



**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ «Abbès LAGHROUR» DE KHENCHELA
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE**



DEPARTEMENT DES MATHÉMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Spécialité : Informatique.

Option : Génie logiciel et systèmes distribués

La simulation du pronostic industriel par la logique floue.

*Réalisé par : - ANSAR Bachir
- FOUGHALI Selma*

Membres de jury :

- *KADRI Ouahab*
- *ABDELHADI Adel*

Dirigé par : Dr. MAHDAOUI Rafik

Présenté le : 24/06/2018

Remerciements

Quelques mois de joie, de bonheur, de découvertes mais aussi de galères et pas mal de sacrifices pour en arriver aujourd'hui à écrire cette page de remerciements à tous les acteurs actifs de ce mémoire, qui est loin d'être un travail individuel.

Nos remerciements vont tout premièrement à dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a données durant ces années d'étude afin que nous puissions arriver à ce stade.

Nos remerciements s'adressent ensuite aux membres du jury qui nous faisons l'honneur de participer à notre soutenance.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur Dr. Mahdaoui Rafik, qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses précieux conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail.

Un grand merci à nos parents et nos frères pour leur soutien indéterminé.

Enfin, nous remercions toutes les personnes, qui de près ou de loin, nous ont aidées à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que je dédie ce travail à :

Mes chers parents, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

La fleur de ma vie Selma, ton encouragement et ton soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles. Tu m'as toujours soutenu, compris et réconforté tu es et restera toujours ma source d'inspiration. Merci pour ta tendresse, ton attention, ta patience et tes encouragements, merci pour tout. Puisse Dieu nous préserver du mal, nous combler de santé et de bonheur, nous procurer une longue vie pour le service de Dieu, Que dieu nous accords un avenir meilleur et vous protéger.

Mes adorables frères Khaled et Amir .Merci d'être à mes côtés, vous êtes mon exemple de persévérance, et de courage, La source de la joie et du bonheur.

À ceux qui m'ont fait confiance et m'ont encouragé. Je les remercie beaucoup. Que Dieu, les garde et protéger.

A toute ma famille, et à mes chères amies pour ses encouragements.

Bachir

Dédicaces

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que je dédie ce travail à :

Ma très chère mère, elle représente pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Qu'elle trouve ici l'expression du grand respect que je lui porte. Elle était mon ombre durant toutes les années d'études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce qu'elle mérite pour tous les sacrifices qu'elle n'a cessé de me donner depuis ma naissance et durant toute ma vie. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A la mémoire de mon père qui nous a quittés, je suis sûr que vous êtes fières de moi aujourd'hui si tu étais avec nous. Que dieu, le miséricordieux, et l'accueil dans son éternel paradis.

A mon cher grand-père, c'était mon deuxième père, J'aurais tant aimé que vous soyez présents. Il m'a donné son amour et sa tendresse. Que dieu, le miséricordieux, et l'accueil dans son éternel paradis.

Je ne pourrais d'aucune manière exprimer ma profonde affection et mon immense gratitude pour tous les sacrifices consentis et votre aide. La source de mon courage, ma confiance et ma patience. Je remercie mon frère Dhia, j'implore dieu qu'il vous apporte bonheur.

L'homme de ma vie, Bachir, merci de m'aider et de m'encourager, vous êtes ma source de bonheur. Que dieu le tout puissant nous accorde un avenir meilleur et vous garde et protéger.

A toute ma famille.

Selma

Résumé

Avec le développement technologique et l'augmentation des besoins du marché, la majorité des entreprises industrielles aujourd'hui, leur système de production est automatisé. Ainsi, pour assurer bien la sûreté de fonctionnement des systèmes industriels, nous avons besoin de bien superviser et surveiller ces derniers. La surveillance industriel est composé de deux tâches principales la détections des défaillances et le diagnostic des pannes. L'objectif de ce travail est de créer un système de diagnostic prédictive, qu'aide l'opérateur humain à détecter des dégradations dans le fonctionnement de système, et intervenir pour corriger ces dégradations, avant que le système tombe en panne .Le système de production choisie est l'atelier de clinkérisation de la SCIMAT, cimenterie d'Ain Touta « Batna »,par ce que cette zone est la plus critique et très sensible aux pannes. Nous avons appliqué la logique floue pour estimer la durée restante avant la défaillance, aussi calculer le degré d'intervention pour corriger l'erreur. La première partie présente la définition et les indicateurs de pronostic, la classification des approches de pronostic. En suite, la deuxième partie est dédiée à la logique floue, définition et quelques terminologies de la logique floue. La dernière partie pour faire simuler le processus de clinkérisation et les dégradations, sur l'environnement de développement LABVIEW.

Mots clés :

Pronostic industriel, Temps restant avant défaillance, Logique floue.

Abstract

With the technological development and the increasing needs of the market, the majority of industrial enterprises today, their production system is automated. Our goal is to create a predictive diagnostic system, which helps the human operator to detect the downgrades in system operation, and intervene to correct these downgrades, before the system breaks down (failure mode).The production system chosen is workshop clinkering of SCIMAT, cement Ain Touta "Batna".because this area is the most important and very sensitive to breakdowns. We applied fuzzy logic to estimate the time remaining before failure, and calculate the degree of intervention to correct the error. The first part presents the definition and prognostic indicators, the classification of prognostic approaches. Next, the second part is dedicated to fuzzy logic, definition and some terminology of fuzzy logic. The last part to simulate the process of clinkering and downgrades, on the LABVIEW development environment.

Key Words:

Industrial prognosis, Remaining useful life (RUL), Fuzzy logic.

Abréviation

Conf: Confiance

ISO: International Organization for Standardization

LABVIEW : Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

PDF : Probability Density Function

Perf : Performance

RUL : Remaining Useful Life

SCIMAT: Société des CIMents d'Ain-Touta

SIF: Système d'Inférence Floue

SPA : Société par Action

TTF : Time To Failure

Vis : Instruments Virtuels

V_R_F : Vitesse de Rotation de Four

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Le pronostic industriel	4
1.1. Introduction.....	5
1.2. Le concept de pronostic.....	5
1.3. Les indicateurs de pronostic.....	6
1.3.1. Temps restant avant défaillance –TTF.....	6
1.3.2. L’exactitude.....	7
1.3.3. La Précision.....	8
1.3.4. Timeliness.....	8
1.4. Classification des approches de pronostic.....	9
1.4.1. Pronostic basé sur le modèle physique	10
1.4.2. Pronostic guidé par les données	10
1.4.3. Pronostic basé sur l’expérience.....	11
1.5. Conclusion.....	11
Chapitre 2 : La logique floue	13
2.1. Introduction.....	14
2.2. Les sous-ensembles flous.....	15
2.2.1. Définition de sous-ensemble flou.....	15
2.2.2. Définition de support.....	16
2.2.3. Définition de noyau.....	16
2.2.4. Définition de l’hauteur.....	16
2.2.5. Définition de α -coupe.....	16
2.3. Les opérateurs flous.....	17
2.4. Règles floues.....	19
2.5. Système d’inférence flou.....	20
2.6. Fuzzification	21
2.7. Défuzzification.....	21
2.8. Conclusion.....	22
Chapitre 3 : La mise en œuvre de l’application	23
3.1. Introduction.....	24

3.2. Présentation de la cimenterie.....	24
3.2.1. Présentation de la SCIMAT	24
3.2.2. Etapes de fabrication du ciment.....	25
3.2.3. Atelier de Clinkérisation.....	27
3.3. Environnement de développement.....	29
3.3.1. Présentation de l'interface.....	30
3.4. Implémentation.....	32
3.4.1. L'accès sécurisé à l'application.....	32
3.4.2. Simulation de la zone de clinkérisation.....	34
3.4.3. Graphiques des variables pertinentes.....	34
3.4.4. Interface de dégradation.....	37
3.4.5 Contrôleurs flous.....	39
3.4.5.1. Création de contrôleur flou.....	39
3.4.5.2. Contrôleur flou pour estimer le temps.....	40
3.4.5.3. Contrôleur flou des variables.....	44
3.4.6. Pronostic industriel.....	46
3.4.7. Registre des alarmes.....	47
3.5 Conclusion.....	48
Conclusion générale.....	49
Références bibliographiques.....	51

Liste des figures

Chapitre 1 : Le pronostic industriel

Figure 1.1. Mesure de pronostic "RUL et confiance"	6
Figure 1.2. L'exactitude d'après.....	7
Figure 1.3. Mesure de performance de système de pronostic «Timeliness ».....	9
Figure 1.4. Classification des approches de pronostic.....	9

Chapitre 2 : La logique floue

Figure 2.1. Logique classique et logique floue.....	14
Figure 2.2. Température d'une pièce selon la logique classique et la logique floue.....	14
Figure 2.3. Exemple de sous ensemble floue.....	15
Figure 2.4. Propriétés d'un ensemble flou.....	17
Figure 2.5. Les fonctions d'appartenance les plus utilisées.....	17
Figure 2.6. L'opérateur de l'intersection "ET"	18
Figure 2.7. L'opérateur de l'union "OU"	18
Figure 2.8. Le complément "NON"	19
Figure 2.9. Une variable et ses termes linguistiques.....	20
Figure 2.10. Système d'inférence floue.....	20
Figure 2.11. Exemple de fuzzification.....	21
Figure 2.12. Méthode du centre de gravité.....	21
Figure 2.13. Méthode par valeur max.....	22

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

Figure 3.1. Processus de fabrication du ciment.....	25
Figure 3.2. Four Rotatif de la SCIMAT.....	28
Figure 3.3. Front Panel.....	30
Figure 3.4. Bloc Diagramme.....	31
Figure 3.5. Simple programme en JAVA.....	31
Figure 3.6. Simple programme en Labview.....	32
Figure 3.7. Interface de login.....	33
Figure 3.8. Message d'erreur d'inscription.....	33
Figure 3.9. Interface de simulation de la zone de clinkersitation.....	34
Figure 3.10. Les variables pertinentes en fonctionnement normal.....	35
Figure 3.11. Détection d'une défaillance (Vitesse de Rotation est très élevée).....	35
Figure 3.12. Intervention du SIF pour la régulation des perturbations.....	36

Figure 3.13. Tolérance aux pannes.....	37
Figure 3.14. Etat des variables avant la dégradation.....	37
Figure 3.15. Détection de dégradation et estimation de RUL.....	38
Figure 3.16. Alerte indique que le système sera en panne.....	38
Figure 3.17. Accéder au concepteur de système flou.....	39
Figure 3.18. Concepteur de système flou.....	40
Figure 3.19. Système flou pour prédire le temps moyen restant.....	40
Figure 3.20. La base des règles.....	41
Figure 3.21. Les entrés et la sortie de système flou.....	42
Figure 3.22. Système flou pour prédire le temps moyen restant(V_R_F).....	42
Figure 3.23. La base des règles(V_R_F)	43
Figure 3.24. Test de Système flou (V_R_F)	43
Figure 3.25. Système flou pour contrôler les variables pertinentes.....	44
Figure 3.26. La base des règles.....	45
Figure 3.27. La relation entre les entrées et les sorties.....	45
Figure 3.28. Interface pour simuler le pronostic industriel.....	46
Figure 3.29. Provoquer une défaillance.....	46
Figure 3.30. Intervention de système.....	47
Figure 3.31. Registre des alarmes.....	47

Liste des Tableaux

Chapitre 2 : La logique floue

Tableau 2.1. Les opérateurs flous..... 18

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

Tableau 3.1. Taux de pannes des équipements de la chaîne technologique..... 29

Tableau 3.2. Définition des variables..... 41

Introduction générale

Introduction générale

L'automatisation est devenue de plus en plus importante pour l'optimisation de la productivité, mais par contre cette automatisation a accru la complexité des processus et a changé la tâche de l'opérateur dont le rôle a évolué de la conduite à la supervision. [7]

Dans un grand nombre d'applications industrielles, une demande croissante est apparue en matière de remplacement des politiques de maintenance curative par des stratégies de maintenance préventive. [8]

Les composantes du système de surveillance se caractérisent par une autonomie de plus en plus importante, en travaillant dans des systèmes distribués et en intégrant souvent une intelligence embarquée. Les méthodologies de surveillance peuvent être divisées en deux grandes catégories : les méthodologies qui se basent sur l'existence d'un modèle formel de l'équipement à surveiller, les méthodologies qui se basent uniquement sur l'analyse des variables de surveillance ainsi que sur les connaissances a priori des experts humains. Les méthodes qui se basent sur une modélisation de l'équipement sont naturellement tributaires de l'existence ainsi que de la qualité d'une modélisation physique de l'équipement. Ce modèle servira de référence pour un fonctionnement nominal et tout écart par rapport au point de fonctionnement nominal sera synonyme de défaillance. L'inconvénient de ces techniques est l'existence d'incertitudes de modélisation qui sont dues au fait que la modélisation physique ne prend pas en considération tous les paramètres et les aléas qui peuvent influencer sur une information d'un paramètre de surveillance. [12]

Les techniques de surveillance sans modèle sont divisées en deux parties, la première partie correspond aux outils statistiques et de traitement du signal qui sont généralement qualifiés d'outils de traitement de bas niveau, parce qu'ils sont en contact direct avec le signal capteur, et ne servent généralement que pour la génération d'alarmes brutes, sans aucune information concernant leur signification. La deuxième partie est celle des techniques dites de haut niveau et qui sont plutôt orientées vers la communication avec l'expert. Celles-ci représentent les techniques de l'Intelligence Artificielle (IA) et servent comme outil de base pour l'aide à la décision. Leur réponse est donc plus élaborée que celle des techniques de bas niveau. [8]

Si un procédé industriel est supervisé par un opérateur humain, on peut comprendre aisément qu'il lui est difficile de surveiller en même temps un grand nombre de paramètres «variables». Une technique de diagnostic est alors nécessaire pour faire l'analyse des variables pertinentes et donner une information plus claire, concise et utile pour que l'opérateur puisse prendre des décisions. [10]

Nous allons focaliser notre application pour créer un système de surveillance dynamique (pronostic industriel) utilisant la logique floue comme une technique de contrôle, pour superviser et contrôler le processus de clinkérisation de la Société de fabrication des ciments d'Ain-Toute-BATNA (SCIMAT).

L'objectif principal de ce travail est la mise en œuvre d'un système de surveillance utilisant la logique floue implémentée sous logiciel LabVIEW.

Introduction générale

Afin d'atteindre cet objectif, notre travail a été organisé en trois chapitres :

- **Chapitre 1** : est dédié au pronostic industriel, expliquer bien le concept de pronostic et ses indicateurs et les approches de pronostic et leur classification.

- **Chapitre 2** : consacré à la présentation de la logique floue, nous avons donné une définition de la logique floue, des sous-ensembles flous ainsi que le système d'inférence floue.

- **Chapitre 3** : On trouve dans ce chapitre une présentation de la cimenterie d'Ain-Touta Batna et le processus de fabrication du ciment, le deuxième point discuté dans ce chapitre est le labview. La dernière partie est consacrée à l'implémentation du pronostic industriel, nous avons donné une simulation en fonctionnement normale du système cible, ensuite, l'idée est de provoquer une dégradation dans un instant T ensuite le système va agir pour détecter une dégradation ou une défaillance dans un intervalle de temps bien précis. Ensuite, nous avons présenté quelques graphes de résultats des variables très pertinentes pour savoir : la vitesse de rotation du four, la température sortie de la charge du four.

Chapitre 1 : Le pronostic industriel

Chapitre 1 : Le pronostic industriel

1.1 Introduction

La sûreté et le bon fonctionnement de système industriel, à moindre coût, sont les principaux objectifs des entreprises industriels, pour la meilleure concurrence dans le marché.

La sûreté de fonctionnement consiste à connaître, évaluer, prévoir, mesurer et maîtriser les défaillances des systèmes technologiques et les défaillances humaines. Elle est appelée "science des défaillances". [11]

Une évolution particulière porte sur la manière d'appréhender les phénomènes de défaillance : peu à peu les industriels tendent, non seulement à les anticiper afin de recourir à des actions préventives, mais en plus à le faire de manière la plus juste possible dans un objectif de réduction des coûts et des risques. Cette évolution a donné une part grandissante au processus de pronostic qui est aujourd'hui considéré comme un des principaux leviers d'action dans la recherche d'une performance globale. [9]

Beaucoup de risques industriels sont liés à un défaut de maintenance, comme ils sont très coûteux de côté des vies humaines ou bien de l'argent.

L'activité de pronostic industriel joue un rôle très important dans les stratégies de maintenance industrielle.

1.2 Le concept de pronostic

Le terme pronostic provient du grec progignôskein qui signifie "connaître à l'avance" [9]

Il existe dans la littérature plusieurs définitions qui se rapportent au pronostic tel que :

➤ "Après détection de la dégradation d'un composant ou d'un sous-système, le rôle du pronostic est de prédire l'évolution future des performances du système de production en tenant compte d'interventions de maintenance planifiées et éventuellement, de conditions opérationnelles ou environnementales changeantes".[11]

➤ "L'objectif du pronostic (diagnostic prédictif) est d'identifier les causes et de localiser les organes qui ont entraîné une dégradation particulière". [11]

La définition proposée par la norme ISO est :

« L'estimation de la durée de fonctionnement avant défaillance d'un système et du risque d'existence ou d'apparition ultérieure d'un ou de plusieurs modes de défaillance » (ISO 13381-1, 2004) [5]

Il est important de comprendre que le diagnostic est, par nature, rétrospectif et focalisé sur des données existant à un instant donné. Cependant, le pronostic est focalisé sur l'avenir et, de ce fait, doit prendre en compte les aspects suivants (ISO, 2004) [11]:

Chapitre 1 : Le pronostic industriel

- les modes de défaillance existants et les taux de détérioration,
- les critères de déclenchement de futurs modes de défaillance,
- le rôle des modes de défaillance existants dans le déclenchement de futurs modes de défaillance,
 - l'influence entre les modes de défaillance existants et les modes futurs et leurs taux de détérioration,
 - la sensibilité à la détection et aux modifications des modes de défaillance existants et futurs du fait des techniques de surveillance actuelles,
 - la conception et les changements de stratégies de surveillance afin de s'adapter à tous les éléments ci-dessus,
 - l'effet des actions de maintenance et/ou des conditions d'exploitation,
 - les conditions ou les hypothèses dans lesquelles les pronostics restent valables.

1.3 Les indicateurs de pronostic

L'objectif du diagnostic prédictif (pronostic) est d'identifier les causes et de localiser les organes qui ont entraîné une dégradation particulière. [12], pour éviter une défaillance dans le futur. Le pronostic aide à prendre les bonnes décisions de maintenances.

1.3.1 Temps restant avant défaillance –TTF-

La principale métrique de pronostic recherchée est le temps restant avant défaillance (appelé en anglais Time To Failure : TTF ou encore RUL). En outre, une mesure de confiance peut être construite pour indiquer le degré de certitude du temps avant défaillance prédit. Par extension, et en considérant que les utilisateurs peuvent être intéressés par l'évaluation du système au regard de limites de performance, le RUL et la confiance peuvent être généralisés : sur la figure (1.1), TT_{xx} est le temps restant pour dépasser la limite de performance $Perf_{xx}$, et $Conf_{xxT}$ est la confiance avec laquelle l'indication $TT_{xx}/T > T$ peut être prise.

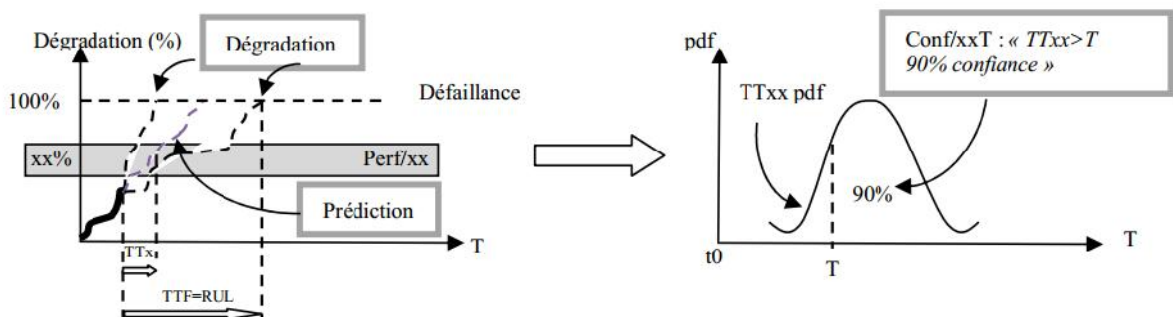


Figure 1.1 Mesure de pronostic "RUL et confiance" [11]

1.3.2 L'exactitude

L'exactitude (accuracy) mesure la proximité de la date de défaillance prévue avec la date de défaillance réelle. Le calcul de cette métrique représente un point critique dans le processus de pronostic. Le calcul de cette grandeur s'appuie sur l'existence de données historiques sur plusieurs composants tombés en panne suite à des sollicitations subies tout au long d'une période de temps connue, ce qui n'est pas toujours possible (matériel unique). Si un ensemble de N systèmes sont tombés en panne (avec les pronostics associés), l'exactitude est dénie comme suit [5] :

$$Exactitude = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^{-\frac{D_i}{D_0}}$$

Tel que :

- $D_i = \hat{t}_{fail}(i) - t_{fail}(i)$ la distance entre les instants prévus et réels de défaillance,
- D_0 une constante de normalisation dont la valeur est basée sur l'importance de la valeur réelle dans l'application.

La fonction exponentielle est employée ici pour donner une courbe lisse monotoniquement décroissante. La valeur de $e^{-\frac{D_i}{D_0}}$ représente la décroissance de l'exactitude. Autrement dit, l'exactitude est grande (proche de 1) quand la valeur prévue est identique à la valeur réelle et diminue quand la valeur prévue dévie de la valeur réelle. La fonction exponentielle a également le taux de décroissance le plus grand quand D_0 est proche de 0. Une illustration de cette métrique est proposée en figure (1.2).

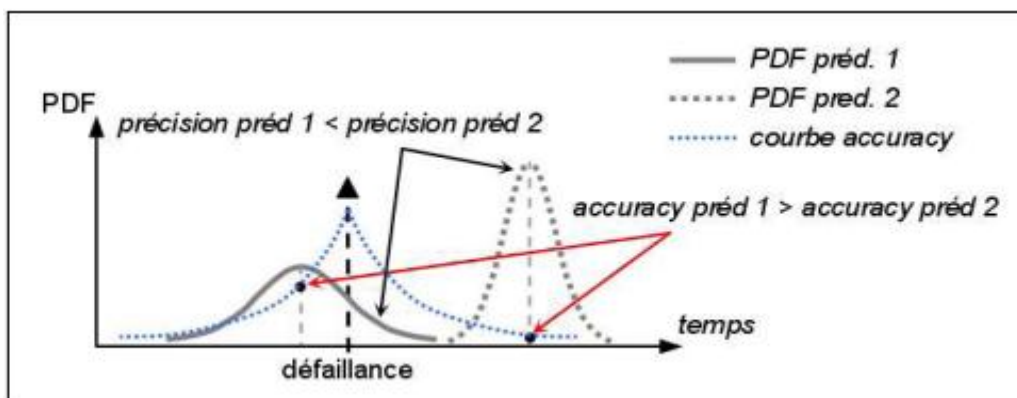


Figure 1.2 L'exactitude d'après [5]

1.3.3 La Précision

La précision est une mesure de dispersion des prédictions. Elle permet d'évaluer comment les valeurs prédites sont groupées autour de l'intervalle dans lequel survient la défaillance. La précision dépend fortement du niveau de confiance et de la distribution des prédictions. L'équation de précision est la suivante :

$$\text{précision}(t_p) = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^{\frac{D_i}{D_0}} \right) e^{\frac{\delta_i}{D_0}}$$

Tel que :

- $E_i = \hat{t}_{fail}(i) - t_{fail}(i)$,
- $\bar{E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i$, $\delta^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - \bar{E})^2$,
- δ_0 et R_0 Des facteurs de normalisation, et R_i l'intervalle de confiance de la prédiction pour l'expérimentation i .

1.3.4 Timeliness

Le timeliness est la position relative de la fonction de densité de probabilité (pdf : probability density function) du modèle de pronostic par rapport à l'apparition de l'événement de défaillance. Cette mesure évolue à mesure que les données sont disponibles et permette juger du moment adéquat pour effectuer la maintenance figure (1.3). [5] préconise de définir des limites au plus tôt et au plus tard au delà desquelles la valeur prédite doit être considérée comme inacceptable d'un point de vue performance.

Ces deux limites sont la conséquence du fait que l'erreur de prédiction n'est pas systématiquement centrée par rapport à zéro (où l'erreur est dénie comme la différence entre la vie restante réelle et la vie restante estimée). Par exemple, si la prédiction est trop tôt, l'alarme résultante sollicite trop tôt l'intervention pour vérifier le potentiel d'apparition d'une défaillance, pour surveiller les diverses variables de processus et pour effectuer une modalité de reprise.

Dans l'autre cas, si la défaillance est prévue trop tard, cette erreur réduit le temps disponible pour évaluer la situation et réagir en conséquence. La situation devient catastrophique quand la défaillance se produit avant qu'une prévision ne soit faite.

Par conséquent, il est dans la plupart des situations préférable d'avoir une polarisation positive des erreurs (prévisions tôt), plutôt que négative (prévisions en retard). Naturellement, il est nécessaire de définir des limites d'acceptabilité pour le timeliness (trop tôt, ou trop tard) (figure 1.3). Toute prédiction en dehors des limites est considérée comme inappropriée.

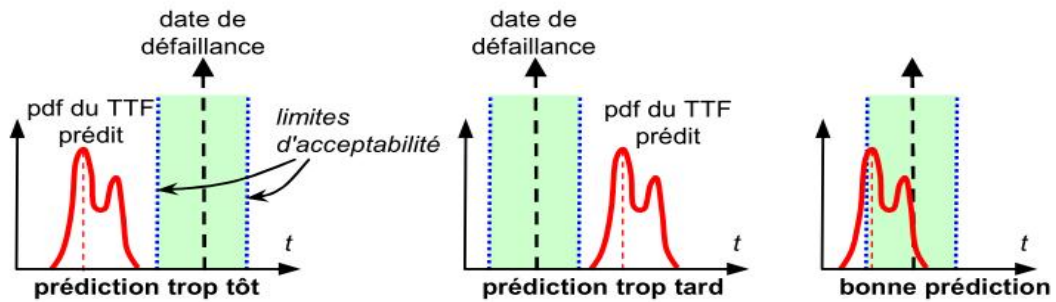


Figure 1.3 Mesure de performance de système de pronostic «Timeliness » [7]

1.4 Classification des approches de pronostic

Plusieurs outils et méthodes de pronostic de défaillance ont été proposés. La différence entre les méthodes de pronostic est dans le type d'application considérée.

Les différentes méthodes de pronostic peuvent classer dans trois approches principales, d'après les travaux [5], [9] et [11], pour résoudre des problématiques de pronostic :

- Pronostic basé sur le modèle physique.
- Pronostic guidé par les données.
- pronostic basé sur l'expérience.

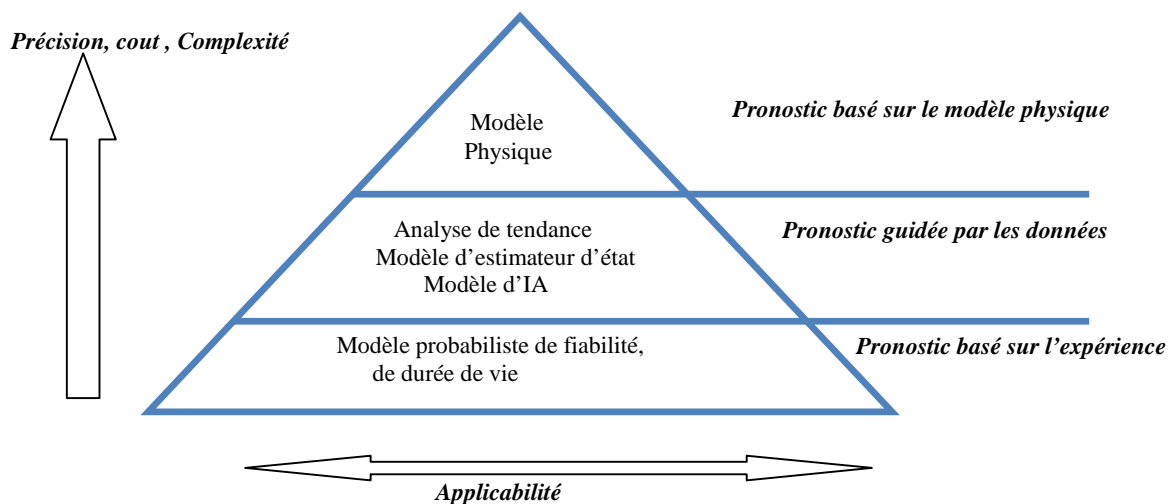


Figure 1.4 Classification des approches de pronostic

Chapitre 1 : Le pronostic industriel

1.4.1 Pronostic basé sur le modèle physique

Le principe du pronostic basé sur des modèles physiques est de déterminer le niveau de dégradation courant du système et d'évaluer le temps restant jusqu'à la défaillance en utilisant la courbe d'évolution de la dégradation en fonction de la sollicitation du système.

Les principaux avantages de cette approche sont :

- la flexibilité : si une des propriétés du système ou de la dégradation change, le modèle peut être réajusté pour prendre en compte cette modification.
- la connaissance de la structure du modèle permet de relier la variation d'indicateurs à une modification d'un paramètre ce qui n'est pas le cas des approches "guidées par les données".

Les principaux inconvénients de ce type de pronostic sont les suivants :

- Le développement des modèles est extrêmement coûteux. Il nécessite un niveau de qualification élevé et une expérience certaine de la part des développeurs,
- Il est difficile de construire un modèle global pour les systèmes complexes : complexité de modélisation des interactions entre les différents mécanismes, difficultés de calcul associées à la résolution d'un système d'équations différentielles,
- Il peut être impossible de généraliser une approche basée sur un modèle physique orientée "composant" à un niveau "système",
- Il est nécessaire de connaître les mécanismes de dégradation et des facteurs influents sur celles-ci.

1.4.2 Pronostic guidé par les données

Le pronostic guidé par les données s'appuie sur le constat suivant: les mesures (entrées/sorties) constituent souvent la plus forte et la plus sûre source d'information pour comprendre les phénomènes de dégradation. Sa force réside dans l'aptitude à apprendre et à capturer les relations subtiles entre données, même si ces relations sont inconnues ou difficile à décrire.

Principe de fonctionnement, avantages et inconvénients :

Le pronostic guidé par les données exploite les indicateurs de dégradation ou d'interventions de maintenance délivrés respectivement par les processus de surveillance et d'aide à la décision (par exemple, données calorimétriques de calibrage, données spectrométriques, puissance, vibration et signal, température, pression, débris d'huile, tensions acoustiques de courants).

Le diagnostic situé en amont conditionne le succès du pronostic par sa capacité à fournir une estimation fiable et précise de l'état de santé courant du système et une mise à jour des paramètres des processus de détérioration ce type de pronostic se fonde sur l'hypothèse que

Chapitre 1 : Le pronostic industriel

les caractéristiques statistiques des données sont relativement inchangées à moins qu'un défaut de fonctionnement ne se produise dans le système.

La capacité d'adaptation à tout type d'application disposant de données suffisantes en quantité et en qualité représente un point fort pour cette approche de pronostic. En même temps, la mise en œuvre d'une approche "guidée par les données" est relativement simple car elle ne requiert pas la connaissance formelle des mécanismes de dégradation.

La capacité à transformer des données bruitées en information pertinentes pour des décisions de diagnostic/pronostic est un autre avantage pouvant être souligné.

L'inconvénient principal de ces approches est que leur efficacité est grandement dépendante de la quantité et de la qualité des données opérationnelles de système.

1.4.3 Pronostic basé sur l'expérience

Le pronostic basé sur l'expérience est basé sur la formalisation des mécanismes physiques de détérioration des composants par modèles stochastiques (loi de fiabilité, processus markoviens ou non-markoviens) initiés par connaissances a priori et jugement d'expert.

Les principaux avantages et inconvénients de cette approche sont :

Le principal avantage de cette méthode est qu'elle ne nécessite pas la connaissance pointue du (des) mécanisme(s) physique(s) de dégradation. Aussi, elle est relativement simple à mettre en œuvre et peu coûteuse.

Les principaux inconvénients sont les suivants :

- le manque de réactivité face au changement de comportement d'un système ou de l'environnement,
- les applications se focalisent sur des composants critiques, traités individuellement et donc le développement d'approches orientées "système" est rare,
- il existe fréquemment un décalage entre les modèles (système mono composant à 2 états) mis au point et la réalité industrielle (système multi composants multi états). L'origine de ce décalage provient souvent de l'incapacité des méthodes à effectuer les calculs engendrés par un système complexe.

1.5 Conclusion

La performance globale des systèmes industriels à moindre coût est l'objectif principal des entreprises. Le pronostic qui est aujourd'hui un processus clé dans la maintenance aide à déterminer la dégradation avant d'arriver ou bien tomber dans une panne très coûteuse.

Chapitre 1 : Le pronostic industriel

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu général sur le pronostic. Ensuite, les différentes définitions dans la littérature qui se rapportent au pronostic. Le pronostic prédit l'état futur du système. Suivi par les approches de pronostic qui sont trois principaux :

- Pronostic basé sur le modèle physique,
- pronostic guidé par les données,
- pronostic basé sur l'expérience.

Notre solution proposée appartient à la deuxième approche, le pronostic guidé par les données.

Chapitre 2 : La logique floue

2.1 Introduction

La logique floue (créée par Lotfi Zadeh en 1965) est une généralisation de la logique classique (qui ne permet que deux états : VRAI ou FAUX), qui permet la modélisation des Inconvénients des données d'une manière plus proche au raisonnement humain.

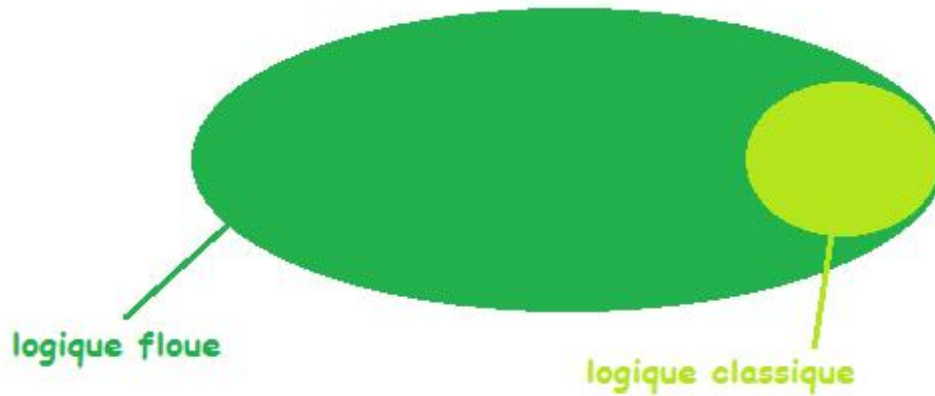


Figure 2.1 Logique classique et logique floue.

La logique floue est une branche de mathématique qui analyse différents niveaux, pas seulement vrai ou faux. Elle utilise un langage qui accepte des définitions vaste et ambiguë tel que : beaucoup, grand, bas...

On trouve l'application de la logique floue dans plusieurs domaines dans la vie, comme les jeux vidéo, le pilotage automatique, micro-onde...

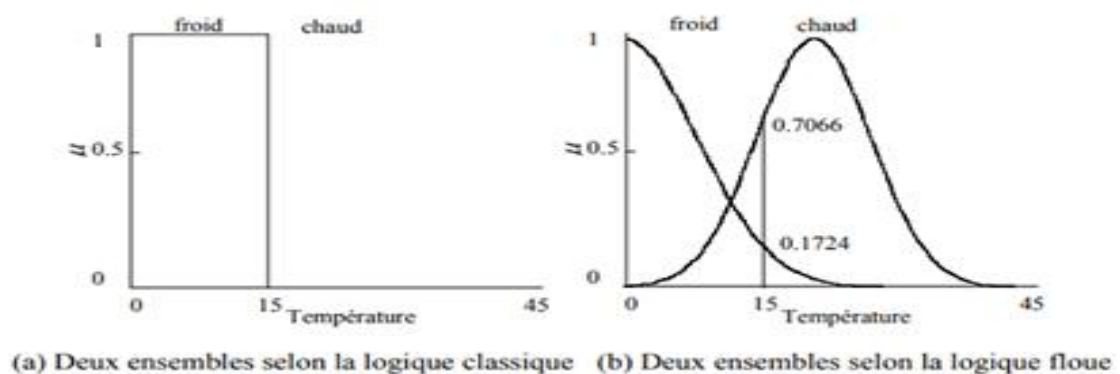


Figure 2.2 Température d'une pièce selon la logique classique et la logique floue [4]

2.2 Les sous-ensembles flous

On peut considérer la logique classique comme un cas particulier ou bien un sous ensemble de la logique floue.

2.2.1 Définition de sous-ensemble flou

On considère que X est un ensemble non nul. Un ensemble flou A dans X est caractérisé par son fonction d'appartenance $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$. μ_A est interprété comme le degré d'appartenance d'un élément x dans l'ensemble flou A car chaque $x \in X$ [9], tel que :

- $\mu_A(x) = 1$ si x est dans A ,
- $\mu_A(x) = 0$ si x n'appartient pas à A ,
- $0 < \mu_A(x) < 1$ si x appartient partiellement ou avec un certain degré à A .

Exemple :

La taille d'une personne est considéré comme suit: la taille moyenne est 1.7m, une taille supérieure ou égale à 1.8m est grande et inférieure à 1.6m. Selon [3]:

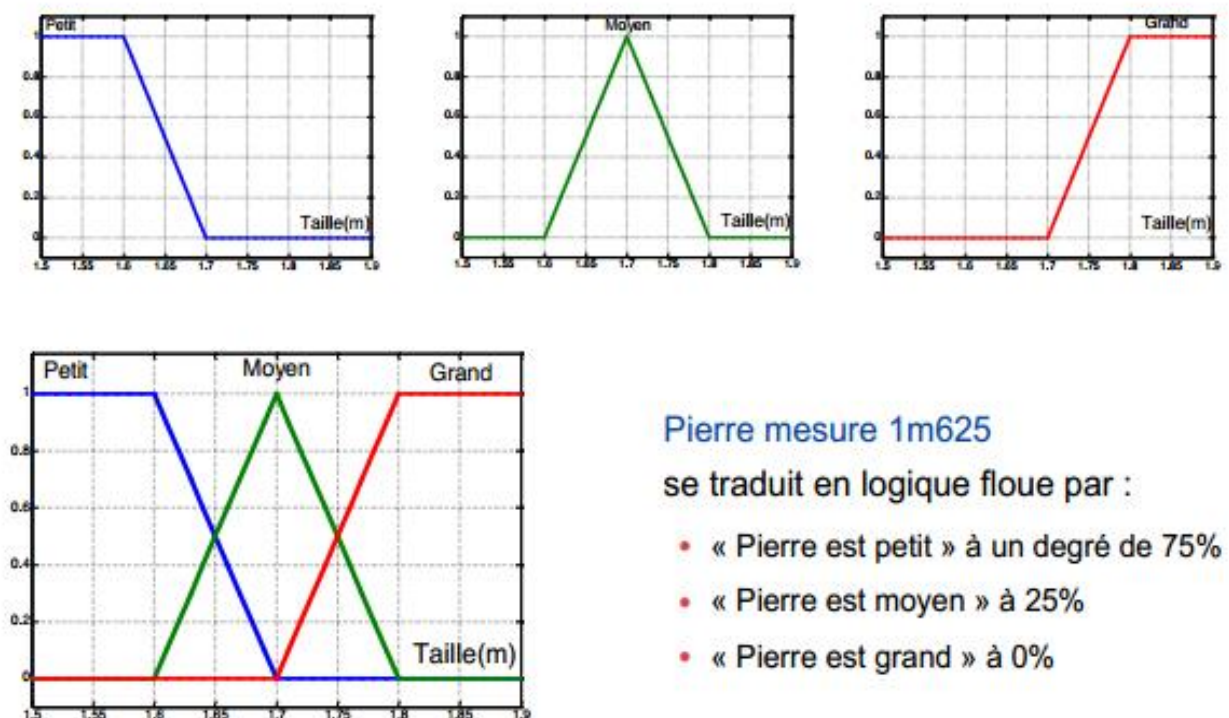


Figure 2.3 Exemple de sous ensemble floue.

2.2.2 Définition de support

Le support d'un sous-ensemble flou A dans un univers du discours X est le sous-ensemble (au sens classique du terme) des éléments de X pour lesquels la fonction d'appartenance prend une valeur strictement positive. C'est l'ensemble des éléments de X qui appartiennent au moins un peu à A :

$$S(A) = \{x | \mu_A(x) > 0\}. [4]$$

2.2.3 Définition de noyau

Le noyau d'un sous-ensemble flou A dans un univers du discours X est le sous-ensemble des éléments de X pour lesquels la fonction d'appartenance vaut 1. C'est l'ensemble des points qui appartiennent intégralement à A :

$$N(A) = \{x | \mu_A(x) = 1\}. [4]$$

2.2.4 Définition de l'hauteur

La hauteur d'un sous-ensemble flou A dans un univers du discours X est la valeur maximale prise par la fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ sur l'ensemble X . C'est le plus fort degré avec lequel un élément de X appartient à A :

$$H(A) = \sup \{ \mu_A(x) \mid x \in X \}. [4]$$

2.2.5 Définition de α -coupe

Pour toute valeur α de l'intervalle $[0, 1]$, on appelle α -coupe d'un sous-ensemble flou A de X , le sous-ensemble noté A_α des éléments de X pour lesquels la fonction d'appartenance est supérieure ou égale à α :

$$A_\alpha = \{ x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha \}. [4]$$

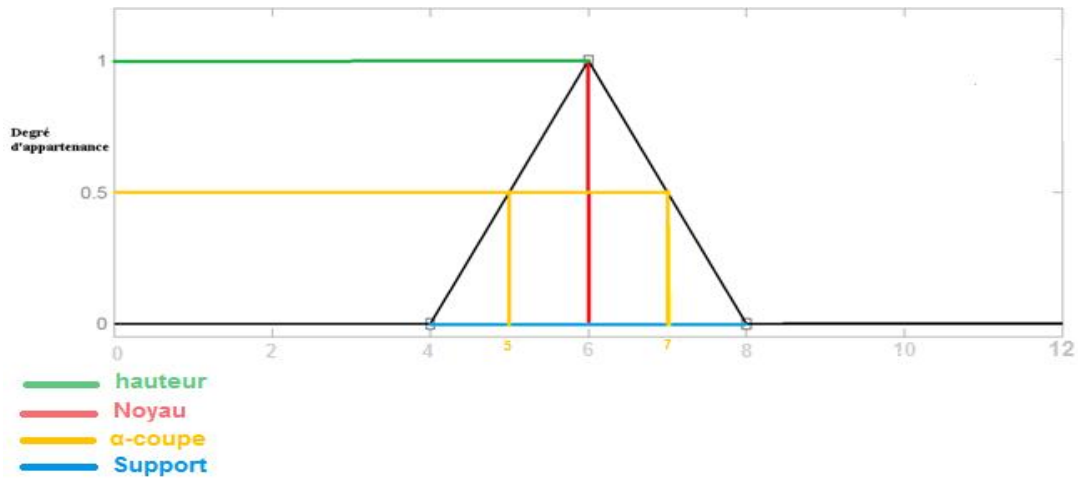


Figure 2.4 Propriétés d'un ensemble flou

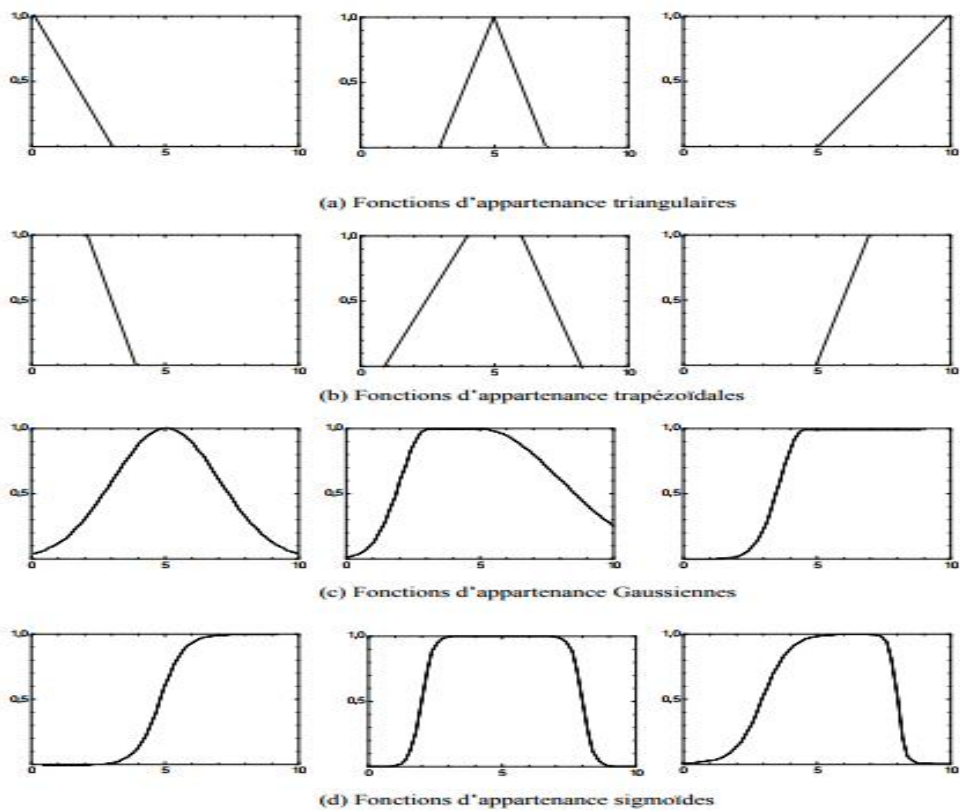


Figure 2.5 Les fonctions d'appartenance les plus utilisées [4]

2.3 Les opérateurs flous

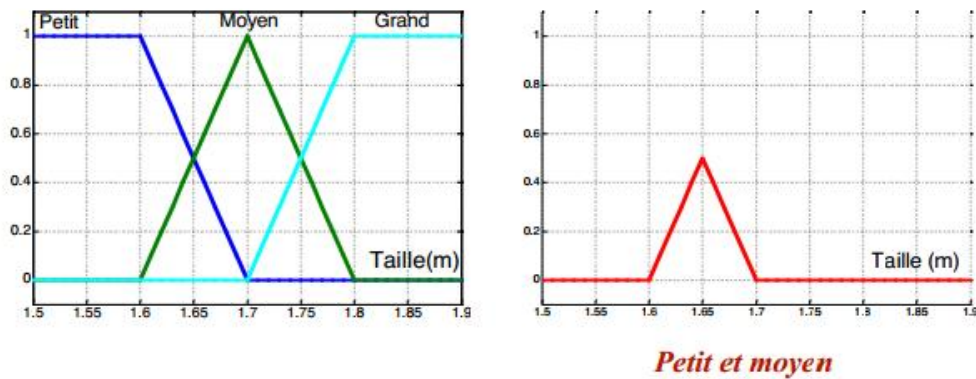
Pareil que dans la théorie des ensembles classiques, on définit l'intersection, l'union des ensembles flous ainsi que le complémentaire d'un ensemble flou. Ces relations sont traduites par les opérateurs « ET », « OU », « NON ». De nouvelles fonctions d'appartenance liées à ces opérateurs sont établies [9]

Chapitre 2 : La logique floue

Selon [6] :

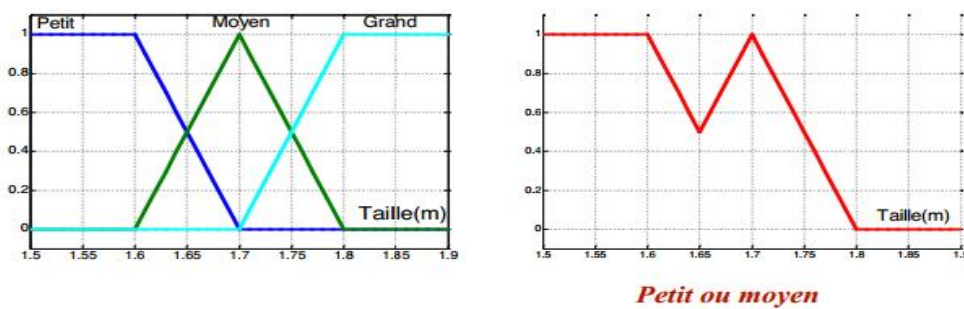
Dénomination	Opérateur d'union : ET	Opérateur d'intersection : OU	Complément : NON
Théorie des ensembles flous	$\text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\text{Max}(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$1 - \mu_A(x)$
Théorie des Ensembles	$\mu_A(x) * \mu_B(x)$	$\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) * \mu_B(x)$	$1 - \mu_A(x)$

Tableau 2.1 Les opérateurs flous



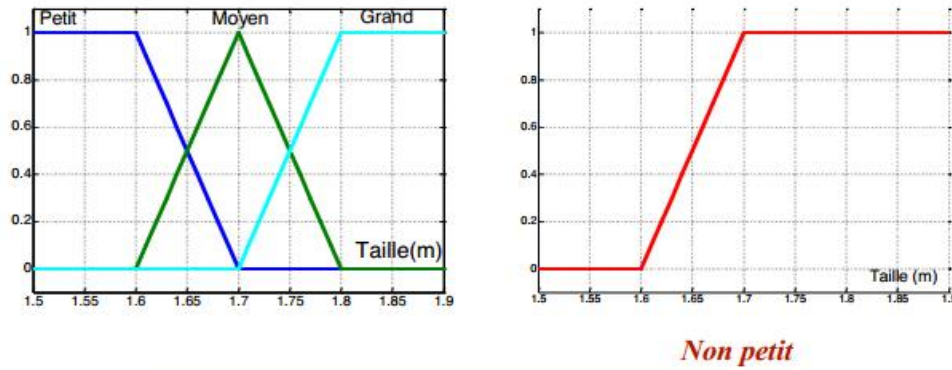
$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in U$$

Figure 2.6 L'opérateur de l'intersection 'ET' [3]



$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in U$$

Figure 2.7 L'opérateur de l'union 'OU' [3]



$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in U$$

Figure 2.8 Le complément “NON” [3]

2.4 Règles floues

La forme de la règle floue est la suivante :

Si x est A **alors** y est B

Tel que :

- x et y sont des variables linguistiques,
- A et B sont des valeurs linguistiques.

Une variable linguistique est une variable floue. Par exemple : La **tension** est haute, La variable linguistique **tension** prend la valeur linguistique élevé. Les valeurs linguistiques possibles d’une règle représentent l’univers de cette variable. On peut dire sur une vitesse (la variable linguistique) qu’elle est : (très lent, lent, moyenne, rapide, très rapide). Chaque sous-ensemble flou représente une valeur linguistique pour la variable vitesse. [2]

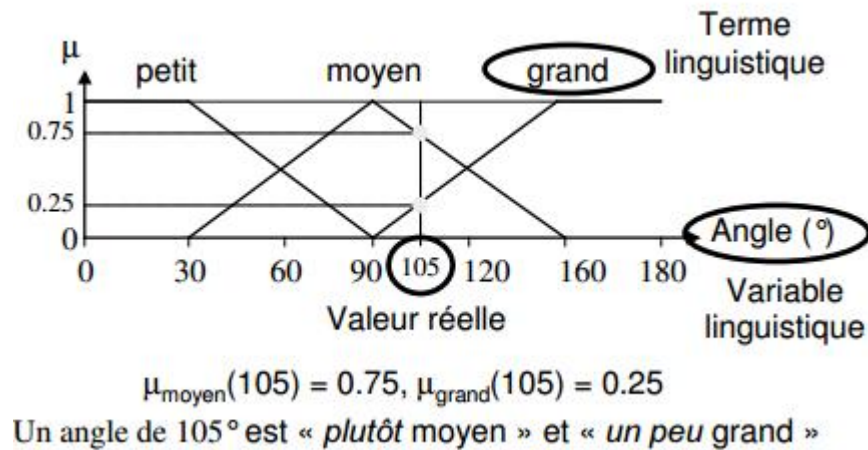


Figure 2.9 Une variable et ses termes linguistiques [6]

2.5 Système d'inférence flou

Un système d'inférence flou (SIF) se compose de trois blocs comme l'indique la figure (2.10) [9]

Le bloc de fuzzification traduit les valeurs numériques en degrés d'appartenance aux différents ensembles flous de la partition.

1. Le moteur d'inférence, constitué de l'ensemble de règles.
2. Le bloc de défuzzification, permet d'inférer une valeur nette, à partir du résultat flou.

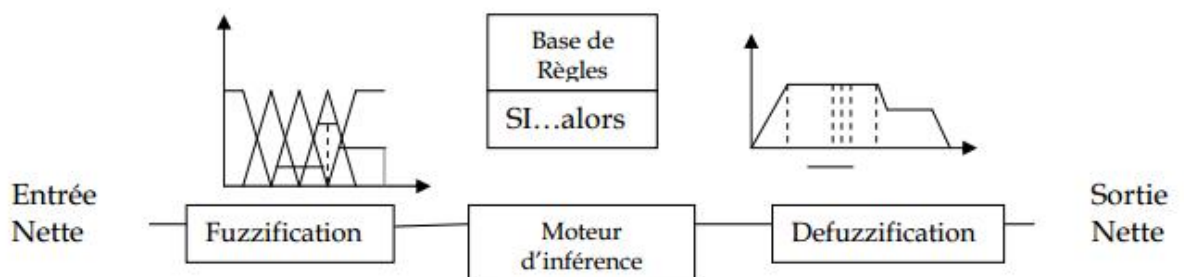


Figure 2.10 Système d'inférence flou [9]

Les règles d'inférence permettent de calculer les valeurs d'appartenance de règles qui ont plusieurs antécédents. [2]

Exemple :

Si (la vitesse est élevée) **ET** (le feu est rouge) **ET** (le feu est proche) **ALORS** (la force de freinage est forte).

2.6 Fuzzification

La fuzzification permet d'associer pour chaque entrée une valeur linguistique. Toutes entrées se représentées en des ensembles flous après qu'elles sont traduites en des concepts linguistiques. [2]

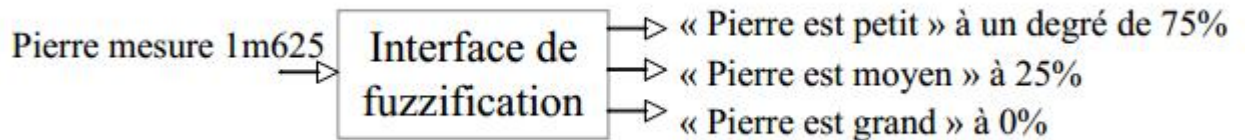


Figure 2.11 Exemple de fuzzification [3]

2.7 Défuzzification

La défuzzification est le processus de convertir une valeur floue en valeur nette. [2]

Il s'agit de calculer, à partir des degrés d'appartenance à tous les ensembles flous de la variable de sortie, l'abscisse correspondant à la valeur de cette sortie.

Il existe plusieurs méthodes pour calculer la valeur représentative d'un ensemble de sortie. [9] tel que :

➤ Méthode du centre de gravité :

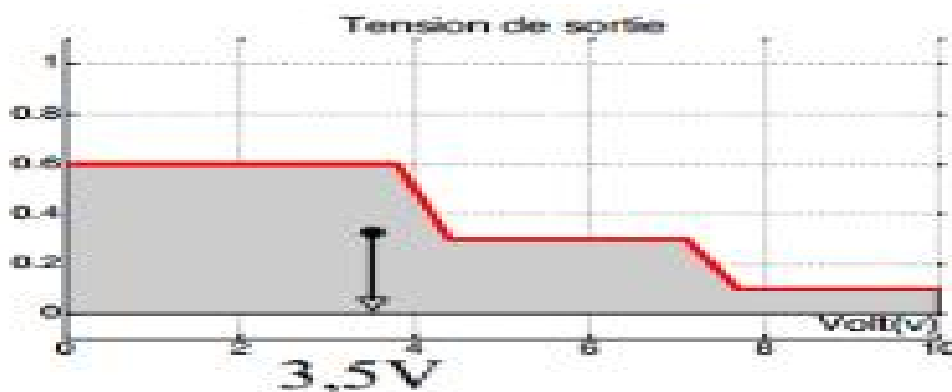


Figure 2.12 Méthode du centre de gravité [3]

- Méthode par valeur maximum :



Figure 2.13 Méthode par valeur max [3]

2.8 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre la notion de la logique floue, la différence entre la logique classique et la logique floue. Passant par les ensembles flous qui nous montrent comment traiter les sous-ensembles flous avec la nouvelle notion (degré d'appartenance). Aussi les opérateurs flous « ET », « OU » et « NON » qui définissent l'interaction entre les ensembles flous. Un aperçu sur le système d'inférence floue, fuzzification et défuzzification.

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

3.1 Introduction

Après l'explication des systèmes de pronostic industriel et les concepts de base de la logique floue, dans ce chapitre nous présentons notre système d'aide à la surveillance dynamique qui est basé sur la logique floue, avec une présentation de la société des ciments d'Ain-Touta-BATNA, en suite un aperçu sur le processus de fabrication des ciments et plus précisément la zone de clinkérisation.

3.2 Présentation de la cimenterie

Le ciment est un liant hydraulique sous forme de poudre minérale finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fut prise et durcit par suite des réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. [1]

3.2.1 Présentation de la SCIMAT

La présentation de la SCIMAT d'après [10] :

A. Identité :

- Raison Sociale : SCIMAT (Société des Ciments d'Ain-Touta), Filiale du Groupe ERCE.
- Forme Juridique : Société par Action (SPA).
- Siège sociale : Rue Benflis –BP : 67-05000 –El –Boustène, Batna -ALGERIE

B. Situation Géographique :

La Société des Ciments de Ain Touta (SCIMAT) se compose de :

- Une Direction Générale : située à Batna.
- Une Unité Cimenterie: située dans la commune de Tilatou, Daïra de Seggana, à 50 Km à l'ouest de Batna elle couvre une superficie de 20 hectares et implantée sur l'axe routier Batna-Bari ka (Route Nationale N° 5) et sur la rocade ferroviaire Ain-Touta-M'sila.

C. Fiche Technique :

- Domaine d'activité : Fabrication et vente des ciments.
- Capacité de production : 1.500.000 de tonnes de ciment par an.

3.2.2 Etapes de fabrication du ciment

Le ciment produit par la cimenterie Ain-Touta est fabriqué à partir d'un processus à voie sèche c'est la procédure la plus utilisée et la plus économique.

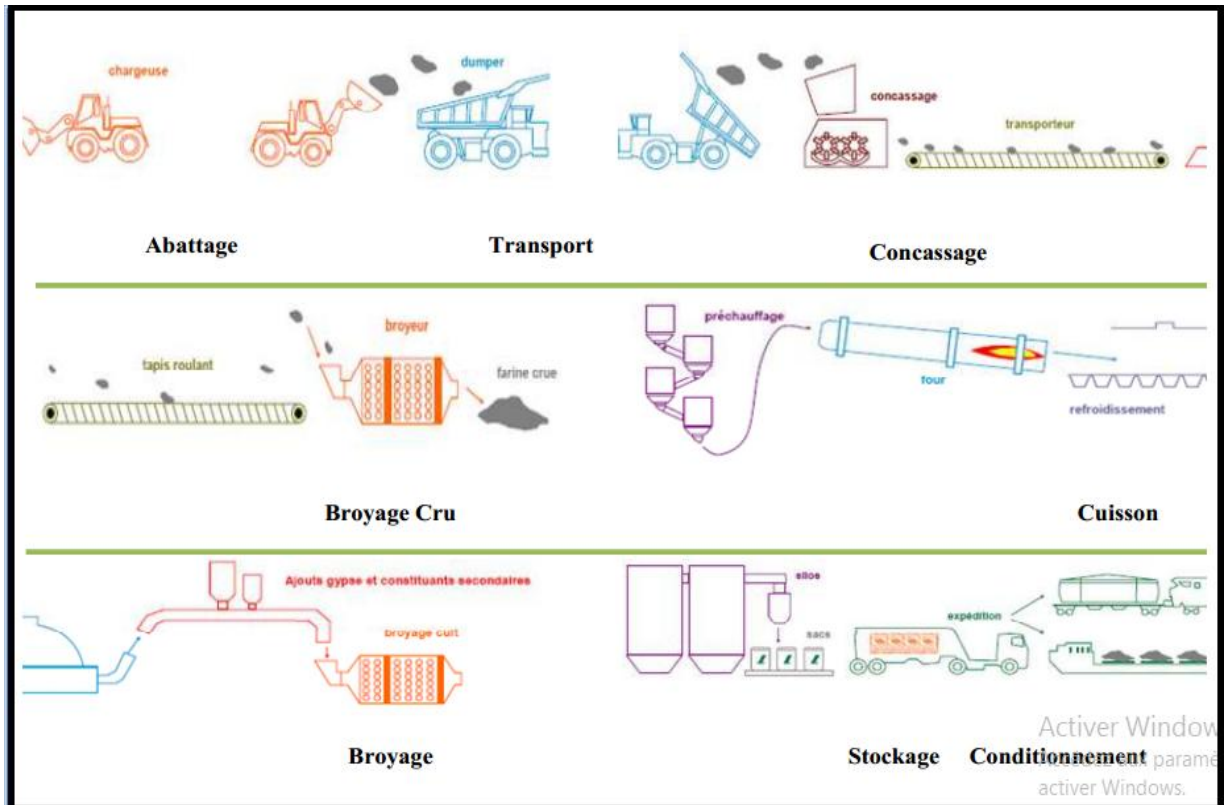


Figure 3.1 Processus de fabrication du ciment [10]

A. Exploitation des carrières :

- ❖ L'abattage du calcaire par l'utilisation des explosifs;
- ❖ L'extraction des argiles par ripage au bulldozer;
- ❖ Le chargement par chargeuses pneumatiques;
- ❖ Le transport du calcaire de puis le gisement jusqu'à l'installation de concassage est assuré par dumper et alors que le transport de l'argile est assuré par camion à benne ;
- ❖ Le dosage des matières premières s'effectue selon les recommandations du Service contrôle qualité (Laboratoire). [10]

B. Stockage et reprise des matières premières :

- ❖ Mise en stock des matières : les transporteurs déversent les matières par deux équipements de stockage (stackers) pour la réalisation de la mise en tas des matières dans les halls.
- ❖ Le mélange du calcaire et d'argile, qui est extrait du stock par pont-gratteur est amené par transporteur à bande à la trémie de l'atelier de broyage du cru.

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

❖ Le calcaire pur et le minerai de fer pour le broyage cru sont repris du hall de stockage par gratteur portique, et sont amenés aux trémies par transporteurs à bandes.

❖ Le calcaire pur et le gypse sont repris par gratteur portique, et sont amenés à l'atelier de broyage de clinker. [10]

C. Broyage cru :

❖ Les broyeurs crus sont alimentés par trois trémies de $250m^3$, chacune destinée respectivement pour : mélange, calcaire et minerai de fer (Mélange 75% Calcaire et 25% Argile, Calcaire, Minerai de fer).

❖ L'extraction des matières se réalise au moyen des extracteurs à tablier métalliques.

❖ Le dosage des matières qui alimentent les broyeurs s'effectue par transporteurs à bandes peseuses.

❖ Le broyage des matières dosées constitue une farine crue, qu'elle est amenée par un élévateur à un séparateur statique. La matière grossière est recyclée vers le broyeur.

❖ La matière fine est récupérée dans deux cyclones puis transportée par aérogليسseur et un système élévateur de farine (Air lift) jusqu' aux silos d'homogénéisation pour stockage. [10]

D. Cuisson :

❖ L'extraction de la farine homogénéisée dans les silos suivant un système CLAUDUS PETERS s'effectue par des extracteurs alimentant deux élévateurs, deux aérogليسseurs.

❖ La farine crue est amenée à deux trémies tampons de $65 m^3$ chacune.

❖ Le système d'alimentation des fours placé sous les trémies est de fabrication SCHENK, comportant pour chaque four deux sorties avec débitmètres.

❖ La farine crue dosée passe par deux air-lifts qui la transportent en haut des préchauffeurs à cyclones.

❖ Chaque tour de préchauffage est constituée de quatre étages de cyclones : l'étage supérieur comporte un cyclone double de 4,35 m de diamètre. Les trois étages au dessous comportant chacun un cyclone simple de 6,6m de diamètre.

❖ La farine crue alimentée aux prés chauffeurs subit une décarbonatation partielle suite échange thermique à contre courant à des températures variant de $320^{\circ}C$ - $850^{\circ}C$ selon étages cyclones.

❖ Le long du four, la farine passe par les transformations suivantes par l'utilisateur du gaz naturel comme combustible : calcination, transition, cuisson et refroidissement.

❖ Le clinker produit à une température jusqu'à $1400^{\circ}C$ est refroidit dans des refroidisseurs à ballonnets.

❖ Le clinker est transporté depuis les refroidisseurs par les transporteurs à augets jusqu'aux silos de stockage de Clinker (03 silos de 15000 Tonnes chacun).

❖ Le système de transport clinker présente la possibilité d'évacuer le clinker de mauvaise qualité dans une trémie de $90 m^3$.

❖ Le clinker fabriqué et répondant aux exigences de la qualité produit est stocké dans les silos. [10]

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

E. Broyage Clinker :

❖ L'extraction du clinker des silos de stockage se réalise par des alimentateurs vibrants qui alimentent des transporteurs à bandes pour remplissage des trémies clinker.

❖ Les broyeurs sont alimentés par 04 trémies de 280 m³ chacune avec deux sorties destinée respectivement pour : clinker, gypse, ajouts. Les deux dernières trémies sont alimentées à partir du hall de stockage des ajouts calcaire et gypse.

❖ L'extraction des matières des trémies s'effectue aux moyens des bandes doseuses.

❖ Le dosage des matières qui alimentent les broyeurs à ciment à circuit fermé se réalise par les dominats.

❖ Le broyeur est équipé d'un système d'injection d'eau au niveau des deux compartiments ce qui permet de maintenir la température de ciment à l'intérieur du broyeur au dessous de 115°C et cela pour éviter la transformation du gypse en plâtre.

❖ Le ciment à la sortie du broyeur est amené par un élévateur et une aéroglissière à un séparateur dynamique. [10]

F. Expéditions :

Le ciment est extrait des silos à l'aide d'un système de fluidisation par air, ces silos sont répartis comme suit: [10]

- 03 Silos de 8000 tonnes chacun au niveau de la voie route.
- 02 Silos de 8000 tonnes chacun au niveau de la voie ferrée.

3.2.3 Atelier de Clinkérisation

L'atelier de clinkérisation regroupe deux lignes de fours rotatifs dont le débit de clinker est 1560 t/h.

Le four, de la SCIMAT, est un cylindre d'acier rotatif posé avec une inclinaison de 3 à 5% vers la sortie. Il est calé à intervalles par des trains porteurs à galets. La rotation lui est transmise à travers une couronne dentée, un pignon et un réducteur de vitesse. Le four aura tendance à se déplacer vers l'aval au cours de sa rotation. Il est protégé contre les très hautes températures de service par revêtement de briques réfractaires maçonnées à l'intérieur sur toute longueur. Le revêtement est sensible à la déformation élastique du four et les variations de température.

La température de cuisson est aux environs de 1450°C. La chauffe est faite soit au fuel, soit au gaz, soit au charbon pulvérisé ou une combinaison de ces trois. Les matières premières sont enfournées à l'entrée du four et se déplacent à contre-courant des gaz chauds, à travers le four jusqu'à ce qu'elles en ressortent par le refroidisseur sous forme de clinker cuit.



Figure 3.2 Four Rotatif de la SCIMAT [10]

a) Caractéristiques du Four rotatif :

- Type du four : Four rotatif UNAX à 04 étages de préchauffeurs
- Capacité journalière : 2X1500 t/j de clinker
- Diamètre : 4,55 mètres
- Longueur : 68 m
- Vitesse de rotation : 2,0 tr/mn
- Revêtement : Réfractaire à base d'alumine et de magnésie chrome.
- Température de cuisson : Jusqu'à 1400°C
- Température Clinker sortie refroidisseurs : de 150 °C à 200 °C. [10]

b) Problématique dans la conduite du four :

Chacune des opérations impliquées dans le processus de fabrication de ciment est importante et doit être correcte, faute de quoi le ciment risque de ne pas avoir la qualité exigée pour son emploi. Cependant la cuisson est sans doute l'opération la plus sensible et la plus importante. En effet, la cuisson ou la clinkérisation est l'opération au cours de laquelle s'effectuent les réactions chimiques essentielles. Elle détermine en grande partie la qualité du ciment. Les autres opérations y participent également, mais il n'est pas toujours possible de remédier aux défauts de la cuisson.

Le four est la zone la plus sensible aux défaillances. Les interactions entre ces diverses fonctions sont extrêmement complexes et difficiles à identifier. Les connexions déterminantes sur le résultat du processus de cuisson sont celles reliant la production de la

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

chaleur et les transformations chimiques de la matière. Le fonctionnement du four influence plusieurs paramètres comme les paramètres de la combustion, la qualité du clinker et la consommation de l'énergie. L'environnement du four pose d'énormes difficultés pour disposer de mesures fiables caractérisant son fonctionnement. Le four en tant que système à commander est caractérisé par l'aspect multi-variable.

N°	Désignation d'équipement	Le taux de pannes	Nombre de pannes/an
01	Concasseur 02	6.19%	7 pannes
02	Concasseur 03	0.87%	1 panne-
03	Concasseur 06	2.65%	3 pannes
04	Aéroglièze	11.5%	13 pannes
05	Bouche Vrac	13.27%	15 pannes
06	Armoire Bruleur à gaz	6.19%	7 pannes
07	Armoire générateur chaleur	5.31%	6 pannes
08	Elévateur	5.31%	6 pannes
09	Four	29.2%	33 pannes
10	Moteur électrique	2.65%	3 pannes
11	Broyeur Ciments	16.81%	19 pannes

Tableau 3.1 Taux de pannes des équipements de la chaîne technologique [10]

On peut considérer le four comme le premier responsable sur la qualité du ciment. D'après le tableau 3.1 le taux de pannes de four est toujours le plus élevé, c'est ce qui a poussé notre étude à se concentrer sur cette zone.

3.3 Environnement de développement

LABVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un langage de programmation graphique qui utilise des icônes au lieu de lignes de texte pour créer des applications. Contrairement aux langages de programmation textuels où ce sont les instructions qui déterminent l'ordre d'exécution du programme, LABVIEW utilise la programmation par flux de données ; c'est le flux des données transitant par les nœuds sur le diagramme qui détermine l'ordre d'exécution des VIs et des fonctions. Les programmes LABVIEW sont appelés instruments virtuels, ou VIs, car leur apparence et leur

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

fonctionnement s'apparentent à ceux des instruments réels, tels que les oscilloscopes et les multimètres. LABVIEW contient une grande gamme d'outils pour l'acquisition, l'analyse, l'affichage et l'enregistrement des données. Ces outils permettent nous aider à mettre au point notre programme. [7]

3.3.1 Présentation de l'interface

Le code source à exécuter est déterminé par l'architecture graphique d'un diagramme. Les différentes fonctions sous forme d'icônes dans le diagramme sont connecté par des fils dessinés entre les terminaisons des d'icônes. Une fois que toutes les entrées d'une fonction sous forme d'icône sont disponibles, le nœud s'exécute.

Le diagramme de LABVIEW se compose d'une interface utilisateur graphique nommée Front Panel (face-avant). Les programmes et sous-programmes (VI) sous forme d'icônes et Un bloc de diagramme où les icônes sont liées pour créer le programme.

a) Front Panel :

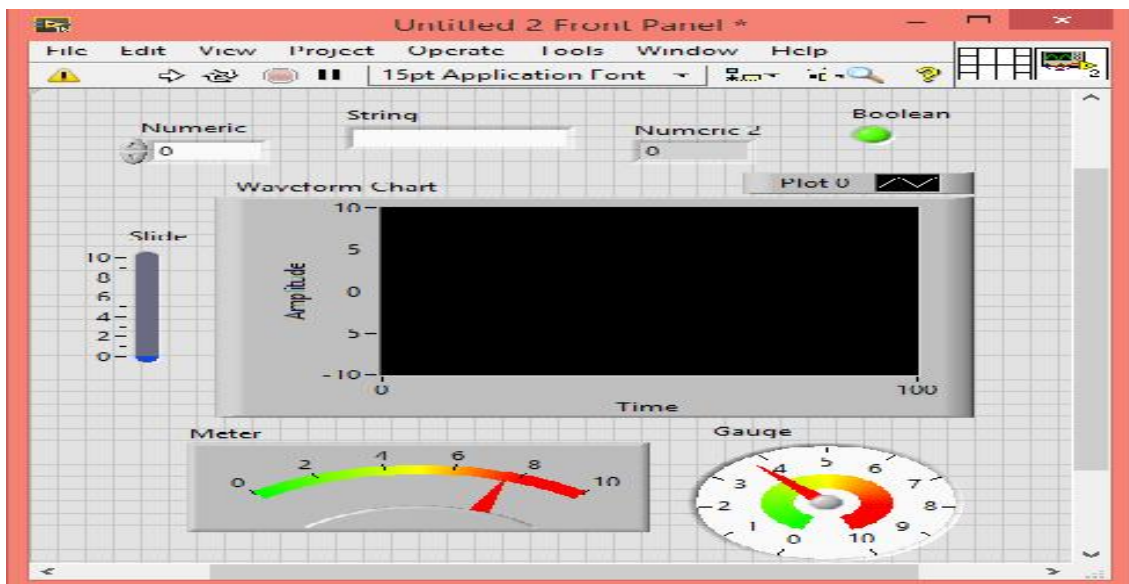


Figure 3.3 Front Panel

b) Bloc diagramme :

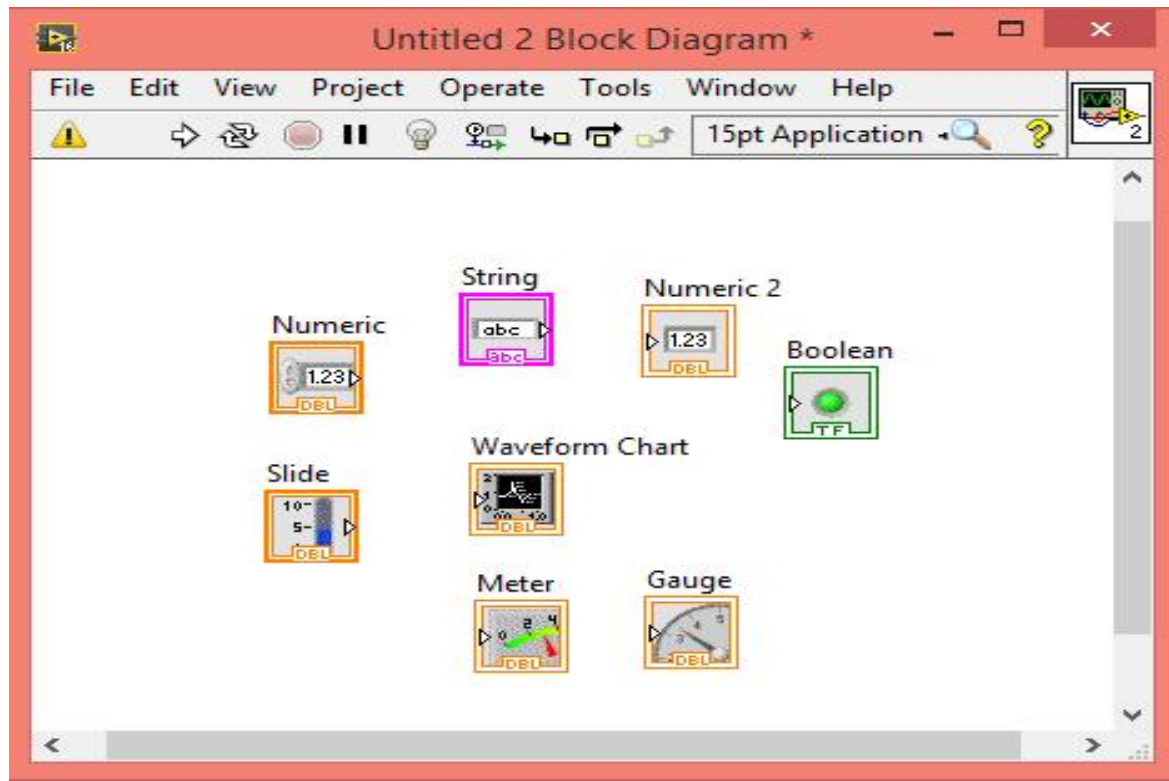


Figure 3.4 Bloc Diagramme

c) Comparaison :

```
1 package test;
2
3 public class test {
4     public static void main (String [] args){
5         double resultat=0;
6         resultat=5+4;
7         resultat=resultat*3;
8         resultat=Math.sqrt(resultat);
9         System.out.println("resultat est : "+resultat);
10    }
11 }
12
```

Problems @ Javadoc Declaration Console

<terminated> test [Java Application] C:\Program Files (x86)\Java\jre1.8.0_66\bin\ja
resultat est : 5.196152422706632

Figure 3.5 Simple programme en JAVA

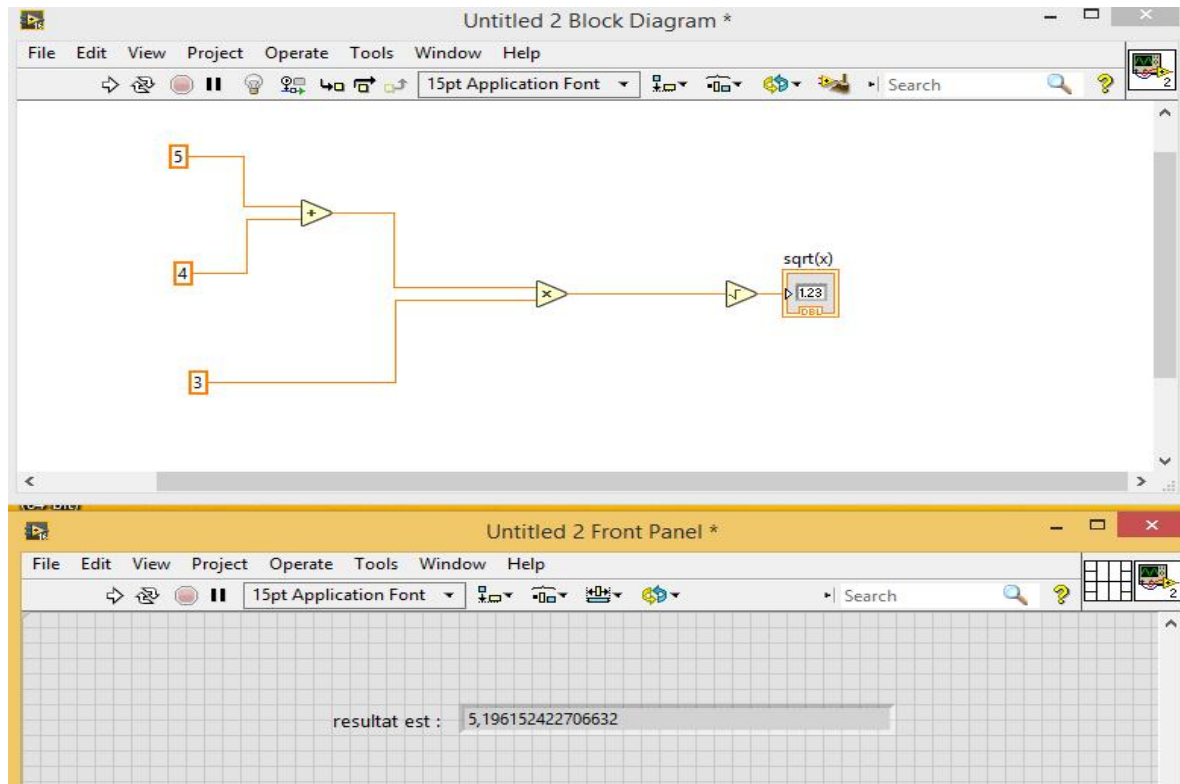


Figure 3.6 Simple programme en LABVIEW

3.4 Implémentation

Dans cette partie, on va présenter en détail notre application et les différents simulation et fonctionnalités qui se trouvent dans notre application.

3.4.1 L'accès sécurisé à l'application

La sécurité des applications est très nécessaire, c'est pour cela nous avons créé un système qui permet d'accéder à l'application à travers le nom d'utilisateur et le mot de passe.



Figure 3.7 Interface de login

En cas où le nom d'utilisateur ou le mot de passe est incorrecte, l'utilisateur reçoit un message d'erreur.

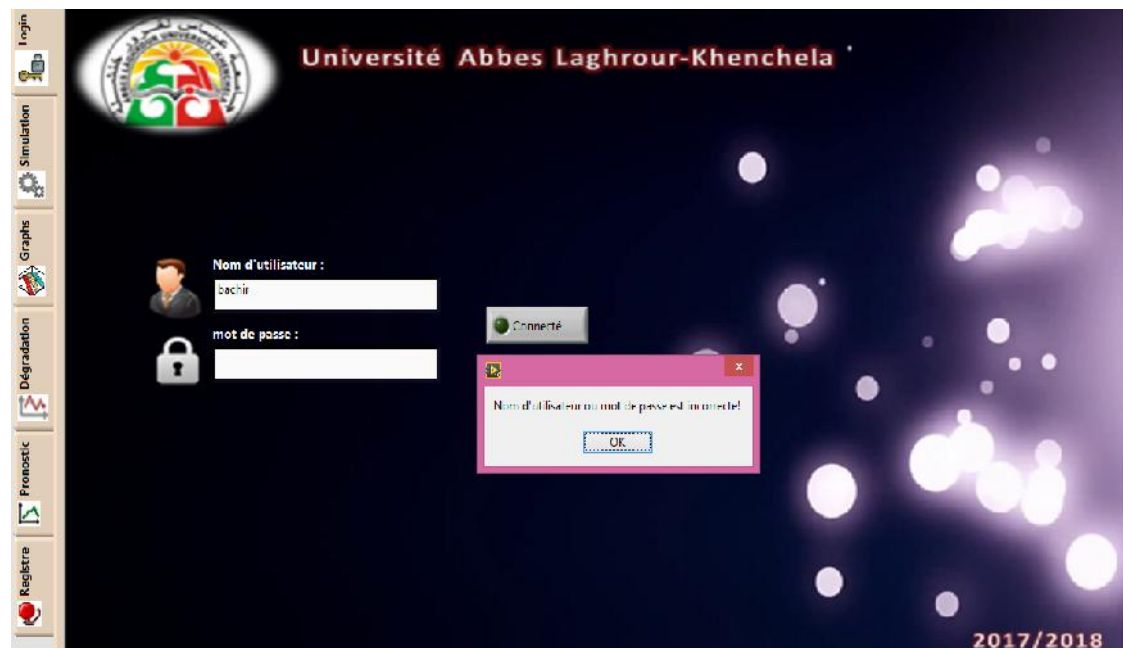


Figure 3.8 Message d'erreur d'inscription

3.4.2 Simulation de la zone de clinkérisation

Dans cette partie, nous avons simulé le fonctionnement de la zone de clinkérisation, pour mieux comprendre et visualiser les différents équipements de cette zone et leur séquençement, nous avons focalisé sur les trois variables pertinentes dans notre système industriel, qui sont la vitesse de rotation de four, température de la charge en entrée de four et température de la charge en sortie de four.

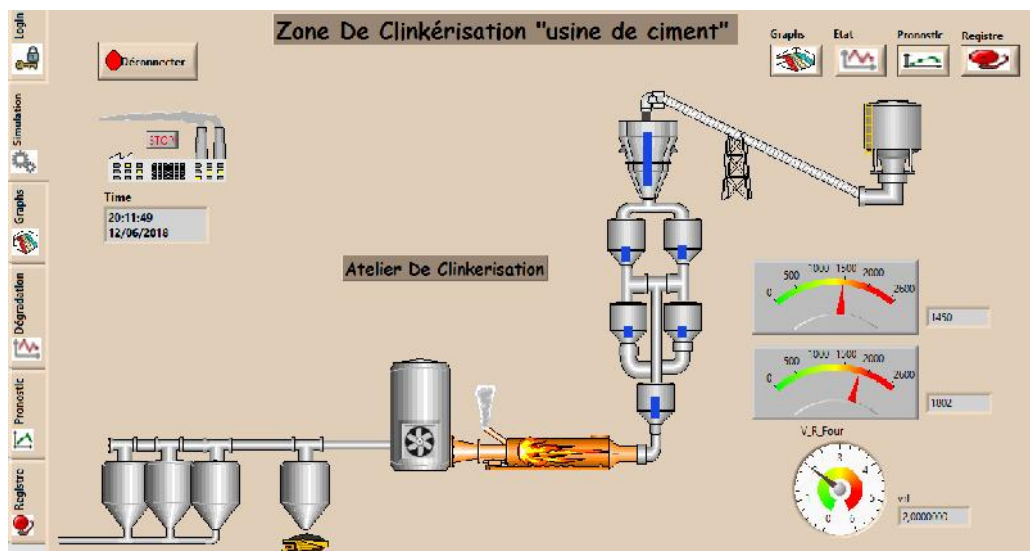


Figure 3.9 Interface de simulation de la zone de clinkérisation

1. Le bouton déconnecter permet de fermer la session et revenir à la page d'inscription.
2. Pour basculer entre les différents pages de l'application nous avons les boutons à gauche ou bien à droite pour faciliter le basculement.
3. Afin de surveiller les valeurs de notre trois variables, nous avons les indicateurs pour afficher les valeurs.

3.4.3 Graphiques des variables pertinentes

a) Graphes de fonctionnement normal

Dans cette partie de notre application, on peut choisir une ou plusieurs variables des variables pertinentes pour détecter une défaillance, ou bien choisir une variable aléatoire (provoquer une dégradation ou défaillance aléatoire).

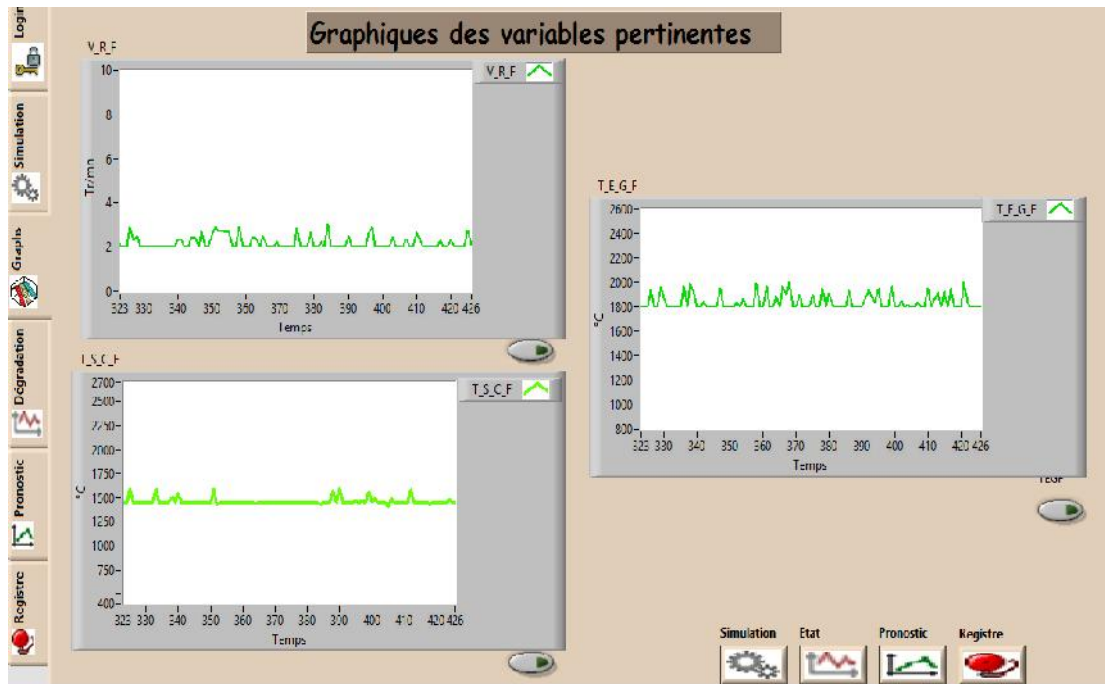


Figure 3.10 Les variables pertinentes en fonctionnement normal

Dans cette interface nous avons trois graphiques qui représentent chacun une variable pertinente. En mode fonctionnement normale les courbes des variables dans l'intervalle. Après la détection d'une défaillance on remarque :

- Un changement de couleur de la courbe.
- La courbe traverse les limites.
- Déclenchement de l'alarme et afficher un message d'alerte.

b) Graphes de fonctionnement dégradé

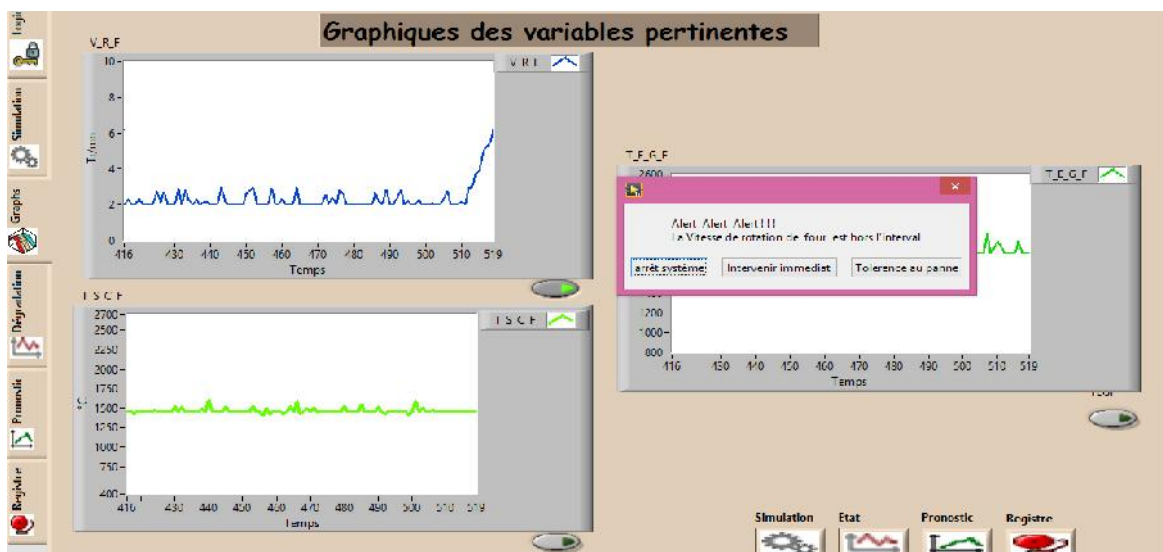


Figure 3.11 Détection d'une défaillance (Vitesse de rotation est très élevée)

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

Après que la dégradation est détectée et la vitesse de rotation du four approche du niveau d'échec, un message d'alerte s'affiche pour informer l'opérateur et proposer des solutions, il existe plusieurs solutions possibles pour intervenir et corriger l'erreur tel que : augmenter le débit de gaz ou d'oxygène dans le four, augmenter ou diminuer la vitesse de rotation du four..., nous avons choisi de simuler ces solutions d'une manière automatique comme suit :

- **Arrêt système** : une solution pour arrêter le fonctionnement de système.
- **Intervenir immédiat** : une solution pour régler et corriger l'erreur automatiquement.

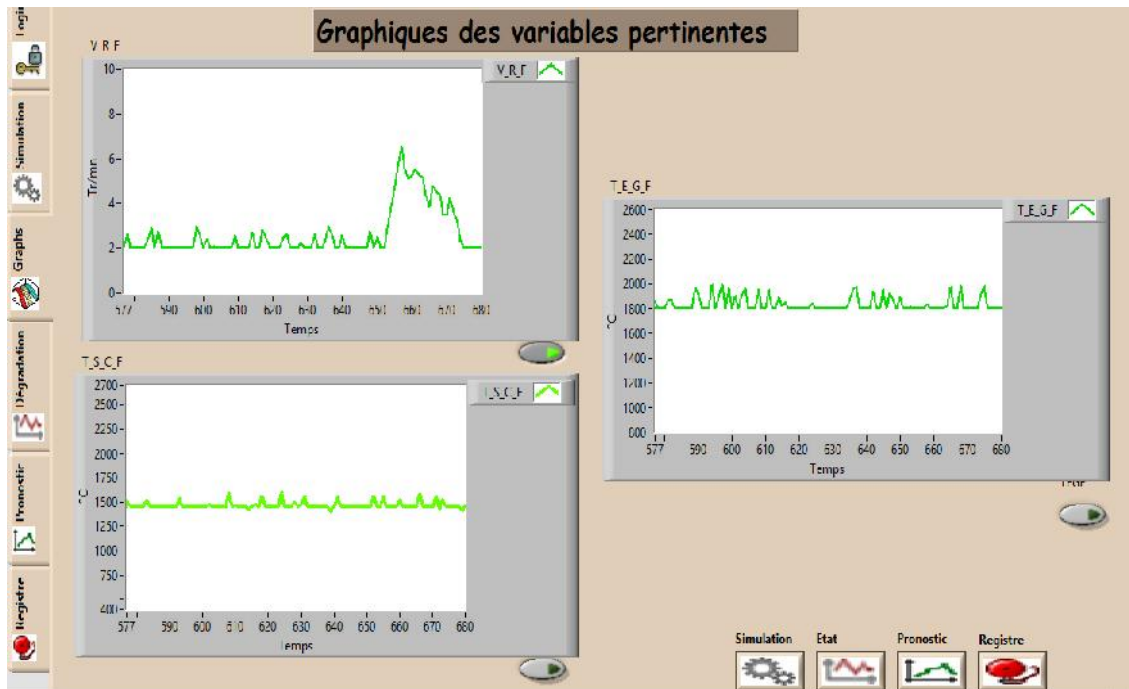


Figure 3.12 Intervention du SIF pour la régulation des perturbations

- **Tolérance aux pannes** : une solution pour ignorer la dégradation et continuer le fonctionnement.

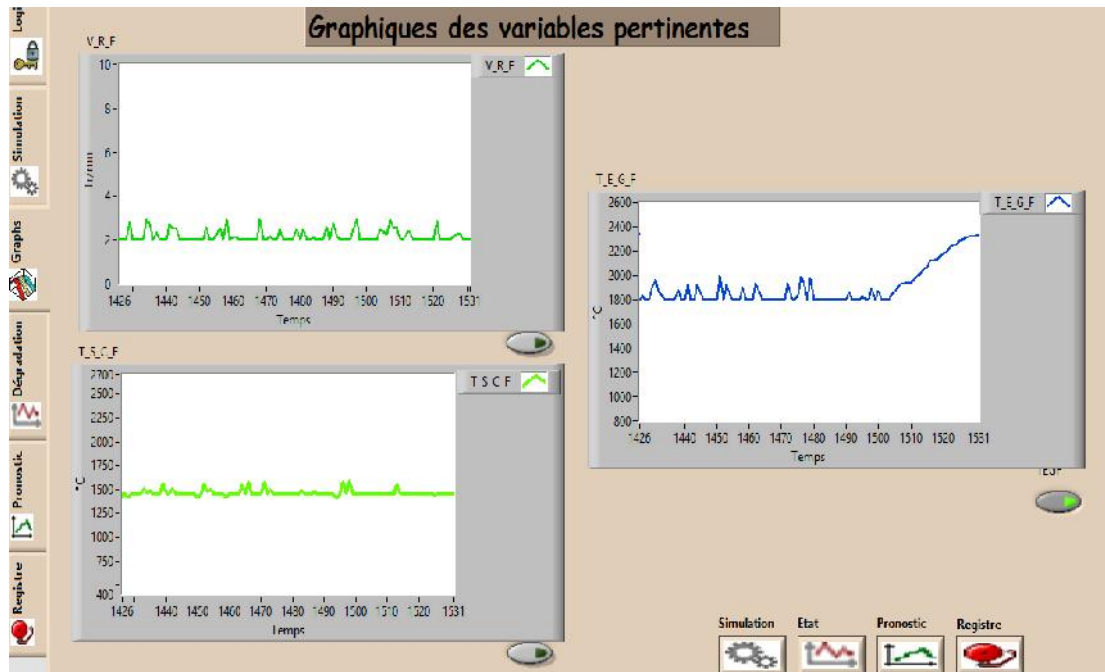


Figure 3.13 Tolérance aux pannes

3.4.4 Interface de dégradation

Nous avons présenté dans cette partie comment notre application estime la durée moyenne avant la défaillance. Nous avons prédit le temps moyen restant avant la défaillance basant sur notre système d'inférence flou, il prend en considération la valeur actuelle de la variable pertinente avec le degré de dégradation pour déterminer le temps restant.

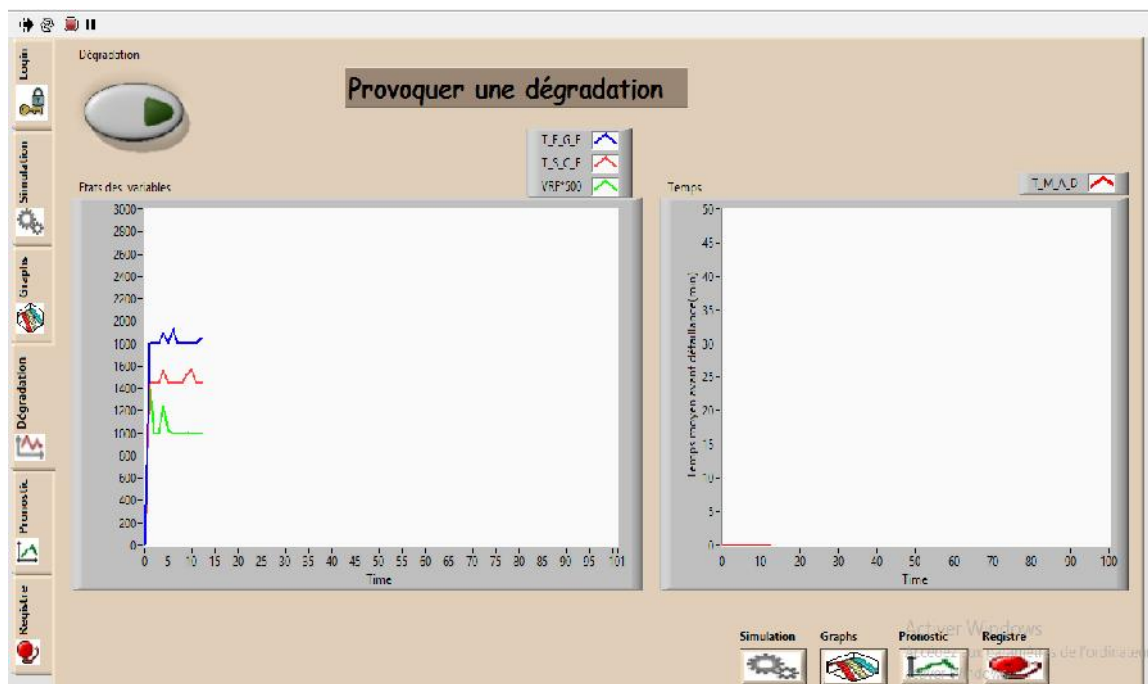


Figure 3.14 Etat des variables avant la dégradation

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

Après la provocation d'une dégradation, un message d'information s'affiche pour avertir l'opérateur, spécifié la variable concernée et afficher la durée estimée restante avant le mode échec.

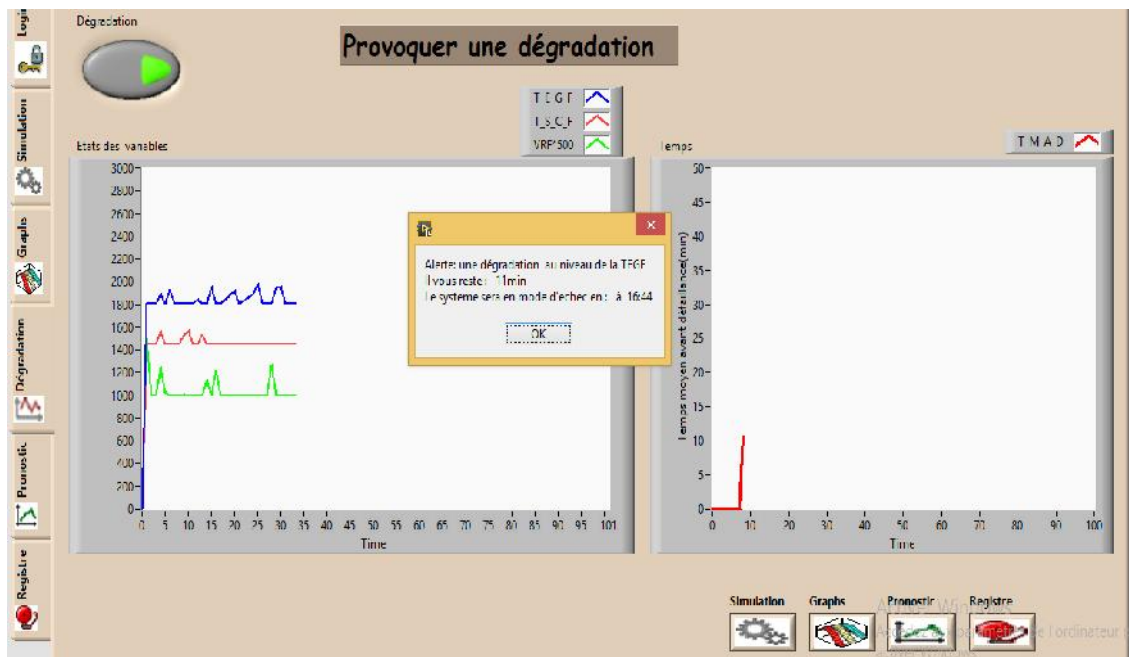


Figure 3.15 Détection de dégradation et estimation de RUL

Après la durée estimée, nous avons un message d'avertissement qui se déclenche automatique en cas une des variables traverse les limites autorisées. Ce message permet à l'opérateur d'intervenir immédiatement.

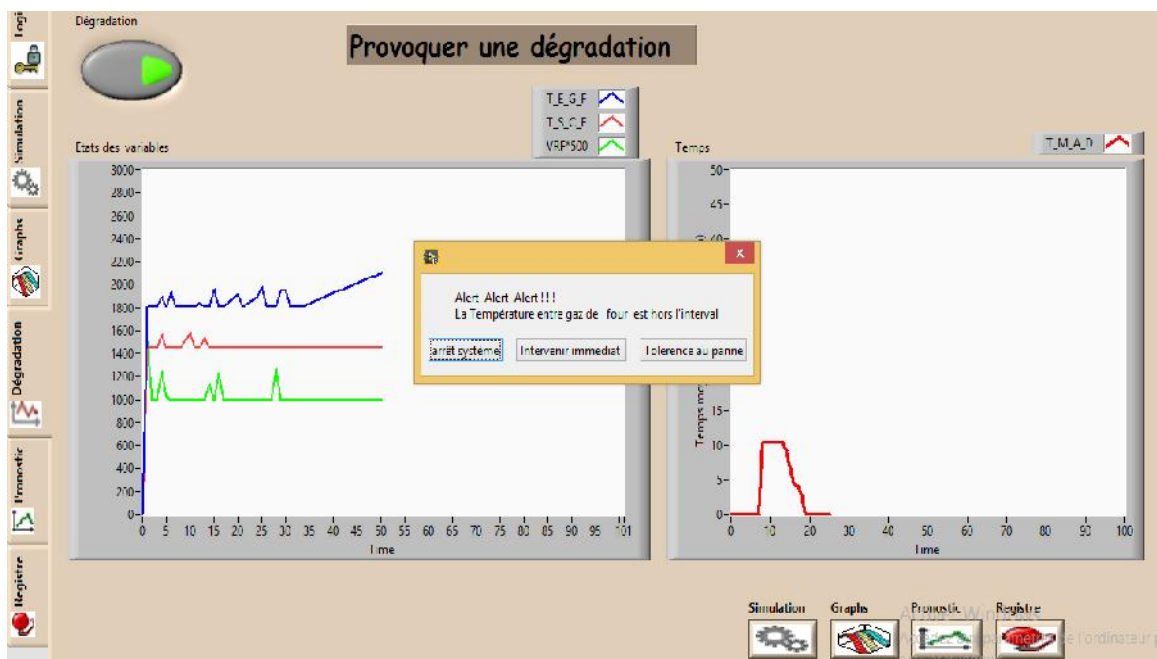


Figure 3.16 Alerte indique que le système sera en panne.

3.4.5 Contrôleurs flous

3.4.5.1 Création de contrôleur flou :

Dans la barre de menu => Tools => Control and Simulation => Fuzzy System Designer, nous ouvrons la fenêtre de système flou pour créer notre système.

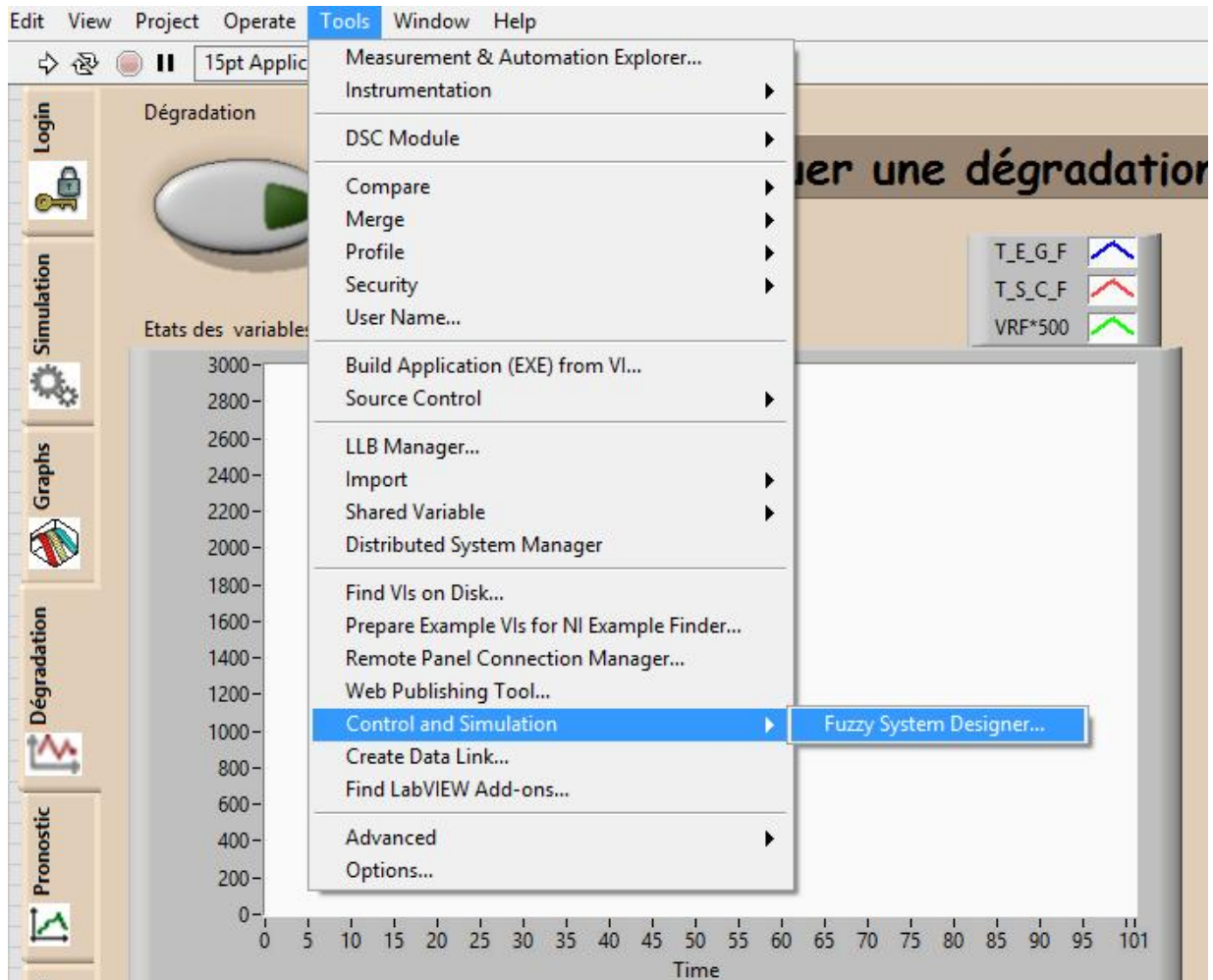


Figure 3.17 Accéder au concepteur de système flou

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

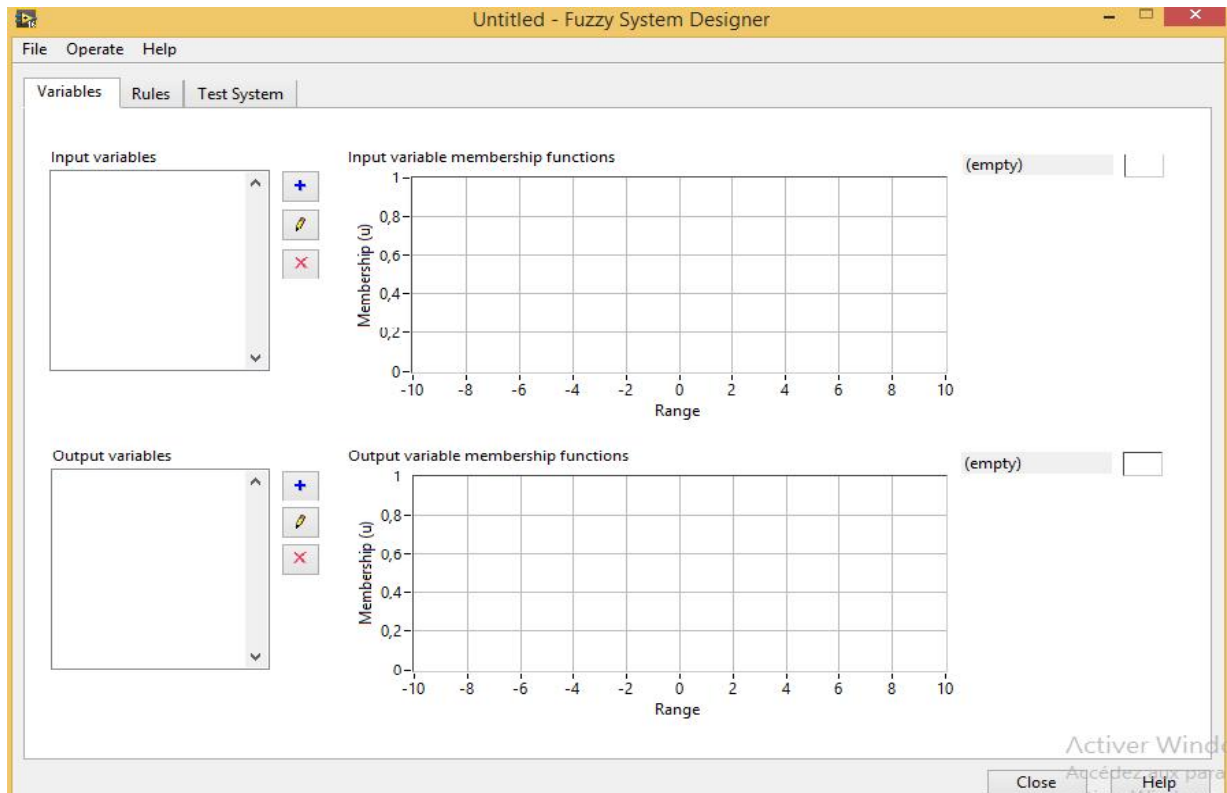


Figure 3.18 Concepteur de système flou

3.4.5.2 Contrôleur flou pour estimer le temps

Nous avons défini les variables nécessaires pour notre système flou, basant sur ces variables le système prédit le résultat qui est le temps moyen restant avant la défaillance.

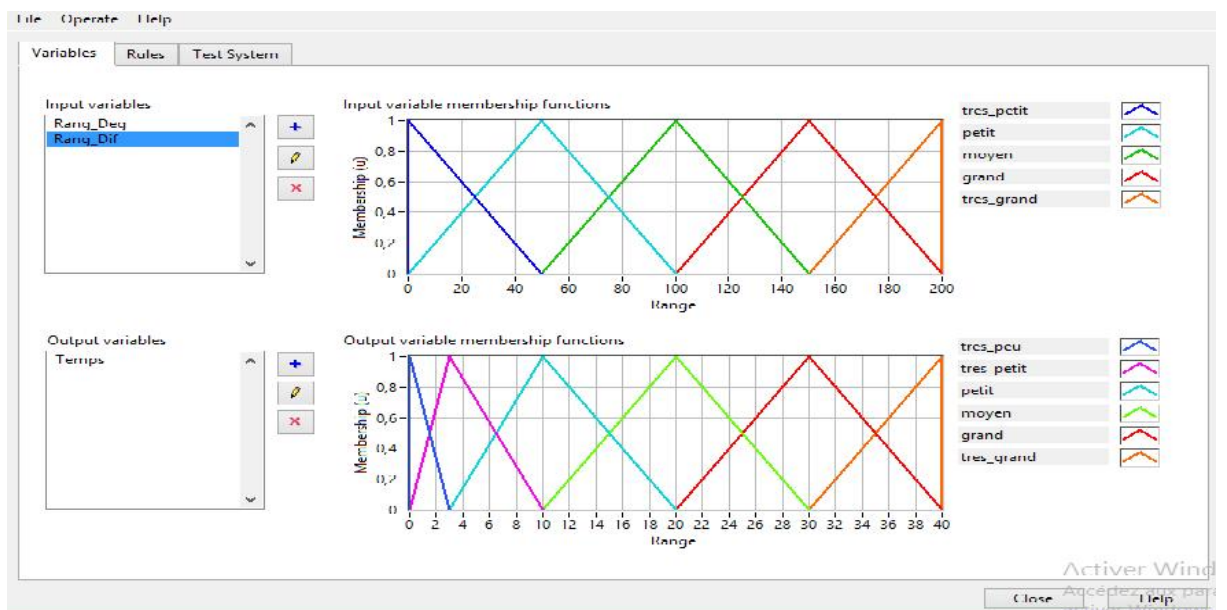


Figure 3.19 Système flou pour prédire le temps moyen restant

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

Variable	Description
Rang_Deg	C'est le niveau de dégradation
Rang_dif	C'est la distance entre la valeur actuelle et la limite de dégradation

Tableau 3.2 Définition des variables.

➤ Les règles :

Nous avons décrit les règles floues qui sont la base de raisonnement de notre système.

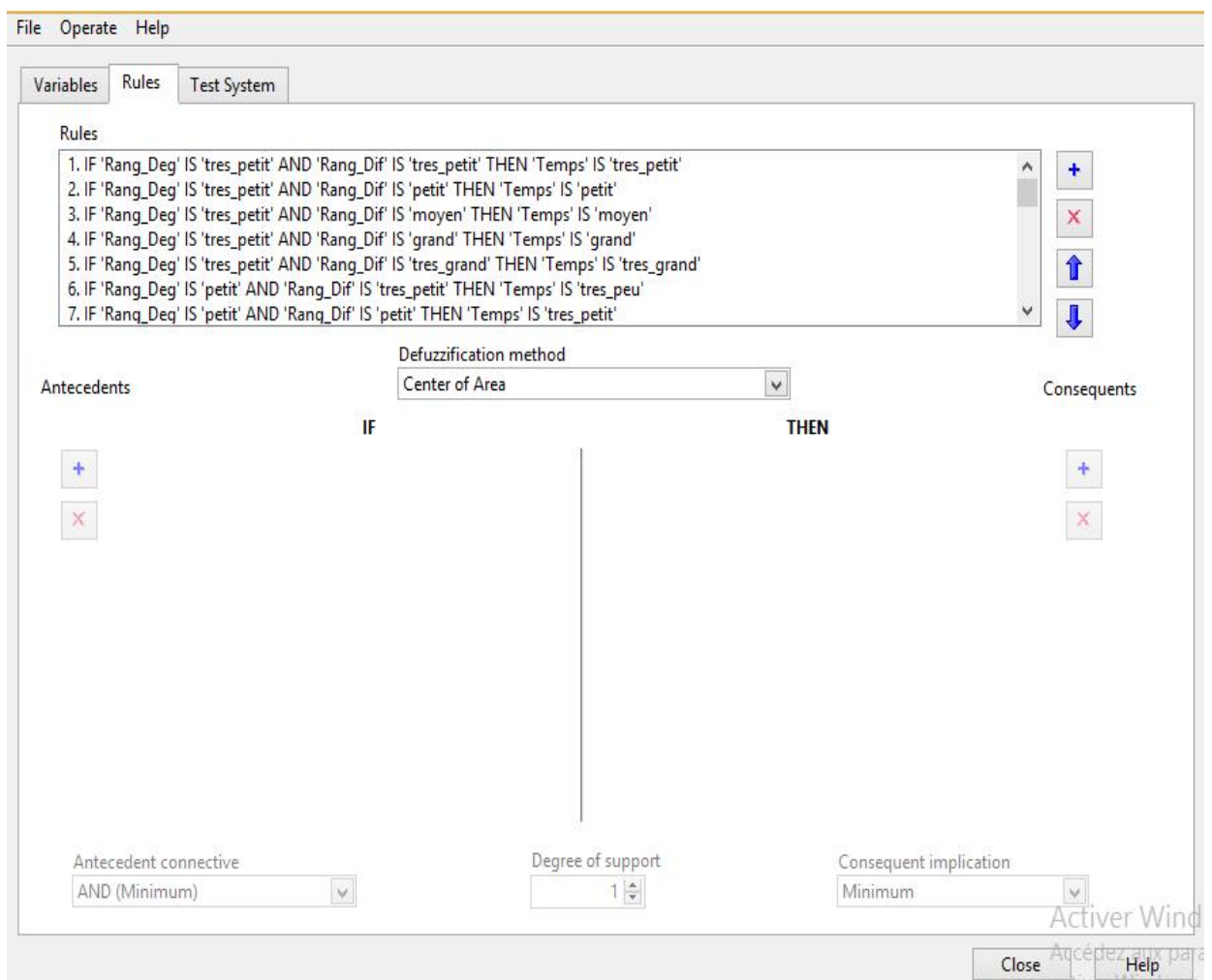


Figure 3.20 La base des règles

➤ La relation entre les entrées (Rang_Dig, Rang_Dif) et la sortie (Temps) :

Après la défuzzification (nous avons travaillé par la méthode de centre de gravité) le système produit un résultat à partir des données des entrées. Ce résultat est l'estimation de temps moyen avant la défaillance.

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

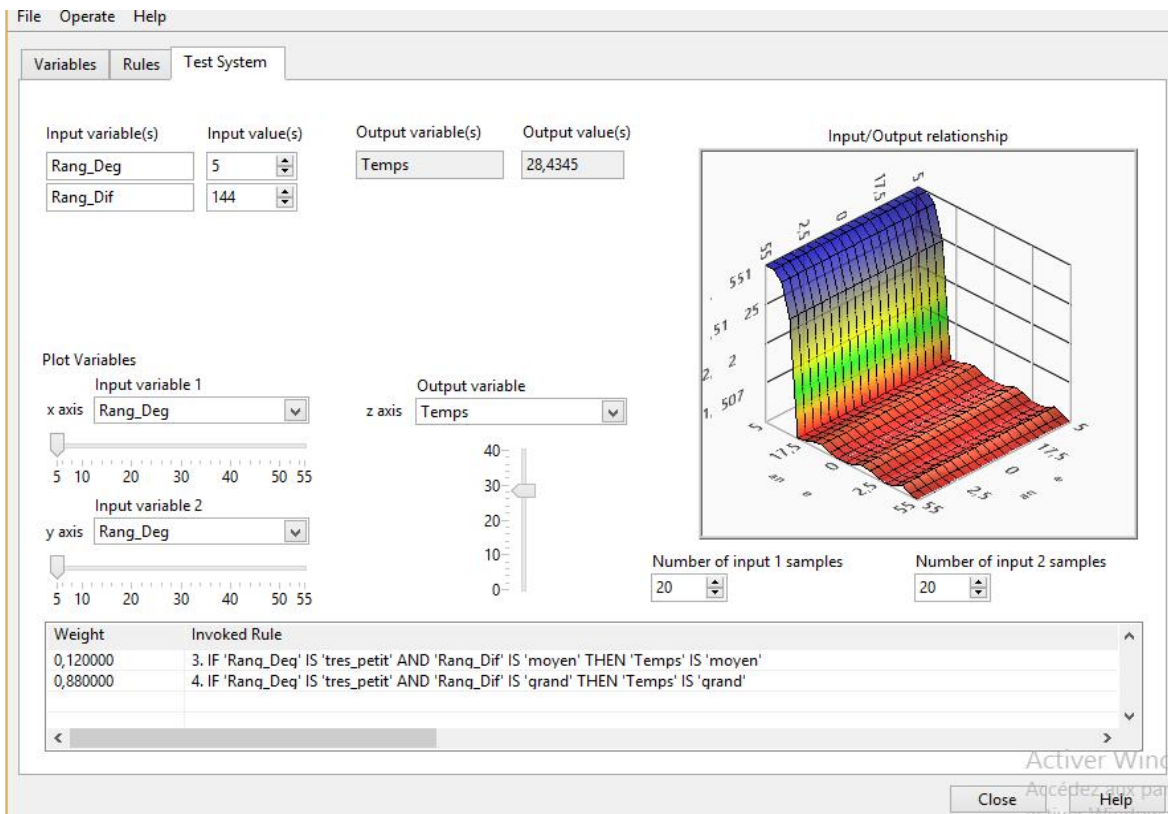


Figure 3.21 Les entrées et la sortie de système flou

Pour chaque variable, nous avons un système flou pour estimer le temps moyen restant avant la défaillance dans le cas où cette variable est la pertinente de la dégradation tel que :

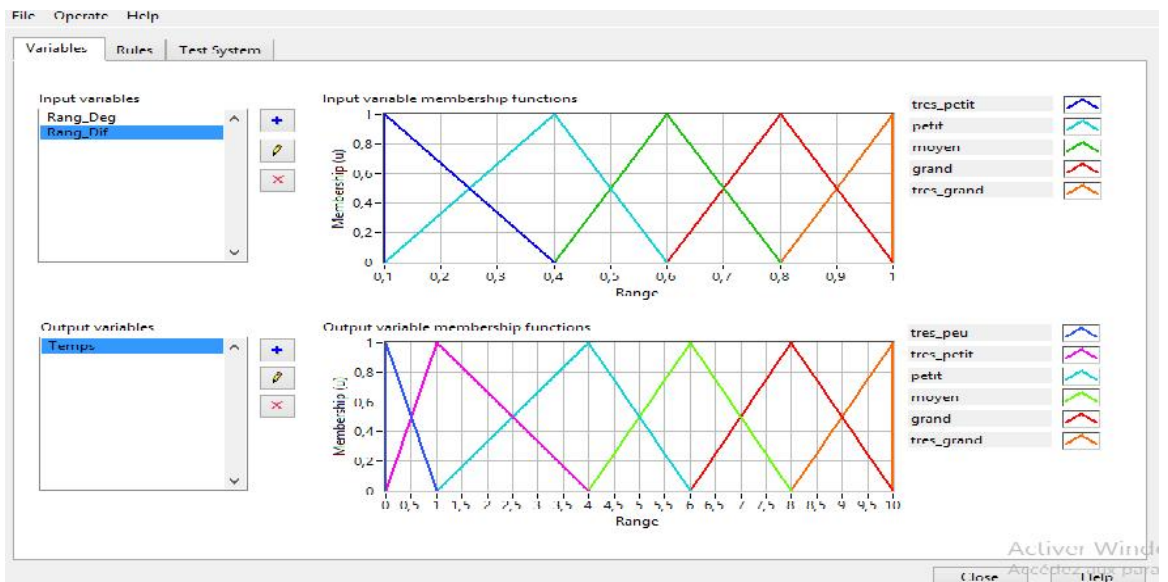


Figure 3.22 Système flou pour prédire le temps moyen restant(V_R_F)

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

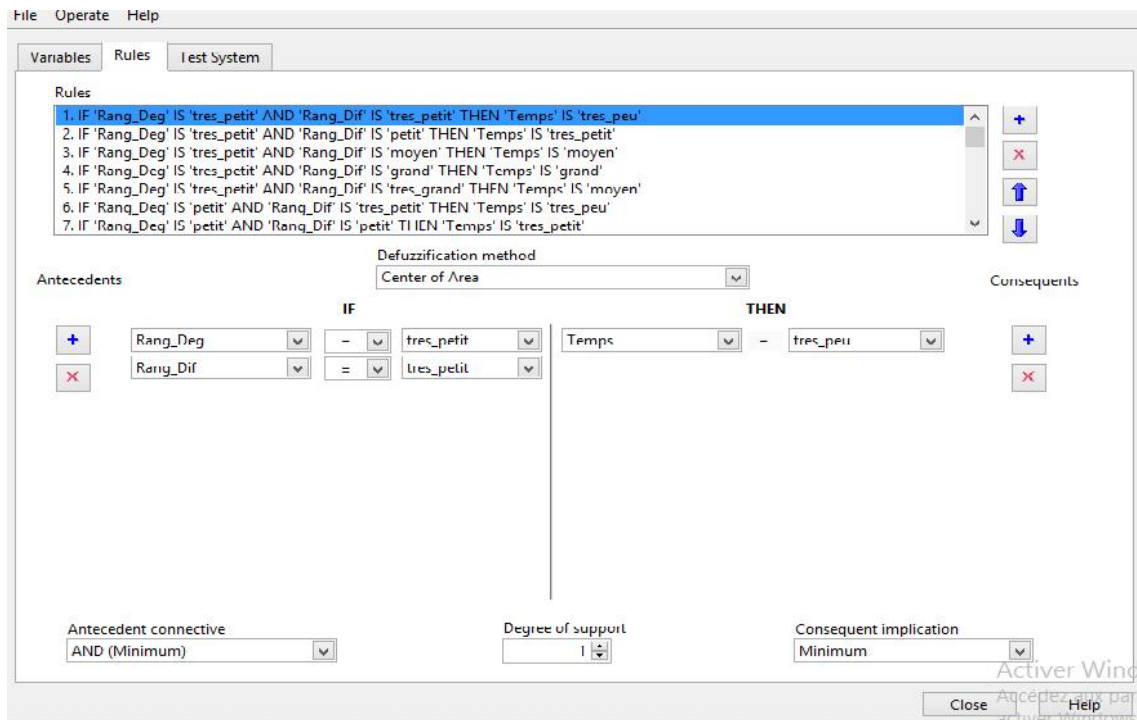


Figure 3.23 La base des règles(V_R_F)

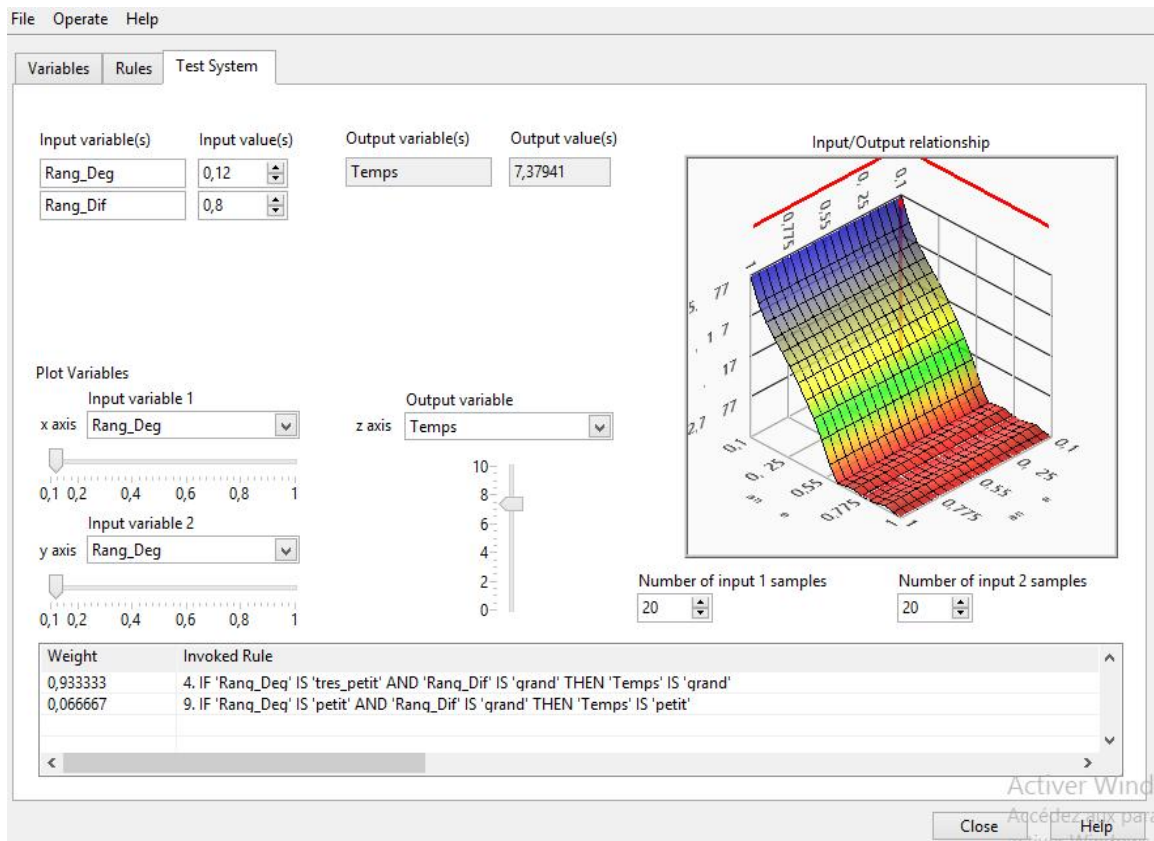


Figure 3.24 Test de Système flou (V_R_F)

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

3.4.5.3 Contrôleur flou des variables

Le système d'inférence flou qui contrôle les variables pertinentes, son but est d'augmenter ou bien diminuer la valeur de chaque variable pour qu'elle soit dans l'intervalle autorisé.

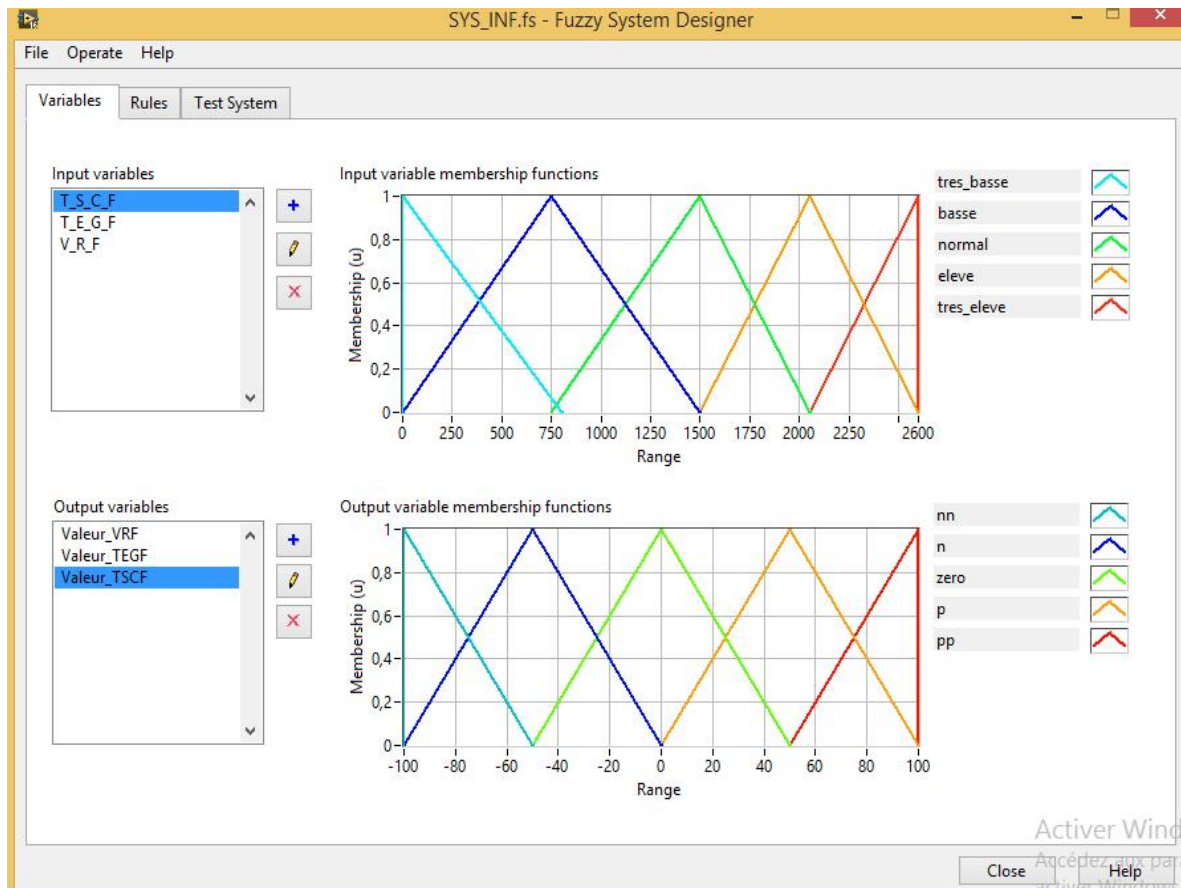


Figure 3.25 Système flou pour contrôler les variables pertinentes

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

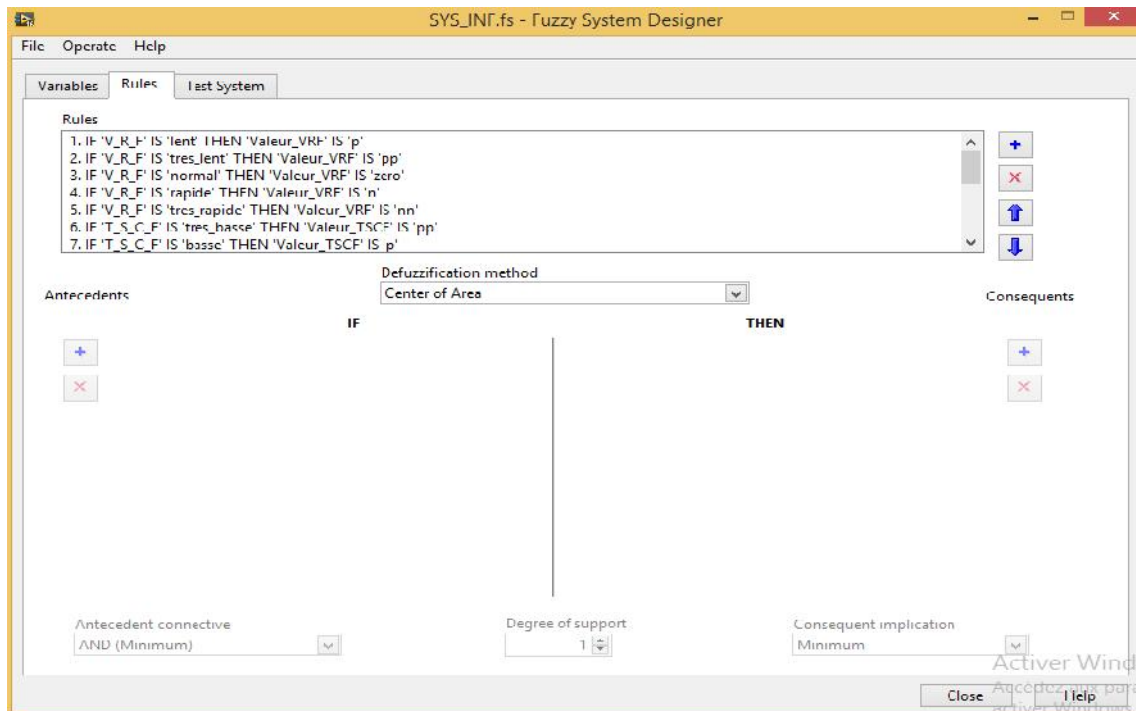


Figure 3.26 La base des règles

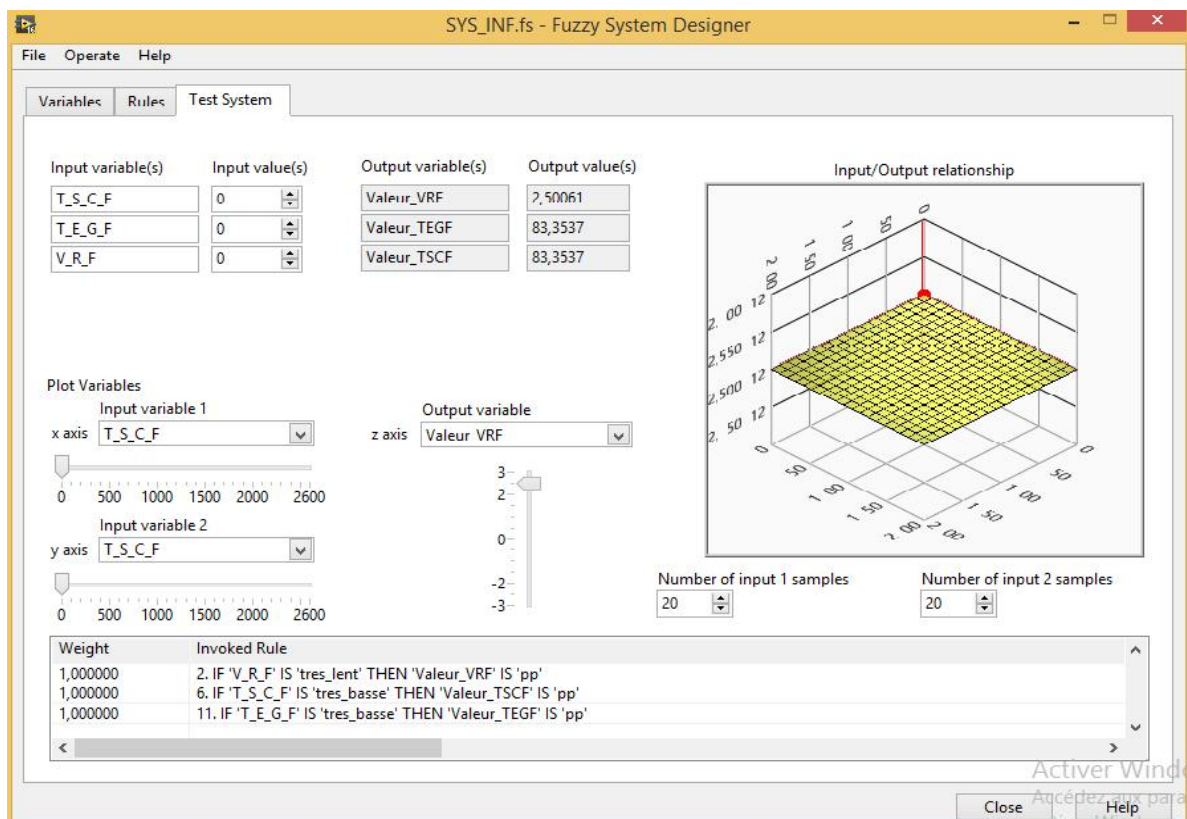


Figure 3.27 La relation entre les entrées et les sorties

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

3.4.6 Pronostic industriel

Dans cette partie, nous avons un graphique qui concerne les trois variables pertinentes, chaque courbe a sa propre couleur et représente une variable on remarque que dans le fonctionnement normale les courbes des variables dans l'intervalle.

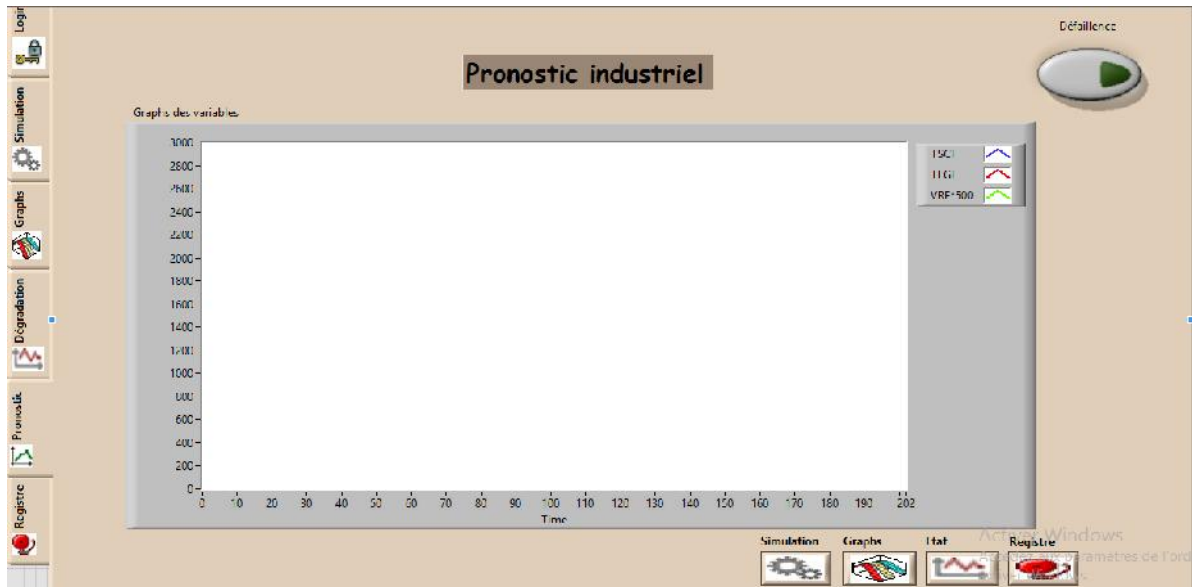


Figure 3.28 Interface pour simuler le pronostic industriel

Si on provoque une défaillance (sélectionner une des variable pertinente aléatoirement), nous avons un des courbes qui concerne la variable sélectionner traverse les limites, avec un message d'alerte qui demande d'intervenir d'une manière automatique pour corrigé l'erreur. Cette intervention est basée sur des résultats de système d'inférence floue.

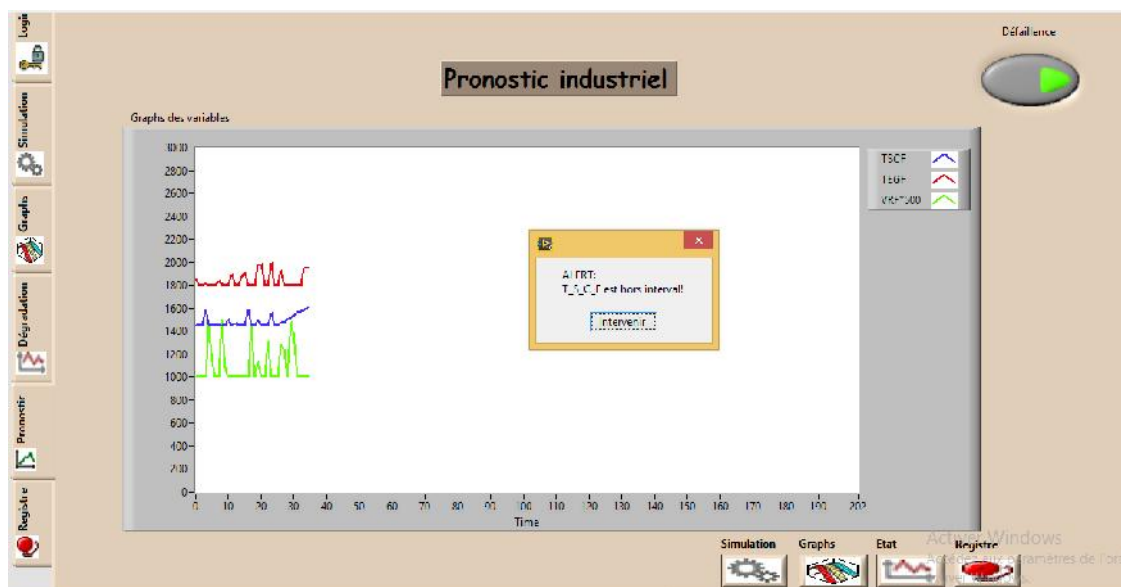


Figure 3.29 Provoquer une défaillance

Chapitre 3 : La mise en œuvre de l'application

Dans la figure (3.30) nous voyons comment le système démunie la température pour la rendre dans l'intervalle autorisé.

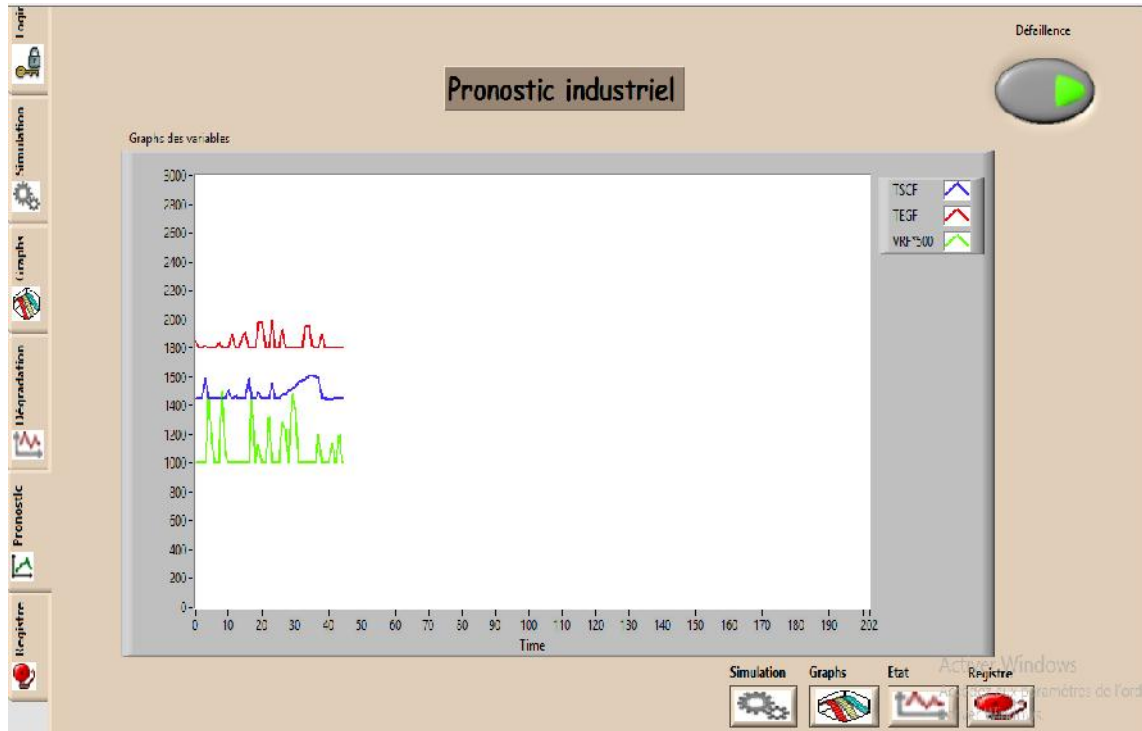


Figure 3.30 Intervention de système

3.4.7 Registre des alarmes

Chaque alerte déclenchée, sera enregistrée dans ce registre. Dans ce registre, nous pouvons voir toutes les alarmes générées du système.



Figure 3.31 Registre des alarmes

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la cimenterie d'Ain-Touta-Batna, aussi nous avons focalisé sur le processus de fabrication de ciment et plus précisément la zone de clinkérisation, par ce que cette zone est très sensible aux défaillances, comme elle contrôle avec un grand degré la qualité de produit.

Cette application, qui fait la simulation de : la zone ciblée, une dégradation dans le système par le choix d'une variable aléatoirement ou par l'utilisateur. Aussi elle génère des alarmes en cas détecter une dégradation, comme elle permet de simuler plusieurs solutions :

- Arrêt le système ;
- Des interventions basées sur la logique floue pour corriger et maintenir l'erreur ;
- Ignorer la dégradation.

En cas de dégradation, notre application estime le temps restant avant défaillance d'un équipement.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le but de maximiser la productivité et les performances globales du système, les entreprises cherchent à automatiser tous ses processus pour réduire les coûts supplémentaires et le temps d'exécution des tâches.

Ce travail, qui a été accompli grâce à ce mémoire, nous a permis d'identifier un élément clé dans les stratégies de la maintenance industrielle qui est le pronostic industriel, nous avons choisi le pronostic grâce à ses avantages tel que:

- ❖ Sa capacité à détecter et à isoler les défauts imminents ;
- ❖ Prévoir la situation future d'un système ;
- ❖ Réduire les coûts de la maintenance ;
- ❖ Minimiser les taux des pannes.

Tous les points importants de ce travail sont regroupés dans trois chapitres :

Le premier chapitre est un état de l'art de pronostic industriel qui présente le concept de pronostic.

Le deuxième chapitre est une introduction à la logique floue, ses terminologies, ses opérateurs flous, ses ensembles. Le système d'inférence qui est le moteur de raisonnement.

Le troisième chapitre consacré à l'application, qui commence par une présentation de la cimenterie d'Ain-Touta Batna, le processus de clinkérisation, ainsi qu'un aperçu sur le logiciel LABVIEW. Notre application qui permet de provoquer une dégradation dans une variable pertinente pour simuler comment notre application réagir avec les dégradations, par la génération des alarmes qui vont enregistrer dans le registre, estimer la durée restante avant que le système sera en panne, offre des interventions basées sur le raisonnement flou afin de pouvoir régler et contrôler la dégradation avant d'être une défaillance.

Nous avons créé un système de pronostic, basé sur la logique floue. Le système proposé offre les possibilités suivantes :

- ❖ Une visualisation graphique avec une simulation du comportement de la zone de clinkérisation.
- ❖ Contrôle flou de la zone de cuisson et les variables pertinents.
- ❖ Diagnostic des alarmes qui informent l'opérateur sur l'état et les problèmes du système.
- ❖ Des graphiques qui montrent l'état des variables pertinentes.
- ❖ Affichage des messages qui aident l'opérateur à prendre des décisions.
- ❖ Application sécurisé par un mot de passe et un nom d'utilisateur.
- ❖ Estimation de temps restant avant défaillance d'un équipement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [01] **Alami Hlimi Adil, Alami Hlimi Otman.** Optimisation de la consommation énergétique et les temps d'arrêt du Broyeur Ciment. Projet de fin d'étude. 2016.
- [02] **M. Cormier Gabriel .**Professeure agrégée Université de Moncton, Canada. Cours Asservissements Linéaires.
- [03] **Antoine Cornuéjols.** Cours d'I.A.“Introduction à la logique floue”.2013
- [04] **MOKEDDEM Diab.** Contrôle Flou des Processus Biotechnologiques à Base d'Algorithmes Génétiques. Sétif : UNIVERSITE FERHAT ABBAS DE SETIF. Thèse de doctorat. 2010.
- [05] **Mohamed El KOUJOK.** Contribution au pronostic industriel : intégration de la confiance à un modèle prédictif neuro-flou. Université Franche-Comité : Thèse de Doctorat. 2010
- [06] **Benoît Potvin.** La logique floue. Équipe de Recherche en Ingénierie des Connaissances (ERICAE), Université Laval. 2002.
- [07] **Kasmi Rached.** Contrôle flou d'un système de production utilisant LabVIEW. Thèse de Magister, UNIVERSITE BATNA2. 2017
- [08] **Rafik MAHDAOUI.** Contribution à la surveillance dynamique des systèmes de production évolutifs par les systèmes Neuro-Flous Temporels. Laboratoire d'Automatique et Productique-Université de Batna.Algérie : Thèse de Doctorat. 2013.
- [09] **Rafik MAHDAOUI.** DIAGNOSTIC INDUSTRIEL PAR NEURO-FLOU-APPLICATION A UN SYSTEME DE PRODUCTION. Laboratoire d'Automatique et Productique-Université de Batna.Algérie : Thèse de Magister. 2008
- [10] **BENAICHA SONIA.** Le pronostic industriel par les systèmes neuro-flous : application à un système de production. Mémoire de magister, laboratoire d'automatique et productique, université de Batna. 2012
- [11] **Otilia Elena VASILE.** Contribution au pronostic de défaillances par réseau neuro-flou : maîtrise de l'erreur de prédiction. Thèse de doctorat, UFR des sciences et techniques,Université de Franche-Comté. 2008
- [12] **Mohamed Ryad ZEMOURI.** Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de neurones dynamiques :Application à la e-maintenance. Université de Franche-comte : Thèse de Doctorat. 2003.

Webographie

- **Antoine Cornuéjols.** Cours d'I.A. "Introduction à la logique floue". 2013
<https://www.lri.fr/~antoine/Courses/AGRO/Cours-logique/Cours-IA-fuzzy-logic-2013x4.pdf>
- **M. Cormier Gabriel** .Professeure agrégée Université de Moncton, Canada. Cours Asservissements Linéaires.
http://www8.umoncton.ca/umcm-cormier_gabriel/Asservissements/GELE5313_Notes11.pdf
- **Ibrahim Eldesouky.** Cours LABVIEW.
<https://www.youtube.com/watch?v=qDyyikvPC2k&list=PLTt5NdVIUjdfgvUY7D6DAd9VsRtFJoL5R>
- **LabVIEW - National Instruments.** <http://www.ni.com/en-lb/shop/labview.html>