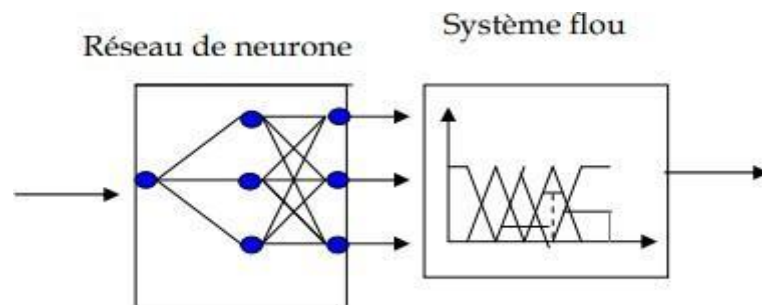


Figure C- 5: Système neuro-flou en série avec prétraitement neuronal [32]

On trouve aussi un système neuro-flou parallèle qui fait une coopération entre les réseaux de neurones et les systèmes flous en parallèle en même temps. Ce qui est illustré dans la figure C-6.

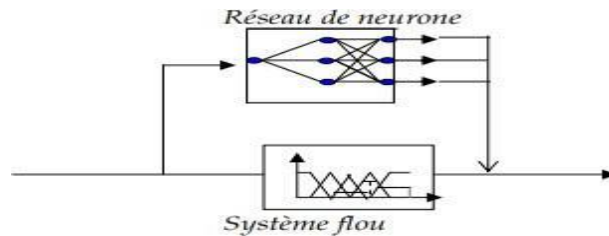


Figure C- 6: Système neuro-flou en parallèle [32]

Ces deux combinaisons des réseaux de neurones et de la logique floue sont des paradigmes qui ont besoin d'une plateforme mathématique très forte, et aussi ne peuvent être implémenté que d'une manière informatisée vu les gigantesques probabilités de calcul. Le modèle du système neuro-flou coopératif peut être considéré comme un préprocesseur avec des mécanismes d'apprentissage des RNA détermine les fonctions d'appartenance du système d'inférence floue ou les règles floues quand les paramètres de SIF (système d'inférence floue) sont déterminés [32].

b) Systèmes neuro-flous concurrents

L'un des deux systèmes, flou ou neuronal, intervient continuellement pour effectuer une tâche spécifique. Les résultats obtenus du premier sont injectés et utilisés par le second système [33].

La figure C-7 représente un système neuro-flou concurrent, la différence entre celle-ci et le premier est dans ce cas on utilise des données traitées plus un RNA avant l'utilisation d'une logique floue.

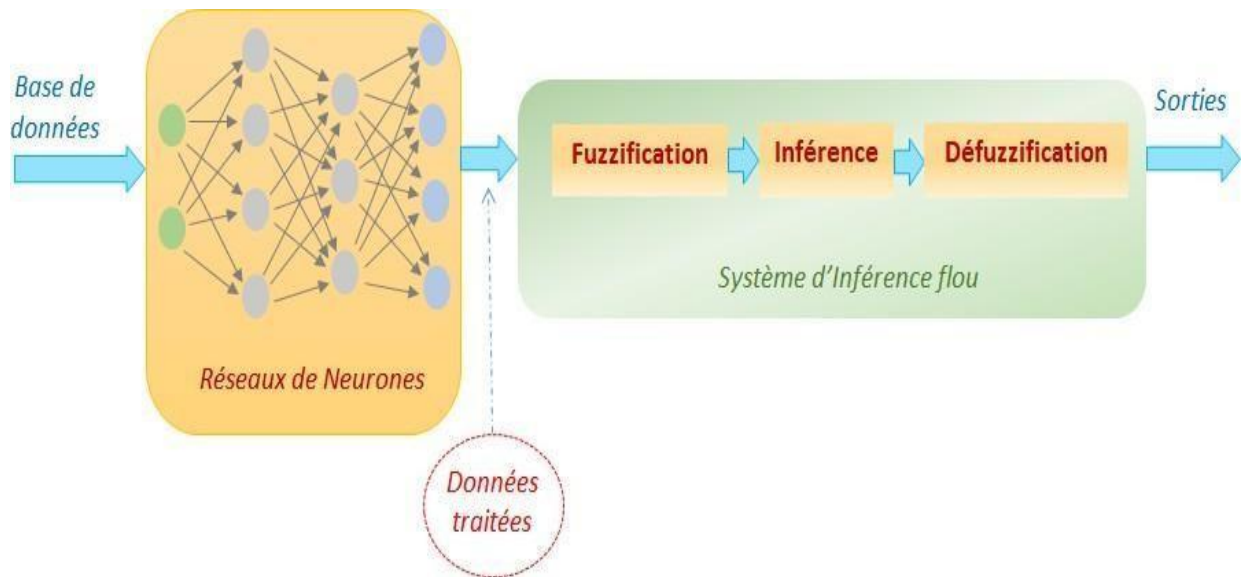


Figure C- 7: Système neuro-flou concurrent. [31]

En général, les réseaux de neurones se placent soit en amont pour le traitement des entrées, soit en aval pour la génération des sorties.

Il utilise des réseaux de neurones et des systèmes flous associés en série ou en parallèle. Plusieurs variantes d'utilisation sont ainsi possibles : Le réseau de neurones fonctionne en amont du système flou. Les variantes d'entrées du système flou sont déterminées à partir des sorties du réseau de neurones (dans le cas où elles ne sont pas mesurables directement) ou encore un réseau de neurones effectue une tâche de classification ou de reconnaissance de formes, suivie d'un système flou d'aide à la décision. Un réseau de neurones qui fonctionne en aval du système flou, dans le but d'ajuster les sorties d'un système de commande floue à de nouvelles connaissances obtenues, les variables de sorties étant les erreurs sur les variables de sortie du système flou [32].

c) Systèmes neuro-flous hybrides

Un système neuro-flou hybride est une combinaison homogène d'un réseau neuronal et un système d'inférence flou. Il peut être soit, un réseau neuronal mené des paramètres flous nommé réseau de neurones flou ; ou un système flou dont les paramètres sont ajustés par apprentissage grâce au réseau de neurone nommé système flou neuronal [32].

Annexe D : Les équipements

On a choisi deux équipements stratégiques pour l'application de la méthode abaque de Noiret :

- Tour SPRINT 65 de l'entreprise SNVI.
- Broyeur SH 2213 de l'entreprise EL BATOUL.

1. Le tour automatique SPRINT 65

Le tour automatique SPRINT 65 est un centre de tournage à contrôle numérique permettant d'usiner des barres de 65mm de diamètres maximums en pièces très complexe comme il est montré sur la figure D-1 :

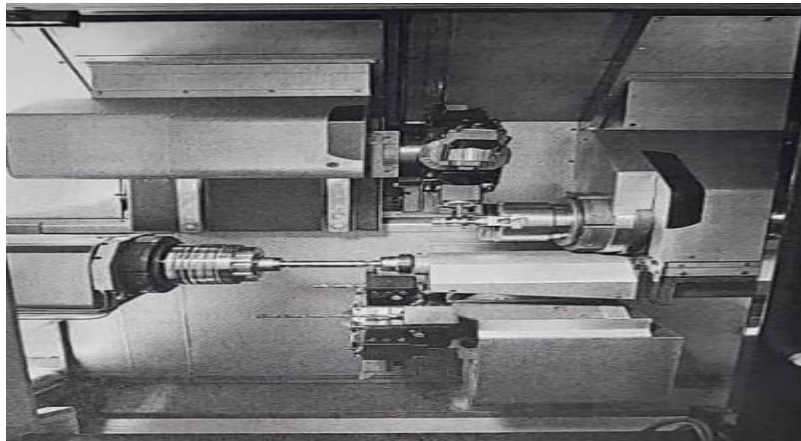


Figure D- 1: Le tour automatique SPRINT 65 [45]

Dans ce cas on prendre une machine avec deux tourelles, elle est montrée sur la figure D-2 avec les différents indices afficher sur le tableau D-1 :

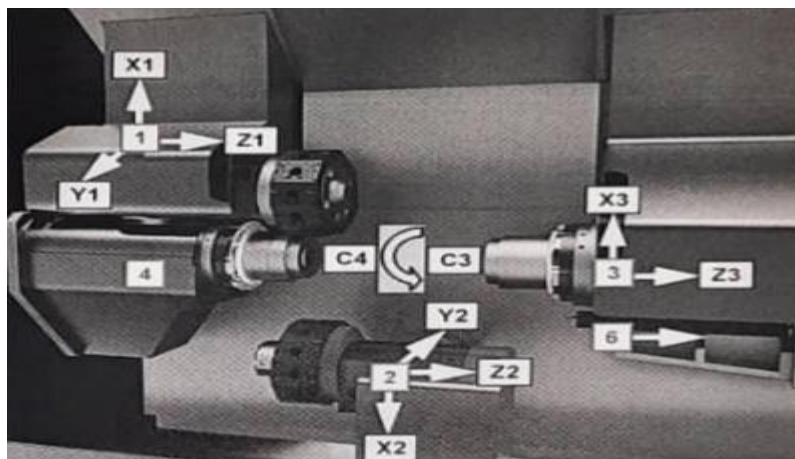


Figure D- 2: Le tour SPRINT 65 avec 2 tourelles. [45]

Tableau D- 1: Le tour SPRINT 65 avec 2 tourelles. [45]

Pos	Groupe	Axes
1	Tourelle 1	X1-Z1-Y1
2	Tourelle 2	X2-Z2- en option Y2
3	Contre broche	X3-Z3-C3
4	Broche principale	C4
5	Contre pointe	En option Z3

2. Le broyeur SH 2213

Le broyeur est une machine qui permet de réduire l'état des papiers en petits morceaux de taille de 5 mm (les résidus vont être éliminés par la suite par le passoir.) comme illustre la figure D-3.



Figure D- 3: Le broyeur SH 2213

Annexe E : La grille de décision

Pour utiliser la méthode graphique de l'abaque de Noiret, on doit utiliser cette grille de décision :

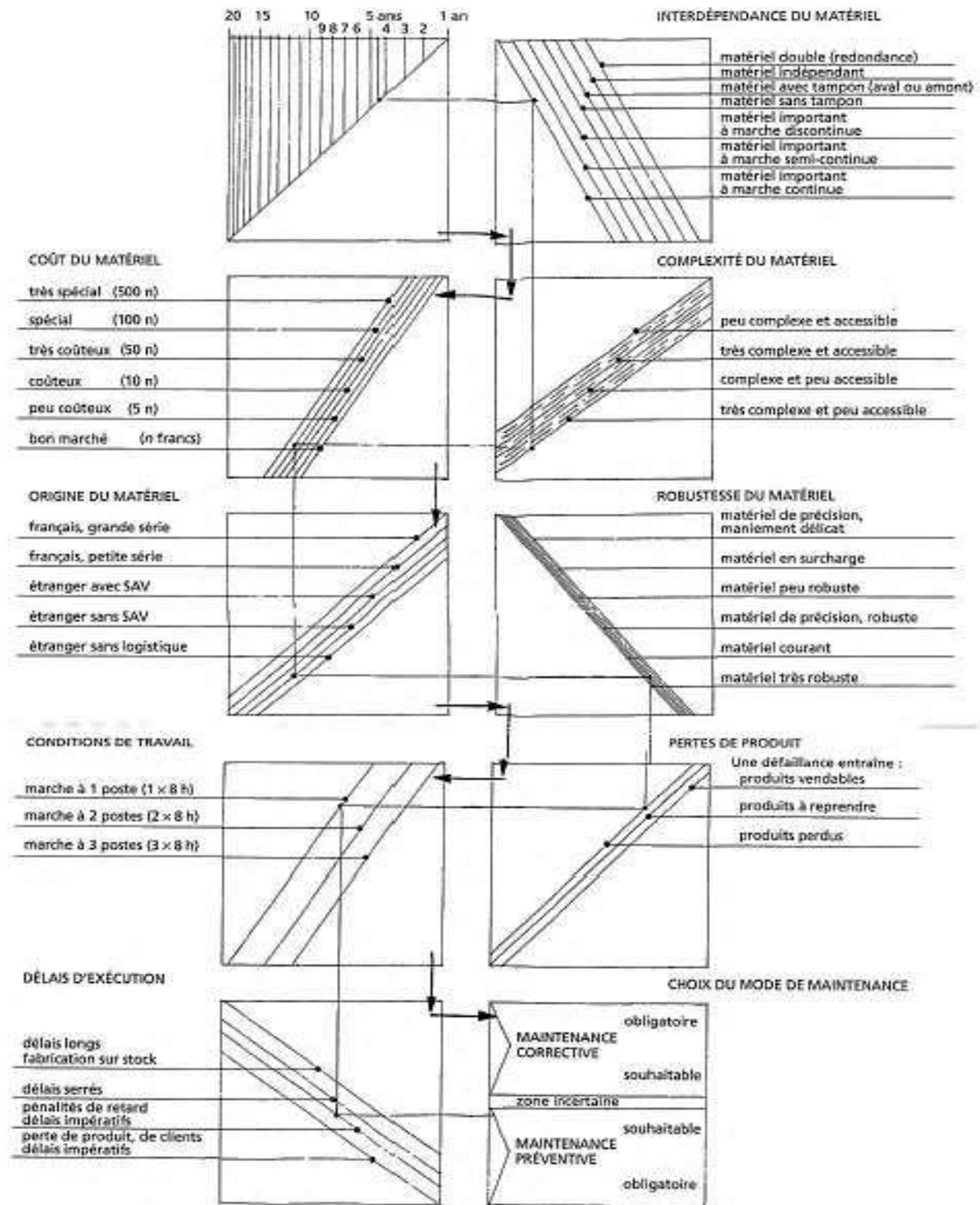


Figure E- 1: la grille de décision [46]

Bibliographie

- [01] : N.SALHI, « cours généralité sur la maintenance module de gestion et organisation de la maintenance ».
- [02] : F.CSTELLAZZI ; D.COIGNIEL ; Y.GANGLOFF, Livre « memotech maintenance industrielle », éditions1, CASTEILLA, 25 rue monge – 75005 PARIS.
- [03] : C.HOHMANN, «Qu'est-ce qu'une politique de maintenance», christian.hohmann.free.fr, sept. 2017.
- [04] : Mr Mahamadou ELH. ISSA, mémoire « Contribution à l'amélioration de la GMAO. (Gestion de la maintenance assistée par ordinateur) de la centrale thermique de la Sonichar au Niger », université cheikh anta diop de Dakar, Sénégal, 2003.
- [05] : N. SALHI, « Les différents types de maintenance et politiques de maintenance ». Module Organisation des Méthode de la Maintenance OMM, 2104-2013.
- [06] : DERRADJ Tahar, mémoire « Mise en œuvre d'une politique de maintenance préventive d'un système de production », université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2018.
- [07] : R.E. Barlow and L.C Hunter, Optimum preventive maintenance policies, Operation research 8 (1960).
- [08] : heu, W. S. Griffith, and T. Nakagawa, Extended optimal replacement model with random minimal repair costs, European Journal of Operational Research 85 (1995).
- [09] : V. Markis, X. Jiang, and K. Cheng, Optimal preventive replacement under minimal repair and random repair cost, Mathematics of operations research 25 (2000).
- [10] : M. B. Kong and K. S. Park, Optimal replacement of an item subject to cumulative damage under periodic inspections, Micro electron Reliability.
- [11] : Aperçu de la stratégie de maintenance, des normes de maintenance acceptables et des ressources du point de vue des opérations de maintenance du bâtiment.14 avril 2009.
- [12] : « Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? », NetApp, <https://www.netapp.com/fr/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence/>
- [13] : « L'intelligence artificielle : qu'est-ce que c'est », Futuratech, <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-intelligence-artificielle-555/>
- [14] : BENSABA Abdellatif et GUERBOUZ Abdeslam, mémoire « Commande d'un modèle de la grue industrielle 3D », Université de Ghardaïa, le 30/09/2020.
- [15] : Nicolas PALLUAT, « méthodologie de surveillance dynamique à l'aide des reseaux neuro-flous temporels », 12 janvier 2006, France.

- [16] : B.B. Meunie et comarsal « Logique floue : principe, aide à la décision » Edition Hermes science, lavopsier, 2003.
- [17] : M Madaoui, mémoire de Magister « commande floue et neuro-floue d'un convertisseur direct AC/AC monophasé à structure minimale, Application à l'alimentation d'une machine asynchrone monophasé », ENP Alger, février 2007.
- [18] : K.wang et H. Lee, « First Course on Fuzzy Theory and Applications», Springer, Berlin, 2005.
- [19] : A.Kaufmann, « Introduction à la théories des sous ensemble flous à l'usage des ingénieur » Tome 1 Edition Mascon, Paris, New york, Barcelone, Milon ,1977.
- [20]: Nakoula Y, Thèse de Doctorat « Apprentissage des Modèles linguistiques flous, par jeu de règles pondérées », Université de Savoie, France, juillet 1997.
- [21] : Ferhat Lahouazi, mémoire de magister en Automatique « mise en œuvre d'une stratégie de commande neuro floue », Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 16.03.2011.
- [22] : Gabriel Cormier, « Chapitre 11 : la logique floue », 13 GELE5313.
- [23] : Faucher J, Thèse de Doctorat « les plans d'expériences pour le réglage et commande à base logique floue», Institut national polytechnique de Toulouse.
- [24] : D. Dubis; H.Parade, « Fuzzy sets and systems, theory and applications »,Academic press 1980
- [25] : F. Dernoncourt, « La Logique Floue: entre raisonnement humain et intelligence artificielle », Paris, janv. 2011.
- [26] : Laamayad Tahar, mémoire « Commande Optimale d'une Machine Asynchrone Apport de La Logique Floue », Batna, 2008.
- [27] : B. Bouchon, meunier « La logique floue et ses applications » Edition Addison. Wesley, France, décembre 1994.
- [28] : H. Mohamed Assad, « Introduction à la commande par logique floue », actudactuaire.typepad.com, p. 18.
- [29] : F. HAROUCHE, mémoire « Application de logique floue aux machines tournantes », université de Ferhat Abbas, Sétif.
- [30] : Pierre GABRIEL, exposé « Introduction à la Logique Floue et à la Commande Floue », 2000-2001.
- [31] : BENKOUIDER Mounir et BRAHIMI Walid, mémoire de fin d'étude « classification des neuro-floue par l'identification des défaillances », Université de Blida, 21 septembre 2015.
- [32] : MAHADOUI Rafik, mémoire « diagnostic industriel par neuro-flou -application a un système de production », Université El-hadj Lakhdar –BATNA, 2005.

- [33] : N. Aouchar, C. Bekhaled, Thèse de fin d'études d'ingénieur d'état « Application des systèmes hybrides neuro-flous au diagnostic des huiles de transformateurs », Ecole National Polytechnique, Alger, 2005
- [34] : BENNAI Massissilia ; TATI Amina, mémoire « Localisation des stations mobile par la fusion de donnée », Université Akli Mohand Oulhadj-Bouira, septembre 2018.
- [35] : CHEKROUN Sofiane, « Commande neuro-floue sans capteur de vitesse d'une machine asynchrone triphasée », Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technologique d'Oran, 25 octobre 2009.
- [36] : Y. BENFATMA et MS.MANAA, thèse de «Commande d'un simulateur d'hélicoptère (TRMS) par une approche hybride (Neuro-Floue) », mastère Biskra, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie Electrique, 04 Juin 2012.
- [37] : M. SAHRAOUI, « Contrôle robuste des systèmes non linéaires par les approches de l'intelligence artificielle », Faculté des sciences exactes et appliquées Oran.
- [38] : « Introduction à la maintenance », ISET Nabeul, 2014 /2015- 28-2013.
- [39] : A. EL JEMLI, « Élaboration et mise en place d'une politique de maintenance des équipements de l'USINE TRANSFIX MAROC groupe CAHORS », Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc, 2014.
- [40] : Takagi T, Sugeno M., «Fuzzy identification of systems and its application to modelling and control», IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, Vol. 15, No. 1, pp.116-132, 1985.
- [41] : Wikipidia.https://fr.wikipedia.org/wiki/Maintenance_pr%C3%A9visionnelle.
- [42] : appvizer, « le média de ceux qui réinventent l'entreprise » ,
<https://www.appvizer.fr/magazine/operations/gmao/maintenance-predictive-definition>.
- [43] : T.Takagi et N. Sugeno, « Fuzzy identification of systems and its applications to modelling and control », IEEE trans on systems man and cybernetics, vol .SMC -15pp.116-132, 1985.
- [44] : F. Zidani, thèse de doctorat d'état « Contribution au contrôle et au diagnostic de la machine asynchrone par la logique floue », université de Batna .2003.
- [45] : catalogue instruction de service SPRINT 65, DMG MORI.
- [46] : GHETTAS Nadjat, mémoire « Hybridation d'abaque de Noiret par la Logique floue. », Ecole Nationale Supérieure De Technologie ENST, 2017-2018.

Résumé

L'abaque de Noiret est une méthode d'aide à la décision pour le choix de la politique de la maintenance. A l'aide de certains nombres de critères pour choisir la politique de la maintenance.

Après l'application de cette méthode on a constaté qu'elle est limitée pour la prise de décision concernant le choix de la politique de la maintenance à cause d'un manque de quelques critères. Pour cela, on a proposé d'utiliser des outils de l'intelligence artificielle.

Premièrement, nous avons travaillé avec la logique floue qui nous a permis de créer un modèle flou pour cette méthode en fonction de nouveaux critères ajoutés. Donc avoir une nouvelle grille de décision pour le choix de la politique de la maintenance. Ensuite nous avons exploité les neuro-flous où on a utilisé les trois algorithmes de système hybride.

Mots clés : Abaque de Noiret, politique de la maintenance, logique floue, neuro-flous, ANFIS, Mamdani, takagi sugeno, budget prévisionnel, couts de maintenance.

Abstract:

The Noiret abacus is a decision support method for the choice of maintenance policy. Using a number of criteria to choose the maintenance policy.

After the application of this method it was found that it is limited for decision making regarding the choice of maintenance policy because of a lack of some criteria. For this, we proposed using artificial intelligence tools.

First, we worked with fuzzy logic that allowed us to create a fuzzy model for this method based on new added criteria. So have a new decision grid for the choice of maintenance policy. Then we exploited the neuro-blurs where we used the three hybrid system algorithms.

Keywords: Noiret abaque, maintenance policy, criteria, fuzzy logic, neuro-fuzziness, ANFIS, Mamdani, takagi sugeno, forecast budget.

ملخص

Noiret abacus هي طريقة لدعم القرار لاختيار سياسة الصيانة. استخدام عدد معين من المعايير لاختيار سياسة الصيانة. وبعد تطبيق هذه الطريقة تبين أنها مقتصرة على اتخاذ القرارات المتعلقة باختيار سياسة الصيانة بسبب عدم وجود بعض المعايير. لهذا، اقترحنا استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي.

أولاً، عملنا بمنطق غامض سمح لنا بإنشاء نموذج غامض لهذه الطريقة بناءً على معايير مضافة جديدة. وكذلك لديك شبكة قرارات جديدة لاختيار سياسة الصيانة. ثم استغلنا الضبابية العصبية حيث استخدمنا خوارزميات النظام الهجين الثلاثة.

الكلمات الرئيسية: abaque de Noiret، سياسة الصيانة، المعايير، الغموض العصبي، المنطق الغامض، ANFIS، Mamdani، takagi sugeno، الميزانية المتوقعة.