



Contrôle d'un système de production par PCS7 et FuzzyControl++

Hanane Zermane⁽¹⁾, Hayet Mouss⁽²⁾, and Sonia Benaïcha⁽³⁾

⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ *Laboratoire d'Automatique et Productique
Département de Génie Industriel
Université de Batna, Algérie*

hananezermane@yahoo.fr, hayet_mouss@yahoo.fr, benaichas@yahoo.fr

Résumé— Le développement des systèmes de production a exigé un développement important des techniques et méthodes du contrôle de ces systèmes. Plusieurs techniques sont utilisées à savoir les techniques d'Intelligence Artificielle, tels que les réseaux de neurones, les systèmes experts et la logique floue. Cependant, l'application des différentes techniques sur un système de production nécessite la conception fiable du process, et la programmation idéale par l'exploitation des informations et les différentes entrées et sorties. Notre travail est basé sur l'application de FuzzyControl++ et PCS7 (Process Control System) pour contrôler la marche d'un atelier de broyage de ciment, en contrôlant la vitesse du séparateur la température à la sortie du broyeur. Ce projet est réalisé au sein de la cimenterie d'Ain Touta à Batna en Est d'Alger.

Key-Words—Automates Programmables, Contrôle, Diagnostic, Logique Floue, Systèmes Experts, Maintenance.

I. INTRODUCTION

Les systèmes industriels d'automatisation SIMATIC¹ de Siemens apportent une réponse sûre et durable aux exigences en perpétuelle croissance des machines et installations modernes dans toutes les branches [1]. L'application des outils Siemens pour le contrôle de notre système, comme un travail purement applicatif, pour le contrôle d'un broyeur ciment, ainsi que le diagnostic et la maintenance des différentes alarmes engendrées durant la marche des différents ateliers du Broyeur ciment.

Nous avons utiliser les automates programmables Siemens, PCS7 et *FuzzyControl++* pour contrôler le paramètre le plus important dit la finesse du ciment, D'un point de vue processus, la réponse dynamique rapide relative au changement de la vitesse du séparateur dans le processus de broyage de ciment permet un contrôle rapide, stable et bon de la finesse du produit. Nous contrôlons aussi la température du ciment. Par conséquent, évitant les arrêts au cours de broyage, réduisant les variations de la qualité des produits. Le contrôle du broyeur ciment, et le contrôle de la stabilité du fonctionnement, l'alimentation par clinker. Et le contrôle de la finesse, jusqu'à présent ; basés sur la stratégie

des mesures fournis manuellement hors ligne.

L'utilisation des systèmes experts et la logique floue est basée sur un modèle d'information flou. Ce dernier selon Earl Cox [2], possède une puissance de calcul sensiblement supérieure à celle d'un système expert symbolique, dont il assure le traitement parallèle par nature, la capacité à un haut niveau ensembliste, plutôt que donnée après donnée, en plus, la capacité de traiter de façon très précise des informations imprécises, et à donner des résultats cohérents avec les données et les règles.

II. PROBLÉMATIQUE

L'automatisation des systèmes de production a été une des réponses à l'évolution du contexte industriel et à la compétitivité. Cette automatisation visait un double objectif : l'augmentation de la productivité du système technique (réduction des coûts, fiabilité, disponibilité, qualité) et l'amélioration de la sécurité directe des opérateurs, dans la mesure où la majorité d'entre eux est éloignée (et protégée) du lieu de transformation du produit. Les anciens systèmes de conduite appliqués dans les cimenteries ont montré plusieurs insuffisances, surtout à propos du contrôle de la qualité du produit. La tendance actuelle, est que le système de contrôle est basé sur l'Intelligence Artificielle, comme la logique floue, systèmes experts, réseaux de neurones, ...

La SCIMAT, notre champ d'application est l'une d'elles. Le système expert ECS (Expert Control & Supervision) installé à la SCIMAT, est le système de contrôle du processus. Il s'occupe de la marche des équipements et du diagnostic des différentes alarmes. Mais l'opérateur en cas d'alarmes ne sait quoi faire, ni comment la maintenir. C'est son expérience qui le guide, ou une formation approfondie, et très chère car le système ne propose pas la tâche de maintenance à effectuer. Notre but est d'appliquer la logique floue dans les régulateurs séparément, où l'arrêt d'un régulateur, n'exige pas l'arrêt du contrôle flou, même en cas d'instabilité du système globale. Donc, assurer le contrôle flou, le diagnostic des différentes alarmes engendrées au cours d'exécution du processus et leur maintenance.

Le point le plus fort pour réaliser ce travail, est que notre application basée sur la technique de la logique floue, appliquée à l'aide de *FuzzyControl++* de Siemens, n'est pas utilisée dans les toutes cimenteries algériennes.

¹ SIMATIC, le cœur de Totally Integrated Automation, englobe un éventail complet de produits éprouvés pour les applications les plus diverses des industries manufacturières et de process.

III. ÉTAT DE L'ART

Les systèmes industriels automatisés se différencient entre eux par les outils utilisés. Dans les différentes cimenteries du monde, les systèmes de conduites sont réalisés par la société danoise F.L.Smith ou Siemens. Dans la cimenterie d'Ain Touta, le système de contrôle est ECS (Expert Control & Supervision) développé par FLS et le système de contrôle d'Ain El Kebira (SC.AEK) à Sétif est réalisé par Siemens. Les deux cimenteries actuellement, n'ont pas un système basé sur la logique floue. Bien que la S.CIM.AT a disposé d'un ancien système basé sur la logique floue, mais mis hors service pour son instabilité et plusieurs autres problèmes. D'un autre côté, Siemens a un outil de configuration de la logique floue nommé **FuzzyControl++**, mais n'est pas appliqué dans toutes les cimenteries algériennes.

IV. OUTILS UTILISÉS

Le SIMATIC PCS 7 est la plate-forme d'automatisation commune à toutes les activités d'automatisation des industries des procédés de SIEMENS. Le SIMATIC PCS 7 permet de répondre aux exigences fortes de l'automatisation de plates formes de production off shore, d'unités de productions de substances pharmaceutiques ou chimiques, de raffineries, de cimenteries, ou d'autres industries.

SIMATIC PCS 7 permet de globaliser la fonction d'automatisation en prenant en charge le contrôle du procédé (continu, discontinu, production par lot), la sécurité des biens et des personnes, la consignation d'état, tout en assurant la conduite en toute cohérence des tâches d'automatismes réalisées sur la base des automates industriels de la gamme SIMATIC [3]. PCS 7 dispose de plusieurs outils permettant chacun d'eux une tâche ou un type de programmation. Le schéma sur la figure 1, présente les différents outils utilisés pour la création de notre application.

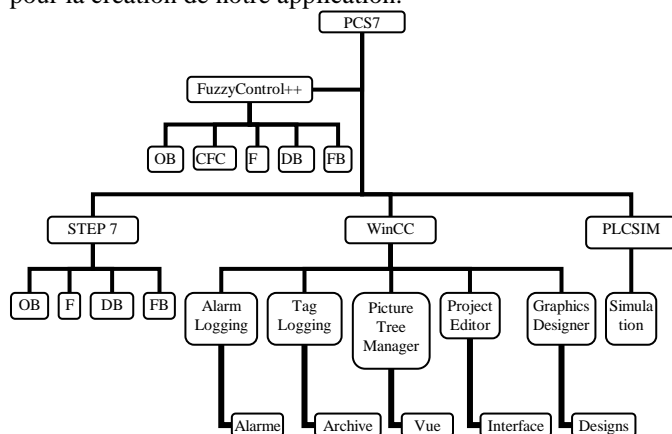


Figure 1. Outils utilisés dans l'application

A. 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 l'automatisation de procédés technologiques permet 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. FuzzyControl++ utilise, comme méthode d'inférence, la méthode éprouvée Takagi-Sugeno [4].

B. WinCC

Logiciel de supervision et de configuration en fonctionnement monoposte ou multiposte, est un système :

- Graphique : afficher et commander les vues de process.
- De courbes : analyser le process.
- D'alarmes : diagnostiquer le process.
- De journaux : documenter le processus.
- D'archives enregistrer et afficher les valeurs de process, les alarmes et les journaux. [5]

C. Step 7

STEP 7 est le progiciel de base pour la configuration et la programmation de systèmes d'automatisation SIMATIC. Il présente plusieurs fonctionnalités :

- Possibilité d'extension grâce aux applications proposées par l'industrie logicielle SIMATIC (Possibilités d'extension du logiciel de base STEP 7).
- Possibilité de paramétrage de modules fonctionnels et de modules de communication.
- Forçage et fonctionnement multiprocesseur.
- Communication par données globales.
- Transfert de données commandé par événement à l'aide de blocs de communication et de blocs fonctionnels.
- Configuration de liaisons [6].

V. APPLICATION INDUSTRIELLE

A. Processus de fabrication du ciment

La matière première qui vient de la carrière est broyée dans un broyeur cru pour avoir une farine crue. Cette dernière passe par une clinkerisation dans le four, dans des conditions idéales, ce clinker est stocké ensuite broyé avec des ajouts et du gypse dans un autre broyeur qui nous donne le produit final, qu'est le ciment. L'atelier concerné dans notre application est le broyeur ciment. Un schéma englobe tous les ateliers de la cimenterie est présenté sur la figure 2.

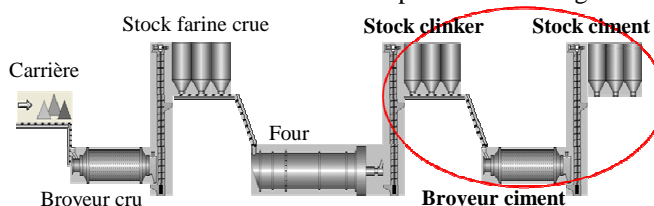


Figure 2. Processus de fabrication du ciment

L'atelier de broyage est composé de trois parties, l'alimentation avec du clinker, le broyeur ciment et les silos de stockage,

B. Séquence de démarrage

Le démarrage des équipements est ordonné par une séquence, du dernier équipement au premier pour garantir la disponibilité des différents moteurs, pompes ou vanne, et qu'aucun d'eux n'a un problème quelconque, soit mécanique, électrique ou autre. À chaque équipement ont été associés des verrouillages et des conditions de mise en marche. Trois types de verrouillages correspondent un équipement, les verrouillages de marche, les verrouillages de sécurité (l'équipement peut être mis en marche, mais à certain temps, peut provoquer des problèmes au système au tour de lui) et les verrouillages de protection (sont les mesures de protection de l'équipement lui-même. L'organigramme sur la figure 3 présente la séquence de démarrage et les verrouillages associés à chaque équipement.

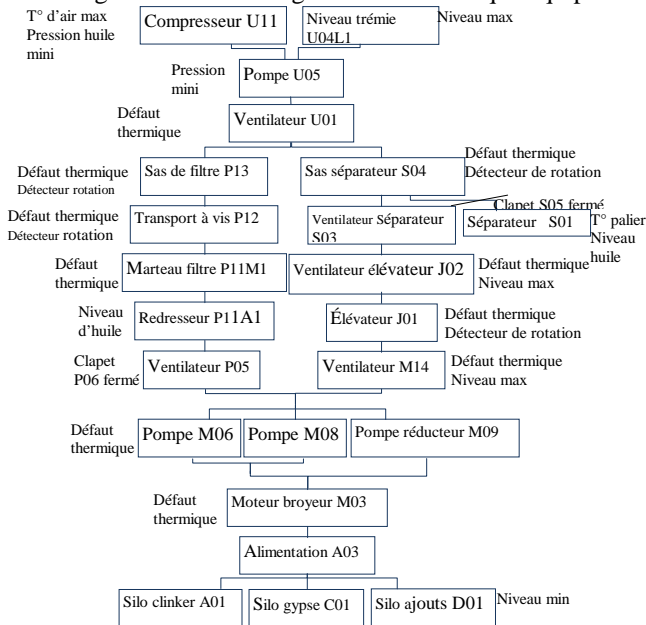


Figure 3. Séquence de démarrage des équipements

VI. RÉALISATION INDUSTRIELLE

L'application réalisée au sein de la S.CIM.AT est le fruit d'un stage de huit mois. Ce travail est baptisé, SEF-DiagMa (Système Expert Flou pour DIAGnostic et MainteNance). L'application sert à l'automatisation du système par le contrôle flou, diagnostic et maintenance des différentes alarmes engendrées, en évitant les arrêts inutiles, la consommation d'énergie et l'augmentation de la production. Pour bien expliquer notre système, on va suivre la séquence de démarrage des équipements. Les interfaces utilisateurs sont appelées les stations opérateur (*Operator Station*). La première station apparaissant aux opérateurs est l'interface générale présentée sur la figure 4. Où l'opérateur peut

accéder à n'importe quel atelier, et aussi basculer entre les différentes stations.

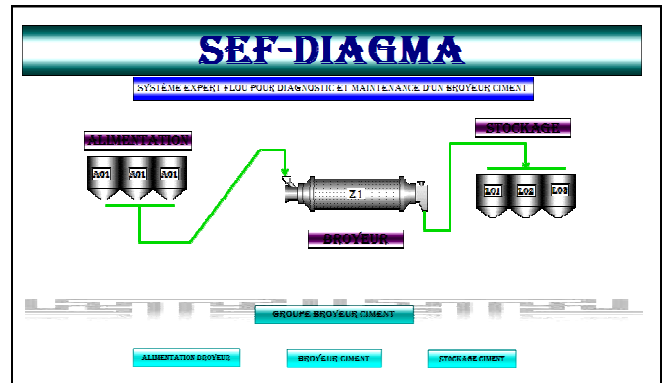


Figure 4. Interface générale

Toutes les vues (station opérateur) qui seront présentées, sont réalisées par Graphics Designer de WinCC (Windows Control Center).

A. Sélection des équipements et démarrage de l'atelier

i. Sélection des équipements :

La sélection des équipements est réalisée par la sélection des groupes, où chaque groupe contient un nombre d'équipements ordonnés selon la séquence de démarrage. Le démarrage du groupe signifie le démarrage des équipements inclus. La figure 5, présente la station opérateur pour la sélection des équipements, le démarrage **Démarrer Atelier** et l'arrêt de l'atelier **Arrêt Principal**.

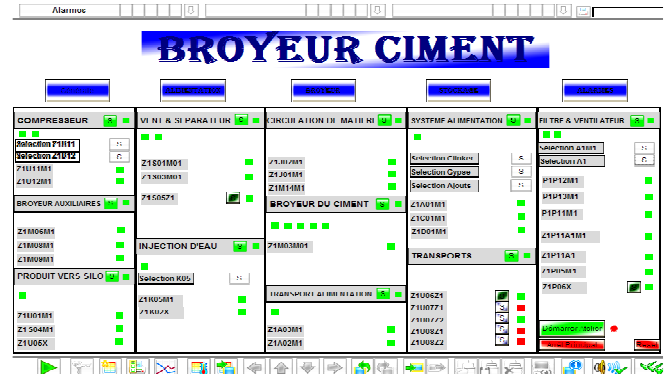


Figure 5. Sélection des équipements

Dans quelques groupes, si l'équipement est redondant ou sa marche n'est pas obligatoire. Le choix de démarrage de l'équipement est séparé des autres et sélectionné par un bouton qui lui correspond. En cas d'un dysfonctionnement ou d'un arrêt d'un équipement, sa couleur sera en rouge, cela peut être une alarme à l'opérateur pour dire que l'équipement ne démarre pas ou doit maintenir s'il est déjà en marche. Si aucune alarme n'est enclenchée, l'atelier démarre en bon état.

ii. L'acceptation du programme de démarrage

Plusieurs conditions de marche doivent être vérifiées, pour que la séquence se démarre sans arrêt. Ces conditions

concernent les filtres, le niveau max de la trémie U04, les alimentateurs du clinker, et autres conditions, pour assurer le démarrage de l'atelier. Le bloc d'acceptation du programme en cas d'exécution est schématisé sur la figure 6.

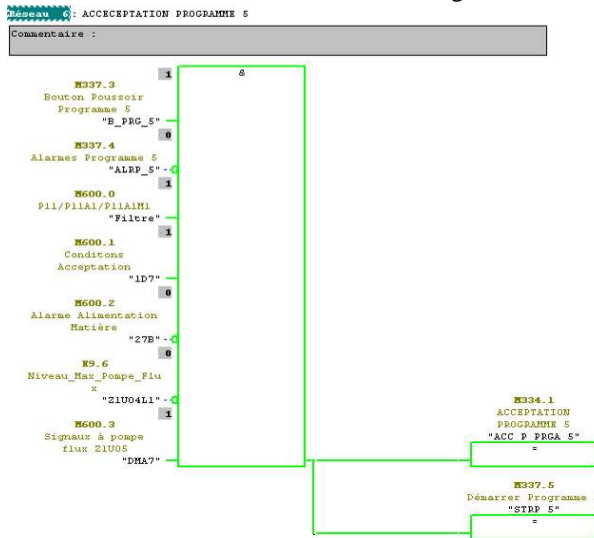




Figure 6. Acceptation de démarrage de l'atelier

B. Stockage du ciment

Le premier atelier à démarrer est le stockage du ciment, ceci est pour garantir la disponibilité des silos qui vont recevoir et stocker le ciment. L'atelier est composé de trois silos, chacun d'eux possède des clapets pour l'ouverture et la fermeture des aéro-glissières. Par un clic sur le bouton (sélectionner) , ou clic sur le bouton (désélectionner) , l'opérateur peut spécifier le silo vide ou de moins de pourcentage pour stocker le ciment. La figure 7 présente l'atelier de stockage du ciment.

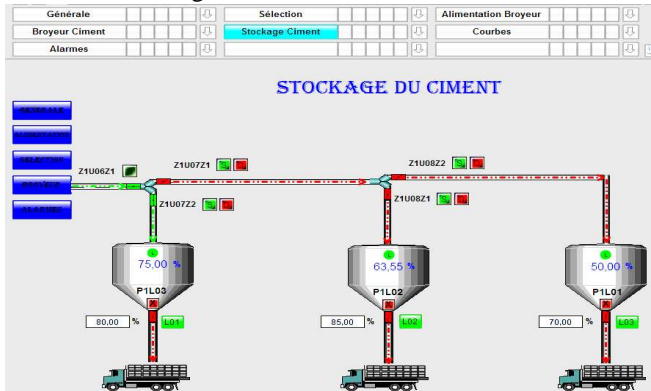


Figure 7. Stockage du ciment

Dans le cas d'un niveau max, une alarme se déclenche pour avertir l'opérateur de changer le silo, et le système doit arrêter le broyeur dans le cas des trois alarmes max.

C. Broyeur ciment

i. Le broyeur ciment :

L'atelier de broyage contient quatre parties principales, le broyeur ciment (M01), l'élévateur (J01), le séparateur (S01) et l'électro-filtre (P11). La figure 8 montre l'atelier de

broyage du ciment. Le système est totalement automatisé, la séquence de démarrage est garantie, et en cas d'un arrêt d'un équipement, les équipements qui le précède dans la séquence s'arrêtent après une durée de temps bien spécifique.

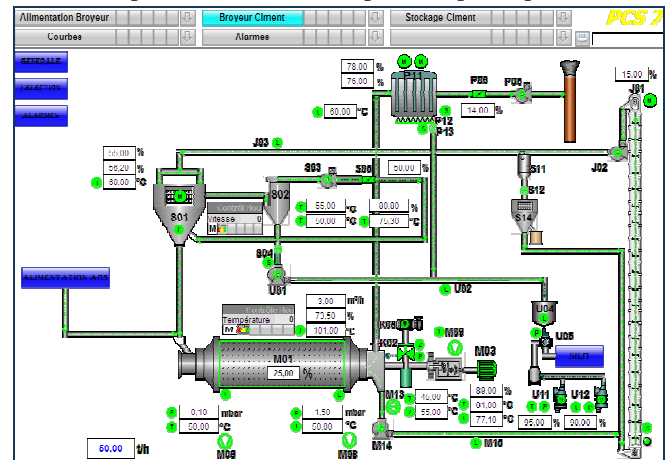


Figure 8. Le broyeur ciment

L'atelier de broyage contient deux régulateurs flous, le contrôle de vitesse du séparateur [7] et la température d'injection d'eau à la sortie du broyeur. Ces deux régulateurs flous sont réalisés à l'aide de **FuzzyControl++**.

ii. La création du régulateur flou :

L'action d'ouverture de la vanne dépend de la température de sortie du broyeur. L'intervalle du degré de température est entre 110°C et 150°C, mais pour des raisons de sécurité, nous avons limité le degré à 125°C. Et ne doit pas être inférieur à 110°C pour garantir la qualité du ciment, la figure 9 montre les propriétés de l'entrée « température » du régulateur flou.

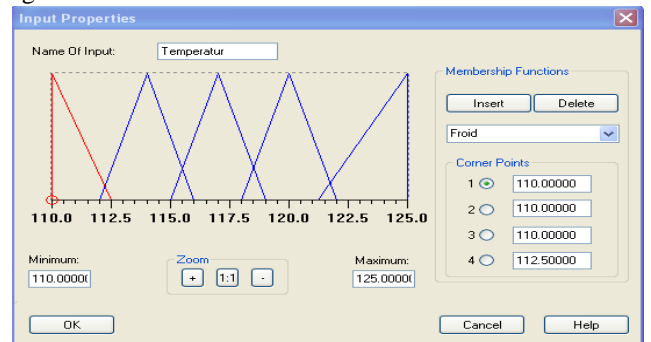


Figure 9. L'entrée du régulateur flou

La sortie du régulateur flou, est le pourcentage d'ouverture de la vanne, de 0% à 100%. En cas de mode manuel du régulateur, c'est l'opérateur qui donne directement le pourcentage d'ouverture de la vanne. La figure 10 présente la sortie « vanne » du régulateur flou.

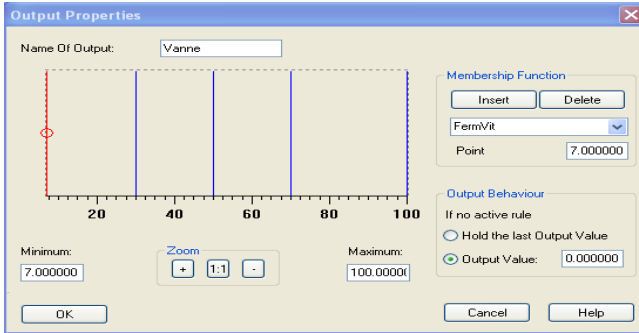


Figure 10. La sortie du régulateur flou

Pour régler la température de sortie du broyeur avec injection d'eau, en utilisant la vanne K02. Si la température est ≥ 125 °C ouvrir la vanne, et si la température est ≤ 110 °C fermer la vanne. Cette action est assurée par un ensemble de règles floues composant une base de règle floue. Cette dernière est présentée sur la figure 11.

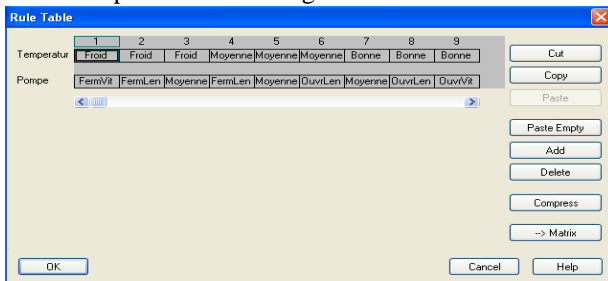


Figure 11. La base de règles floues

Fuzzycontrol++ doit être connecté à WinCC pour charger la base de règle floue, en utilisant les blocs CFC-20K. Toutes les données du régulateur sont chargées d'abord dans un bloc de données (DB31) ensuite chargées dans WinCC. Sur la figure 12, on peut voir cette connexion, le nombre d'entrées et sorties, aussi l'état de chargement des données.

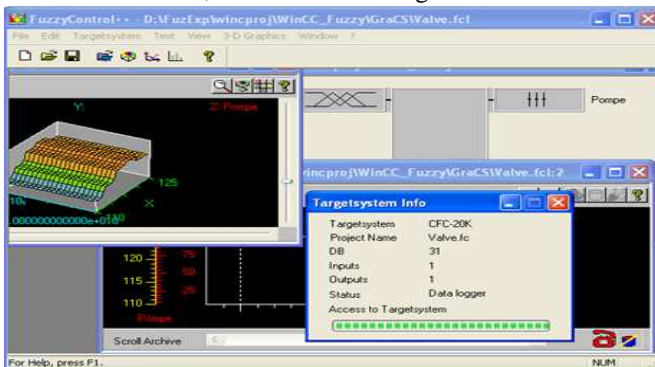
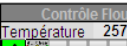


Figure 12. Chargement de la base de règle floue dans l'automate programmable

iii. La régulation floue sur la station opératoire

Par un clic sur l'icône du contrôleur flou de la température , la fenêtre de la figure 13 s'apparait

pour voir les valeurs de la température (input1) et le pourcentage d'ouverture de la vanne (output1). La base de règle floue est chargée sous le fichier « valve.fcl ».

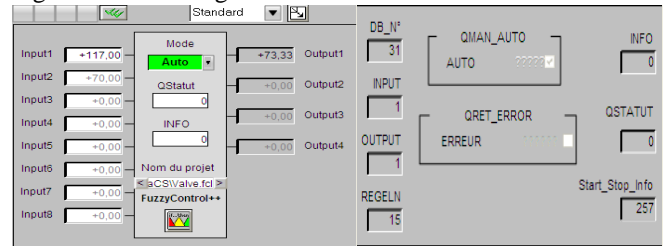


Figure 13. Le contrôleur flou de la température apparaissant sur la station d'opérateur

L'opérateur peut changer le mode, soit automatique, soit manuel. D'où il peut entrer le pourcentage d'ouverture de la vanne directement.

D. Alimentation du broyeur ciment

La dernière étape dans le processus de broyage est l'alimentation du broyeur par clinker, ce dernier est le produit de la cuisson de la farine crue dans le four. À la sortie du four, le clinker doit être refroidi, ensuite stocké dans les alimentateurs. Le clinker est transporté par des transports à bande (A01, A02 et A03).

L'alimentation du broyeur ciment est composée de trois éléments, le clinker avec 80% de l'alimentation totale, le gypse de 08% et les ajouts de 12%. Chacun d'eux dans un silo. La figure 14 présente les alimentateurs de matière.

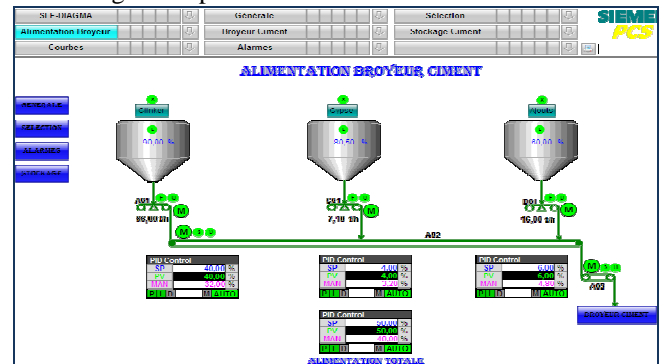


Figure 14. Alimentation du broyeur ciment

La régulation de l'alimentation est réalisée par un régulateur cascade. Le point de consigne est l'alimentation totale. Ce point de consigne est divisé en trois autres points de consigne. Le premier est relatif au clinker, le deuxième pour le gypse et le troisième pour les ajouts. Le gypse ne doit pas dépasser 10% de ce point de consigne, la somme des trois pourcentages ne doit pas dépasser 100%.

VII. DIAGNOSTIC ET MAINTENANCE DES ALARMES

Dans la station d'opérateur, plusieurs alarmes apparaissent au cours de la marche de l'atelier du broyeur ciment, soit dans l'alimentation, le broyage ou le stockage. Et à chaque apparition d'une alarme est affichée une l'action de

maintenance à effectuer, où l'opérateur doit juger cette action par son expérience.

Par exemple, sur la figure 15, une alarme indique que la pression de sortie du broyeur est élevée. Cette alarme engendre l'arrêt du broyeur ensuite l'élévateur et le séparateur, et l'asservissement se continue si l'alarme n'est pas maintenue, et peut être l'arrêt de tout l'atelier.

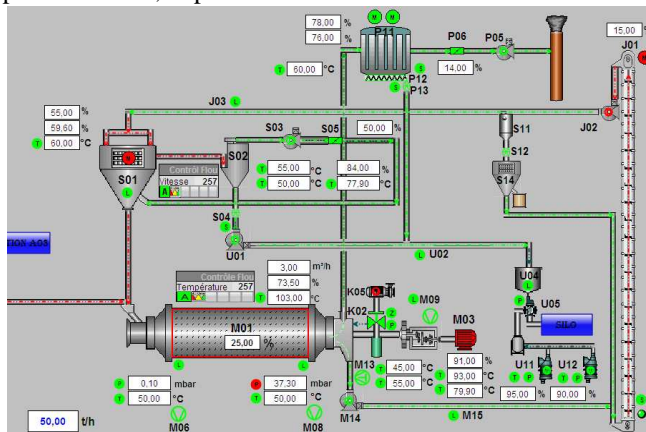


Figure 15. Le broyeur ciment en cas d'une alarme

L'alarme s'affiche dans la barre supérieure de la vue et apparaît aussi dans la table des alarmes.

Les alarmes sont créées dans WinCC par Alarm Logging, plusieurs types d'alarmes peuvent avoir lieu, parmi eux, les alarmes système et les alarmes process. Chaque couleur indique un type d'alarmes ou un niveau (haut « rouge », moyen « orange », bas « vert »), d'intervention « violet », ou autres type selon la diversité des alarmes. La figure 16 illustre quelques alarmes et leurs tâches de maintenance effectuées.

Date	Heure	Numé	Etat	Origine	Evènement	Maintenance
2001113	20:51:35	1	FF	Z1M06M1C61	Défaut Disjoncteur Pompe à huile	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
2001113	20:51:34	2	FF	Z1M06M1C61	Défaut Disjoncteur Pompe à huile	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
2001113	19:07:45	3	FF	Z1M01P2	Pression Sortie Broyeur	redure ouverture P06
200110	04:09:140	29	FF	Z1P05M1C61	Défaut Disjoncteur Ventilateur	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	04:04:218	27	FF	Z1P11A1C61	Défaut Disjoncteur Redresseur	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	43:59:453	26	FF	Z1P11A1M1 M2C61	Défaut Disjoncteur Marteau	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	43:59:453	17	FF	Z1S09M1C61	Défaut Disjoncteur Ventilateur	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	43:59:890	33	FF	Z1M09M1C61	Défaut Disjoncteur Pompe à huile	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	43:59:890	32	FF	Z1M13M1C61	Défaut Disjoncteur Suppresseur	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	43:59:890	31	FF	Z1M14M1C61	Défaut Disjoncteur Ventilateur	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	43:59:890	24	FF	Z1P12M1C61	Défaut Disjoncteur Transport à vis	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	43:59:890	22	FF	Z1P13M1C61	Défaut Disjoncteur Ecluse à air	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	43:59:890	12	FF	Z1S04M1C61	Défaut Disjoncteur Ecluse à air	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	43:59:890	9	FF	Z1U01M1C61	Défaut Disjoncteur Ventilateur	Voir service Contrôle-Maintenance-Régulation CMR
200110	43:42:123	6	FF	Z1U11M1C61	Défaut Disjoncteur Compresseur	Voir service d'AT&T pour consulter l'automate
200110	43:36:59	5	FF	Z1U09M1C61	Pression à l'aspiration Filin	Diagnostic à effectuer
200110	43:36:59	4	FF	Z1U13M1C61	Défaut Disjoncteur Compresseur	Voir service d'AT&T pour consulter l'automate
200110	43:05:609	18	FF	Z1S05M1C61	Pression à l'aspiration Filin	Diagnostic à effectuer
200110	43:05:609	11	FF	Z1U01L1	Niveau Min Silo Clinker	Vérifier le transport du Clinker
200110	43:05:609	10	FF	Z1U03L1	Niveau Min Silo Gyss	Vérifier le transport de la matière première
200110	43:05:609	49	FF	Z1U04L1	Niveau Min Silo Aguts	Vérifier le transport de la matière première
200110	43:05:609	25	FF	Z1P11T2	Température Filtre Mini	Vérifier la température

Figure 16. Table des alarmes engendrées

Sur la table des alarmes, l'opérateur peut acquitter une alarme (ignorer une alarme pour ne pas interrompre le système jusqu'à la maintenir) par un clic sur le bouton

plusieurs alarmes en utilisant le bouton . Mais le système sauvegarde tout un historique d'alarmes pour des raisons de maintenance préventive [8].

VIII. CONCLUSION

L'application des techniques d'Intelligence Artificielle dans le domaine industriel, souvent trouve des difficultés, soit techniques dans le coté de programmation, soit dans la qualité du matériel sujet de cette application. La cimenterie d'Ain Touta SCIMAT est très ancienne, où l'application de la logique floue nécessite des capteurs très efficaces et évolués.

Notre application est basée sur la technique de la logique floue, appliquée à l'aide de l'outil FuzzyControl++ de Siemens, n'est pas utilisée dans les toutes cimenteries algériennes, d'où la création du SEF-DIAGMA, un nouveau système expert flou pour le contrôle, le diagnostic et la maintenance, réalisé au sein de la SCIMAT constitue le développement d'une approche de diagnostic et de maintenance, et aussi du contrôle flou ; pour assurer l'automatisation globale du système étudié.

Le système aide l'opérateur pour le diagnostic des alarmes et aussi à leur maintenance. Et le contrôle flou est assuré par les régulateurs flous, où même en cas d'indisponibilité d'un, l'autre peut continuer sa tâche. Aussi, le contrôle flou continu, assure une qualité homogène du produit fini. D'un autre coté, les régulateurs flous ont un effet plus important que les régulateurs ordinaires ; surtout, pour le temps de régulation et la stabilisation du système.

REFERENCES

- <http://www.automation.siemens.com/automation/ch/fr/technique-d-automatisation/systemes-d-automatisation-et-de-contrôle/systemes-industriels-d-automatisation-simatic/Seiten/Default.aspx>
- Cox, Earl. La Logique Floue Pour les affaires et l'industrie. [trad.] Maurice Clerc. Paris : International Thomson Publishing, 1997.
- https://www.swe.siemens.com/france/web/fr/ad/produits/automatisati on/systeme/SIMATIC_PCS7/Pages/simatic_pcs.aspx.
- <http://support.automation.siemens.com/WW/view/fr/18791728>
- Siemens. SIMATIC. Système de conduite de processus PCS 7. OS Conduite du process (V7.1). Instructions de service. Allemagne : Siemens, 2009. A5E02122499-01.
- Siemens, SIMATIC. Programmer avec STEP 7. Manuel. Allemagne : Siemens, 2006. A5E00706945-01.
- Hanane Zermane, L. Hayet Mouss, Sonia Benaïcha, Development of a Fuzzy Expert system based on PCS7 and FuzzyControl++. Journal of Electronic Systems Volume 1, Number 1, March 2012.
- Zermane Hanane, Les systèmes experts et la logique floue pour le diagnostic et la maintenance industrielle, thèse de magistère, theses.univ-batna.dz, 2011.