

Commande Neuro-Floue d'un Système de Clinkérisation

Benaicha Sonia⁽¹⁾, Mouss Hayet⁽²⁾, Bencherif Fateh⁽³⁾, Srairi Fawzi⁽⁴⁾

⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾Laboratoire d'Automatique et Productique (LAP)

⁽⁴⁾Laboratoire d'Electronique

Université de Batna. 1, Rue Chahid Boukhrouf 05000 Batna, Algérie

benaichas@yahoo.fr ; hayet_mouss@yahoo.fr ; f.bencherif@hotmail.fr; srairifawzi@yahoo.fr

Résumé— La tendance actuelle est d'intégrer les outils d'Intelligence Artificielle (IA), les Réseaux de Neurones Artificiels (RAN) et la Logique Floue (LF), dans la commande de marche des équipements d'un système de production complexe. L'utilisation d'un réseau Neuro-flou dans un module de surveillance/contrôle offre la possibilité de modéliser des connaissances à priori et des règles linguistiques de décision obtenue par les experts du domaine, il profite des capacités et avantages de l'inférence floue modélisée par une architecture parallèle. L'idée principale de cet article est de contrôler un système de production complexe via des commandes de Régulation Floue où l'ajustement des paramètres du Système Flou se réalise par le biais de l'apprentissage neuronal. Cette partie de commande est développée au sein du LAP- Université de Batna, Algérie, et est appliquée à la zone de Cuisson du procédé de fabrication des ciments à la Société des CIMents d'Ain-Touta-Batna, Algérie. On a choisi la plate forme PCS7 et la configuration des automates programmables de Siemens S7-400 pour implémenter cette commande Neuro-Floue.

Mots-clefs— Automate programmable, Système Neuro-Flou, Diagnostic, PCS7.

I. INTRODUCTION

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. Une solution développée pour traiter les problèmes de diagnostic, c'est la combinaison des outils informatiques (LF et les RNAs).

Nous y avons associé la LF, afin de prendre en compte un élément essentiel : le retour d'expérience. Enfin, des études approfondies ont été menées sur l'aide au diagnostic en utilisant les systèmes Neuro-flous. Ces systèmes présentent la capacité de prendre en compte une connaissance incertaine et imprécise – souvent seuls éléments dont disposent les opérateurs dans la pratique – tout en permettant l'apprentissage dynamique des situations nouvelles.

L'objectif de ce travail est le développement d'un système de contrôle, basé sur des commandes de régulation ordinaire des paramètres de marche du four, des commandes floues de où l'ajustement des paramètres du Système Flou se réalise par le biais de l'apprentissage neuronal. Ce contrôle s'appuie

sur une représentation numérique et au même temps symbolique des formes. La réalisation pratique de notre travail concerne le domaine de l'industrie du ciment et, plus précisément, le processus de clinkérisation de la Société de fabrication des CIMents d'Ain-Touta-Batna.

II. SYSTEME NEURO-FLOU

Les systèmes Neuro-flous sont nés de l'association des réseaux de neurones et de la logique floue, de manière à tirer profits des avantages de chaque une de ces deux techniques. La principale propriété des systèmes Neuro-flous est leur capacité à traiter dans un même outil des connaissances numérique et symboliques d'un système. Ils permettent donc d'exploiter les capacités d'apprentissage des réseaux de neurones d'un part et les capacités de raisonnement de la logique floue d'autre part.

Tableau .1 : Comparaison RNA & LF

Réseaux de neurones	Logique floue
Avantages	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le modèle mathématique non requis ▪ Aucune connaissance basée sur les règles ▪ Plusieurs algorithmes d'apprentissage sont disponibles 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le modèle mathématique non requis ▪ La connaissance antérieure sur les règles peut être utilisée ▪ Une interprétation et implémentation simple
Inconvénients	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boite noire (manque de traçabilité) ▪ L'adaptation aux environnements différents est difficile et le réapprentissage est souvent obligatoire (sauf pour RBF) ▪ La connaissance antérieure ne peut pas être employée (apprentissage à partir de zéro) ▪ Aucune garantie sur la convergence de l'apprentissage. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les règles doivent être disponibles ▪ Ne peut pas apprendre ▪ Adaptation difficile au changement de l'environnement ▪ Aucune méthode formelle pour l'ajustement

III. PROCESSUS DE CLINKERISATION

Le champ d'étude de notre système est l'atelier de Clinkérisation (Cuisson) de la SCIMAT (Société des CIMents d'Ain-Touta)- Batna. La stratégie de contrôle dans cette partie se présente comme un éventail de règles de conduite basées sur l'expérience recueillie au cours du contrôle manuel du four. Le système de contrôle ne comporte aucune description mathématique du processus de cuisson. Les règles de conduite indiquent les réglages du débit de combustible et de la quantité de gaz de fumées, basés principalement sur le couple du moteur du four, le contenu de la chaux libre et la teneur en oxygène dans les gaz de fumées.

L'atelier choisi pour notre étude est la Clinkérisation, c'est la partie sensible de défaillances. Après l'alimentation du Four, à partir du SCHENCK, la farine crue sera préchauffée dans les cyclones dont le but de l'homogénéisation. Ensuite, une étape de cuisson sera produite pour l'obtention du Clinker, afin de refroidir ce dernier dans un refroidisseur à ballonnets.

Le four est un cylindre d'acier rotatif posé avec une inclinaison de 3 à 5% vers la sortie. Les matières premières sont enfournées à l'entrée du four (alimentation) et se déplacent à contre-courant des gaz chauds (Clinkérisation) jusqu'à ce qu'elles en ressortent (refroidisseur) sous forme de clinker cuit (Fig.1).

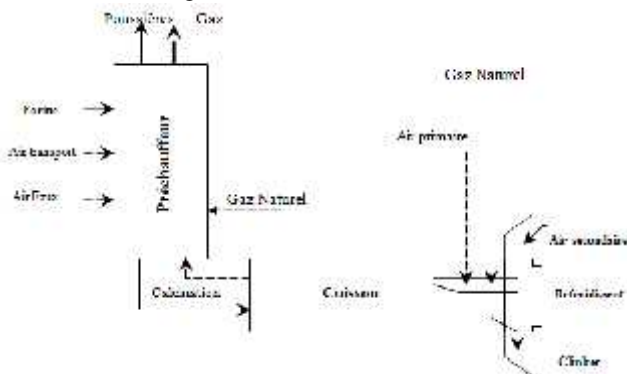


Fig.1 : Les Zones du four

Dans le cas où toutes les conditions de démarrage du four sont disponibles, le four peut être démarré selon une séquence de démarrage. Chaque équipement doit être soumis à trois types de verrouillage : verrouillage de marche, verrouillage de sécurité et verrouillage de protection.

En amont, la matière pénètre à la température de 800°C. En aval, les gaz chauds (1850°C) sont injectés, à l'aide de la tuyère. Flamme à 2000°C de 10 à 15m de long, matière à 1450°C. A la sortie du four, le clinker est refroidi au contact de l'air frais injecté dans les tubes. On obtient ainsi des grains solides à une température entre 100 et 200°C: le clinker est transporté vers d'énormes silos de stockage.

IV. CONFIGURATION MATERIELLE ET LOGICIELLE UTILISEE

A. AUTOMATE S7-400

Dans notre travail, on a utilisé l'automate Siemens S7-400. Le S7-400 est un automate programmable, où chaque tâche d'automatisation peut être résolue par un choix approprié des constituants d'un S7-400. Les modules S7-400 se présentent sous forme de boîtiers que l'on adapte sur un châssis. Ces châssis d'extension sont à disposition pour faire évoluer le système.

Le S7-400 se prête tout particulièrement aux tâches exigeant le traitement de gros volumes de données dans l'industrie de procédé ; des vitesses de traitement élevées, ainsi que des temps de réaction déterministes assurent des cadences machines rapides dans l'industrie manufacturière.

B. PROCESS CONTROL SYSTEM PCS 7

PCS 7 est un système de conduite de processus qui, grâce à de nombreuses fonctions automatiques, on peut créer un projet rapidement et facilement.

Un projet PCS 7 est constitué des objets suivants :

- ◆ Configuration de l'ensemble du matériel d'une installation, les CPU, l'alimentation, ou les processeurs de communication.
- ◆ Blocs : création de blocs de programme avec les langages Contact, Logigramme, Liste, Source ou Graphe.
- ◆ Diagrammes CFC et SFC : création des diagrammes CFC et des commandes séquentielles.

C. STEP 7

STEP 7 est le progiciel de base pour la configuration et la programmation des systèmes d'automatisation SIMATIC. Il fait partie de l'industrie logicielle SIMATIC.

Ce logiciel est destiné à la programmation des automates Siemens. Le logiciel STEP 7 permet de concevoir, configurer, programmer, tester, mettre en service et maintenir les systèmes d'automatisation SIMATIC. STEP 7 intègre en particulier les outils suivants :

- ◆ Tous les langages de programmation pour automates programmables définis dans le standard CEI 61131-3: schémas contact, logigrammes, listes d'instructions, graphes séquentiels (S7-GRAPH) et langages structurés (S7-SCL).
- ◆ Le logiciel de simulation automate S7-PLCSIM pour la mise au point de programmes sans disposer des automates cible
- ◆ Outil de configuration graphique des composants matériels et des réseaux de Communication.

D. WINCC

Logiciel de supervision et de configuration en fonctionnement monoposte ou multiposte. C'est un système graphique pour afficher et commander les vues de processus : représente les informations de processus sous

forme de vues, de courbes ou de vues d'alarmes. Les différentes informations de processus s'affichent au moyen de commandes système. Les commandes de processus permettent une intervention rapide et ciblée sur le processus en cours.

Une vue globale du système est présentée sur la Fig.2.

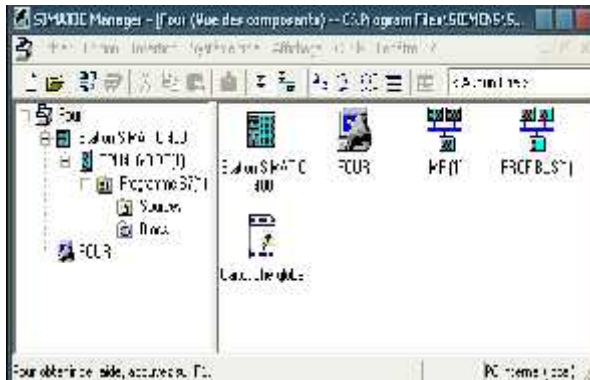


Fig.2: Composants du programme

E. FUZZYCONTROL++

FuzzyControl++, est l'outil Siemens dédié à la configuration de tâches telles que la régulation non linéaire, des fonctions de prédiction de processus complexes et plus généralement les tâches qui ne peuvent être résolues avec des outils de programmation standard.

Avec l'outil de configuration FuzzyControl++ pour automatisation de procédés technologiques, on peut de développer de manière efficace des systèmes de logique floue. Il est ainsi possible de transformer du savoir-faire empirique et de l'expérience formulée verbalement en modèles ou description logique dans des contrôleurs et régulateurs.

Les fonctions d'affectation sont définies très simplement à l'aide de l'outil FuzzyControl++. Les règles peuvent être saisies avec un éditeur tabulaire ou matriciel. Les modifications de règles sont reconnues instantanément, et dans l'hypothèse où aucune règle ne convient, il est possible d'affecter une valeur par défaut qui sera prise en compte dans ce cas. FuzzyControl++ utilise, comme méthode d'inférence, la méthode éprouvée Takagi-Sugeno.

F. NEURO-SYSTEMS

NeuroSystems soutient non seulement l'apprentissage, mais également la configuration et l'analyse des réseaux neuronaux. Avec NeuroSystems, on peut créer les réseaux neuronaux rapidement et efficacement. L'analyse en ligne des systèmes de réseaux de neurones est réalisée à l'aide d'outils de courbes et des graphiques à 2, 3 ou 4 dimensions. Le procédé d'apprentissage éprouvé avec des fonctions de paramétrage automatiques. L'optimisation facile des perceptrons à plusieurs niveaux, des réseaux de base radiaux et des réseaux mixtes Neuro-Fuzzy.

V. ARCHITECTURE NEURO-FLOUE DE LA COMMANDE

L'architecture proposée du système neuro-flou temporel est un perceptron multicouches avec une duplication de la couche cachée sur une couche appelée couche de contexte, dont les poids sont modélisés par des ensembles flous.

L'Architecture du système Neuro-flou temporel est illustrée sur la Fig.3. Les règles créées avec le système sont des connaissances à priori. Chaque variable à une partition initiale est modifiée au long de la phase d'apprentissage (nombre de ensembles flous pour chaque variable).

Dans ce réseau, les nœuds qui sont en entrée et les nœuds de la couche contexte qui copie la valeur des nœuds de la quatrième couche sont tous connectés à la troisième couche. Ils représentent les variables linguistiques dans les règles floues de la troisième couche. L'apprentissage des systèmes de neuro-flous artificiels est une phase qui permet de déterminer ou de modifier les paramètres du système, afin d'adopter un comportement désiré.

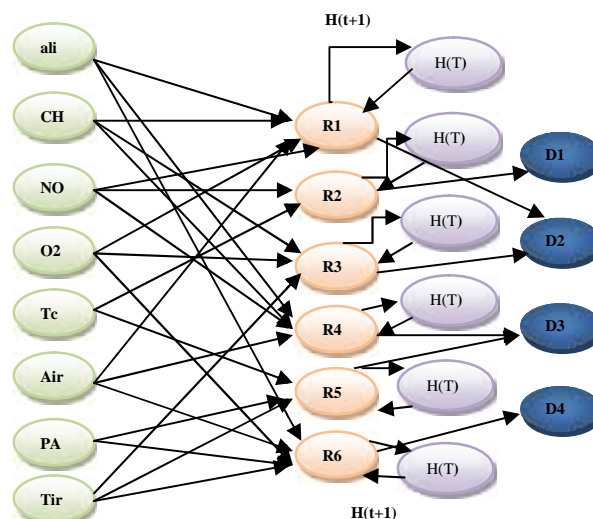


Fig.3 : Système Neuro-flou temporel proposé pour l'atelier de clinkérisation ; Élaboré par les auteurs

La couche d'entrée est l'ensemble de formes numériques ou symboliques observées du système, dont les poids sont modélisés par des ensembles flous ; la couche de sortie est l'ensemble des modes de défaillances du système à étudier ; et la couche cachée est l'ensemble des règles floues, une duplication de la couche cachée sur une couche appelée couche de contexte de poids égal à 1.

Les principales étapes d'apprentissage sont ainsi présentées:

- ◆ Initialisation : pour chaque donnée issue des capteurs, il y a une unité d'entrée, et pour chaque mode de défaillance il y a une unité de sortie. Pour chaque unité d'entrée une partition floue initiale est spécifiée.

- ◆ Apprentissage des règles : Le système peut démarrer avec une base de connaissance partielle des formes, et raffiner durant l'apprentissage. La règle sera créée et ajoutée dans la base des règles par la recherche si n'est pas identique pour les règles existantes.
- ◆ Apprentissage des FA : pour l'apprentissage des fonctions d'appartenance, une simple rétro propagation sera utilisée. Une décision sera créée qui dépend de l'erreur de sortie pour chaque unité de règles. Chaque règle change ses fonctions d'appartenance par le changement de leurs supports.

VI. APPLICATION

A. CONDUITE DU FOUR

Dans le contrôle manuel par l'opérateur, les moyens à mettre en œuvre pour respecter une consigne sont :

- ◆ une mesure de niveau,
- ◆ un moyen de comparaison entre mesure et consigne et l'élaboration d'une action de correction (perception visuelle et intelligence de l'opérateur pour respecter la consigne qui lui a été donnée),
- ◆ un moyen de réglage (une vanne),

Le principe de la conduite consiste à maintenir continuellement le four à une production normale, la tâche consiste à contrôler et assurer la qualité appropriée du clinker.

A partir de 5 données et de la composition chimique du mélange cru amener au four, procéder au réglage du débit de gaz, ensuite régler le tirage pour maintenir constant l'excès d'air:

- Débit de gaz du four
- Vitesse du ventilateur tirage
- Alimentateurs four
- Vitesse du four
- Taux d'oxygène

L'alimentation du four est régulée par des alimentateurs-peseurs qui sont généralement synchronisés avec la vitesse de rotation du four. L'énergie de cuisson de la farine est fournie par un brûleur au gaz naturel situé en aval du four.

En amont est introduite la farine provenant des cyclones, alors que les gaz chauds sont emmenés à travers la boîte à fumée dans les circuits du préchauffeur. Le clinker qui sort du four tombe dans le refroidisseur. Au niveau de la zone de cuisson, la virole du four est refroidie par une batterie de ventilateurs.

B. COMMANDE DE MARCHE DE LA POMPE DE TIRAGE GAZ

Pour que la pompe J01 soit en marche, il faut qu'on a la réponse de J01 ainsi qu'il n'y a pas des alarmes de la pompe P01 et la température de 4ème cyclone n'est pas max (voir Fig.4).

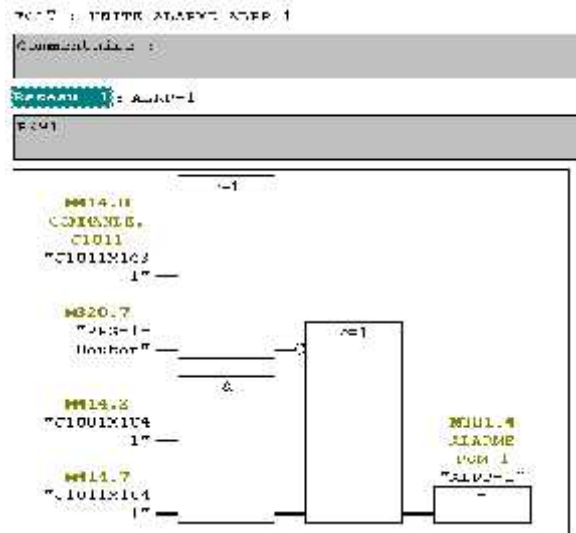


Fig.4: Bloc des alarmes du PGM-1

Sur la Fig.5 on a le bloc de commande de marche de la pompe J01.

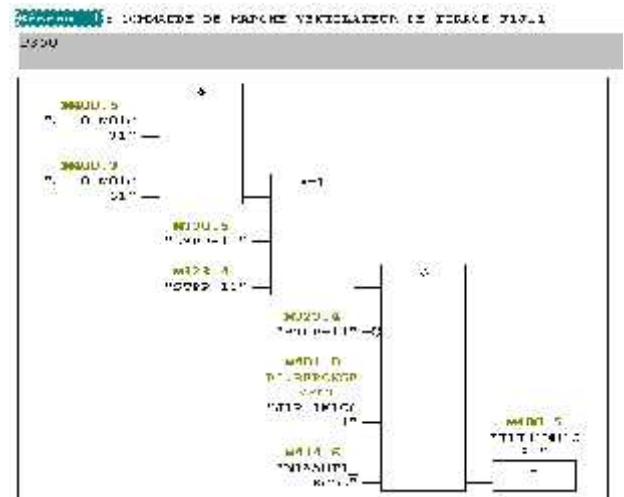


Fig.5: Bloc de la commande de marche de la pompe J01

C. REGULATION

Pour régler la température de sortie au moyen de tirage gaz, en utilisant le registre J02 et la pompe J01 en respectant le niveau de l'aérogilssière U01. Si la température est > 200 °C ouvrir le registre, et si la température est ≤ 110 °C fermer le registre.

pour utiliser la boucle de régulation sous PCS7, il faut utiliser les CFC ainsi que les Bloc de régulation du STEP7.

la Fig.6 détermine des CFC interconnectés entre eux via des valeurs mnémoniques.

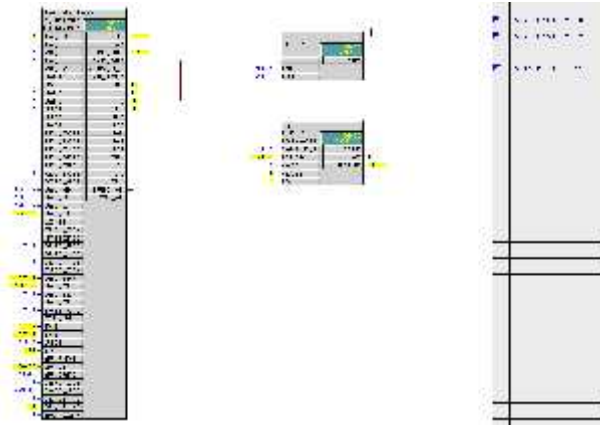


Fig.6: Les CFC sous PCS7

D. REGULATION FLOUE

La régulation floue est une méthode de résolution de tâches de régulation complexes. Les processus dont la description mathématique est complexe et pour lesquels il n'est pas possible de calculer un modèle théorique simple ne peuvent pas être traités avec des régulateurs classiques (régulateur PID). Un tel problème peut être résolu par un régulateur flou si l'opérateur détient des connaissances empiriques pouvant être formulées avec des règles qualitatives Si-Alors. Le régulateur flou est particulièrement intéressant dans le cas de systèmes réglés non linéaires et invariants dans le temps ou dans le cas de régulations multi-grandeurs. Il peut remplacer ou compléter un régulateur classique.

Les Fig.7 et Fig.8 déterminent respectivement les CFC de régulateur Flou et celui de Neuro.

1		2	
Fuzzy_06		NEURO_64	
Fuzzy_06		SIMATIC	
INPUT1	OUTPUT1	0.0	INPUT1
INPUT2	OUTPUT2	0.0	INPUT2
INPUT3	OUTPUT3	0.0	INPUT3
INPUT4	OUTPUT4	0.0	INPUT4
INPUT5	OUTPUT5	0	DIFFER
INPUT6	OUTPUT6	0	AUT_1
INPUT7	OUTPUT7	16#0	START_PT
INPUT8	OUTPUT8	16#0	GLOBAL_D
INPUT9	OUTPUT9		INPUT5
INPUT10	OUTPUT10		OUTPUT2
INPUT11	OUTPUT11		NEURONS
INPUT12	OUTPUT12		WEIGHTS
INPUT13	OUTPUT13		OUTPUT

Fig.7: PID Flou

1		2	
Fuzzy_06		NEURO_64	
Fuzzy_06		SIMATIC	
INPUT1	OUTPUT1	0.0	INPUT1
INPUT2	OUTPUT2	0.0	INPUT2
INPUT3	OUTPUT3	0.0	INPUT3
INPUT4	OUTPUT4	0.0	INPUT4
INPUT5	OUTPUT5	0	DIFFER
INPUT6	OUTPUT6	0	AUT_1
INPUT7	OUTPUT7	16#0	START_PT
INPUT8	OUTPUT8	16#0	GLOBAL_D
INPUT9	OUTPUT9		INPUT5
INPUT10	OUTPUT10		OUTPUT2
INPUT11	OUTPUT11		NEURONS
INPUT12	OUTPUT12		WEIGHTS
INPUT13	OUTPUT13		OUTPUT

Fig.8: PID Neuro-Flou

La régulation floue est faite en utilisant FuzzyControl++, la boucle de régulation est illustrée sur la Fig.9.

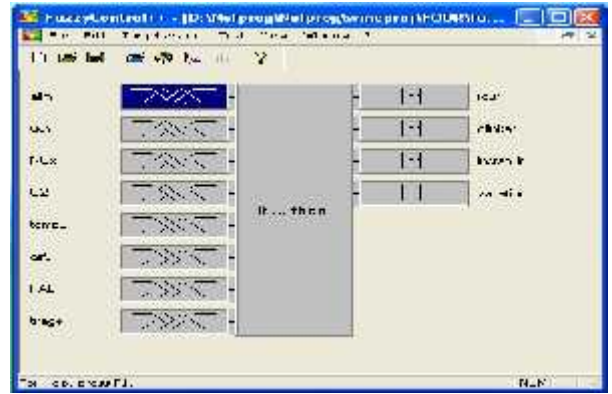


Fig.9 : Interface graphique FuzzyControl++

Les fonctions d'appartenance sont définies à l'aide de l'outil FuzzyControl++ (Fig 10, 11).

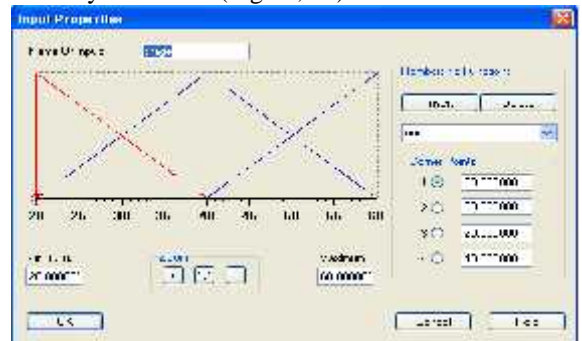


Fig.10: Entrée - Tirage gaz

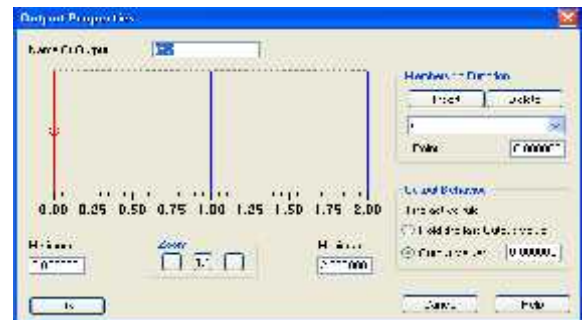


Fig.11 : Sortie - Four

Les règles peuvent être saisies avec un éditeur tabulaire ou matriciel (Fig.12).

Fig.12: Table de règles floues

L'outil FuzzyControl++ permet de générer la courbe et la surface des paramètres du four (Fig.13, 14).

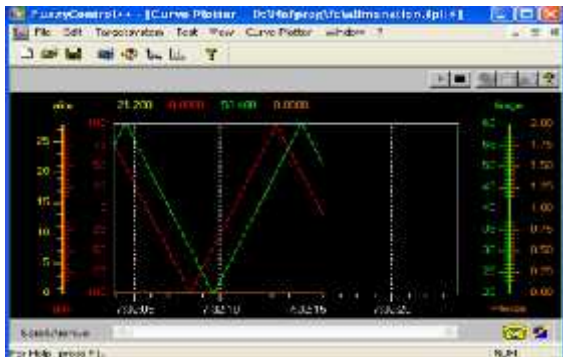


Fig.13: Courbe de régulation par la régulation floue

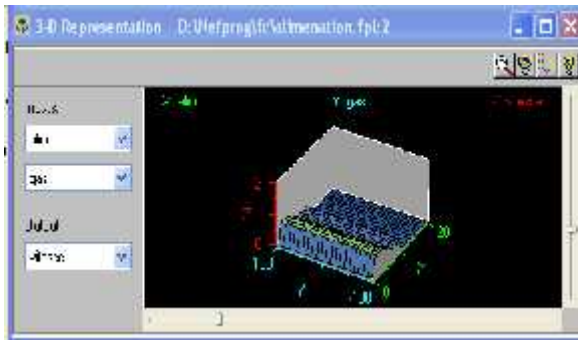


Fig.14: Surface générée par la régulation floue

Ensuite, une connexion de ces derniers avec le FUZZYCONTROL++.

Après la création de tous les ensembles flous et les règles, une étape suivante : l'apprentissage.

NeuroSystems permet la configuration de trois types de réseaux de neurones, on a choisi le type « NFN » (Neuro Fuzzy Network). L'interface graphique de notre système, via NeuroSystems, est illustrée sur la Fig.15.

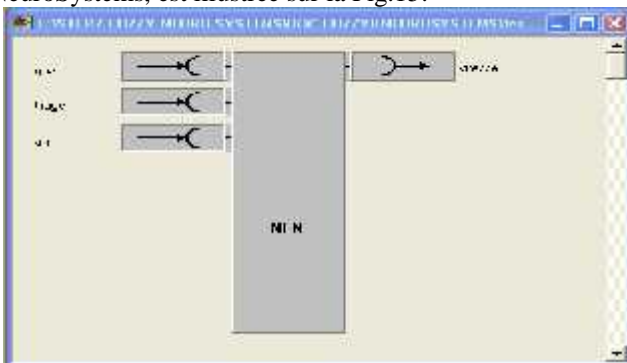


Fig. 15 : Interface NeuroSystems

Après l'apprentissage, une courbe et une surface peuvent être générées par NeuroSystems (Fig 16, 17).

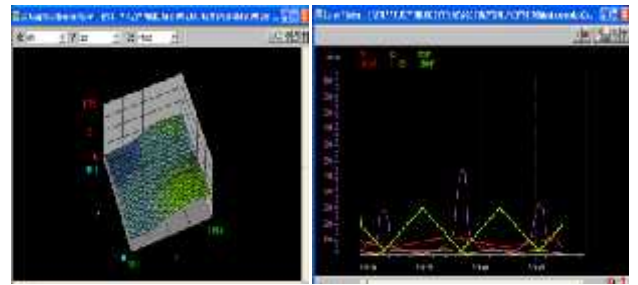


Fig.16 : Surface générée Fig.17 : Courbe de régulation

VII. CONCLUSION

Les outils de l'IA sont utilisés dans le domaine de la surveillance et deviennent des éléments clef dans les commandes des marches des équipements des procédés de fabrication des ciments.

Le travail apporté dans cet article vise la spécification d'un cadre applicatif pour l'implémentation d'une commande Neuro-Floue afin de prédire le comportement d'un système tout en tenant compte de la dynamique des équipements réels ainsi que le contrôle est basé sur des commandes de régulation ordinaire des paramètres de marche du four et des commandes floues de où l'ajustement des paramètres du Système Flou se réalise par le biais de l'apprentissage neuronal. Ce contrôle s'appuie sur une représentation numérique et au même temps symbolique des formes. La réalisation pratique de notre travail concerne le domaine de l'industrie du ciment et, plus précisément, le processus de clinkérisation da la Société de fabrication des CIMents d' Ain-Touta-Batna.

REFERENCES

- [1] O. E. Vasile, "Contribution au pronostic de défaillances par réseau neuro-flou: maîtrise de l'erreur de prédiction" en *France*, 2008.
- [2] M. Koujok, "Contribution au pronostic industriel: intégration de la confiance à un modèle prédictif" en *France*, 2010.
- [3] M. Amine, "Diagnostic et pronostic de défaillances par réseaux bayésiens" en *Cedex, France*, 2008.
- [4] R. Mahdaoui, "Diagnostic Industriel par Neuro-flou: application à un système de production" en *Batna, Algérie*, 2008.
- [5] Siemens SIMATIC, Système de conduite de process PCS7, configuration PC et autorisation: *Allemagne*, 2009.
- [6] Siemens. SIMATIC, Programmer avec STEP7—Manuel, *Allemagne*, 2009.