

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ HADJ LAKHDAR « BATNA » FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE INDUSTRIEL
Laboratoire D'automatique Et Productique (LAP)



MÉMOIRE DE MAGISTER

PRÉSENTÉ AU

Laboratoire d'Automatique et Productique
En vue de l'obtention du diplôme de
MAGISTER

Spécialité

Génie Industriel et Productique

PAR

ZERMANE HANANE

Ingénieur en Informatique Industrielle

Thème

Les Systèmes Experts et la Logique Floue dans le Domaine du Diagnostic et de la Maintenance

Directeur de Thèse : Dr. L. Hayet MOUSS

JURY :

| | | | |
|-------------------------|--------------|----------------------|---------------|
| Dr. Samir Abdelhamid | MC-A | Université de Batna | Président |
| Dr .L. Hayet Mouss | MC-A | Université de Batna | Rapporteur |
| Dr .M. Djamel Mouss | MC-A | Université de Batna | Co-Rapporteur |
| Dr. Okba Kazar | MC-A | Université de Biskra | Examineur |
| Dr. Djamel Balaala | MC-B | Université de Batna | Invité |
| Mr. Abdelhakim Louchene | Chef de Zone | SCIMAT | Invité |

Année Universitaire : 2010-2011

Remerciements

J'apprécie tout particulièrement cette partie de la thèse ... celle des remerciements ... celle qui tourne la page à quatre années enrichissantes, intenses, et inoubliables.

Écrire une thèse est un investissement long et souvent difficile, mais qui me paraît avant tout, être une œuvre collective. Je n'aurai jamais pu réaliser ce travail sans le soutien d'un grand nombre de personnes dont la patience, la générosité, la bonne humeur et l'intérêt manifestés à l'égard de ma recherche m'ont permis de progresser dans cette phase délicate de recherche.

En premier lieu, je tiens à remercier ma directrice de thèse, Dr. L. Hayet Mouss, pour la confiance qu'elle m'a accordée en acceptant d'encadrer ce travail, pour ses multiples conseils et son attention permanente sur l'évolution de mes travaux. Merci aussi pour toutes les relectures, suggestions et commentaires, qui m'ont permis d'améliorer la qualité de ce mémoire. Enfin, j'ai été extrêmement sensible à ses qualités humaines d'écoute et d'encouragement qui ont joué un rôle important. Au Dr. M^{ed}. Djamel Mouss, pour son aide, encouragement et conseils intéressants.

Au cours de la deuxième année. Je retiendrai de cette aventure, un enthousiasme extraordinaire et un foisonnement d'idées inégalable, qui ont très largement contribué à la qualité de ce travail.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude envers les membres du jury qui ont bien voulu consacrer à ma thèse une partie de leur temps : Merci à Samir ABDELHAMID d'avoir présidé ce jury, à Dr. Djamel BALAJLA, Dr. Okba KAZAR, d'avoir accepté la lourde tâche de référer cette thèse. À Mr. Abdelhakim LOUCHENE, le Chef de Zone à SCIMAT. À tous les collègues des départements Informatique, Génie Industriel et Sciences d'Économie et de Gestion.

Je souhaite remercier plus particulièrement Mademoiselle A.RABHI, qui a toujours se trouver avec un accueil des plus chaleureux, à Mr. F.DINE, M.BELKHIRI, B.CHEBRI, Dj.DHIAFI, de leur aide illimité dans ce projet, et à tous les ingénieurs et les opérateurs dans la salle de contrôle et toute personne de SCIMAT.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à la société SCIMAT, en la personne de Monsieur Salim ZEGAR, Directeur de SCIMAT, pour son acceptation de faire le projet malgré le renouvellement d'usine et l'occupation de tous les ingénieurs, et pour les moyens qu'il a mis en œuvre pour me donner accès à toute documentation.

Je finirai avec les personnes les plus proches de mon cœur ...

Je remercie énormément mes parents et toute ma famille, pour l'amour et la tendresse qu'ils m'ont témoignée pendant toute cette période, à tous mes amis, pour l'encouragement incroyable de leur part. Et à tous mes amis de profession.

Un grand merci pour tous et cette thèse leurs est dédiée. Tous ce qu'ont loin de moi, mais m'aident avec les prières et les souhaits de succès dans cette thèse et dans toute ma vie.

Dédicaces

À mes parents

À toute ma famille

À Mes amis

À mes enseignants

À mes étudiants

À toute personne que j'aime et qui m'aime

Sommaire

| | |
|--|----|
| SOMMAIRE | 1 |
| LISTE DES FIGURES..... | 4 |
| LISTE DES TABLEAUX..... | 7 |
| INTRODUCTION GENERALE | 9 |
| PARTIE 1 : L'IA, LE DIAGNOSTIC ET LA MAINTENANCE INDUSTRIELS..... | 12 |
| CHAPITRE 1 : LE DIAGNOSTIC ET LA MAINTENANCE INDUSTRIELS | 14 |
| I.1. <i>Le Diagnostic Industriel</i> | 14 |
| I.1.1. Introduction | 14 |
| I.1.2. Définition..... | 14 |
| I.1.3. Les Méthodes de Diagnostic Industriel..... | 14 |
| I.1.3.1. Méthodes de Modélisations Fonctionnelles..... | 14 |
| I.1.3.2. Méthodes de Diagnostic par Analyse des Signatures Externes | 21 |
| I.2. <i>La Maintenance Industrielle</i> | 23 |
| I.2.1. Introduction | 23 |
| I.2.2. Définition..... | 23 |
| I.2.3. Les Niveaux de la Maintenance..... | 23 |
| I.2.4. Les Types de la Maintenance..... | 24 |
| I.2.4.1. Maintenance Préventive..... | 24 |
| I.2.4.2. Maintenance Corrective..... | 25 |
| I.3. <i>Conclusion</i> | 26 |
| CHAPITRE 2 : LES TECHNIQUES D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE | 28 |
| II.1. <i>La Logique Floue</i> | 28 |
| II.1.1. Historique..... | 28 |
| II.1.2. Introduction | 28 |
| II.1.3. Définition..... | 29 |
| II.1.4. Éléments Théoriques de Logique Floue..... | 29 |
| II.1.4.1. La Théorie des Ensembles Flous | 29 |
| II.1.4.2. Raisonnement en Logique Floue..... | 31 |
| II.1.5. Commande Floue..... | 32 |
| II.1.5.1. Le Contrôleur Flou | 32 |
| II.1.5.2. Présentation d'un Contrôleur Flou | 33 |
| II.1.5.3. Variables du Contrôleur | 34 |
| II.1.5.4. Fuzzification..... | 34 |
| II.1.5.5. Table de Décision | 35 |
| II.1.5.6. Mécanisme d'Inférence | 35 |
| II.1.5.7. Defuzzification | 35 |
| II.1.5.8. Gains du Contrôleur..... | 36 |
| II.1.6. Applications de la Logique Floue | 37 |
| II.1.6.1. Premières Applications | 37 |
| II.1.6.2. Exemples d'Application dans le Domaine Industriel..... | 37 |
| II.2. <i>Les Systèmes Experts</i> | 38 |
| II.2.1. Introduction | 38 |
| II.2.2. Définition..... | 38 |
| II.2.2.1. Rôle des Systèmes Experts | 39 |
| II.2.2.2. Composants de Base des Systèmes Experts | 39 |
| II.2.2.3. Comment Construire un Système Expert..... | 43 |
| II.2.3. Le Générateur des Systèmes Experts..... | 44 |
| II.2.3.1. Définition | 44 |
| II.2.3.2. Architecture d'un Générateur de Systèmes Experts..... | 44 |
| II.2.4. Les Systèmes Experts Flous | 46 |
| II.2.5. Les Systèmes Multi-Experts Flous | 46 |

| | | |
|---------------------|--|------------|
| II.2.5.1. | Les Propriétés d'un Système Multi-Expert Flou | 46 |
| II.2.5.2. | Le Contrôle d'un Système Multi-Expert Flou | 47 |
| II.3. | <i>Conclusion</i> | 48 |
| PARTIE 2 : | DIAGNOSTIC ET MAINTENANCE A LA SCIMAT | 50 |
| CHAPITRE 3 : | PRESENTATION DE SCIMAT | 52 |
| III.1. | <i>Introduction</i> | 52 |
| III.2. | <i>Localisation Géographique</i> | 52 |
| III.3. | <i>Le Processus de Fabrication du Ciment</i> | 53 |
| CHAPITRE 4 : | DIAGNOSTIC ET MAINTENANCE PAR SYSTEMES EXPERTS | 62 |
| IV.1. | <i>Diagnostic par Expert Control & Supervision (ECS)</i> | 62 |
| IV.1.1. | Introduction | 62 |
| IV.1.2. | Les Alarmes | 63 |
| IV.1.3. | La Maintenance | 67 |
| IV.2. | <i>Le Contrôle Qualité par Le Système Expert QCX</i> | 68 |
| IV.2.1. | Introduction | 68 |
| IV.2.2. | Le Système QCX | 68 |
| IV.2.3. | Composants de QCX | 69 |
| IV.2.4. | Programme QCX | 70 |
| IV.2.5. | Les Rapports QCX | 71 |
| IV.2.6. | QCX/BlendExpert | 72 |
| IV.3. | <i>Conclusion</i> | 74 |
| CHAPITRE 5 : | DIAGNOSTIC ET MAINTENANCE PAR LOGIQUE FLOUE | 76 |
| V.1. | <i>Introduction</i> | 76 |
| V.2. | <i>L'Ancien Système : SDR/FUZZY LOGIC</i> | 76 |
| V.2.1. | Avantages du Système | 76 |
| V.2.2. | Paramètres de Réglage du Four | 77 |
| V.2.3. | Contrôle de la Marche du Four | 77 |
| V.2.3.1. | Conditions de Mise en Marche/Arrêt du Système FUZZY | 78 |
| V.2.3.2. | Objectifs de Contrôle | 80 |
| V.2.3.3. | Introduction d'Échantillons | 82 |
| V.2.3.4. | Mise en Marche du Four | 82 |
| V.2.3.5. | Mode d'Opération | 87 |
| V.2.4. | Programme de Conduite du Four par "FUZZY LOGIC" | 89 |
| V.2.4.1. | Structure du Programme et Objectifs | 90 |
| V.2.4.2. | Les Règles Floues du Contrôle du Four | 91 |
| V.2.5. | Commentaires | 95 |
| V.3. | <i>Le Nouveau Système : ECS/ProcessExpert</i> | 98 |
| V.3.1. | Introduction | 98 |
| II.1.1. | Application ECS/ProcessExpert pour Four | 99 |
| II.1.1.1. | L'Explorateur d'ECS/ProcessExpert (PxpExplorer) | 101 |
| II.1.1.2. | Circulation d'Information dans ECS/ProcessExpert | 103 |
| II.1.1.3. | Écran ProcessExpert (PxpMonitor) | 104 |
| II.1.2. | Application ECS/ProcessExpert pour le Broyeur Ciment | 110 |
| II.1.3. | Contrôle Objective d'Objet | 111 |
| II.1.4. | Contrôle Groupe d'Objet | 112 |
| II.2. | <i>Conclusion</i> | 113 |
| PARTIE 3 : | APPLICATION | 115 |
| CHAPITRE 6 : | L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL | 117 |
| VI.1. | <i>Les Automates Programmables</i> | 117 |
| VI.1.1. | Introduction | 117 |
| VI.1.2. | Le Super-Automate S7-400 | 117 |
| VI.1.3. | La CPU 416-3 DP | 119 |
| VI.2. | <i>Les Régulateurs Flous</i> | 120 |

| | |
|--|------------|
| VI.3. Process Control System PCS 7..... | 120 |
| VI.3.1. STEP 7..... | 121 |
| VI.3.2. WINCC..... | 122 |
| VI.4. FuzzyControl++..... | 123 |
| VI.4.1. Définition..... | 123 |
| VI.4.2. FuzzyControl++ et SIMATIC PCS 7..... | 124 |
| CHAPITRE 7 : APPLICATION | 127 |
| VII.1. Introduction | 127 |
| VII.2. Composants du Programme de l'Automate..... | 127 |
| VII.2.1. Programme S7 de CPU 416-3 DP..... | 128 |
| VII.2.1.1. La Table des Mnémoniques..... | 128 |
| VII.2.1.2. Les Blocs..... | 128 |
| VII.2.2. La Station Opérateur | 129 |
| VII.3. Processus de Broyage Ciment..... | 130 |
| VII.3.1. Alimentation Broyeur | 130 |
| VII.3.2. Broyage..... | 131 |
| VII.3.2.1. Conditions de Démarrage..... | 131 |
| VII.3.2.2. Mise en Marche | 132 |
| VII.3.2.3. Diagnostic et Maintenance des Alarmes | 133 |
| VII.3.2.4. Les Boucles de Régulation | 136 |
| II.1.1. Stockage Ciment..... | 145 |
| II.2. SEF-DIAGMA..... | 146 |
| II.2.1. Interface Générale..... | 146 |
| II.2.2. Sélection des Équipements..... | 146 |
| II.2.3. L'Alimentation Du Broyeur | 147 |
| II.2.4. Le Broyeur Ciment..... | 147 |
| II.2.5. Stockage Du Ciment..... | 149 |
| II.2.6. Diagnostic et Maintenance des Alarmes | 149 |
| II.3. Conclusion..... | 151 |
| CONCLUSION GENERALE | 153 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 155 |
| ANNEXES..... | 158 |

Liste des Figures

| | |
|---|----|
| Figure 1.1 : Arbre de défaillances classique du réglage de position du Four..... | 17 |
| Figure 1.2 : Représentation Schématique de l'Elaboration de L'Arbre des Causes..... | 18 |
| Figure 1.3 : Démarche de la Méthode des Combinaisons de Pannes Résumées..... | 19 |
| Figure 1.4 : Arbre des Conséquences Fonctions..... | 20 |
| Figure 1.5 : Arbre des Conséquences Systèmes..... | 20 |
| Figure 1.6 : Etapes et Méthodes relatives à l'Elaboration du Diagramme Causes-Conséquences..... | 21 |
| Figure 1.7 : Les Niveaux de la Maintenance..... | 24 |
| Figure 1.8 : Diagramme des différents concepts de maintenance..... | 24 |
| Figure 2.1 : Ensemble flou, Le niveau de gris indique le degré d'appartenance..... | 30 |
| Figure 2.2 : Architecture classique d'un système à base de logique floue..... | 32 |
| Figure 2.3 : Schéma de principe d'un contrôleur flou..... | 33 |
| Figure 2.4 : Architecture typique d'un contrôleur par logique floue..... | 33 |
| Figure 2.5 : Exemple de fuzzification..... | 34 |
| Figure 2.6 : Saut du signal de la commande..... | 36 |
| Figure 2.7 : Méthode du centre de gravité..... | 36 |
| Figure 2.8 : L'Architecture d'un Système Expert..... | 39 |
| Figure 2.9 : Architecture interne d'un Générateur de Systèmes Experts..... | 44 |
| Figure 2.10 : Architecture générale d'un Générateur de Systèmes Experts..... | 45 |
| Figure 3.1 : Localisation géographique de SCIMAT..... | 52 |
| Figure 3.2 : Le processus de fabrication du ciment..... | 53 |
| Figure 3.3 : Concassage de mélange..... | 54 |
| Figure 3.4 : Stockage et pré-homogénéisation..... | 55 |
| Figure 3.5 : Alimentation broyeur crû..... | 55 |
| Figure 3.6 : Broyage crû..... | 56 |
| Figure 3.7 : L'Homogénéisation..... | 56 |
| Figure 3.8 : L'Alimentateur du four (Schenck)..... | 57 |
| Figure 3.9 : La Clinkerisation (le four)..... | 57 |
| Figure 3.10 : Le Transport du clinker..... | 58 |
| Figure 3.11 : L'Alimentation du broyeur ciment..... | 58 |
| Figure 3.12 : Broyage ciment..... | 59 |
| Figure 3.13 : Les Silos du ciment..... | 60 |
| Figure 3.14 : L'Expédition du ciment par vrac ou par sac..... | 60 |
| Figure 4.1 : L'ancien et le nouveau système dans la salle de contrôle..... | 62 |
| Figure 4.2 : L'interface générale ECS d'accès aux différents départements..... | 62 |
| Figure 4.3 : Surveillance et contrôle de l'alimentation du broyeur cru..... | 63 |
| Figure 4.4 : Rapport d'alarmes processus..... | 64 |
| Figure 4.5 : Rapport d'alarmes électriques..... | 65 |
| Figure 4.6 : Rapport d'alarmes système..... | 65 |
| Figure 4.7 : Rapport d'alarmes de communication..... | 66 |
| Figure 4.8 : Analyse spécifique (Blaine) de surface..... | 69 |
| Figure 4.9 : Transport et préparation automatiques des échantillons..... | 69 |
| Figure 4.10 : Préparation robotisée des échantillons..... | 70 |
| Figure 4.11 : QCX/BlendExpert..... | 70 |
| Figure 4.12 : Programme QCX..... | 71 |
| Figure 4.13 : Rapports QCX..... | 71 |

| | |
|---|-----|
| Figure 4.14 : Intégration de BlendExpert dans QCX..... | 72 |
| Figure 4.15 : Interface graphique QCX/BlendExpert-Broyeur..... | 73 |
| Figure 5.1 : Points typiques de mesure et de contrôle du système de FUZZY LOGIC..... | 77 |
| Figure 5.2 : Écran de visualisation avec strategie simplifiée de conduite de four par neuf règles. | 90 |
| Figure 5.3 : (a) (b) Entrées et (c) sortie du système FUZZY | 92 |
| Figure 5.4 : Règles de contrôle flou..... | 92 |
| Figure 5.5 : Defuzzification des règles de contrôle | 93 |
| Figure 5.6 : Surface générée par les règles floues..... | 93 |
| Figure 5.7 : (a) (b) Entrées et (c) sortie du système FUZZY | 94 |
| Figure 5.8 : Règles de contrôle flou..... | 94 |
| Figure 5.9 : Defuzzification des règles de contrôle flou | 94 |
| Figure 5.10 : Surface générée par les règles de contrôle flou | 95 |
| Figure 5.11 : Vue 3D pour ProcessExpert (19)..... | 98 |
| Figure 5.12 : Points perturbant le contrôle flou du four (19)..... | 100 |
| Figure 5.13 : Interface ECS/ProcessExpert (19)..... | 100 |
| Figure 5.14 : Boite de dialogue de selection de l'unité à contrôler | 101 |
| Figure 5.15 : État des objets dans l'explorateur d'ECS/ProcessExpert..... | 103 |
| Figure 5.16 : Saisie des valeurs des objets dans l'explorateur ECS/ProcessExpert | 103 |
| Figure 5.17 : Circulation de l'information dans ProcessExpert | 104 |
| Figure 5.18 : Selection d'unité four pour le contrôle flou | 104 |
| Figure 5.19 : L'unité de processus « Four » et ces objets..... | 105 |
| Figure 5.20 : Ouverture d'un objet | 105 |
| Figure 5.21 : Afficher les valeurs d'un objet..... | 106 |
| Figure 5.22 : Affichage des points de consignes | 106 |
| Figure 5.23 : Affichage d'une sortie d'ECS vers un point BZ | 107 |
| Figure 5.24 : Affichage d'une sortie d'ECS vers OPStation..... | 107 |
| Figure 5.26 : Message de confirmation de mise à jour (23) | 108 |
| Figure 5.27 : Indices d'un objet..... | 108 |
| Figure 5.28 : L'objet Matlab | 109 |
| Figure 5.29 : Règles de contrôle flou dans ECS/ProcessExpert | 109 |
| Figure 5.30 : Règles de déviation | 110 |
| Figure 5.31 : ProcessExpert du broyeur ciment..... | 111 |
| Figure 5.32 : Contrôle objective d'objet..... | 112 |
| Figure 5.33 : Contrôle groupe d'objet | 112 |
| Figure 6.1 : Automate Programmable S7-400 | 118 |
| Figure 6.2 : Différences entre CPU 416 et les autres CPU | 119 |
| Figure 6.3 : Degré de dépassement d'un régulateur flou et d'un régulateur simple..... | 120 |
| Figure 6.4 : Interface PCS 7..... | 120 |
| Figure 6.5 : L'assistant de création de projet Step 7..... | 121 |
| Figure 6.6 : Outils de programmation Step 7..... | 122 |
| Figure 6.7 : FuzzyControl++ | 123 |
| Figure 6.8 : La Bibliothèque de FuzzyControl++ | 124 |
| Figure 6.9 : Diagramme CFC de FuzzyControl++ | 125 |
| Figure 7.1 : Composants du programme..... | 127 |
| Figure 7.2 : Table des mnémoniques | 128 |
| Figure 7.3 : Blocs du programme S7 | 129 |
| Figure 7.4 : Vues de station opérateur | 129 |

| | |
|---|-----|
| Figure 7.5 : Alarmes de l'alimentateur ciment | 130 |
| Figure 7.6 : Commande de marche de l'alimentateur ciment | 130 |
| Figure 7.7 : Acceptation du programme de démarrage de l'atelier de broyage..... | 132 |
| Figure 7.8 : Séquence de démarrage de l'atelier broyeur ciment | 133 |
| Figure 7.9 : Les Alarmes..... | 136 |
| Figure 7.10 : Organigramme de réglage de SO ₃ | 136 |
| Figure 7.11 : Organigramme de réglage de PAF | 137 |
| Figure 7.12 : Régulateur simple d'alimentation du broyeur..... | 138 |
| Figure 7.13 : Division des pourcentages des doseurs | 138 |
| Figure 7.14 : Organigramme de régulation de Finesse (SSB) | 139 |
| Figure 7.15 : Bloc séparateur S01..... | 140 |
| Figure 7.16 : Connexion entre FuzzyControl++ et le programme Step 7..... | 140 |
| Figure 7.17 : (a) et (b) Ensembles flous pour refus et vitesse..... | 141 |
| Figure 7.18 : Tables des règles flous | 141 |
| Figure 7.19 : Courbe de régulation de vitesse de séparateur | 142 |
| Figure 7.20 : Surface générée par la boucle de régulation de vitesse du séparateur..... | 142 |
| Figure 7.21 : Bloc du contrôleur flou pour la vitesse du séparateur | 143 |
| Figure 7.22 : Rechargement des données par l'exécution des règles floues | 143 |
| Figure 7.23 : Bloc pompe K05 | 144 |
| Figure 7.24 : (a) et (b) Boucle de régulation de température et surface générée | 144 |
| Figure 7.25 : Bloc du contrôleur flou de température..... | 145 |
| Figure 7.26 : Alarme niveau max d'un silo de ciment | 145 |
| Figure 7.27 : Interface générale SEF-DIAGMA | 146 |
| Figure 7.28 : Sélection des équipements | 146 |
| Figure 7.29 : Alimentation du broyeur ciment | 147 |
| Figure 7.30 : Broyeur Ciment..... | 148 |
| Figure 7.31 : Courbe de variation de la température M01T9 | 148 |
| Figure 7.32 : Stockage du ciment | 149 |
| Figure 7.33 : La table des alarmes | 150 |
| Figure 7.34 : Alarmes de process..... | 150 |

Liste des Tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 1.1 : Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE)..... | 16 |
| Tableau 1.2 : Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC)..... | 16 |
| Tableau 1.3 : L'Analyse Préliminaire des Dangers | 17 |
| Tableau 2.1 : Les opérateurs les plus utilisés de la logique floue..... | 31 |
| Tableau 2.2 : Table de décision standard de Mac Vicar-Whelan (5 ensembles flous)..... | 35 |
| Tableau 5.1 : Condition de marche/arrêt du FUZZY pour Le 30/10/1996 | 80 |
| Tableau 5.2 : Historique de marche du FUZZY LOGIC du four | 97 |
| Tableau 6.1 : Temps de réponse des différentes CPU aux alarmes..... | 119 |
| Tableau 7.1 : Codification des éléments de la table des mnémoniques..... | 128 |
| Tableau 7.2 : Alarmes et actions de maintenance effectuées..... | 135 |

Introduction Générale

Introduction Générale

Les systèmes flous allient la grande flexibilité et le type de représentation des connaissances des systèmes d'aide à la décision et des systèmes experts, à la puissance et à la profondeur d'analyse des paradigmes de calculs biomimétiques. Leur aptitude démontrée à approcher n'importe quelle fonction continue, associée à celle de traiter de systèmes complexes, non linéaires, et souvent soumis à perturbations, avec un minimum de règles, ont font des outils puissants pour la conception et la réalisation de la prochaine génération de systèmes intelligents d'aide à la décision.

Les avantages intrinsèques de la logique floue en tant que technique de modélisation, peuvent être résumés en trois points : réduction du coût de développement, d'exécution, et de maintenance. Du fait que dans la plupart des organisations, 60 à 80% de l'activité en matière de logiciel provient de la maintenance, le dernier avantage est le plus important. En général, comparés aux systèmes experts et aux systèmes d'aide à la décision plus conventionnels, les modèles fondés sur la logique floue ou les modèles flous possèdent des propriétés différentes :

- ✿ Ont un moteur d'inférence puissant,
- ✿ Peuvent donner lieu à un prototype en un délai significativement réduit,
- ✿ Peuvent s'adapter et s'auto-organiser,
- ✿ Peuvent expliquer leur comportement,
- ✿ Peuvent prendre en compte des avis contradictoires,
- ✿ Peuvent modéliser des problèmes hautement non linéaires,
- ✿ Peuvent traiter des informations incertaines ou imprécises,
- ✿ Sont intrinsèquement plus stables,

Un modèle d'information flou, 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. (1)

Dans l'industrie, plusieurs techniques d'intelligence artificielle sont appliquées, parmi celle-ci, les deux techniques déjà citées, la logique floue et les systèmes experts. Ces deux dernières sont appliquées séparément ou en hybridation en d'autres termes les systèmes experts flous, leurs applications est accrue généralement dans le contrôle, diagnostic et maintenance des processus industriels.

Le but de notre travail, est d'explorer en vue d'une application réelle des systèmes experts et de la logique floue dans le domaine du diagnostic et de la maintenance industriels. La SCIMAT, Société des Ciments d'Ain-Touta, constitue notre champ d'application. Afin d'atteindre cet objectif, notre mémoire a été organisé en trois parties.

Une première partie intitulée, l'IA, le Diagnostic et la Maintenance Industriels, est divisée en deux chapitres. Le premier chapitre est destiné au diagnostic et maintenance industriels. Le deuxième chapitre est réservé aux techniques de l'Intelligence Artificielle : la Logique Floue et les Systèmes Experts.

La deuxième partie intitulée, Diagnostic et Maintenance à la SCIMAT, est essentiellement consacrée à l'application des deux techniques, la Logique Floue et les Systèmes Experts au

sein de la cimenterie. Un premier chapitre dédié à une présentation de la SCIMAT, entreprise qui a renouvelé complètement son système de contrôle, de supervision, de diagnostic et de maintenance par des systèmes experts et des systèmes experts flous. Un deuxième chapitre consacré au système ECS (Expert Control & Supervision) et au système contrôle qualité par rayon X ou QCS (Quality Control by rayon X). Un troisième chapitre dédié au ProcessExpert qui inclue la logique floue.

Il est à noter que le système mis en place à la SCIMAT concernant l'application de la logique floue ne fonctionne qu'autour de la philosophie de celle-ci. ProcessExpert est enclenché sauf si le système est stable. Dans le cas contraire, il est totalement absent. Autrement dit ; le fonctionnement est binaire en cas d'instabilité. Le but de la troisième partie intitulée, Application Industrielle, est d'appliquer la logique floue dans les régulateurs et les contrôleurs séparément. L'arrêt d'un régulateur ou d'un contrôleur, n'exige pas l'arrêt de tout le système de contrôle flou.

Notre contribution réside dans la mise en place d'une application, avec un système expert flou pour l'atelier broyeur ciment à la SCIMAT. En utilisant Step 7, WINCC et FuzzyControl++ de la technologie Siemens, comme environnement de travail dans le premier chapitre, et l'exécution du programme et les résultats dans le deuxième chapitre.

Nous terminons, avec une conclusion générale relative à l'utilisation des systèmes experts et la logique floue dans le domaine du diagnostic et de la maintenance industriels et des perspectives pour la généralisation de l'approche proposée à tous les ateliers de la SCIMAT.

Partie 1

L'IA, Le Diagnostic et La Maintenance Industriels

Résumé

Depuis une dizaine d'années, des évolutions très importantes ont marqué la conception des systèmes industriels automatisés.

Les méthodes de maintenance se doivent de suivre cette progression pour aider les techniciens à dépanner des installations de plus en plus complexes, et améliorer leur productivité.

L'informatisation de la maintenance est un des moyens pour optimiser la fiabilité et la disponibilité des équipements. Mais le développement de systèmes informatiques se heurte à l'automatisation du diagnostic, la principale composante de la maintenance.

Le diagnostic est un acte intelligent, difficilement programmable, et difficilement applicable. Le but de cette partie, est de donner des notions générales sur le diagnostic, techniques et méthodes, et la maintenance, types et niveaux, ainsi que les techniques d'intelligence artificielle, logique floue et les systèmes experts.

Chapitre 1

Le Diagnostic

Et la Maintenance

Industriels

I.1. Le Diagnostic Industriel

I.1.1. Introduction

Les succès ou les difficultés des entreprises s'expliquent le plus souvent par la cohérence de leurs stratégies industrielles. La stratégie industrielle recouvre des domaines variés tels que la qualité du produit, le choix des canaux de distribution, la politique d'investissement et de développement, et la gestion de la production,...

Le diagnostic industriel consiste à porter un jugement sur la conception du système de production et la stratégie d'une entreprise industrielle. Il met en évidence les points-clés, les forces et les faiblesses, les incohérences et les dysfonctionnements d'un système industriel et propose des solutions pour améliorer ou redresser la situation de la société.

Le diagnostic industriel est réalisé par plusieurs méthodes et techniques en connaissant les différents types de pannes, défaillances ou défauts. Dans les paragraphes suivants, on va donner une définition du mot diagnostic, et citer les différentes techniques et méthodes du diagnostic industriel en appliquant quelques unes dans des exemples de la cimenterie d'Ain Touta.

I.1.2. Définition

Le terme « diagnostic » vient du mot Grec Diagnosis, étymologiquement, il est composé de deux mots, dia : par, gnosis : connaissance. Cette combinaison montre l'importance des connaissances dans le déroulement du diagnostic pour la détermination de la cause d'un trouble fonctionnel, à partir des symptômes et des observations.

La définition affectée par l'AFNOR CEI est : « l'identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test ».

I.1.3. Les Méthodes de Diagnostic Industriel

La sélection de la méthode de diagnostic la plus appropriée à un système industriel donné, ne peut se faire qu'après un recensement des besoins et des connaissances disponibles.

I.1.3.1. Méthodes de Modélisations Fonctionnelles

I.1.3.1.1. Techniques d'Analyse Fonctionnelle

La description fonctionnelle décrit les fonctions assurées par le matériel et les fonctions internes assurées par les composants élémentaires. Ces techniques d'analyse fonctionnelle permettent :

- ✿ Une description du besoin de l'utilisateur en termes de fonctions indépendamment des solutions matérielles. À chaque fonction on attribue des critères d'appréciation et de leur niveau. La non-satisfaction des critères conduit à conclure à la non-satisfaction du besoin.
- ✿ Une description des choix technologiques que l'on impose au concepteur en termes de contraintes, ces dernières peuvent être de nature technique ou imposées par le client.

- ✿ Une vérification pour chaque fonction de l'adéquation des objectifs et de stabilité dans le temps.
- ✿ Une description du produit envisagé comme solution, en termes de fonctions de service et technique.
- ✿ Une optimisation du besoin aussi bien au plan économique qu'au plan technique (disponibilité, sûreté et fiabilité).

La mise en œuvre de l'analyse fonctionnelle se déroule en trois grandes phases :

1. Analyse fonctionnelle externe, pour formaliser et valider l'analyse du besoin en considérant le produit comme une « boîte noire » recevant des entrées et fournissant des sorties.
2. Analyse fonctionnelle interne, identifie de façon précise les fonctions techniques et les solutions technologiques préconisées pour réaliser la boîte noire.
3. La vérification de l'optimisation technico-économique du couple besoin-produit.

L'analyse fonctionnelle permet d'établir de façon rationnelle, lisible et exhaustive les relations fonctionnelles à l'intérieur et à l'extérieur des systèmes. L'analyse fonctionnelle interne conduit à utiliser des formalismes permettant de visualiser les différentes fonctions remplies par des matériels ou des groupements de matériels. Parmi les outils de visualisation les plus utilisés sont :

I.1.3.1.2. Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDE)

AMDE est une technique déductive et qualitative, avec laquelle les effets (conséquences) des défaillances des composants élémentaires sont systématiquement identifiés. L'analyse AMDEC (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités), utilise une démarche similaire que l'AMDE en ajoutant la criticité des effets de la défaillance.

Dans une première phase, l'AMDEC consiste à examiner comment et pourquoi les fonctions du système étudié risquent de ne plus être assurées correctement. Elle permet d'identifier les modes de défaillances dont les effets sont observables à partir des performances du système en termes de fiabilité, de disponibilité ou de sécurité, un mode de défaillance d'un composant étant défini comme l'effet par lequel une défaillance de ce composant est observée. Mais, l'objectif est également d'évaluer les effets de chacun de ces modes de défaillances sur les fonctions du système. La méthode repose sur une grille d'analyse qui peut être adaptée et modifiée selon les objectifs et le système de l'étude. Par exemple, elle peut permettre de :

- ✿ Identifier le composant étudié,
- ✿ Relever pour ce composant toutes ses fonctions,
- ✿ Recenser les modes de défaillance,
- ✿ Définir les causes possibles de ces défaillances et leurs conséquences sur le système,
- ✿ Proposer un indice de criticité,
- ✿ Citer les moyens de détection,
- ✿ Déterminer les parades de l'opérateur humain pour gérer les défaillances...

Par exemple, un pour la détection des taches rouges du four rotatif pour ciment par CemScanner, où la cause est la chute des briques, on peut avoir ce tableau :

| Identification du composant | Fonctions États | Modes de défaillance | Causes possibles | Effets | Moyens de détection | Parades de l'opérateur humain | Observations |
|-----------------------------|-----------------|----------------------|------------------|---------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Four | Cuisson | Chute de briques | Croûtage | Taches Rouges | Cem-Scanner | Renouvellement du Briquetage | Prend beaucoup de temps |

Tableau 1.1 : Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE)

Dans une seconde phase, l'AMDEC cherche à évaluer la criticité des modes de défaillances à partir en général de deux critères de cotation indépendants : la gravité des effets sur le système et la fréquence d'apparition des défaillances. Ceci permet de hiérarchiser les défaillances potentielles, et de proposer des actions correctives pour les points critiques.

| | Effets | Probabilité | | | |
|---------|------------------------|-------------|--------|---------|-------|
| | | Très faible | Faible | Moyenne | Forte |
| Gravité | Effets mineurs | X | | | |
| | Effets significatifs | | X | | |
| | Effets critiques | | | X | |
| | Effets catastrophiques | | | | X |

Tableau 1.2 : Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets et de leurs criticités (AMDEC)

D'une manière générale, la criticité sera d'autant plus importante que la gravité et les probabilités d'occurrence sont importantes. Il est à noter que la criticité peut être pondérée par une probabilité de détection de la défaillance. Ainsi, si la défaillance est facilement détectable, l'élaboration d'un plan de récupération est envisageable afin de limiter son effet sur le système. Dans le cas contraire, des mesures telles qu'une modification de la configuration du système, l'ajout de capteurs de détection de pannes ou la définition d'une périodicité de contrôle de l'état des composants, peuvent être souhaitables.

I.1.3.1.3. Arbre De Défaillance

Les arbres de défaillances (*Fault Tree Analysis*) relèvent d'une approche différente de l'analyse de fiabilité. Il s'agit d'établir les combinaisons (logiques) d'événements élémentaires qui aboutissent à la panne. Cette méthode est célèbre depuis son application en 1974 à l'étude de fiabilité de réacteurs nucléaires aux États-Unis. Il s'agit de décrire de façon déductive et itérative les causes d'un événement indésirable jusqu'à aboutir à un événement élémentaire du type panne du composant n° : *i*.

Le principe de construction d'un arbre de défaillance commence par la définition de l'événement indésirable. Cet événement-sommet est décomposé en événements intermédiaires développés à leurs tours. L'ensemble représente un arbre, la racine est la *panne système* et les feuilles sont les pannes des composants élémentaires (*panne n° i*). (2)

La figure suivante illustre un exemple d'un arbre de défaillance pour le réglage de la position du Four dans une cimenterie.

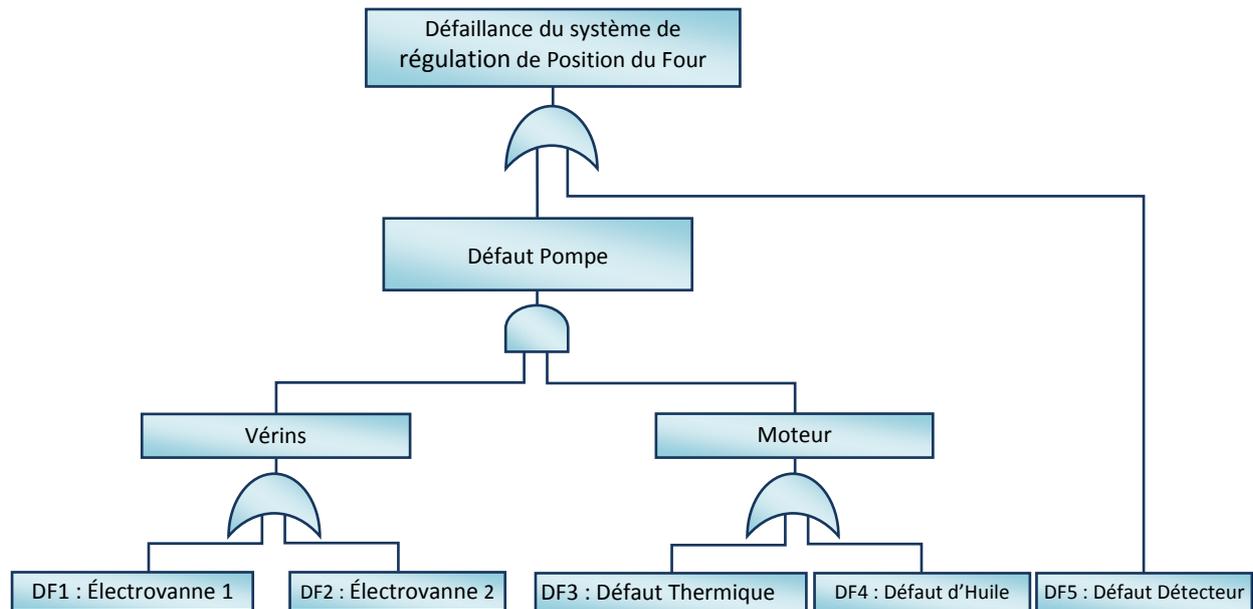


Figure 1.1 : Arbre de défaillances classique du réglage de position du Four.

I.1.3.1.4. Les Autres Méthodes

Il existe d'autres méthodes issues des études de la sûreté de fonctionnement, parmi celles-ci les méthodes illustrées par Villemeur :

⚠ **L'Analyse Préliminaire des Dangers** : Cette méthode a deux objectifs : identifier les dangers d'une installation industrielle et ses causes, et évaluer la gravité des conséquences liées aux situations dangereuses et aux accidents potentiels ; on en déduit les actions correctrices éliminant ou maîtrisant les situations dangereuses, et les accidents potentiels. Elle permet, entre autre, de définir des dangers majeurs, des entités à analyser en détail, en faisant appel à d'autres méthodes (Méthode de l'Arbre des Causes 'MAC'). (3)

Par exemple, pour le nouveau filtre à manches installé dans SCIMAT, l'APD sera comme suit :

| Système ou fonction | Phase | Entités dangereuses | Événement causant une situation dangereuse | Situation dangereuse | Événement causant un accident potentiel | Accident potentiel | Effets ou conséquences | Classification par gravité | Mesure préventives |
|---------------------|---------------------------|---------------------|--|----------------------|---|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|--|
| Cimenterie | Filtrage de gazes du four | Filtre à manches | Ventilateur de tirage | Tirage des gazes | Augmentation de température | Manches brûlés | Filtre défectueux + Arrêt du four | 3 | Vérification des équipements et du processus |

Tableau 1.3 : L'Analyse Préliminaire des Dangers pour un Filtre à Manches

⚠ **Méthode de l'Arbre des Causes (MAC)** : Cette méthode a les objectifs suivants :

- ✓ Déterminer les diverses combinaisons possibles d'événements qui entraînent la réalisation d'un événement indésirable unique.
- ✓ Représenter graphiquement ces combinaisons avec une structure arborescente.

Toutefois, cette méthode ne représente pas toutes les défaillances possibles dans le système ; c'est un modèle de la logique des interactions entre des événements conduisant à l'événement indésirable. Pour cette représentation graphique, on définit plusieurs portes logiques (Et, Ou, avec ou sans conditions, Si, Délai, ...), ainsi que des représentations des

événements (rectangle, cercle,...). Pour mener à bien l'utilisation de cette méthode, on définit quelques principes :

1. On commence par la recherche des causes Immédiates, Nécessaires et Suffisantes (I-N-S) des événements indésirables.
2. L'étape suivante consiste à classer ces événements intermédiaires en trois classes différentes :
 - ✓ Événements de base ;
 - ✓ Défaits de composant (défaillance première, seconde ou de commande) ;
 - ✓ Défaut du système : c'est le cas où on ne peut spécifier un composant du système pour cause ;
3. On passe alors à l'analyse des défauts de composants ; si l'I-N-S conduit à définir :
 - ✓ Des défaillances premières : on obtient des événements de base ;
 - ✓ Des défaillances secondes : la recherche de leurs causes I-N-S conduit à définir des événements intermédiaires liés par des portes logiques ;
 - ✓ Des défaillances de commande : de même, la recherche de leurs causes I-N-S conduit à définir des événements intermédiaires liés par des portes logiques.
4. Ce classement est suivi par une recherche des causes immédiates et suffisantes des événements intermédiaires jusqu'à l'obtention des événements de base ;
5. Finalement, il ne faut pas hésiter, dans une démarche itérative, à revenir sur certains événements de l'arbre, jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants.

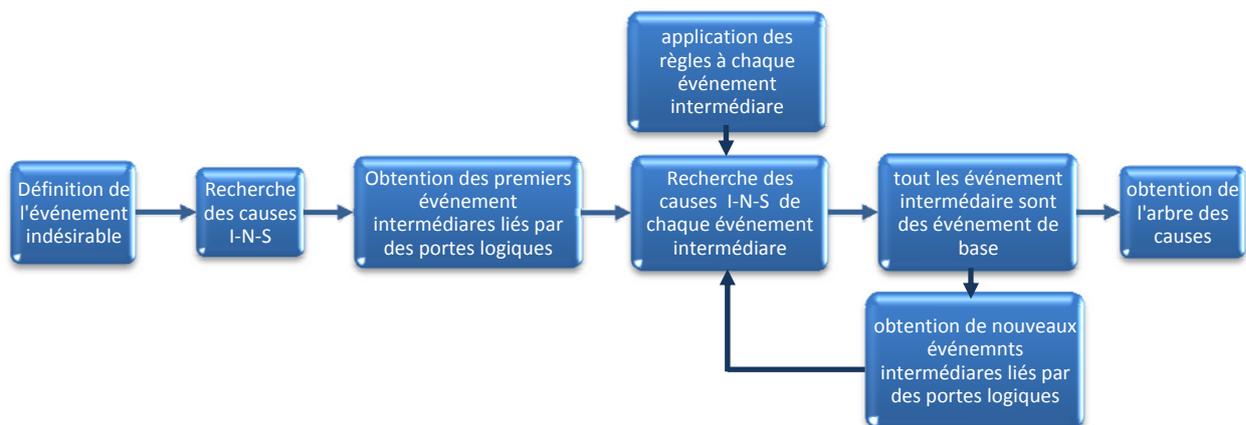


Figure 1.2 : Représentation Schématique de l'Elaboration de L'Arbre des Causes¹

L'algèbre booléenne peut être utilisée pour trouver les coupes minimales, définies comme étant la petite combinaison d'événements entraînant l'événement indésirable. On parle aussi de « chemin critique ». Une analyse quantitative (calcul de probabilité) peut être utile pour estimer la probabilité d'un événement indésirable. En résumé, la MAC a pour objectif le recensement de toutes les causes, de tous les défauts (et leurs combinaisons) entraînant l'apparition d'un événement indésirable. Pour faciliter la construction de l'arbre des causes, il est utile de réaliser préalablement une AMDE. (3)

¹ Villemeur, A. *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*. France : Eyrolles, 1988.

🐞 **La Méthode de Combinaison des Pannes Résumées (MCPR) :**

Elle se décompose en quatre étapes :

1. On effectue une AMDE à chaque système élémentaire ;
2. Élaboration des pannes résumées internes ; c'est l'ensemble des modes de défaillances qui ont soit seuls, soit combinés avec d'autres modes de défaillances les mêmes effets ou conséquences sur le système élémentaire considéré et sur les autres systèmes élémentaires ;
3. Élaboration des pannes résumées externes : les pannes résumées internes relatives à d'autres systèmes élémentaires peuvent affecter le fonctionnement du système élémentaire étudié ; ce sont les pannes résumées externes du système étudié ;
4. Élaboration des pannes résumées globales : elles regroupent les pannes résumées internes, externes et les combinaisons de pannes internes et/ou externes ayant les mêmes effets sur le système élémentaire étudié et sur les autres systèmes élémentaires.

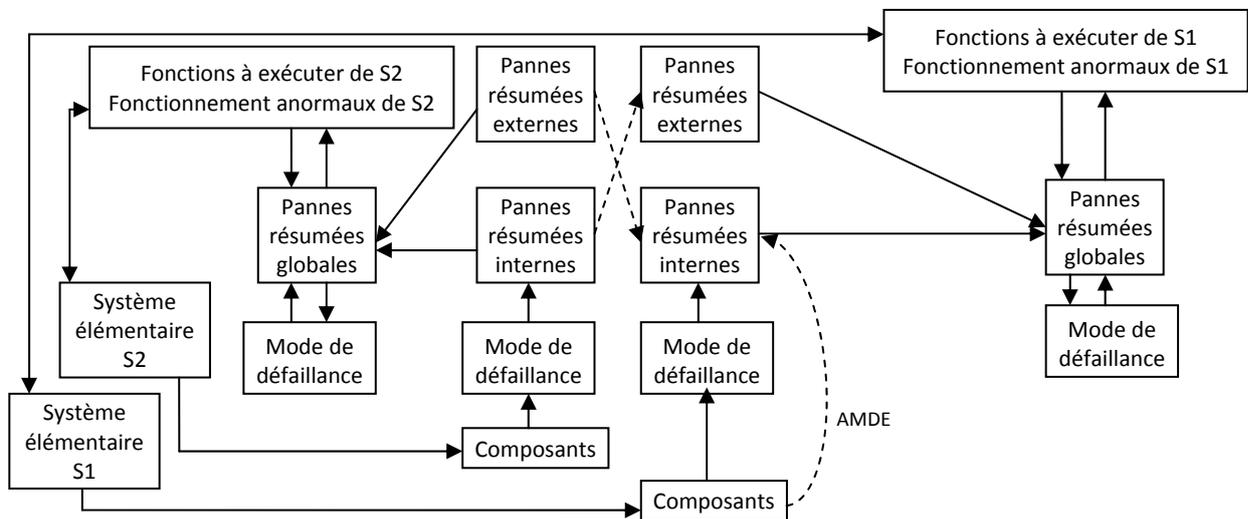


Figure 1.3 : Démarche de la Méthode des Combinaisons de Pannes Résumées¹

La MCPR permet ainsi d'élaborer les modes de défaillance du système à partir de la connaissance des modes de défaillance des composants.

Cette méthode, a la caractéristique de regrouper les pannes ayant les mêmes effets, et de prendre en compte les interactions entre les systèmes élémentaires. De plus, on peut définir un ordre m (respectivement une probabilité d'occurrence) d'une panne, ou de combinaison de pannes, au-dessus duquel (respectivement en-dessous de laquelle) les combinaisons de pannes ne seront pas étudiés.

En résumé, la MCPR est une méthode inductive débutant par l'AMDE, et se poursuivant par le regroupement des pannes et de leurs combinaisons jusqu'à l'obtention de tous les fonctionnements anormaux des systèmes à analyser. (3)

🐞 **La Méthode de L'Arbre des Conséquences (MAC) :** Deux démarches sont possibles pour l'élaboration de cette méthode :

- a) Démarche déductive en quatre étapes :

¹ Alain Villemeur. *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*. France : Eyrolles, 1988.

- ❖ Définition des fonctions de sûreté ;
- ❖ Définition des événements initiateurs d'une séquence d'événements ;
- ❖ Élaboration de l'arbre des conséquences « fonctions » (figure 1.4) ;
- ❖ Élaboration de l'arbre des conséquences « système » (figure 1.5).

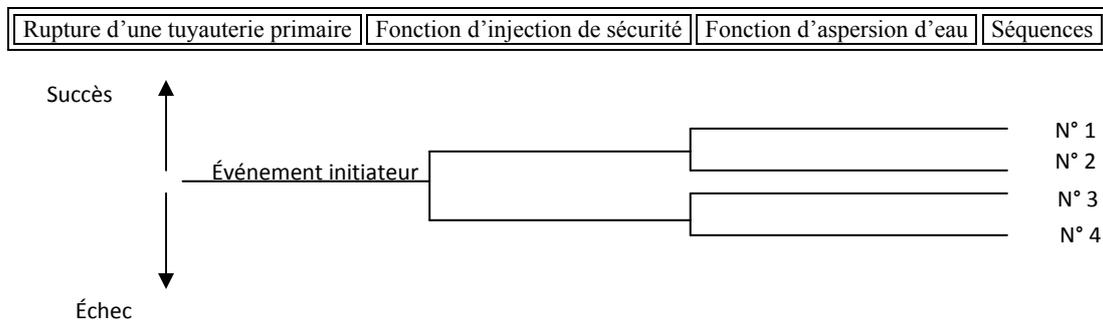


Figure 1.4 : Arbre des Conséquences Fonctions

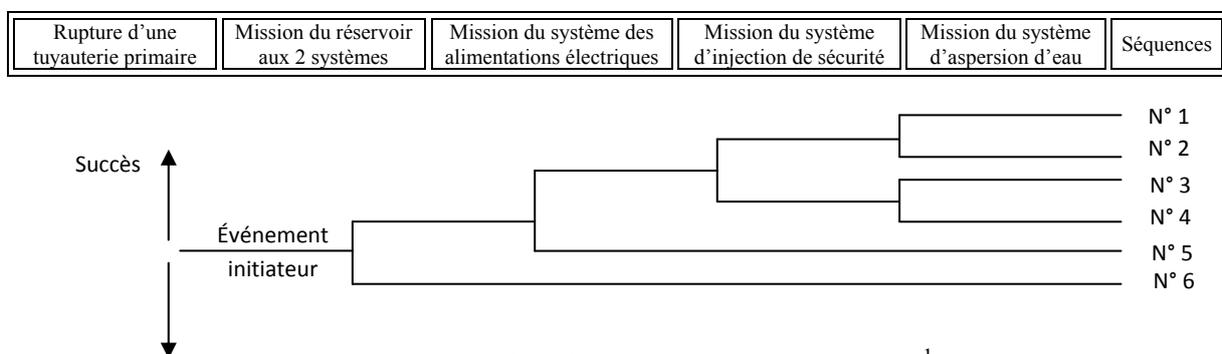


Figure 1.5 : Arbre des Conséquences Systèmes¹

- b) Démarche inductive, en trois étapes :
- ❖ Élaboration des pannes résumées globales ;
 - ❖ Sélection des événements initiateurs ;
 - ❖ Élaboration des arbres des conséquences.

Cette méthode est généralement employée en liaison avec la Méthode de l'Arbre des Causes. Bien évidemment, la MACQ est par essence inductive. Une fois définis l'événement initiateur et les événements génériques, la méthode consiste, en effet, à combiner tous les états possibles de ces événements pour en étudier les conséquences : c'est en quelques sorte, la table de vérité de ces événements. Néanmoins, la recherche de ces événements et notamment du premier d'entre eux, l'événement initiateur, peut résulter d'une démarche, soit déductive à partir de la définition des fonctions de sûreté, soit inductive à partir des modes de défaillance, des pannes résumées internes et globales. (3)

⚠ La Méthode du Diagramme Causes-Conséquences (MDCC) :

Cette méthode combine les principes utilisés par la MAC et la MACQ. Les principes de l'élaboration du Diagramme Causes-Conséquences sont les suivants :

- ✓ Sélection d'un événement initiateur, ou événement critique ;
- ✓ Recherche des causes de l'événement initiateur (MAC) ;

¹ Figures 4 et 5 : Alain Villemeur. *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*. France, Eyrolles, 1988.

- ✓ Recherche des conséquences de l'événement initiateur (MACQ) ;
- ✓ Diagramme Causes-Conséquences et coupes minimales.

En analysant ce diagramme, on obtient la liste des combinaisons d'événements qui peuvent conduire aux événements indésirables mis en évidence.



Figure 1.6 : Etapes et Méthodes relatives à l'Elaboration du Diagramme Causes-Conséquences

L'intérêt de cette méthode réside essentiellement dans le caractère presque simultané de l'analyse déductive des causes, et de l'analyse inductive des conséquences d'un même événement. Elle est intéressante pour l'analyse des systèmes où l'ordre dans lequel surviennent les défaillances est important ; néanmoins, elle apparaît difficile à utiliser pour l'analyse de systèmes trop complexes. (3)

⚙️ La Méthode de L'Espace des États (MEE) :

Elle a été développée pour l'analyse de la sûreté de fonctionnement (disponibilité, fiabilité et maintenabilité) des systèmes réparables. Cette analyse comprend trois parties :

- a) Le recensement et le classement de tous les états du système en états de fonctionnement ou en états de pannes ;
- b) Le recensement de toutes les transitions possibles entre ces différents états et l'identification de toutes les causes de ces transitions ;
- c) Le calcul des probabilités de se trouver dans les différents états au cours d'une période de vie du système ou le calcul de caractéristiques de sûreté de fonctionnement : MTTR, MUT et MTBF. (3)

I.1.3.2. Méthodes de Diagnostic par Analyse des Signatures Externes

I.1.3.2.1. Les Réseaux de Neurones et la Logique Floue

Les réseaux neuronaux sont des systèmes sans modélisation préalable, faits pour un apprentissage à partir des relations sous-jacentes entre les données. Dans la plupart d'entre eux, les données peuvent se retrouver dans plus d'un élément de sortie, à des degrés divers (équivalents aux valeurs d'appartenance). Un système flou travaille sur de nombreux types de données imprécises, mais le concepteur doit spécifier les relations entre elles à l'aide d'un ensemble de règles, qui se déclenchent en parallèle pour accumuler les présomptions en faveur ou non de telle ou telle solution. Bien qu'il existe des techniques d'extraction de règles à partir de données, pouvant servir à générer un système flou, elles sont extérieures au système proprement dit, alors que de telles propriétés d'auto-organisation et d'adaptation sont

intrinsèques aux réseaux neuronaux. (1) Les réseaux de neurones sont particulièrement bien adaptés à la résolution des problèmes de diagnostic externe utilisant la classification automatique des signaux et des formes. (4) Cette technique est utilisée toute seule ou avec d'autres méthodes comme la logique floue.

Plusieurs travaux de diagnostic par réseaux de neurones sont réalisés, parmi ces travaux, le Diagnostic Industriel par Neuro-Flou Application à Un Système de Production, (Hayet Mouss et Mahdaoui Rafik). Le travail repose sur une proposition d'une approche de reconnaissance de formes neuro-flou pour le diagnostic d'un système de production. Les caractéristiques de l'approche neuro-flou pour le diagnostic industriel sont présentées en combinant les concepts des réseaux de neurones artificiels (RNA) et celles de la logique floue (LF). Le système de production choisie est l'atelier de clinkérisation de la SCIMAT, cimenterie d'Ain Touta « Batna ».

Pour cela, le NEFDIAG (NEuro Fuzzy DIAGnostic) est réalisé, est un programme informatique de simulation interactive, consacré essentiellement à la création, l'apprentissage et au test d'un système neurone-flou de classification des pannes d'un procédé industriel dédié. NEFDIAG modélise un classificateur flou F_T avec un ensemble de classes $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$. NEFDIAG peut être représenté comme un type spécial de perceptron flou, à trois couches utilisées pour classifier des défaillances. (5)

I.1.3.2.2. Les Systèmes Experts

Le diagnostic par système expert, se base sur l'expérience disponible sur le système pour construire une table de correspondance permettant d'associer efficacement les observations aux diagnostics correspondants. L'expérience peut être fournie :

- ✿ Par un opérateur humain. Dans ce cas, la connaissance humaine doit être traduite en langage informatique.
- ✿ Par un enregistrement éventuellement annoté des précédentes exécutions du système. Dans ce cas, un algorithme d'apprentissage automatique doit être utilisé.

Les principaux inconvénients de ces méthodes sont :

- ✿ L'acquisition de l'expertise : l'expertise n'est disponible qu'après un certain temps d'utilisation du système, ce qui exclue l'application pour des systèmes critiques (centrales nucléaire ou robot spatiaux, par exemple). D'autre part, la complétude de l'expertise n'est jamais assurée. Ainsi, lorsqu'un comportement inconnu a lieu sur le système, le diagnostic fourni sera erroné.
- ✿ L'apprentissage du système expert : la construction du système expert se fait hors-ligne (en dehors de l'utilisation) et peut être gourmande en ressources.
- ✿ La taille du système expert : puisque le système expert capture toutes les observations possibles, il nécessite parfois une taille très importante tandis qu'un modèle du système serait plus compact. Il arrive cependant qu'au contraire, le système expert soit plus compact que le modèle puisqu'il ne comporte que les informations pertinentes pour le diagnostic.
- ✿ La non-robustesse : en cas de modification même légère du système, le système expert doit être entièrement recalculé. (6)

I.2. La Maintenance Industrielle

I.2.1. Introduction

Le but essentiel de chaque entreprise ou industrie, est d'assurer le triplet « coût, qualité et délai », ce n'est pas le plus facile qu'il apparait, l'une des solutions indispensables est la maintenance. Cependant, la maintenance a été considérée longtemps comme un mal nécessaire pour son importance et à cause du coût élevé.

Dans beaucoup de domaines industriels, surtout pour les entreprises de production, ce mal nécessaire est toujours présent, mais ce n'est pas un mal pour les experts ou les ingénieurs de maintenance considérant les coûts très élevés dans la réalisation de n'importe quel type de maintenance.

Pour assurer une très bonne maintenance soit préventive ou corrective, ceci nécessite un très bon diagnostic, nous avons vu les différentes méthodes et techniques de diagnostic ce qui conduit à l'évolution jusqu'à l'utilisation des outils informatiques, en d'autre terme la Gestions de Maintenance Assisté par Ordinateur (GMAO) ; et d'autres outils utilisant les systèmes experts et les différentes techniques d'intelligence artificielle comme la logique floue, les réseaux de neurones, etc.

Cette évolution a développé la maintenance d'un très grand pas, et a vraiment diminué les temps de réparation des pannes et de la remise en marche des différents équipements ou services. Dans les prochains paragraphes, on va citer les niveaux et les différents types de la maintenance.

I.2.2. Définition

« **Maintenance** : c'est l'ensemble des actions techniques et administratives correspondantes, y compris les opérations de surveillance et de contrôle, destinée à maintenir (maintenance préventive) ou à rétablir (maintenance corrective) une entité dans un état spécifié ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, (Disponibilité, Fiabilité, Maintenabilité et Sécurité) lui permettant d'accomplir une fonction requise. » (7)

I.2.3. Les Niveaux de la Maintenance

Les actions de la maintenance sont de différents niveaux. Dans chaque niveau, il y'a des fonctions et des tâches à exécuter, et aussi les équipements à maintenir. On distingue cinq niveaux de maintenance illustré dans la pyramide des niveaux suivante :

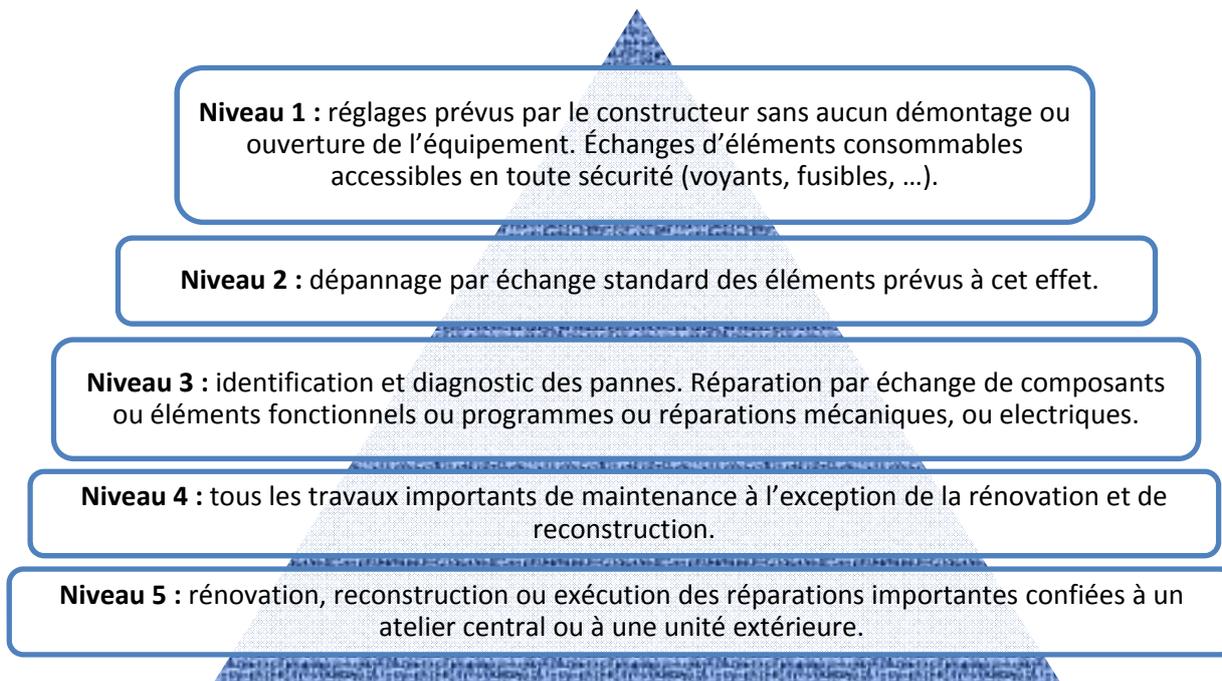


Figure 1.7 : Les Niveaux de la Maintenance

1.2.4. Les Types de la Maintenance

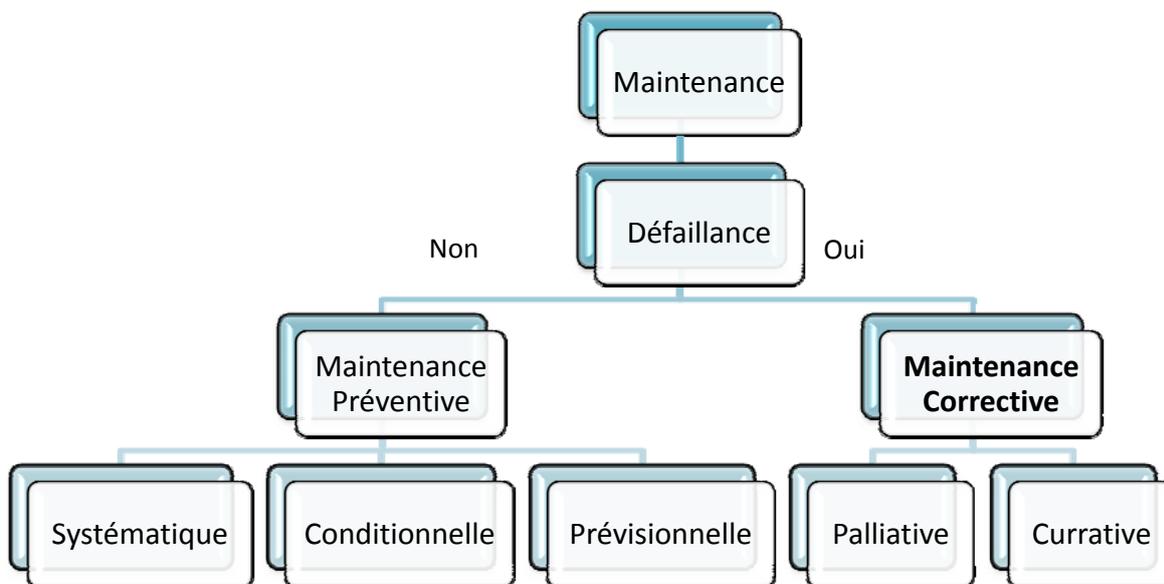


Figure 1.8 : Diagramme des différents concepts de maintenance

Selon la figure 1.8, on distingue deux grands types de maintenance : préventive et corrective, et chaque type est divisé à son tour en d'autres types.

1.2.4.1. Maintenance Préventive

Opération de maintenance effectuée avant la détection d'une défaillance d'une entité, à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits (suite à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres significatifs) et destinée à réduire la probabilité de défaillance d'une entité ou la dégradation du fonctionnement d'un service rendu. (8)

Si une entité tombe en panne avant l'occurrence d'une date de maintenance, elle n'est pas réparée et attendra la prochaine date de maintenance préventive.

L'intervention préventive sert à améliorer l'état de l'élément. Par conséquent, seules les défaillances progressives sont prises en compte ici. Une politique de maintenance préventive a pour objectifs :

- ✿ Réduire les coûts de défaillance ;
- ✿ Augmenter la fiabilité d'une machine ;
- ✿ Améliorer la disponibilité de l'atelier de production ;
- ✿ Augmenter la durée de vie efficace d'une machine ;
- ✿ Améliorer l'ordonnancement des travaux ;
- ✿ Faciliter la gestion des stocks ;
- ✿ Assurer la sécurité, etc.

Existe plusieurs types de maintenance préventive, à savoir : la maintenance systématique, conditionnelle, critique, cyclique, indicative, limite et régulière.

1.2.4.2. Maintenance Corrective

C'est une opération de maintenance effectuée après la détection d'une défaillance et destinée à remettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement comme un dépannage. [CEI 191-07-08]

Ses actions s'effectuent par étapes (dans l'ordre) :

- a. Test : comparaison des mesures avec une référence,
- b. Détection : déceler l'apparition d'une défaillance,
- c. Localisation : les éléments par lesquels la défaillance se manifeste,
- d. Diagnostic : analyse des causes de la défaillance,
- e. Dépannage, réparation : remise en état (avec ou sans modification),
- f. Contrôle : contrôle du bon fonctionnement,
- g. Amélioration éventuelle : éviter la réapparition de la panne,
- h. Historique : mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.

Ainsi, plusieurs types de maintenance corrective sont utilisés dans les différents domaines : curative, différée, directe, globale et palliative.

I.3. Conclusion

La sûreté de fonctionnement consiste à connaître, évaluer, prévoir, mesurer et maîtriser les défaillances des systèmes technologiques et les défaillances humaines, cette sûreté est assurée par un diagnostic efficace des différentes défaillances et de leurs effets.

Les techniques de diagnostic sont multiples et les domaines d'application sont très étendus. Le plus essentiel est l'application de ces méthodes dans la plus efficace manière pour garantir l'obtention des résultats qui nous garantissent aussi la réparation des systèmes et la diminution du temps de remise en marche et d'éviter les catastrophes humaines et économiques, surtout dans les systèmes complexes.

Le développement des différentes méthodes du diagnostic est indispensable, ceci est dû à la complexité accrue des systèmes et des besoins des clients. Ce développement apparaît dans l'intégration ou la combinaison des différentes techniques de l'intelligence artificielle et les méthodes du diagnostic ; cette combinaison a montré son efficacité durant son application et ces résultats engendrés dans tout les domaines, médicaux ou industriels.

Le diagnostic effectué, nous dirige vers une maintenance convenable, cette dernière est aussi assurée par plusieurs techniques qui peuvent rendre le matériel ou tout le système fiable ou disponible d'un certain degré de confiance pour remplir les fonctions requises, et garantir une longue vie du système ; et pour aller vers le zéro défaut ou le zéro risque, surtout dans les activités industrielles.

Si ce n'est pas le cas, au moins tenter de réduire les risques à un niveau le plus faible possible et acceptable pour l'opinion publique, et minimiser en telle sorte les conséquences des situations catastrophiques lorsqu'elles peuvent se produire.

Cette stratégie est remarquée dans les sociétés industrielles actuellement. La cimenterie d'Ain Touta, est l'une d'elles. L'application de nouvelles technologies de diagnostic et maintenance en ligne, avait un grand effet sur la production, et en même temps sur les composants du système soit processus soit équipements industriels.

Parmi ces techniques, SCIMAT a installé le nouveau système expert ECS (Expert Control & Supervision) avec ProcessExpert, l'outil reposant sur la technique de logique floue. Mais avant de détailler ce nouveau système, il faut connaître les deux techniques d'intelligence artificielle, les systèmes experts et la logique floue, et c'est le but de la deuxième partie.

Chapitre 2

Les Techniques de l'Intelligence Artificielle

II.1. La Logique Floue

II.1.1. Historique

C'est à l'université de Berkeley Californie, USA en 1963, qu'est née la logique floue ou "*Fuzzy logic*". Son père créateur est Lotfi. Zadeh, né en ex-URSS de parents iraniens, professeur d'informatique au département ingénierie électrique et informatique de l'université.

Zadeh fait une comparaison entre les ordinateurs de l'époque et le raisonnement humain (comparaison toujours valable d'ailleurs) : si l'ordinateur calcule beaucoup plus vite de façon rigoureuse, ses capacités de réflexion et d'apprentissage sont limitées. De plus sa rigidité en tant que machine et son fonctionnement binaire, le rend peu adapté à certaines tâches, qui pour un humain semble si simple. Zadeh prend l'exemple du créneau réalisé par un automobiliste pour garer sa voiture. Si le conducteur réalise cette opération en une minute environ, la simulation de la même action sur un ordinateur demandait à l'époque plusieurs heures de calculs complexes.

Le pire dans l'histoire, c'est que l'humain fait tout ceci de façon approximative que ce soit pour la conduite dans le cas présent, comme bon nombres d'actions de la vie quotidienne. Cela marche donc avec l'approximation et une expérience des fonctions à réaliser. Naissance de la logique floue, dont le concept sera complètement ignoré aux USA, comme en Europe. Il fallait attendre 25 ans pour voir apparaître les premières applications au Japon ; à noter que l'exemple de la voiture à garer de Zadeh est repris, et mis en application avec une voiture truffée de capteurs, d'un calculateur flou et qui parvient à se garer toute seule.

Ce chapitre va présenter les éléments essentiels de la logique floue, surtout les ensembles flous, le raisonnement flou, où on s'intéresse beaucoup à la commande floue. L'importance de la logique floue et les résultats obtenus, rend son utilisation universel et dans tout les domaines, en particulier le domaine industriel, pour cela on va présenter quelques brillances de cette technique dans ce domaine. Ensuite, les systèmes experts, rôle et composants ; les générateurs des systèmes experts, les systèmes multi-experts, et les systèmes experts flous.

II.1.2. Introduction

La logique floue, ou plus généralement le traitement des incertitudes, a pour objet d'étude la représentation des connaissances imprécises et le raisonnement approché. On peut donc la situer à côté des heuristiques de résolutions de problèmes, des systèmes experts, de l'apprentissage, de l'intelligence artificielle distribuée et même du traitement de la langue naturelle, domaines qui composent les techniques d'intelligence artificielle au sein des sciences cognitives.

Cependant, la logique floue peut être intégrée, à côté d'autres extensions, qui, en toute généralité peut être vue comme la grammaire des mathématiques (la logique floue a d'ailleurs donné lieu à toute une généralisation des mathématiques classiques fondée sur le concept très simple de sous-ensemble flou).

Enfin, par ses nombreuses applications industrielles en commande, la logique floue est aussi associée à l'automatique. Dans les problèmes de prise de décision, d'aide au diagnostic et plus généralement dans tous les systèmes à base de connaissances, on souhaite, à partir

d'observations, parvenir à une conclusion qui peut être la détermination d'un objet ou une action à prendre. Or lors du fonctionnement de ces systèmes, interviennent des connaissances mal définies, mal décrites et imparfaitement connues, puis au niveau des règles d'inférence, intervient un traitement imparfait et incomplet du déroulement de la déduction. Enfin survient le problème du traitement des contradictions et de la fusion (agrégation) de données voisines.

Tous les problèmes concrets sont, en fait, confrontés aux notions d'incertitude et d'imprécision. Ces deux notions sont habituellement mêlées et c'est essentiellement l'observation statistique qui induisait, jusqu'à présent dans la pratique, la mesure probabiliste des incertitudes.

Mais la théorie des probabilités reste assez rigide. Cependant, il existe d'autres types d'incertitudes liées à la difficulté des observations, aux imprécisions linguistiques, à la fiabilité tant des observateurs humains que des capteurs et instruments de mesure, à l'utilisation de connaissances empiriques et à l'imprécision du raisonnement humain. Toutes ces questions de l'utilisation de catégories linguistiques habituelles et du raisonnement humain vont nous amener à distinguer certains concepts, comme les ensembles flous.

II.1.3. Définition

La logique floue a été introduite pour pallier certaines difficultés liées à l'utilisation d'interprétations binaires dans la logique des prédicats. Par ailleurs elle permet de s'affranchir en partie des incohérences ou inconsistance de l'expertise. La logique floue permet d'exprimer des concepts du type : « *Si la température est très élevée, alors refroidir beaucoup* ».

II.1.4. Éléments Théoriques de Logique Floue

II.1.4.1. La Théorie des Ensembles Flous

La théorie des sous-ensembles flous est une théorie mathématique du domaine de l'algèbre abstraite. Elle a été développée par Lotfi Zadeh en 1965 afin de représenter mathématiquement l'imprécision relative à certaines classes d'objets et sert de fondement à la logique floue.

Les sous-ensembles flous (ou parties floues) ont été introduits afin de modéliser la représentation humaine des connaissances, et ainsi améliorer les performances des systèmes de décision qui utilisent cette modélisation. Elles sont utilisées soit pour modéliser l'incertitude et l'imprécision, soit pour représenter des informations précises sous forme lexicale assimilable par un système expert.

II.1.4.1.1. Définitions

Une partie A d'un ensemble E est usuellement associée à sa fonction caractéristique. Celle-ci s'applique sur les éléments x de E . Elle prend la valeur 0 si x n'appartient pas à A et 1 si x appartient à A .

On souhaite définir une partie A floue de E en attribuant aux éléments x de E un degré d'appartenance, d'autant plus élevé qu'on souhaite exprimer avec certitude le fait que x est élément de A . Cette valeur vaudra 0 si on souhaite exprimer que x de façon certaine n'est pas

élément de A , elle vaudra 1 si on souhaite exprimer que x appartient à A de façon certaine, et elle prendra une valeur comprise entre 0 et 1 suivant qu'on estime plus ou moins certain l'appartenance de x à A . On est donc amené à définir une partie floue de la façon suivante :

Une partie floue (ou sous-ensemble flou) d'un ensemble E est une application de E dans $[0,1]$. Plus généralement, si L est un treillis complet, distributif et complémenté, on définit une partie L-floue comme étant une application de E dans L . Si $L = [0,1]$, on retrouve la définition précédente de partie floue, et si $L = \{0,1\}$, on retrouve la notion usuelle de partie de E .



Figure 2.1 : Ensemble flou, Le niveau de gris indique le degré d'appartenance

II.1.4.1.2. Propriétés

Une partie floue A de E est caractérisée par une application de E dans $[0,1]$. Cette application, appelée fonction d'appartenance et notée μ_A représente le degré de validité de la proposition « x appartient à A » pour chacun des éléments x de E . Si $\mu_A(x) = 1$, l'objet x appartient totalement à A , et si $\mu_A(x) = 0$, il ne lui appartient pas du tout. Pour un élément x donné, la valeur de la fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ est appelée degré d'appartenance de l'élément x au sous-ensemble A .

L'ensemble E est donné par la fonction d'appartenance identiquement égale à 1. L'ensemble vide est donné par la fonction d'appartenance identiquement nulle.

Le noyau d'une partie floue A est l'ensemble des éléments qui appartiennent totalement à A c'est-à-dire dont le degré d'appartenance à A vaut 1 : $n(A) = \{x \in E | \mu_A(x) = 1\}$.

Le support d'une partie floue A est l'ensemble des éléments appartenant, même très peu, à A c'est-à-dire dont le degré d'appartenance à A est différent de 0 : $supp(A) = \{x \in E | \mu_A(x) > 0\}$

La hauteur d'un sous-ensemble flou A de E est définie par : $h(A) = sup\{\mu_A(x) | x \in E\}$.

Une partie floue A de E peut aussi être caractérisée par l'ensemble de ses α -coupes. Une α -coupe d'une partie floue A est le sous-ensemble net (classique) des éléments ayant un degré d'appartenance supérieur ou égal à α : $\alpha - coupe(A) = \{x \in E | \mu_A(x) \geq \alpha\}$.

Un ensemble fini possède un nombre fini de sous-ensembles L-flous si et seulement si le treillis L est fini. Si $L = [0,1]$, un ensemble fini possède une infinité de sous-ensembles flous.

II.1.4.1.3. Opérations

En observant comment les opérations usuelles se comportent vis-à-vis des fonctions caractéristiques de parties, on étend ces opérations aux fonctions d'appartenance des parties floues.

| Dénomination | Opérateurs de Zadeh | Probabiliste |
|-----------------|--|--|
| Intersection ET | $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ | $\mu_{A \cap B}(x) = (\mu_A(x) * \mu_B(x))$ |
| Réunion OU | $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$ | $\mu_{A \cup B} = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) * \mu_B(x)$ |
| Complément NON | $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$ | $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$ |

Tableau 2.1 : Les opérateurs les plus utilisés de la logique floue

II.1.4.2. Raisonnement en Logique Floue

II.1.4.2.1. Implication Floue

Une implication floue est une relation quantifiant le degré de vérité de la proposition: *Si (x ∈ A) Alors (y ∈ B)*, où A et B sont des sous-ensembles flous. La fonction d'appartenance μ_I de cette implication dépend des fonctions d'appartenances de A et de B. Plusieurs fonctions d'appartenance existent pour définir les implications floues dont celle de Mamdani : $\mu_I(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$ et

Larsen : $\mu_I(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(y)$

II.1.4.2.2. Proposition Floue

On peut effectuer des raisonnements en logique floue du genre :

$$Si (x \in A) ET (y \in B) Alors (z \in C).$$

Où A, B et C sont des sous-ensembles flous.

Le problème posé est la détermination de l'ensemble floue solution des z satisfaisant l'implication (avec un certain degré car il s'agit d'un ensemble flou). La fonction d'appartenance μ_S de cet ensemble solution est la suivante :

$$\mu_S = \mu_I(\min(\mu_A(x), \mu_B(y)), \mu_C(z))$$

« min » ici concerne le ET et μ_I concerne l'implication. Les propositions floues sont aussi appelées règles floues.

II.1.4.2.3. Conjonction (Agrégation) de Propositions Floues

L'ensemble des règles floues utilisées par un processus de commande par exemple peut être le suivant :

Si (x ∈ A₁) ET (y ∈ B₁) Alors (z ∈ C₁)

Si (x ∈ A₂) ET (y ∈ B₂) Alors (z ∈ C₂)

...

Si (x ∈ A_n) ET (y ∈ B_n) Alors (z ∈ C_n)

Pour déterminer le sous ensemble flou solution de la synthèse des n règles floues, on utilise un opérateur de conjonction.

Dans le cas de l'implication de Mamdani ou de Larsen l'opérateur de conjonction (agrégation) utilisé est le max. La fonction d'appartenance du sous ensemble flou solution de la conjonction des n règles floues est alors :

$$\mu_S = \max(\mu_{s1}(z), \mu_{s2}(z), \dots, \mu_{sn}(z))$$

Avec $\mu_{si}(z)$ Si la fonction d'appartenance du sous ensemble flou solution de la $i^{ème}$ règle floue.

II.1.5. Commande Floue

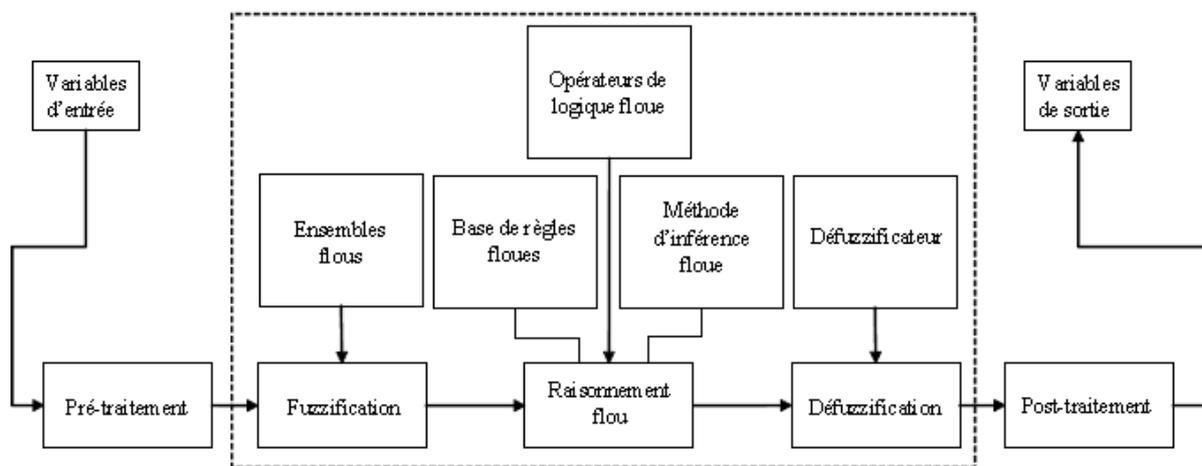


Figure 2.2: Architecture classique d'un système à base de logique floue

II.1.5.1. Le Contrôleur Flou

Les contrôleurs flous sont des systèmes experts basés sur des règles *Si-Alors* et pour lesquelles les prémisses et les conclusions sont exprimées à l'aide de termes linguistiques. La proximité de ces règles au langage naturel dote ces systèmes flous d'une grande lisibilité et facilite ainsi l'introduction de toute connaissance a priori dans la base de règles.

Par opposition aux contrôleurs classiques, les contrôleurs flous ne nécessitent pas de modèles analytiques de la tâche à résoudre. Leur mise au point repose généralement sur l'expression, dans la base de règles linguistiques, de la logique suivie par les experts du domaine pour prendre des décisions.

Dès 1975, les réalisations industrielles n'ont pas tardé à apparaître (automatisme, robotique, intelligence artificielle...). Un contrôleur flou se comporte comme un approximateur capable de calculer un résultat non-flou depuis plusieurs variables non-floues elles aussi, mais par le biais d'un processus de raisonnement flou.

Le premier traitement des données soumises consiste en la fuzzification, soit la transformation de données non-floues en données floues.

Le noyau du contrôleur se décompose en deux parties, l'une statique, l'autre dynamique. La partie statique consiste en une base de connaissances floues. Elle traduit le jugement de

l'expert. Ce procédé est particulièrement adapté pour traduire des appréciations « à l'estime ». Les processus mentaux de décision ne sont pas des équations. La partie dynamique du noyau est en fait le moteur d'inférence floue. C'est lui qui appliquera les règles et agrègera les résultats.

L'obtention du résultat non-floues s'obtiendra par l'opération de defuzzification tel que décrite par Mamdani. Le schéma qui suit tente d'en résumer le principe :

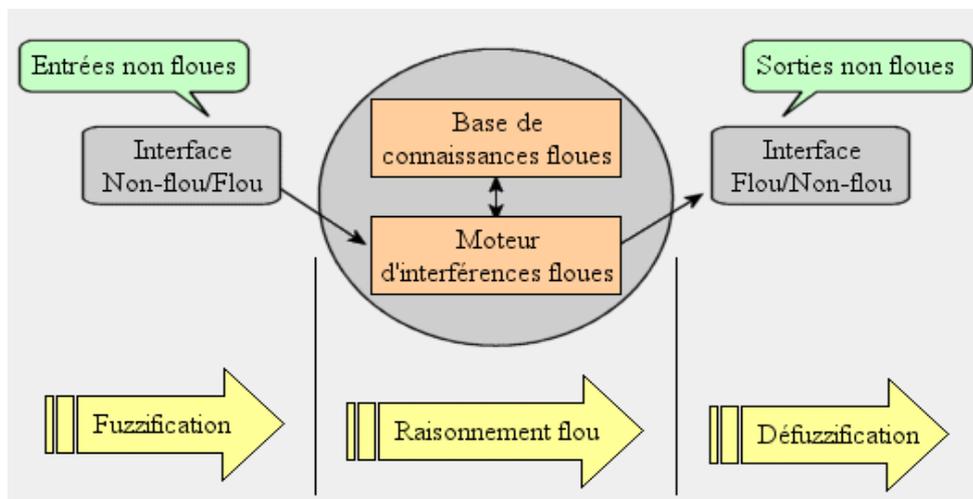


Figure 2.3: Schéma de principe d'un contrôleur flou

II.1.5.2. Présentation d'un Contrôleur Flou

L'architecture typique d'un contrôleur par logique floue est présentée sur la figure suivante :

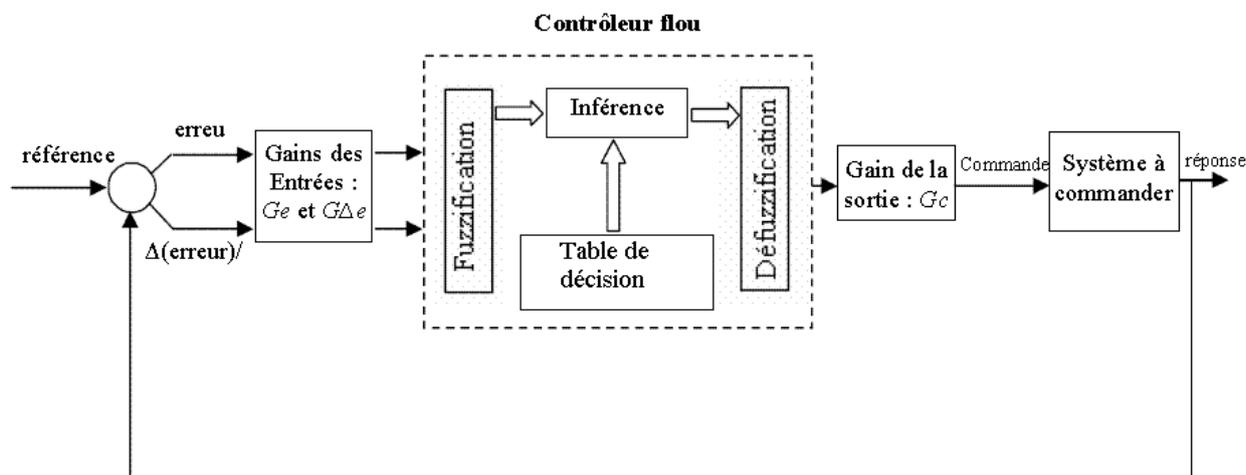


Figure 2.4: Architecture typique d'un contrôleur par logique floue

L'erreur $e(i)$ est prise à chaque $i^{ème}$ instant d'échantillonnage. La variation de l'erreur est calculée par la formule suivante :

$$\Delta e = \frac{e(n) - e(n - 1)}{T}$$

$e(n)$ étant la valeur de l'erreur au $n^{i\grave{e}me}$ instant d'échantillonnage et $e(n-1)$ la valeur de l'erreur au $(n - 1)^{i\grave{e}me}$ instant. T est la période d'échantillonnage.

II.1.5.3. Variables du Contrôleur

Les variables linguistiques sont l'erreur (e), la variation de l'erreur (Δe) et la commande (c). Chacune d'elle a ses propres valeurs linguistiques et son propre univers de discours.

Par exemple pour la commande, l'univers de discours peut être : $[-10\text{ N}, +10\text{ N}]$. On peut prendre comme valeurs linguistiques les cinq valeurs suivantes : négative grande (NG), négative moyenne (NM), zéro (Z), positive moyenne (PM), positive grande (PG). Chacune de ces valeurs est un sous ensemble flou, et est définie donc par une fonction d'appartenance.

Le choix du nombre de sous ensembles flous (valeurs linguistiques) à utiliser pour chaque variable linguistique influe sur la performance du contrôleur.

Pour bien comprendre le sens de ces variables et leurs rôles dans la commande floue, prenons l'exemple d'un conducteur de train (par analogie contrôleur flou d'un système) qui veut atteindre un objectif (Référence), une gare par exemple. La distance qui le sépare de la gare (erreur) et la vitesse du train (variation de l'erreur) le renseigne sur l'action à faire (commande) : freinage ou accélération pour atteindre sa cible. L'objectif d'un bon conducteur (bon contrôleur flou) est d'atteindre la gare de la manière la plus rapide et précise (ne pas dépasser l'objectif) qui soit.

II.1.5.4. Fuzzification

La fuzzification assure la transformation des grandeurs physiques (entrées) en valeurs linguistiques qui peuvent être traitées, ensuite, par le mécanisme d'inférence et ce grâce aux fonctions d'appartenance des valeurs linguistiques concernées par la valeur physique. Dans la figure 2.5 un exemple de fuzzification :

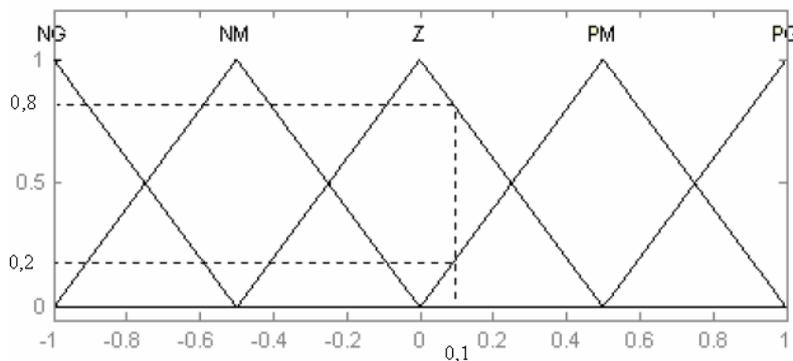


Figure 2.5: Exemple de fuzzification

Si l'erreur physique en entrée est égale à 0.1 Après fuzzification l'erreur est égale à Z avec un degré 0.8 et est égale aussi à PM avec un degré 0.2.

II.1.5.5. Table de Décision

La table de décision contient l'ensemble des règles floues nécessaire à la commande du système. Le choix des règles à utiliser peut être difficile à déterminer, néanmoins, la table standard diagonale de Mac Vicar-Whelan (tableau 2.2) peut être appliquée à plusieurs problèmes de commande floue.

| $\Delta e \backslash e$ | NG | NM | Z | PM | PG |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| NG | NG | NG | NM | NM | Z |
| NM | NG | NM | NM | Z | PM |
| Z | NM | NM | Z | PM | PM |
| Z | NM | NM | Z | PM | PM |
| PG | Z | PM | PM | PG | PG |

Tableau 2.2 : Table de décision standard de Mac Vicar-Whelan (5 ensembles flous)

Les règles floues de cette table peuvent être écrites sous la forme suivante :

- Si $e=NG$ ET $\Delta e=NG$ Alors $c=NG$
- SI $e=NG$ ET $\Delta e=Nm$ Alors $c=NG$
- ...
- Si $e=PG$ ET $\Delta e=PG$ Alors $c=PG$

II.1.5.6. Mécanisme d'Inférence

À partir des valeurs fuzzifiées, le mécanisme permet d'obtenir en utilisant les fonctions d'appartenance de chaque variable linguistique (entrées et sorties) ainsi que les règles floues, la fonction d'appartenance du sous ensemble flou solution de la commande.

En d'autres termes, il établit avec quel degré une commande satisfaite la situation courante. Il existe plusieurs méthodes d'inférence, les plus utilisées sont :

A. Méthode de Mamdani (Min-max)

Chaque règle floue i est résolue seule par : $\mu_{Si} = \min(\min(\mu_A(e), \mu_B(\Delta e)), \mu_C(z))$

L'ensemble flou solution est décrit par : $\mu_S(c) = \max(\mu_{S1}(c), \mu_{S2}(c), \dots, \mu_{Sn}(c))$

A, B et C représentent ici les valeurs linguistiques comme NG, Z...

B. Méthode de Larsen (Prod-max)

Chaque règle floue i est résolue seule par : $\mu_{Si} = \min(\mu_A(e), \mu_B(\Delta e)), \mu_C(z)$

L'ensemble flou solution est décrit par : $\mu_S(c) = \max(\mu_{S1}(c), \mu_{S2}(c), \dots, \mu_{Sn}(c))$

A, B et C représentent ici les valeurs linguistiques comme NG, Z...

II.1.5.7. Defuzzification

Après avoir obtenu le sous ensemble flou solution de la commande, il faut une grandeur physique exploitable (valeur numérique) pour la commande ; c'est le rôle de la defuzzification. Plusieurs méthodes existent, les plus utilisées sont :

A. Méthode du Maximum

Elle consiste à choisir comme solution defuzzifiée l'abscisse du maximum de la fonction d'appartenance des solutions. Si plusieurs maximums existent, il faut prendre un choix ou bien utiliser une variante de cette méthode en prenant la moyenne des maximums. Cette méthode est très rapide mais peut introduire des sauts du signal de sortie lors de faible variation du sous ensemble flou solution (voir figure 2.6).

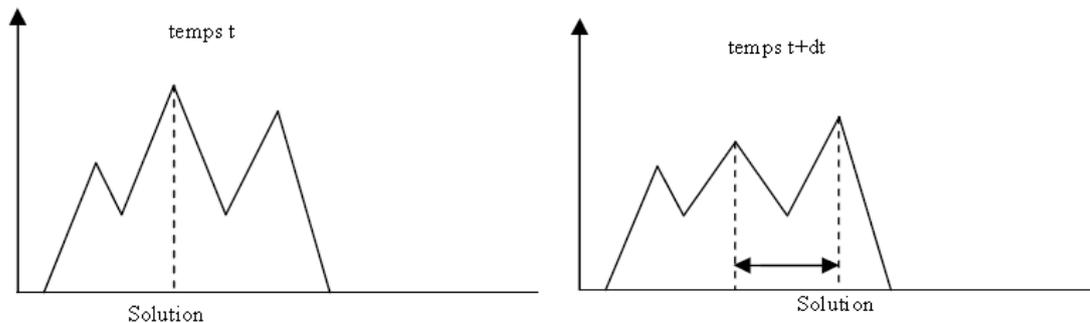


Figure 2.6: Saut du signal de la commande

B. Méthode du Centre de Gravité (centroïde)

Cette méthode donne généralement de bons résultats. Elle consiste à prendre comme solution l'abscisse du centre de gravité de la surface formée par la fonction d'appartenance du sous ensemble flou solution (voir figure 2.7). Cette méthode est très efficace, mais en contrepartie nécessite un plus grand temps de calcul.

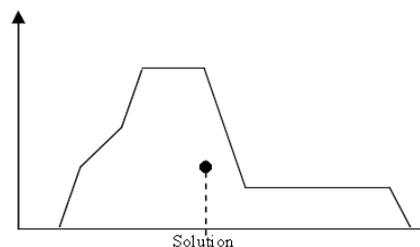


Figure 2.7: Méthode du centre de gravité

II.1.5.8. Gains du Contrôleur

Les gains des entrées G_e et $G_{\Delta e}$ ont un rôle de normalisation des variables linguistique en vue de leurs utilisations par le contrôleur flou. Ces gains affectent aussi les performances de la réponse du système en régime transitoire.

Le gain de la sortie G_s normalise la sortie du contrôleur flou dans l'univers de discours de la commande. De plus, il joue un rôle dans la stabilité du système et l'élimination des erreurs en régime permanent. Le choix de ces gains peut se faire d'une manière subjective (essais/erreurs) de sorte à obtenir la meilleure performance possible. (9)

II.1.6. Applications de la Logique Floue

II.1.6.1. Premières Applications

Parallèlement, certains chercheurs se sont penchés sur la résolution par logique floue de problèmes réputés difficiles. Ainsi en 1975, le professeur Mamdani à Londres développe une stratégie pour le contrôle des procédés et présente les résultats très encourageants qu'il a obtenus sur la conduite d'un moteur à vapeur. En 1978, la société danoise F.L. Smidth a réalisé le contrôle d'un four à ciment. C'est là la première véritable application industrielle de la logique floue.

C'est au Japon, où la recherche n'est pas seulement théorique mais également très applicative, que la logique floue connaît son véritable essor. À la fin des années 1980, c'est d'un véritable boum qu'il faut parler. Les produits grand public, machines à laver, appareils photographiques et autres caméscopes estampillés « FUZZY LOGIC » ne se comptent plus. Dans l'industrie, le traitement des eaux, les grues portuaires, les métros, les systèmes de ventilation et de climatisation sont touchés. Enfin, des applications existent dans des domaines très différents tels que la finance ou le diagnostic médical.

À partir de 1990, c'est en Allemagne que des applications apparaissent en grand nombre ainsi qu'à une moindre échelle aux USA. Enfin en France, la logique floue devient aujourd'hui une réalité. (10)

II.1.6.2. Exemples d'Application dans le Domaine Industriel

- ◆ 1979 Cimenterie au Danemark.
- ◆ 1987 Métro de Sendai (Hitachi).
- ◆ 1990 Conduite de hauts-fourneaux Dunkerque.
- ◆ 1992 Usine de papier au Portugal.
- ◆ Produits de consommation courante :
 - ✿ Autocuiseurs de riz, aspirateurs, machines à laver, système de climatisation...
 - ✿ Appareils photos : autofocus, auto-exposition, auto-zoom (Canon, Minolta).
 - ✿ Caméras : autofocus, auto-exposition, stabilisateur d'image (Sanyo, Canon, Matsushita).
 - ✿ Photocopieurs : qualité d'image, distribution d'encre (Sanyo, Canon, Ricoh).
- ◆ Industrie automobile : régulation du moteur, système de transmission, système de suspension, climatisation.
- ◆ Ascenseur : temps d'attente réduit, ascension et arrêt plus régulier (Hitachi).

II.2. Les Systèmes Experts

II.2.1. Introduction

L'IA est sans conteste, une des aventures intellectuelles de la fin du vingtième siècle et le début de notre siècle, de telle sorte que, les machines se comportent comme des humains. Ce qui nous intéresse, c'est le raisonnement dans l'IA. Est ce qu'on peut vraiment réaliser des systèmes ou des machines qui peuvent raisonner pour faire le même travail voulu ? Pour répondre à cette question, les systèmes experts sont indispensables, ceux sont eux qui peuvent aider ces machines à exploiter les connaissances acquises, et donner les réponses aux requêtes posées par les utilisateurs, dans un domaine spécifié.

La méthodologie des systèmes experts soulève de nombreux espoirs, et semble s'accorder avec le développement accéléré des technologies informatiques, et la complexité des problèmes et des systèmes apparus dans tous les secteurs et domaines.

Les systèmes experts viennent d'exploiter les connaissances et les savoirs, ainsi que les expériences des experts pour résoudre ou essayer d'englober le tout d'un problème, ceci évite de créer des trous dans la solution. Le développement des systèmes experts nous a conduits aux systèmes multi-experts d'un coté et la possibilité d'intégration des autres techniques de l'IA, à savoir, la logique floue, les réseaux de neurones,

Les systèmes experts réalisés depuis MYCIN (en médecine), ont traités plusieurs types de systèmes, surtout les systèmes de production dans le secteur industriel. Cette intervention a exigée la nécessité de développer d'autres axes en utilisant une technique d'IA qu'est la logique floue. Ceci a engendré les systèmes experts flous pour traiter plusieurs problèmes non linéaires, dans les différents services ; soit la maintenance, la chaine de production, le pilotage automatique, les prévisions et d'autres services qui peuvent être imaginé dans un système automatisé.

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la définition des systèmes experts, leurs rôles, les composants de ces systèmes, et comment peut on les construire. De plus, les générateurs des systèmes experts, les systèmes multi-experts et les systèmes experts flous. Le plus important dans tous ça, est la satisfaction de ces systèmes et l'obtention du but essentiel dans n'importe quel domaine, le gain financier et la sécurité de la vie humaine.

II.2.2. Définition

Un système expert peut être défini de deux façons. La première est fonctionnelle, pour décrire la fonction du système, qu'est ce qu'il fait ou qu'il devrait faire. La seconde, est technique, s'intéresse au système comment est-il construit. Si on combine ces deux formules : « le système expert est conçu pour simuler des raisonnements humains, formalisé sous forme de règles de production. » (11)

Une autre définition est donnée au système expert comme « un ensemble de programmes capable de reproduire la démarche d'un expert humain confronté à un problème dans son domaine de compétence. » (12) On va détailler le rôle ou la fonctionnalité du système expert, ensuite comment il est construit.

II.2.2.1. Rôle des Systèmes Experts

Lorsque le processus intellectuel par lequel un humain évalue une situation, ou prend une décision est précisément modélisé, il est relativement facile de le programmer, c'est le cas par exemple, dans des domaines tels que la comptabilité, le calcul scientifique ou la commande numérique de machines-outils.

Les systèmes experts se sont développés comme une technique informatique visant à atteindre trois objectifs.

- 1) *Capter aisément les unités de savoir-faire* : pour faciliter l'expression la plus directe possible des règles, par rapport à leur forme d'émergence chez les experts.
- 2) *Exploiter l'ensemble des unités de savoir-faire* : donc combiner et/ou chaîner des groupes de règles pour inférer (ou dériver) des connaissances telles que des jugements, plans, preuves, décisions, prédictions, nouvelles règles, Et rendre compte de la manière dont les nouvelles connaissances ont été inférées.
- 3) *Supporter aisément la révision de l'ensemble des unités de savoir-faire* : c'est d'offrir des facilités pour les ajouts et les suppressions de règles.

II.2.2.2. Composants de Base des Systèmes Experts

Pour fonctionner, un système expert est représenté par une base de connaissances constituée d'une base de faits et d'une base de règles et d'un moteur d'inférence (figure 2.8).

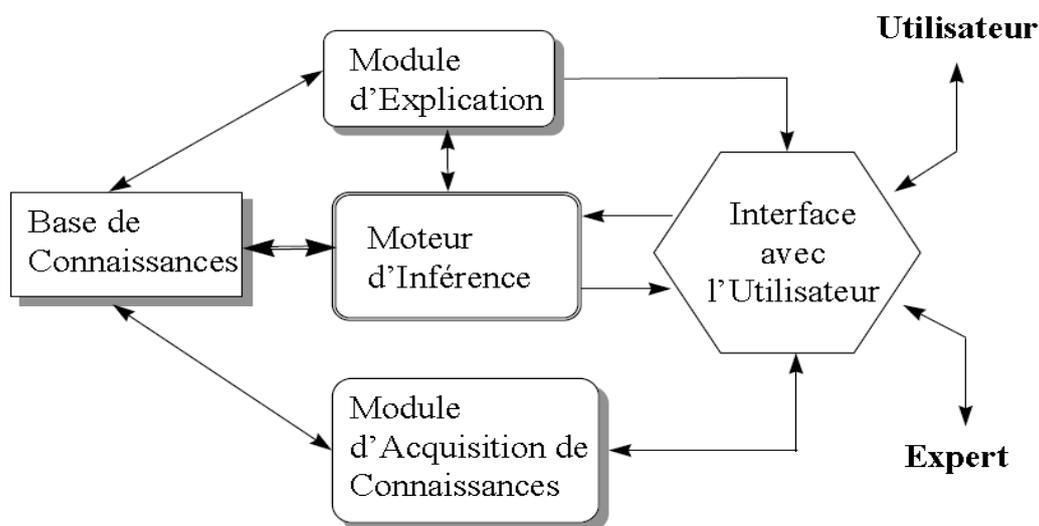


Figure 2.8: L'Architecture d'un Système Expert

II.2.2.2.1. La Base de Connaissance

Chaque expert acquis au cours de son travail une expertise, cette expertise ou l'ensemble de ces connaissances, est stocké sous forme de faits ou de règles de production. Cet ensemble de connaissances dans leur traduction informatique est conservé sur un support de stockage, cela est appelé « une base de connaissance » pour dire aussi que le système expert est un système basé sur la connaissance ; mais n'importe quel système informatique est basé sur des connaissances. La différence existe, est que, la connaissance est regroupée dans un module particulier qui est dans une large mesure indépendant du reste du système.

Dans un système expert, il y a deux types de connaissances, les connaissances générales informatiques concernant : le fonctionnement des machines, des systèmes, le langage, la base de données, ... et des connaissances relatives à la tâche à effectuer par le système.

a) La Base de Faits

Elle contient les différents faits utiles à notre application. Les faits sont des variables décrivant le monde. Ils sont représentés par un nom et un état. On les utilise pour conditionner l'exécution des règles par le moteur d'inférence.

b) La Base de Règles

La base de règles contient les connaissances expertes, c'est-à-dire qu'elles représentent les raisonnements effectués par un expert. Elles sont appelées les unes à la suite des autres afin de créer des enchaînements de raisonnements. Tous ces raisonnements peuvent être représentés sous la forme de règles de production du type « Si la condition est vrai alors exécuter action ». Toutefois, cette représentation peut varier suivant le contexte de l'application.

II.2.2.2. Le Moteur d'Inférence

Les moteurs d'inférence ne sont au fond des processus de traitement des informations constituant des blocs bien structurés. Il convient qu'ils puissent s'adapter à des cas très divers sans qu'on ait besoin de tout recommencer chaque fois que l'on a besoin d'un nouveau modèle. (13)

Leur rôle principal est de conduire des raisonnements logiques en utilisant conjointement la base de faits et la base de règles. Selon différentes stratégies, le moteur d'inférence utilise des règles, les interprète, les enchaîne jusqu'à arriver à un état représentant une condition d'arrêt. Ces dernières dépendent du moteur et de la base de connaissances implémentée. En général, l'exécution des règles par le moteur d'inférence influe sur l'état des faits et éventuellement sur les autres règles.

Un moteur d'inférence peut exécuter les règles de différentes méthodes d'invocation :

- i. **Chaînage avant** : Un moteur d'inférence fonctionne dans ce mode lorsque les faits de la base de faits représentent des informations dont la vérité a été prouvée. C'est-à-dire que ce mode de fonctionnement va des faits vers les buts selon l'algorithme :

DÉBUT

TANT QUE F n'est pas dans BF ET QU'il existe dans BR une règle applicable FAIRE

Choisir une règle applicable R (étape de résolution de conflits, utilisation d'heuristiques, de métarègles)

BR = BR - R (désactivation de R)

BF = BF union concl(R) (déclenchement de la règle R, sa conclusion est rajoutée à la base de faits)

FIN TANT QUE

SI F appartient à BF ALORS F est établi

SINON F n'est pas établi

FIN.

- ii. **Chaînage arrière** : Un moteur d'inférence fonctionne dans ce mode lorsqu'il part d'un fait que l'on souhaite établir, qu'il recherche toutes les règles qui concluent sur ce fait,

qu'il établit la liste des faits qu'il suffit de prouver pour qu'elles puissent se déclencher puis qu'il applique récursivement le même mécanisme aux autres faits contenus dans cette liste.

- iii. Chaînage mixte, chaînage bidirectionnel :** Le chaînage mixte utilise les deux chaînages présentés ci-dessus. On peut donc partir des données pour aller vers les buts et également d'un fait inconnu pour aller vers les données permettant de le retrouver.

Un système expert peut fonctionner de deux manières différentes :

- 1. Système monotone :** Dans un système monotone, à chaque cycle du moteur d'inférence, un groupe de règle peut être activé et leur exécution ne peut pas désactiver d'autres règles.
- 2. Système non monotone :** Dans un système non monotone, le moteur d'inférence choisit d'activer une seule règle à chaque cycle, éventuellement en fonction d'un poids précédemment attribué à cette règle. Son activation peut modifier l'état de la base de faits et donc l'activation de certaines règles.

II.2.2.2.3. Principe de Fonctionnement des Moteurs d'Inférences

Le moteur d'inférence enchaîne des cycles de travail comportant chacun, deux phases : Évaluation et Exécution. Lorsque le moteur est lancé, la base des connaissances contient les informations représentatives de l'énoncé du problème à traiter :

- ✿ Les faits avérés et faits à établir (expressions, buts) constituent la base de faits.
- ✿ Les connaissances opératoires sur le domaine constituent la base de règles.

Schématiquement : en phase d'évaluation, le moteur détermine s'il existe dans la base de règles courante des règles à déclencher au vu de l'état courant de la base de faits ; et si oui quelles sont ces règles. En phase d'exécution, le moteur déclenche les règles retenues par l'évaluation. L'arrêt du moteur est commandé soit en phase d'évaluation, soit en phase d'exécution. Un arrêt en phase d'évaluation, proviendra de l'absence de règles déclençables au vu de l'état courant des bases de faits et de règles. Un arrêt en phase d'exécution résultera d'un ordre donné par l'une des règles déclenchées.

A. Phase d'Évaluation : La phase contient elle-même trois étapes : la sélection, le filtrage et la résolution de conflits.

a- Sélection ou Restriction :

Sélection ou appelée aussi restriction, elle détermine à partir d'un état présent ou passé de la base de faits, et d'un état présent ou passé de la base de règles, les faits et les règles qui sont à priori, méritent d'être comparés lors de l'étape de Filtrage qui suit.

Une technique consiste à exploiter les connaissances éventuellement disponibles sur la répartition des faits et règles en familles particulières. Quelquefois, les connaissances permettant de distinguer faits et règles sont directement liées au domaine. La restriction peut alors consister à privilégier les faits-problèmes par rapport aux plus anciens. La distinction en familles de faits ou de règles est souvent matérialisée par la définition de structures séparées.

b- Filtrage :

Pendant cette étape, le moteur d'inférence compare la partie déclencheuse de chacune des règles sélectionnées par rapport aux faits sélectionnées ; la phase de filtrage détermine l'ensemble des règles applicables. Les prédicats de la prémisse de la règle sont dans la base de faits. En d'autres termes, par la procédure suivante :

*Si l'ensemble des règles sélectionnées est vide Alors questionner l'utilisateur
Sinon
Tant que le but n'est pas résolu ET qu'il reste des règles sélectionnées Faire
Phase de choix
Ajouter les sous-buts (partie gauche de la règle choisie)
Si un sous-but n'est pas résolu Alors mettre le sous but en but à résoudre
Fin Tant que ;*

c- Résolution de Conflits :

C'est la sélection parmi les règles compatibles (s'il y en a) des règles qui doivent être déclenchées. La phase de résolution de conflits est faite selon la stratégie suivante :

- ⊗ L'élimination des règles utilisées sur une même donnée (voire de toutes les règles qui ont été déclenchées récemment) et donc éviter les boucles ;
- ⊗ L'utilisation des données ajoutées le plus récemment (exploration « en profondeur ») ;
- ⊗ L'utilisation des règles les plus spécifiques : celles qui possèdent le plus de conditions sont préférées aux règles générales ;
- ⊗ Règles avec les plus de conclusions ;
- ⊗ Détermination de l'intérêt des conclusions.

Des stratégies utilisant des métarègles, ou un algorithme du moteur d'inférence.

B. Phase d'Exécution : La phase d'exécution consiste à appliquer la règle choisie précédemment ; cette action consiste à ajouter un ou plusieurs faits à la base.

C. Régimes Irrévocables ou par Tentatives. Retours-Arrière

Le système expert peut utiliser une de ces stratégies :

- ⊗ Stratégie irrévocable, si les choix (application d'une règle) pris ne sont jamais remis en cause ;
- ⊗ La stratégie par tentatives peut remettre en cause l'application d'une règle si ce choix débouche sur un échec. Le moteur d'inférence opère alors un retour arrière « back-tracking » pour essayer une règle écartée précédemment (Prolog et des moteurs procédant en chaînage arrière).
- ⊗ Stratégie en profondeur d'abord, le moteur explore l'arbre ET/OU des solutions, d'abord dans sa profondeur (en explorant une branche jusqu'au bout).
- ⊗ Stratégie en largeur d'abord ; le moteur explore l'arbre ET/OU des solutions, dans sa largeur (en explorant toutes les branches possibles).

II.2.2.3. Comment Construire un Système Expert

La réalisation d'un système expert est un travail long, et un peu complexe dans sa programmation et dans la collection et la formalisation des connaissances. Mais au plus de son intérêt scientifique, le système expert apporte un intérêt financier aux entreprises qui l'utilise, chaque entreprise devra réaliser un tel système lorsqu'elle possède un expert compétent dans son domaine ; même si cet expert vienne de quitter l'entreprise, les connaissances acquises ne disparaissent plus, parce que le transfert d'expertise est réalisé, et l'entreprise ne perd pas du temps et d'argent. La réalisation d'un tel système expert passe par quatre étapes à savoir :

1) *La Première Étape : Le choix d'un moteur d'inférence*

Le choix d'un moteur d'inférence se fait selon l'ordre du moteur d'inférence si d'ordre zéro (si les faits sont des propositions) ou un (si on va calculer les prédicats). Un moteur d'ordre zéro peut suffire, mais si les problèmes mis en jeu sont plus complexes, un moteur d'ordre un est nécessaire ; et à l'informaticien de choisir ce type.

2) *La Deuxième Étape : Le travail de l'expert*

L'expert doit arriver à extraire de ses méninges ses connaissances et les traduire sous une forme accessible par le moteur. Ce travail est long et difficile ; en général, il n'est pas habitué à ce genre de réflexion et quelquefois, son propre raisonnement ne lui est pas complètement accessible. Il est alors aidé par un ingénieur cognitif chargé d'organiser les explications de l'expert. En général, cette étape aboutit à la réalisation d'une maquette système expert sur une partie restreinte du domaine choisi. Suit une série de tests permettant à l'expert et au cognitif de vérifier la véracité des diagnostics proposés par le système.

3) *La Troisième Étape : Extension au domaine*

Il s'agit d'étendre la version prototype au domaine initialement choisi. Là, l'expert doit continuer le travail de mise à plat de sa connaissance et également tester le travail du système expert.

4) *La Quatrième Étape : Vers un produit fini*

Un système expert peut être utilisé par des non-experts ou des non-informaticiens. Par conséquent, il est indispensable de lui associer un ensemble de logiciels d'interface du type dialogue en langage naturel en respectant l'ergonomie et l'interface homme-machine, et par l'explication de raisonnement,

II.2.3. Le Générateur des Systèmes Experts

II.2.3.1. Définition

Un système expert n'est pas seulement un moteur d'inférence, mais aussi des connaissances. Il faut aussi pouvoir comprendre et interpréter les résultats qui sortent du système. Toutes ces fonctions ne sont pas du ressort du moteur d'inférence, elles sont effectuées par des logiciels annexes dits utilitaires.¹

Une idée plus intelligente est de créer un programme informatique qui peut recevoir des bases de connaissances et prêt à l'exploiter. Ceci engendre des systèmes experts. Chacun d'eux a sa base de connaissances et utilise le même moteur d'inférence. Ce programme est appelé générateur de systèmes experts GSE ou système à base vide. Plusieurs générateurs sont développés, comme par exemple, G2.

II.2.3.2. Architecture d'un Générateur de Systèmes Experts

Ce type de programme peut contenir plusieurs types d'expertises, d'un seul domaine ou des domaines différents, et pour des résultats différents, la relation entre le moteur d'inférence et la base de connaissance peut être ainsi vue en figure 2.9 ;

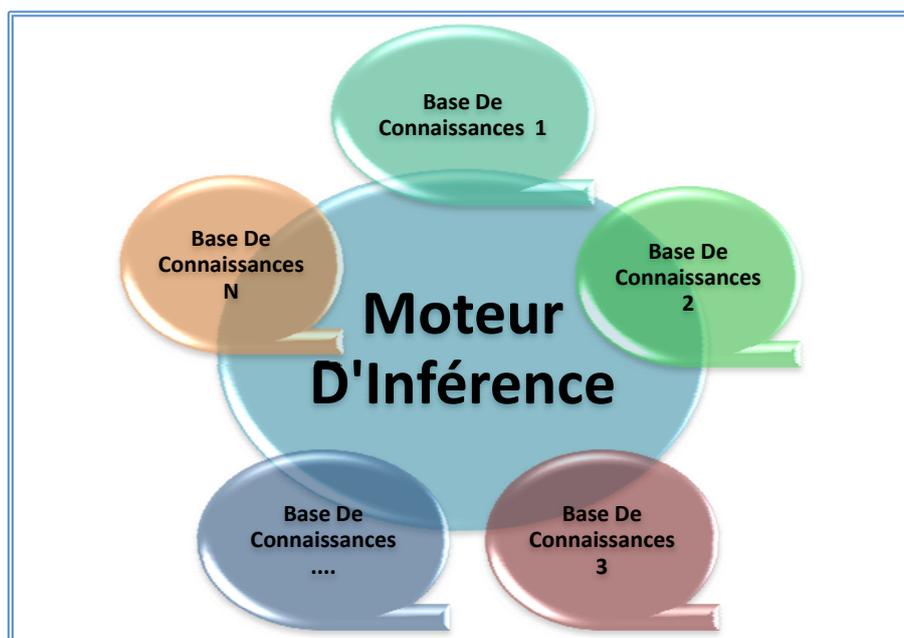


Figure 2.9: Architecture interne d'un Générateur de Systèmes Experts

Plusieurs utilitaires forment un GSE, au centre se trouve le moteur d'inférence, connecté à la base de connaissance. Cette dernière, il faut l'alimenter, y introduire les faits et les règles, c'est l'une des fonctions de l'éditeur. On peut schématiser une architecture générale pour un générateur de systèmes experts comme celle-ci :

¹ Ce type de logiciels ou utilitaires est utilisé pour un traitement spécifique, généralement il est sous forme d'une interface entre l'utilisateur et le système expert, surtout pour les non-informaticiens.

II.2.4. Les Systèmes Experts Flous

De nombreux systèmes experts disposent de mécanismes qui leur permettent de traiter de l'information incertaine. L'existence de ce type d'information s'explique d'une part, par le manque de précision éventuel des données fournies par l'utilisateur et d'autre part, par le fait que les systèmes experts sont souvent appliqués à des problèmes d'abduction comme le diagnostic.

Les solutions d'un problème adductif sont presque toujours ambiguës, et leur formulation dans un système déductif comme les systèmes experts, fait que les règles ne sont pas valables dans tous les cas.

Pour permettre au système d'entretenir plusieurs possibilités en parallèle, on est obligé de les traiter comme des conclusions incertaines. Il y a plusieurs formalismes qui permettent le calcul utilisant des informations Incertaines :

- ❁ Les chiffres de certitude et leur généralisation en logique floue, faciles à appliquer mais sans bases théoriques solides ;
- ❁ Les calculs probabilistes suivant la théorie de Dempster et Schafer, très bien fondés dans la théorie des probabilités, mais difficiles à appliquer en pratique ;
- ❁ Les réseaux de Bayes, bien fondés dans leur théorie et faciles à appliquer, mais nécessitant un modèle causal de la réalité qui n'est pas toujours donné.

II.2.5. Les Systèmes Multi-Experts Flous

Les systèmes à base de règles floues peuvent concilier au sein d'un même modèle les points de vue de plusieurs experts, qu'ils coopèrent ou qu'ils soient en désaccord. Les systèmes flous utilisent des techniques de comparaison de présomptions pour ou contre une solution donnée, ou pour proposer une telle décision.

Un des principaux avantages des systèmes de raisonnement flou, est de pouvoir utiliser et intégrer les connaissances de plusieurs experts. Cette caractéristique donne aux systèmes de modélisation floue des possibilités de représentation qui font généralement défaut aux systèmes experts ou d'aide à la décision plus conventionnelle.

Dans le domaine des affaires, deux types de systèmes multi-experts sont d'une grande importance : les modèles faisant appel à des experts en désaccord, et ceux où les experts travaillent en collaboration, et pour lesquels les résultats des diverses consultations doivent être intégrés.

Dans une certaine mesure, évidemment, des experts qui collaborent peuvent cependant diverger sur certains détails, et sont donc aussi plus ou moins des experts en désaccord. (1)

II.2.5.1. Les Propriétés d'un Système Multi-Expert Flou

La base de connaissance correspond au travail d'un spécialiste. Mais certaines applications peuvent couvrir plusieurs domaines qui nécessitent de faire appel à plusieurs spécialistes différents. Un système multi-expert est un système qui autorise plusieurs systèmes experts à coopérer entre eux. Les applications complexes d'aide à la décision notamment font intervenir

des connaissances dans des domaines variés. Un système multi-expert est probablement la seule voie de développement qui respecte l'autonomie de chaque expertise. Les propriétés d'indépendance et de modularité de chaque base de connaissances doivent aussi être assurées.

Le G.S.Multi-Expert doit être capable d'ajouter ou de supprimer de nouveaux modules experts. Par exemple, l'utilisation d'un système expert de terrassement peut conduire l'utilisateur à éprouver le besoin de disposer d'une base de connaissance qui n'existe pas. Par exemple, le choix d'un engin de terrassements en fonction de la nature du sol, de la destination du sol, du climat

Dans une application au fur et à mesure que les connaissances s'affinent en même temps que le S.E. devient familier, de nouveaux domaines de développement sont à considérer pour proposer les meilleures solutions. Le G.S.Multi-Expert apporte la souplesse d'adaptation.

II.2.5.2. Le Contrôle d'un Système Multi-Expert Flou

La difficulté est dans la synthèse des connaissances. Les modules experts doivent coopérer le plus intelligemment possible. Le problème de l'intégration des résultats de chaque module expert se pose, avec éventuellement un traitement de synthèse des résultats. La gestion d'un système multi-expert impose trois principales contraintes :

- ✿ Répartition du travail entre les différents modules experts,
- ✿ Exécution des tâches particulières des différents modules,
- ✿ Récupération du travail des différents modules et synthèse des résultats.

Le G.S. Multi-Expert doit résoudre les problèmes de contrôle de communication entre les modules en satisfaisant aux contraintes énoncées ci-dessus. Le contrôle dans un système multi-expert peut être organisé de deux manières : centralisé et décentralisé.

- ✿ **Le contrôle centralisé** : fait appel à un module superviseur qui distribue les tâches et fait la synthèse des résultats. Deux modes de fonctionnement sont possibles dans ce cas :

Dans un premier mode, les règles et les procédures sont divisées en modules séparés qui communiquent par l'intermédiaire d'un tableau noir.

Dans un deuxième mode, le superviseur possède ses propres connaissances qui lui permettent de contrôler les modules experts (règles et faits) et de gérer les échanges avec les modules. Les systèmes opérationnels fonctionnent avec un contrôle centralisé.

- ✿ **Le contrôle décentralisé** : Dans ce type, aucun module n'a la prééminence sur les autres. La difficulté est de trouver un mécanisme de migration de contrôle d'un module expert à un autre. De plus, le système doit permettre l'ajout ou la suppression de modules-experts avec aisance, sans connaissance approfondie du système de migration.

La puissance du GSME est liée à sa capacité de générer des interfaces sans intervention d'un programmeur.

II.3. Conclusion

La logique floue offre une meilleure programmation, des possibilités de raffinement extrêmes, et une programmation beaucoup plus instinctive. Mais, son utilisation demande parfois une certaine expérience.

Cette technique, n'est pas restreinte aux systèmes dont la modélisation est difficile, qui sont contrôlés par des experts humains, ou ceux qui ont plusieurs entrées-sorties et des réponses non-linéaires. Elle est intéressante aussi dans tous les domaines où un « flou » persiste, notamment dans les domaines de l'économie et de science.

Le principal inconvénient de la logique floue est la difficulté, voire l'impossibilité de démontrer la stabilité des systèmes qui l'utilisent. En effet, elle n'offre pas la rigueur mathématique des systèmes de contrôle comme les PID (méthode générale pour la régulation de moteurs, systèmes de positionnement...).

Pour nous, la logique floue est à utiliser pour le diagnostic industriel des pannes, défauts, ou d'autres problèmes qui peuvent subir dans un système industriel, les résultats obtenus dans les systèmes flous sont très satisfaisants. Et parfois dans de nombreux systèmes, son intégration avec un système expert (et ce que nous donne un système expert flou), explique les bons résultats engendrés.

Ces systèmes experts, ont gagné rapidement tous les secteurs de l'activité économique, et personne aujourd'hui ne peut en ignorer l'impact. Un nombre important de produits dédiés au diagnostic pour la maintenance corrective existent. Leur approche correspond à une abstraction de structures plus ou moins génériques souvent liées à un domaine à partir d'un SBC (Système à Base de Connaissances) existant.

Les systèmes experts, une des applications de l'intelligence artificielle les plus utilisées dans le monde de l'entreprise. De nombreux systèmes experts ont été implantés avec succès pour résoudre des problèmes concrets, comme les systèmes de contrôle et de supervision dans les cimenteries.

Parfois les systèmes experts souffrent d'une faiblesse intrinsèque, toutes les expertises ne sont pas facilement formalisables sous forme de règles ou ne sont pas capables de traiter les systèmes non linéaires, la solution est la logique floue, plusieurs problèmes non linéaires ont été résolus et plusieurs systèmes ont été réalisés afin d'aboutir à un contrôle global d'une entreprise.

Pour confirmer tout ce qui est dit sur les systèmes experts et la logique floue, leurs applications dans le domaine industriel et leur efficacité, une application réelle des deux techniques est illustrée dans la partie suivante dans la cimenterie d'Ain Touta, SCIMAT. Comme un nouveau système de contrôle, supervision, diagnostic et maintenance en ligne. Pour ne pas brûler les étapes, en passant directement à la partie suivante.

Partie 2
Diagnostic et
Maintenance
à la SCJMAT

Résumé

Tous les modules de contrôle installés à SCIMAT sont configurés par F.L. Smidth Automation. Ils reposent sur plusieurs décennies d'expérience en matière de contrôle des processus, acquises sur de nombreuses installations aux quatre coins du monde. De plus, la solution de contrôle et d'optimisation pour un processus donné est personnalisée pour répondre aux exigences spécifiques liées au processus en question.

Dans cette partie on présente comme un troisième chapitre, tout un système de contrôle et de supervision ECS, qu'est à disposition des opérateurs de la SCIMAT, en présentant d'abord l'entreprise CIMAT. Et dans le quatrième chapitre, l'application d'ECS dans le processus de fabrication du ciment. Et l'ECS/QCX pour le contrôle qualité par ordinateur et rayon X dans la pile ou dans les broyeurs.

Dans le cinquième chapitres, on présente les stratégies de contrôle flou des processus qu'est assurée par la technique de la logique floue par l'ancien système FUZZY LOGIC ou par l'application ECS/ProcessExpert, le système expert flou de pilotage automatique. Ce dernier est intégralement accessible aux ingénieurs des processus en vue de la maintenance et de l'adaptation de leurs solutions d'optimisation à l'avenir.

Chapitre 3

Présentation de

SCIMAT

III.1.Introduction

La prise en charge progressive par les automatismes et les systèmes informatiques de diverses opérations mises en jeu dans les procédés industriels, a changé de façon grandissante la nature du travail des opérateurs et celle des risques imprévus au sein de nombreuses installations. La conséquence d'une telle évolution technique sur les postes de travail a d'abord laissé croire pendant longtemps que le rôle des opérateurs serait de moins en moins important puisque leurs fonctions étaient remplacées par des systèmes complètement automatisés et informatisés.

Aujourd'hui cette tendance s'atténue progressivement suite aux constats qui soulignent que l'homme demeure indispensable tout au moins pour surveiller, contrôler et diagnostiquer le procédé, soit local ou à distance et bien sûr pour la maintenance. Cependant, la complexité des procédés accroît, exagère des systèmes adaptatifs à n'importe quelle exigence. Il convient donc de recourir à des méthodes qui permettant une modélisation performante et conforme aux besoins, à savoir les automates programmables, les interfaces Homme/Machines et les langages de programmations associés.

L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence l'utilisation des automates programmables avec Step 7, le QCX (Quality Control by rayon X) pour le contrôle Qualité et le système expert de contrôle ECS (Expert Control Système) pour l'automatisation de tout le procédé. Mais avant tout, on va présenter l'entreprise sujette de travail, qu'est la cimenterie de « Ain-Touta ».

III.2.Localisation Géographique

La Société des Ciments de Ain-Touta se compose d'une Direction Générale à Batna et d'une unité de production à la commune de Tilatou, daïra de Seggana, à 50 Km à l'ouest de Batna. Elle couvre une superficie de 20 ha. Implantée sur l'axe routier N°28 Ain-Touta - M'Sila et elle se trouve à une altitude de 870 mètres.

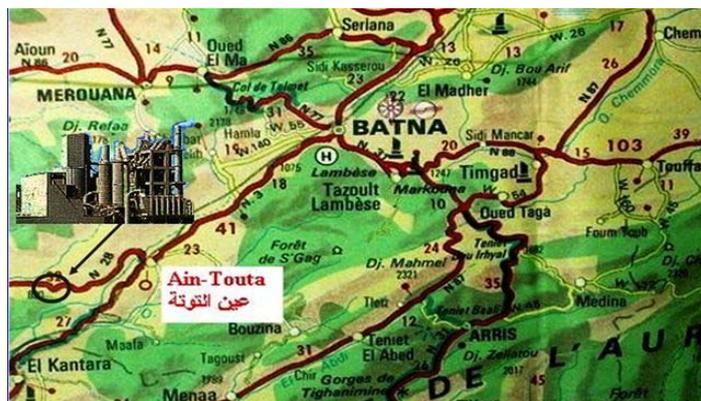


Figure 3.1 : Localisation géographique de SCIMAT

Les travaux de construction ont débuté en 1984. Au début, la production a été fixée à une capacité d'un million de tonnes de ciment portland par ans. L'unité de fabrication fonctionne en deux lignes de production. Le système de contrôle et de surveillance, et le système QCX sont installés par F.L. Smidth. Le système de surveillance des filtres à manches est fourni par Redecam.

III.3. Le Processus de Fabrication du Ciment

Le processus de fabrication du ciment portland se déroule par voie sèche et passe par plusieurs étapes, la figure suivante est un schéma global du processus de fabrication du ciment depuis la carrière jusqu'à l'expédition.

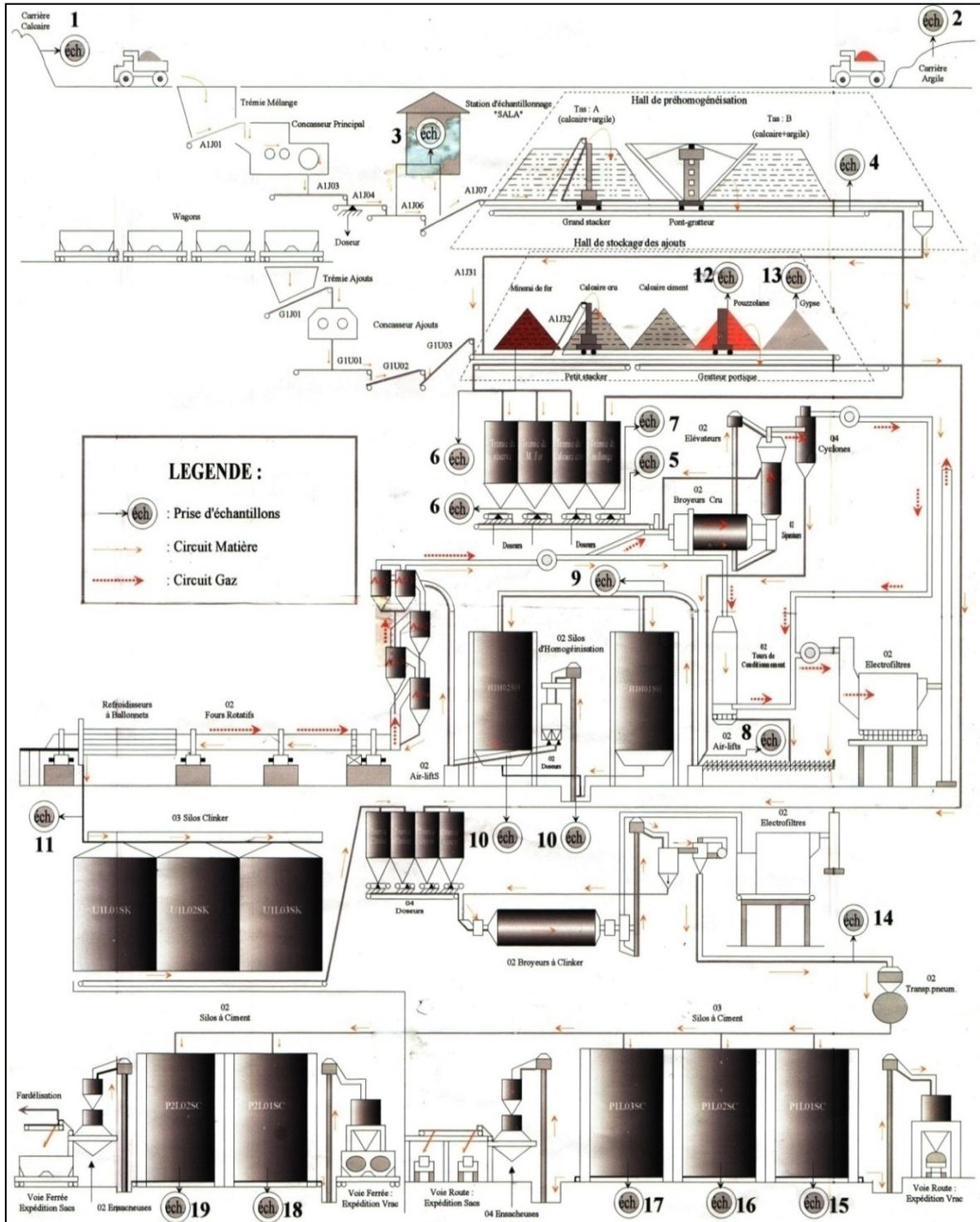


Figure 3.2: Le processus de fabrication du ciment

Les étapes de fabrication du ciment sont détaillées avec des captures d'écran du système ECS installé récemment dans la cimenterie, exactement la ligne une, les valeurs affichées sont tous des valeurs réelles.

1- Concassage de Mélange

Les matières premières venant de la carrière sont concassées et mises dans les tas, ensuite sont transportées par les transports à bandes longitudinales vers les silos de stockage. La figure au-dessus montre le processus de concassage et transports de chaque matière dans le silo associé.

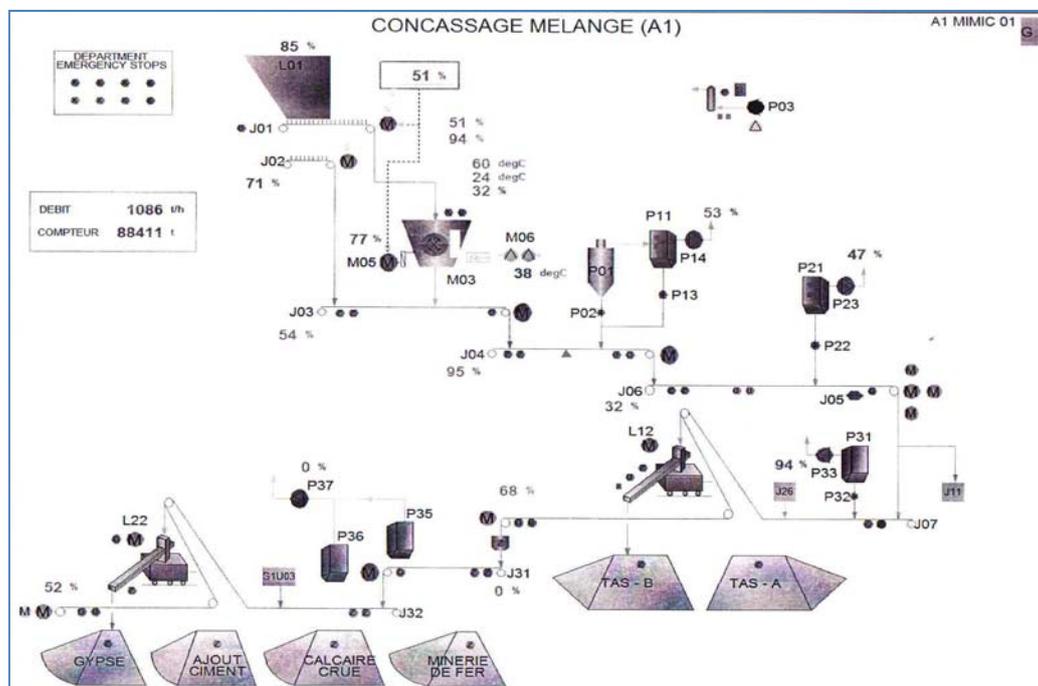


Figure 3.3 : Concassage de mélange

2- Stockage et Pré-Homogénéisation

Pour garantir un fonctionnement régulier des fours et des broyeurs, le stock des matières doit être disponible aux différents points de la production permettant ainsi les arrêts d'entretien des ateliers de broyage et de concassage. Normalement, les stocks de matières premières concassées correspondent de 2 à 7 jours de production, suivant le type de l'homogénéité des matières.

Cependant, si les matières sont hétérogènes, une pré-homogénéisation est indispensable. Ceci est pour éviter la formation d'anneaux, des croûtes dans le four, et réduction de la broyabilité du clinker. La figure 3.4 présente le processus de stockage et pré-homogénéisation, l'argile, le calcaire, les minerais de fer et des ajouts sont transportés pour l'alimentation des broyeurs de farine crûe, et le gypse et les autres ajouts sont dédiés aux broyeurs ciment.

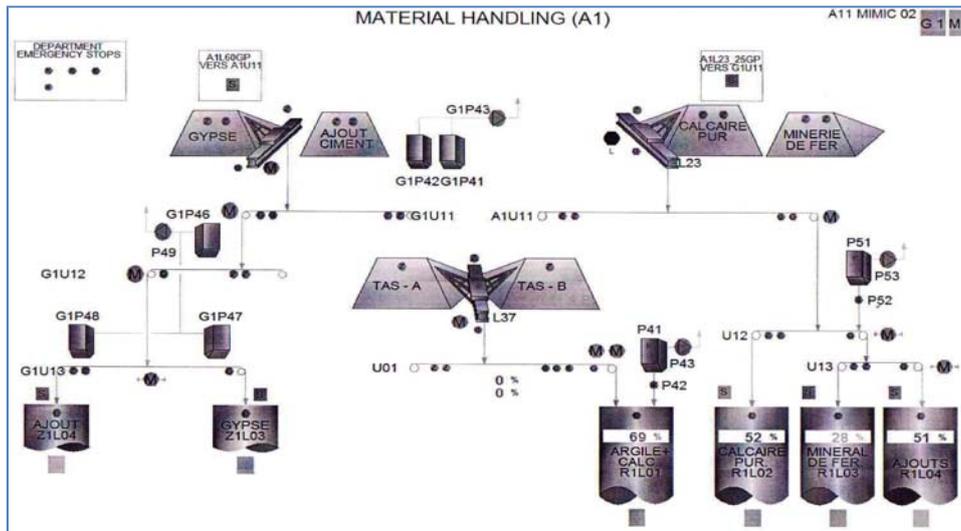


Figure 3.4 : Stockage et pré-homogénéisation

3- Alimentation Broyeur Crû

Quatre silos pour l'alimentation des broyeurs de farine crue, le premier est pour le calcaire et argile, le deuxième est du calcaire pur, le troisième pour le minerai de fer et le dernier pour les ajouts.

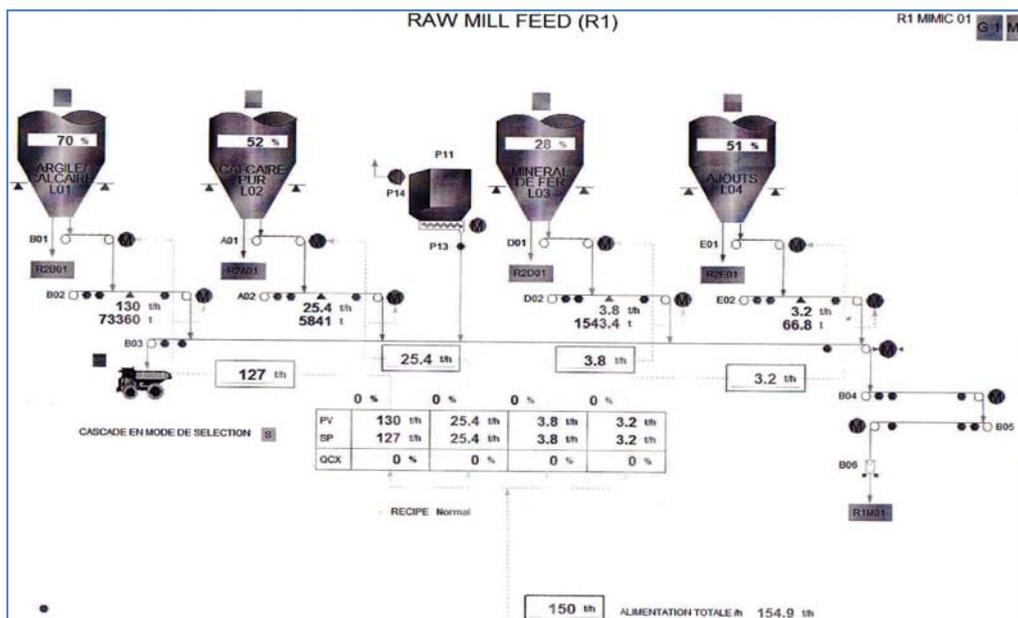


Figure 3.5 : Alimentation broyeur crû

Selon le processus illustré dans la figure 3.5, Le pourcentage de chaque matière première, dépend des points de consignes extrait après les analyses du laboratoire et du système QCX. Et en cas où, le mélange des matières premières n'est pas fiable, il est rejeté par des camions.

4- Broyage Crû

En mélangeant le calcaire, le mélange calcaire et argile, le minerai de fer et des ajouts si on a besoin, pour avoir de la farine crue dans la phase du broyage cru. Cette farine est l'alimentation du four. Selon la figure 3.6, les matières premières sont broyées et envoyé dans

un élévateur vers un séparateur, si la farine n'est pas encore bien broyée elle sera transférée une autre fois vers le broyeur, et la farine jugée bonne passe aux silos pour l'homogénéisation.

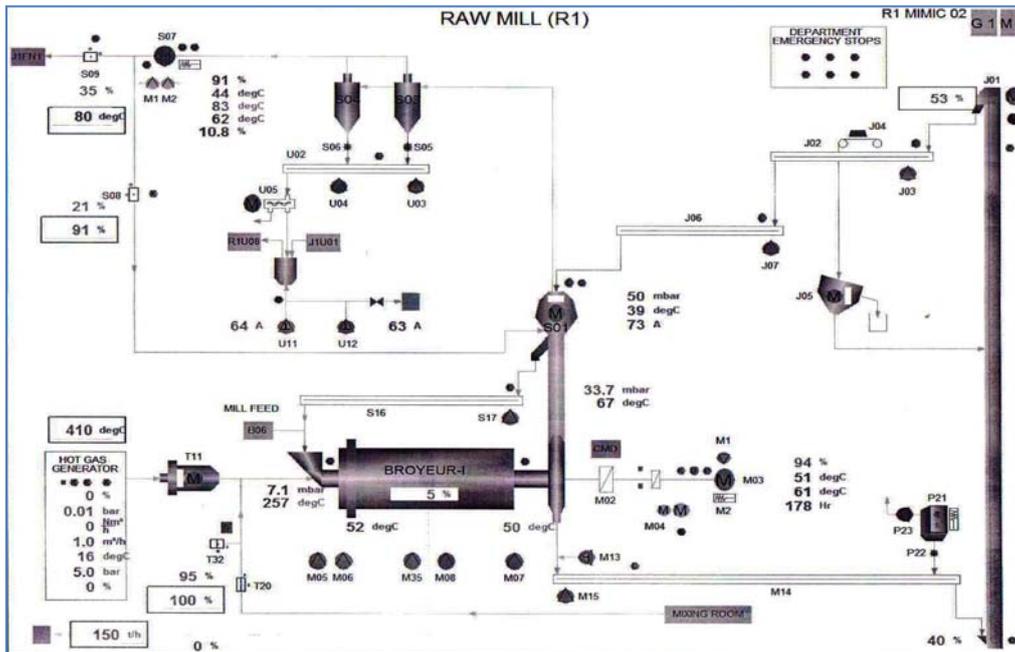


Figure 3.6: Broyage crû

5- L'Homogénéisation

L'équipement d'homogénéisation de farine crue a deux fonctions dans une installation de cimenterie. Il doit alimenter le four en matière de composition chimique bien définie et de finesse spécifique constante, ensuite il fournit un stockage intermédiaire de farine crue qui permet la maintenance sur les broyeurs crus. L'homogénéisation de la farine crue s'effectue toujours dans les silos.

La figure 3.7 montre les deux silos d'homogénéisation, si l'un des deux est hors service, l'autre le remplace pour ne pas arrêter la chaîne de production.

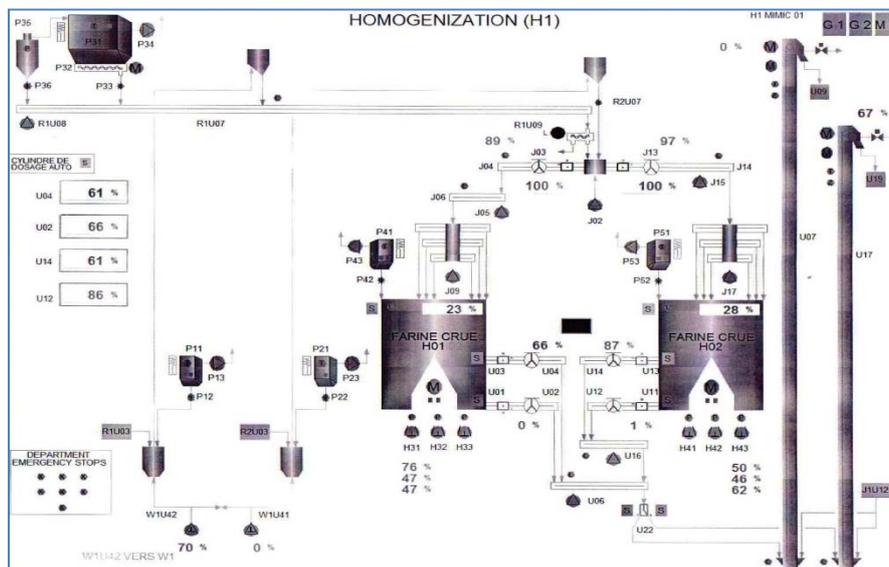


Figure 3.7: L'Homogénéisation

6- L'Alimentateur du Four (Schenck)

Le four est alimenté par la matière stockée dans les deux silos tampons, et qu'est déjà homogénéisée dans les silos et transférée par des aéro-glissières.

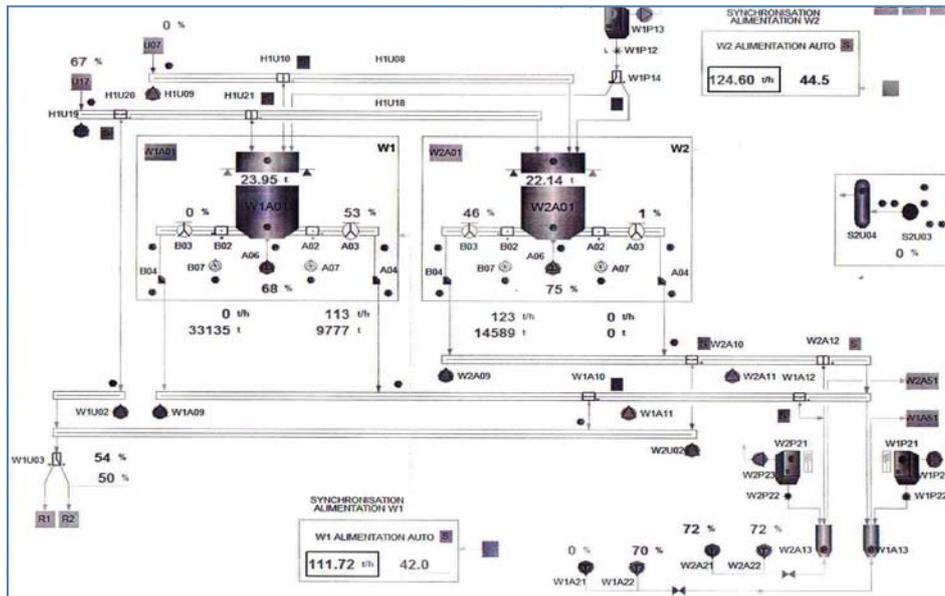


Figure 3.8: L'Alimentateur du four (Schenck)

7- La Clinkerisation (Four)

Le four, est l'élément essentiel dans la cimenterie, son alimentation est la farine crue, qui va passée par les cyclones et d'un préchauffage pour ne pas avoir un choc thermique. Ensuite la phase de cuisson avec un degré de 1400 à 1450°C de température, en spécifiant le débit du gaz, la vitesse du four, la vitesse du ventilateur de tirage et plusieurs autres paramètres.

L'opérateur donne le point de consigne concernant le tonnage à produire dans une heure de temps, et c'est ce que le processus de marche va suivre.

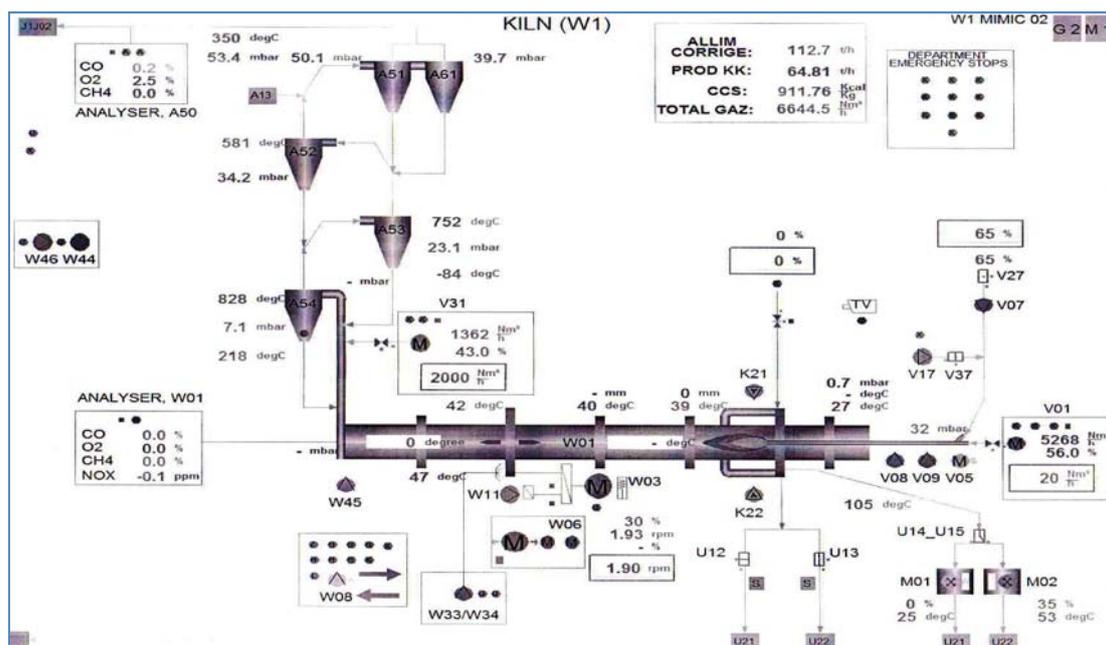


Figure 3.9: La Clinkerisation (le four)

Le produit final du four, est le clinker. À cause de, cette phase est appelée clinkérisation. Et qui est transportée dans les silos de ciment pour l'alimentation des broyeurs ciment.

8- Le Transport du Clinker

Cette étape est l'intermédiaire entre le four et le broyeur ciment, le transport du clinker fait par des transports à augets vers les silos de stockage du clinker. La capture d'écran 3.10 montre le schéma de processus de transport du clinker vers les silos. Ainsi, s'il ya de la farine mauvaise, elle sera rejeté pour ne pas perdre la qualité du ciment surtout la combinaison chimique des matières, ce qui influe la résistance du ciment.

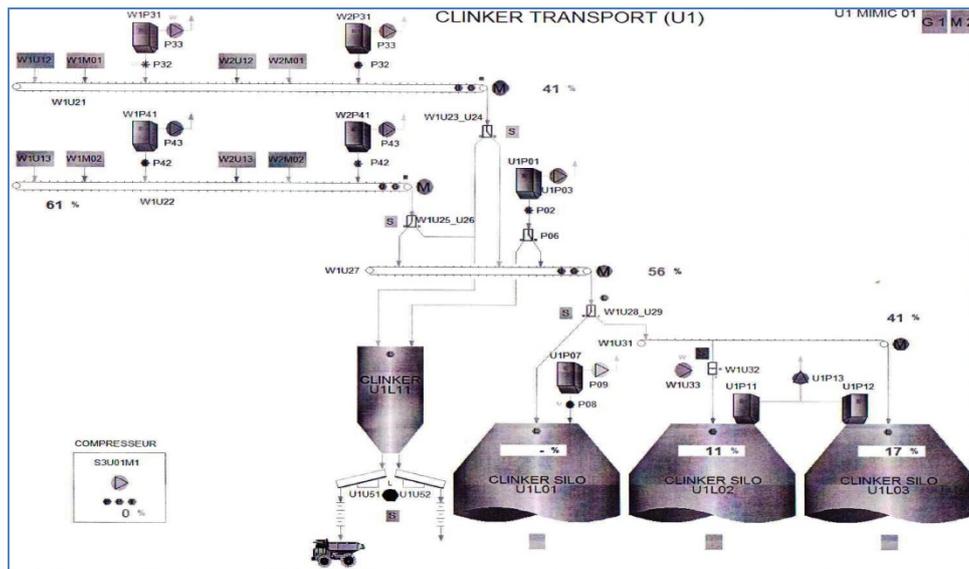


Figure 3.10: Le Transport du clinker

9- L'Alimentation du Broyage Ciment

Le clinker produit par le four et le gypse et les ajouts transportés de l'étape de stockage et d'homogénéisation, forment l'alimentation des broyeurs ciment. Il y'a deux silos pour le clinker, l'un des deux utilisé à la fois, où les pourcentages des matières à utiliser sont les points de consignes que l'opérateur demande pour une qualité du ciment spécifiée.

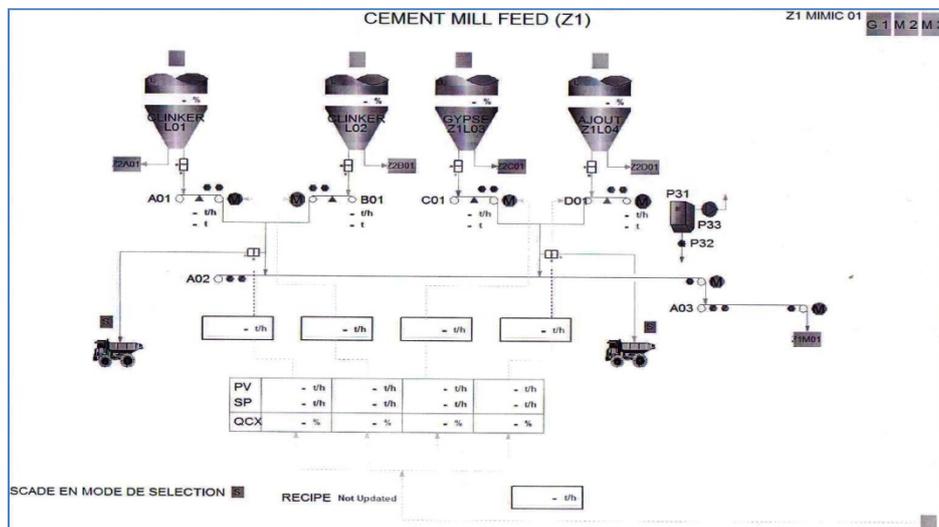


Figure 3.11: L'Alimentation du broyage ciment

10- Le Broyage Ciment

La dernière phase de fabrication est le broyage du clinker provenant du four. Le ciment doit être suffisamment fin pour satisfaire aux exigences des normes en matière de résistance et surtout de qualité.

Le circuit du broyage est fermé, ce type permet d'obtenir un ciment broyé très fin, même si le produit venant du broyeur est plutôt grossier.

La figure suivante présente le processus, après le broyage du ciment, ce dernier transporté par un élévateur vers le séparateur qui permet de changer le type de ciment avec un simple réglage en fixant la vitesse du moteur et modifiant la vitesse de ventilateur.

Si le produit fini n'a pas une finesse assez bonne, un retour au broyeur est fait pour avoir la finesse voulue est demandée par le point de consigne vu satisfaisant par l'opérateur.

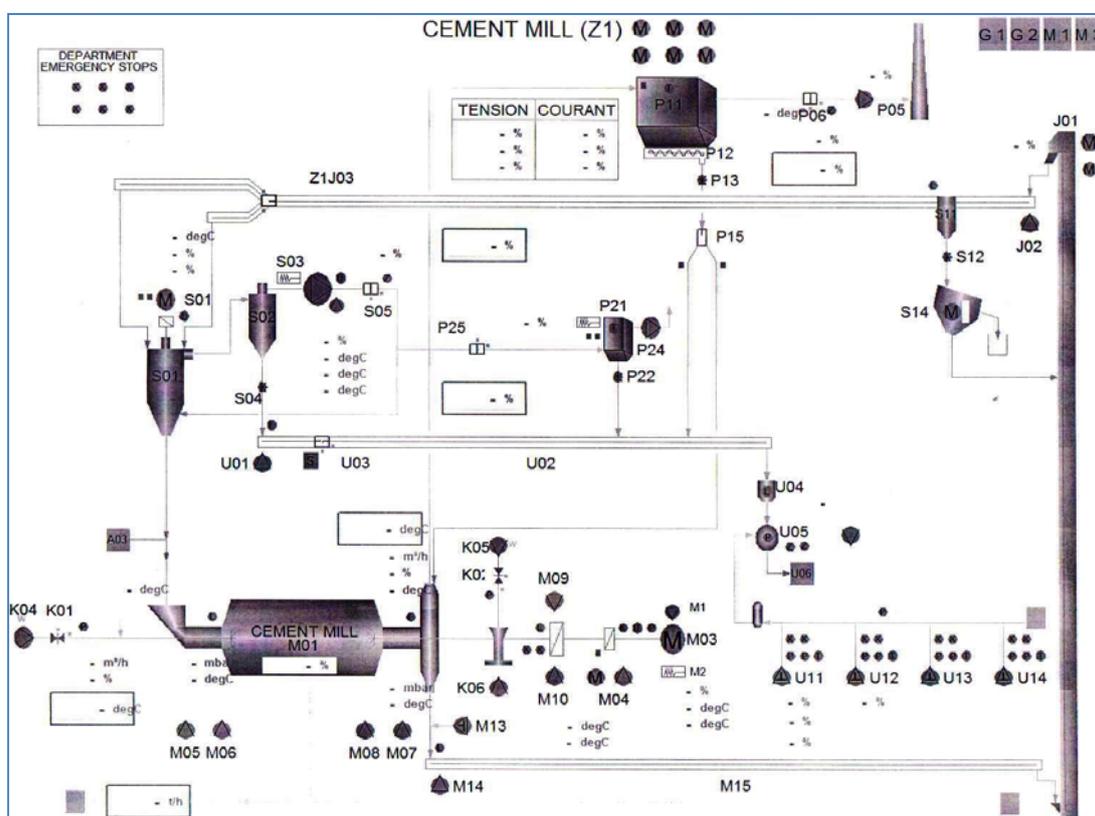


Figure 3.12: Broyage ciment

11- Les Silos du Ciment

Le ciment produit de l'étape de broyage ciment, est stocké dans les silos. Ces silos ont deux fonctions, en plus du stockage, sont fait pour mélanger les types de ciments qui ont des finesses différentes. Et ceci pour avoir un produit fini conforme et de bonne qualité.

Le stockage du produit dans les silos, permet d'assurer la fourniture régulière du ciment, sûr tout en cas de maintenance ou d'arrêt d'usine.

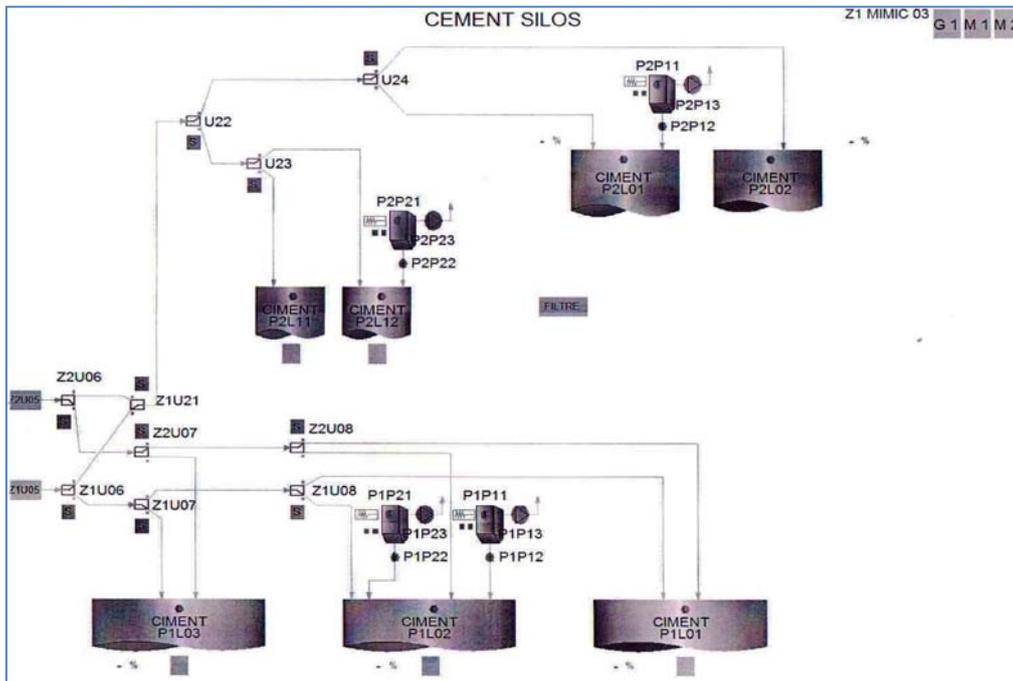


Figure 3.13 : Les Silos du ciment

12- L'Expédition du Ciment par Vrac et par Sac

L'expédition du ciment par voie sèche se fait de deux manières, soit par vrac ou par sac directement livrés.

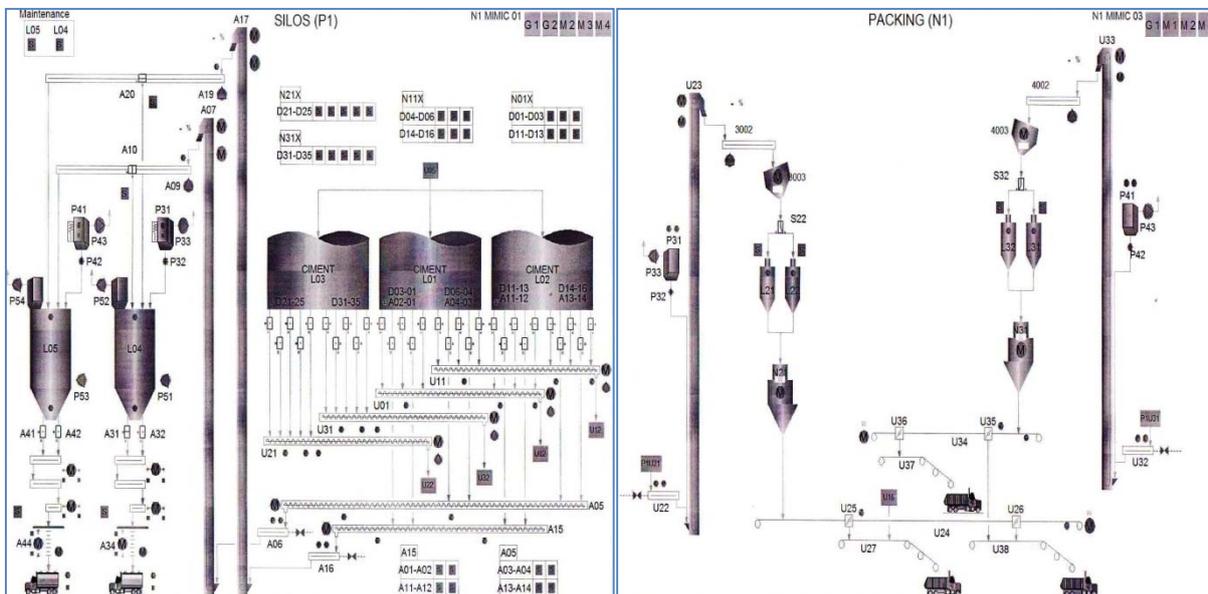


Figure 3.14: L'Expédition du ciment par vrac ou par sac

Chapitre 4

Diagnostic et Maintenance par Systemes Experts

IV.1. Diagnostic par Expert Control & Supervision (ECS)

IV.1.1. Introduction

Tout le système de conduite est surveillé et contrôlé dans la salle de contrôle. Dans l'ancien système de surveillance SDR 625, le type de la panne ou le problème provoqué n'est pas connue sa cause.



Figure 4.1 : L'ancien et le nouveau système dans la salle de contrôle

Les opérateurs dans la salle de contrôle envoient quelqu'un pour savoir la cause de la panne. Et ce n'est pas toujours le travail de la personne envoyée (p.ex. électricien), la réponse à la salle de contrôle (figure 4.1) est : ce n'est pas le problème d'un électricien, l'opérateur est obligé d'envoyer un mécanicien, et peut être aussi l'opérateur entend la même réponse, il est obligé d'envoyer cette fois l'instrumentiste.

Cette procédure prend beaucoup de temps pour juste savoir la cause de la panne, et encore plus de temps pour la réparer.

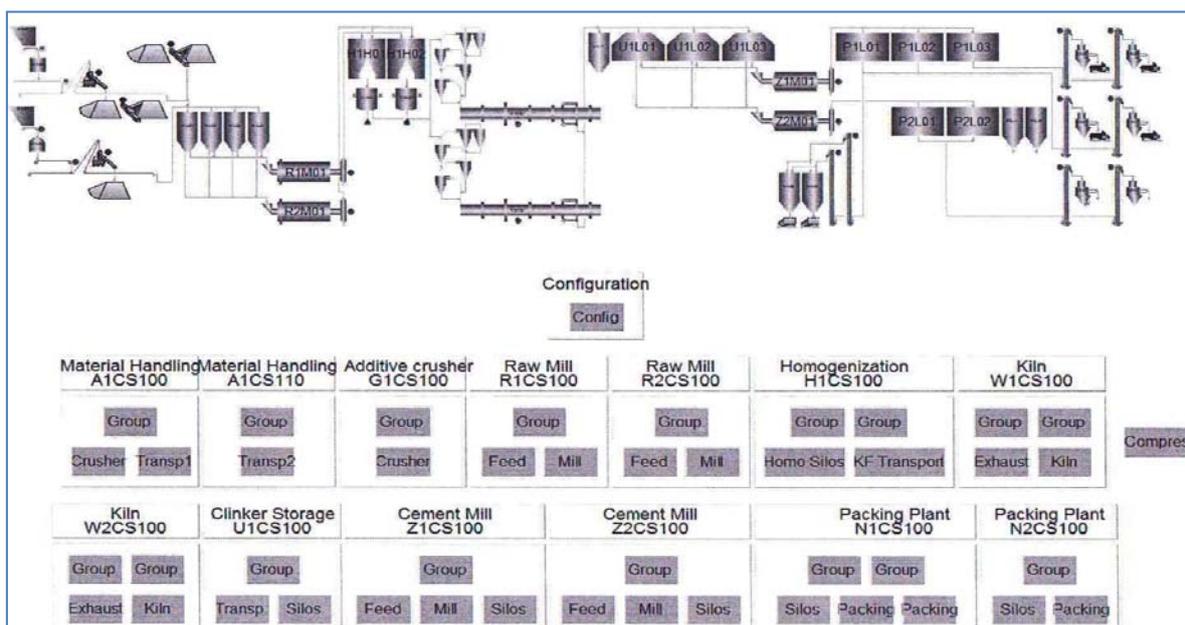


Figure 4.2 : L'interface générale ECS d'accès aux différents départements

Cependant, avec le nouveau système ECS de supervision, contrôle, diagnostic et parfois maintenance en ligne (figure 4.2), les problèmes déjà cités sont ignorés. L'opérateur localise bien la panne et son type et sa cause exactement et accède directement à son emplacement. Et peut envoyer directement la personne correcte pour la maintenir.

Dans le cadre du nouveau système, la salle de contrôle dispose d'un serveur centralisé pour contrôler toute la cimenterie, commençant de la carrière jusqu'à la sortie du produit fini. Les opérateurs ont l'accès que par des écrans, chaque deux écrans sont combinés et l'un des deux écrans est équipé d'un outil sonore pour les alarmes, l'opérateur utilise une seule souris et un seul clavier pour effectuer des tâches bien spécifiques, soit de démarrer, arrêter, changer le point de consigne, ou plusieurs autres fonctionnalités. En plus, deux imprimantes pour imprimer les rapports concernant tous les ateliers soit en marche soit en arrêt. La figure suivante donne un exemple de contrôle d'alimentation du broyeur cru.

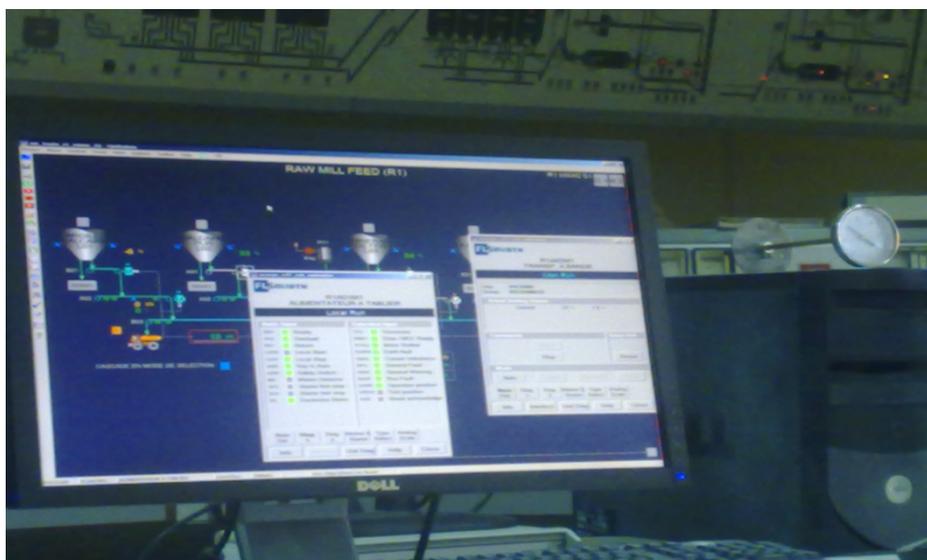


Figure 4.3: Surveillance et contrôle de l'alimentation du broyeur cru

IV.1.2. Les Alarmes

Quelconque condition du système et processus critique qui se produit peut être facilement contrôlée par l'entête d'alarmes à travers des éléments clignotants ou des alertes sonores. Ces alarmes sont journalisées dans la liste des alarmes/événements et l'état d'un point. Il est Aisé d'identifier à partir de quel département, groupe ou point d'alarme est déclenchée, et quelles sont les mesures à prendre pour arrêter l'alarme et revenir à l'état normal. Par ailleurs, les informations relatives à l'alarme sont stockées dans la base de données des événements.

En cas d'une alarme à cause par exemple d'un défaut de processus ou moteur en panne, l'automate déclenche une alarme (clignotant rouge). L'opérateur arrête le signal sonore en attendant qu'il analyse le problème et agit en conséquence. D'où il doit réinitialiser l'alarme et être sûr que le défaut est éliminé et le clignotant soit vert.

Les types des alarmes qui peuvent avoir lieu selon leur catégorie, sont :

1- Processus :

☛ Erreurs : peut être une alerte (warning) à deux niveau, max1, max2 ou min1, min2.

Chapitre 4 : Diagnostic et Maintenance par Systèmes Experts

- ☛ Limites de l’alarme dépassées (point A) : parce que le point A est une variation continue de valeur et de temps (données analogiques), pour points de consigne et autres données.
- ☛ Point actuellement en état d’alerte (point B) : des données numériques, pour le temps et d’autres valeurs numériques envoyées vers l’automate.

Dans la figure ci-dessous, présente un rapport d’alarmes processus dans le four 1 (W1). Le temps d’arrivé de l’alarme et le temps de suppression ou d’arrêt de l’alarme.

| Alarm print | | | | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|----------------------------------|-----------|------------------------|------------------------|
| S | -E | -I | [12345] | 2:Process | InHouse/W1CD100 | |
| ID | Event Text | | | | In Time | Out Time |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 7-Jun-2011 07:10:26.05 | 7-Jun-2011 07:22:45.41 |
| E | W1A50_A03 | APRES CYCLONES, CH4% | Ext A-high1 | 0.2 | 7-Jun-2011 07:09:16.00 | 7-Jun-2011 07:22:45.41 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 7-Jun-2011 05:58:10.03 | 7-Jun-2011 07:10:26.05 |
| E | W1W98M1 | POSTE DE POMPAGE | Alarm Return Fault <- Starting | | 7-Jun-2011 05:53:15.80 | 7-Jun-2011 05:54:15.34 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 7-Jun-2011 05:49:00.04 | 7-Jun-2011 05:56:46.40 |
| E | W1A50_A03 | APRES CYCLONES, CH4% | Ext A-high1 | 0.2 | 7-Jun-2011 05:47:09.01 | 7-Jun-2011 05:49:44.40 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 7-Jun-2011 05:47:04.01 | 7-Jun-2011 05:49:00.04 |
| E | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 7-Jun-2011 05:46:03.00 | 7-Jun-2011 05:49:44.40 |
| E | W1M01M1 | BROYEUR A MARTEAUX | Alarm Motion Detector <- Running | | 7-Jun-2011 05:19:14.40 | 7-Jun-2011 05:20:00.32 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 7-Jun-2011 02:18:08.04 | 7-Jun-2011 05:20:00.38 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 7-Jun-2011 02:11:36.02 | 7-Jun-2011 02:18:08.04 |
| F | W1M01M1 | BROYEUR A MARTEAUX | Alarm Motion Detector <- Running | | 7-Jun-2011 00:47:16.71 | 7-Jun-2011 00:47:52.29 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 7-Jun-2011 00:46:27.01 | 7-Jun-2011 00:50:32.35 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 7-Jun-2011 00:34:13.02 | 7-Jun-2011 00:46:27.01 |
| F | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 7-Jun-2011 00:27:08.00 | 7-Jun-2011 00:47:52.36 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 7-Jun-2011 00:26:13.01 | 7-Jun-2011 00:34:13.02 |
| F | W1A50_A03 | APRES CYCLONES, CH4% | Ext A-high2 | 0.6 | 7-Jun-2011 00:25:13.03 | 7-Jun-2011 00:47:52.35 |
| E | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 7-Jun-2011 00:23:33.05 | 7-Jun-2011 00:27:08.00 |
| E | W1A50_A03 | APRES CYCLONES, CH4% | Ext A-high1 | 0.2 | 7-Jun-2011 00:23:00.05 | 7-Jun-2011 00:25:13.03 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 7-Jun-2011 00:22:50.04 | 7-Jun-2011 00:25:13.01 |
| E | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 7-Jun-2011 00:21:45.04 | 7-Jun-2011 00:23:33.05 |
| W | W1V01_F1_TOT | BRULEUR A GAZ, DEBIT | Undefined value | - | 7-Jun-2011 00:00:00.02 | 7-Jun-2011 00:00:00.02 |
| F | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 6-Jun-2011 19:22:52.00 | 6-Jun-2011 19:24:33.29 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 6-Jun-2011 19:22:17.03 | 6-Jun-2011 19:33:29.30 |
| E | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 6-Jun-2011 19:21:26.03 | 6-Jun-2011 19:22:55.29 |
| E | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 6-Jun-2011 19:20:58.66 | 6-Jun-2011 19:21:26.03 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 6-Jun-2011 19:20:58.66 | 6-Jun-2011 19:21:59.29 |
| E | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 6-Jun-2011 19:20:45.04 | 6-Jun-2011 19:21:15.29 |
| E | W1A50_A03 | APRES CYCLONES, CH4% | Ext A-high1 | 0.5 | 6-Jun-2011 19:19:24.02 | 6-Jun-2011 19:21:38.29 |
| E | W1A50_A03 | APRES CYCLONES, CH4% | Ext A-high2 | 0.6 | 6-Jun-2011 19:18:02.01 | 6-Jun-2011 19:19:24.02 |
| E | W1A50_A03 | APRES CYCLONES, CH4% | Ext A-high1 | 0.2 | 6-Jun-2011 19:17:23.04 | 6-Jun-2011 19:18:02.01 |
| F | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 6-Jun-2011 19:16:27.05 | 6-Jun-2011 19:19:52.29 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 6-Jun-2011 19:10:18.03 | 6-Jun-2011 19:20:42.29 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 6-Jun-2011 18:50:10.01 | 6-Jun-2011 19:09:32.29 |
| E | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 6-Jun-2011 18:49:44.02 | 6-Jun-2011 18:52:16.29 |
| E | W1A50_A03 | APRES CYCLONES, CH4% | Ext A-high1 | 0.2 | 6-Jun-2011 18:49:31.05 | 6-Jun-2011 18:52:16.29 |
| F | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 6-Jun-2011 18:49:55.03 | 6-Jun-2011 18:49:44.02 |
| E | W1A54_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Ext A-low1 | 5.0 | 6-Jun-2011 18:48:45.02 | 6-Jun-2011 18:48:55.03 |
| E | W1A50_A02 | APRES CYCLONES, O2% | Ext A-low1 | 1.5 | 6-Jun-2011 18:46:13.03 | 6-Jun-2011 18:57:32.29 |

Figure 4.4 : Rapport d'alarmes processus

2- Mécanique :

Des problèmes concernant les équipements installés, soit moteur, pompe ou autre équipement.

3- Électrique :

Concernant les mesures électriques des équipements, le courant, la température, la pression et d’autres points. La figure suivante présente un rapport d’alarmes électriques d’ECS imprimés par les opérateurs dans la salle de contrôle.

Chapitre 4 : Diagnostic et Maintenance par Systèmes Experts

| Alarm print | | | | | | | |
|-------------|------------|-----------------------------|---------------|---------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| S | -E | -W | -I | [12345] | 3:Electrical | InHouse/W1CD100 | |
| ID | Event Text | | | | | In Time | Out Time |
| E | W1U01_T1 | Sortie Clinker, Temperature | Short Circuit | 353 | | 6-Jun-2011 16:05:27.14 | 6-Jun-2011 16:06:43.28 |
| E | W1U01_T1 | Sortie Clinker, Temperature | Short Circuit | - | | 6-Jun-2011 15:44:43.13 | 6-Jun-2011 16:05:44.27 |
| E | W1W01_P3 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 3-Jun-2011 12:20:59.90 | |
| E | W1W01_P1 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 3-Jun-2011 12:20:54.78 | |
| E | W1K01_T1 | AIR SECONDAIRE, Temperature | Short Circuit | - | | 3-Jun-2011 12:20:54.78 | 5-Jun-2011 09:47:20.96 |
| E | W1W23_X9 | BANDAGE FOUR, DEPLACEMENT | Open Loop | - | | 3-Jun-2011 12:16:22.70 | 5-Jun-2011 09:47:20.97 |
| E | W1W01_T4 | FOUR, Temperature | Open Loop | - | | 3-Jun-2011 12:15:22.43 | |
| E | W1V31_F1 | BRULEUR A GAZ, DEBIT | Short Circuit | - | | 31-May-2011 07:56:40.91 | 31-May-2011 07:58:49.19 |
| E | W1W01_T4 | FOUR, Temperature | Open Loop | - | | 28-May-2011 10:55:22.43 | 3-Jun-2011 12:15:22.43 |
| E | W1W01_T4 | FOUR, Temperature | Open Loop | - | | 28-May-2011 10:55:22.43 | 28-May-2011 10:55:22.43 |
| E | W1W01_P3 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 28-May-2011 10:50:59.90 | 3-Jun-2011 12:20:59.90 |
| E | W1W01_P3 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 28-May-2011 10:50:59.90 | 28-May-2011 10:50:59.90 |
| E | W1W01_P1 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 28-May-2011 10:50:54.78 | 3-Jun-2011 12:20:54.78 |
| E | W1W01_P1 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 28-May-2011 10:50:54.78 | 28-May-2011 10:50:54.78 |
| E | W1W01_P3 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 28-May-2011 10:20:59.90 | 28-May-2011 10:50:59.90 |
| E | W1W01_P1 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 28-May-2011 10:20:54.78 | 28-May-2011 10:50:54.78 |
| E | W1W01_T4 | FOUR, Temperature | Open Loop | - | | 28-May-2011 10:15:22.43 | 28-May-2011 10:50:54.78 |
| E | W1W01_T4 | FOUR, Temperature | Open Loop | - | | 27-May-2011 14:25:22.43 | 28-May-2011 10:15:22.43 |
| E | W1W01_P3 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 27-May-2011 14:20:59.90 | 28-May-2011 10:20:59.90 |
| E | W1W01_P1 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 27-May-2011 14:20:54.78 | 28-May-2011 10:20:54.78 |
| E | W1W01_T4 | FOUR, Temperature | Open Loop | - | | 27-May-2011 10:55:22.43 | 27-May-2011 14:25:22.43 |
| E | W1W01_T4 | FOUR, Temperature | Open Loop | - | | 27-May-2011 10:55:22.43 | 27-May-2011 15:09:48.95 |
| E | W1W01_P3 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 27-May-2011 10:50:59.90 | 27-May-2011 14:20:59.90 |
| E | W1W01_P3 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 27-May-2011 10:50:59.90 | 27-May-2011 10:50:59.90 |
| E | W1W01_P1 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 27-May-2011 10:50:54.78 | 27-May-2011 14:20:54.78 |
| E | W1W01_P1 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 27-May-2011 10:50:54.78 | 27-May-2011 10:50:54.78 |
| E | W1W01_P3 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 26-May-2011 21:00:59.90 | 27-May-2011 10:50:59.90 |
| E | W1W01_P1 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 26-May-2011 21:00:54.78 | 27-May-2011 10:50:54.78 |
| E | W1W01_T4 | FOUR, Temperature | Open Loop | - | | 26-May-2011 20:55:22.43 | 27-May-2011 10:55:22.43 |
| E | W1W01_P3 | FOUR, PRESSION | Open Loop | - | | 21-May-2011 16:10:48.03 | 26-May-2011 21:00:59.90 |
| E | W1A53_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Short Circuit | 9.1 | | 21-May-2011 15:10:45.58 | 21-May-2011 15:12:59.21 |
| E | W1A53_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Short Circuit | - | | 21-May-2011 15:01:56.53 | 21-May-2011 15:09:48.95 |
| E | W1A53_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Short Circuit | 26.9 | | 21-May-2011 15:01:48.19 | 21-May-2011 15:03:17.96 |
| E | W1A53_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Short Circuit | 26.0 | | 21-May-2011 14:55:20.48 | 21-May-2011 14:58:59.95 |
| E | W1A53_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Short Circuit | 18.6 | | 21-May-2011 14:46:39.40 | 21-May-2011 14:54:49.95 |
| E | W1A53_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Short Circuit | 25.8 | | 21-May-2011 14:42:17.46 | 21-May-2011 14:46:13.95 |
| E | W1A53_P2 | APRES CYCLONES, PRESSION | Short Circuit | 26.0 | | 21-May-2011 14:27:45.69 | 21-May-2011 14:29:09.95 |

Figure 4.5: Rapport d'alarmes électriques

4- Système :

- 🌿 Avertissements,
- 🌿 Données non disponibles,

La figure ci-après, est un rapport d'alarmes système dans le four de la ligne 2 (W2).

| Alarm print | | | | | | | |
|-------------|------------|-----|-----------------------|---------|----------|---------------------------------|-------------------------|
| S | -E | -W | -I | [12346] | 6:System | InHouse/W2GD100/W2_SPARE_GRP001 | |
| ID | Event Text | | | | | In Time | Out Time |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02X01 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.79 | 24-Dec-2009 10:41:07.79 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02J02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.79 | 24-Dec-2009 10:41:07.79 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02J01 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.79 | 24-Dec-2009 10:41:07.79 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02I03 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.79 | 24-Dec-2009 10:41:07.79 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02I02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.78 | 24-Dec-2009 10:41:07.78 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02I01 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.78 | 24-Dec-2009 10:41:07.78 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02E03 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.78 | 24-Dec-2009 10:41:07.78 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02E02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.78 | 24-Dec-2009 10:41:07.78 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02E01 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.76 | 24-Dec-2009 10:41:07.76 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.76 | 24-Dec-2009 10:41:07.76 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.76 | 24-Dec-2009 10:41:07.76 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.76 | 24-Dec-2009 10:41:07.76 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.75 | 24-Dec-2009 10:41:07.75 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.75 | 24-Dec-2009 10:41:07.75 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.75 | 24-Dec-2009 10:41:07.75 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.73 | 24-Dec-2009 10:41:07.73 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.73 | 24-Dec-2009 10:41:07.73 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.73 | 24-Dec-2009 10:41:07.73 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.73 | 24-Dec-2009 10:41:07.73 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.71 | 24-Dec-2009 10:41:07.71 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.71 | 24-Dec-2009 10:41:07.71 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.71 | 24-Dec-2009 10:41:07.71 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.70 | 24-Dec-2009 10:41:07.70 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.70 | 24-Dec-2009 10:41:07.70 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.70 | 24-Dec-2009 10:41:07.70 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.68 | 24-Dec-2009 10:41:07.68 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.68 | 24-Dec-2009 10:41:07.68 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.68 | 24-Dec-2009 10:41:07.68 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.67 | 24-Dec-2009 10:41:07.67 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.67 | 24-Dec-2009 10:41:07.67 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.67 | 24-Dec-2009 10:41:07.67 |
| I | SysEvt | 131 | W1MDBRQ02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.65 | 24-Dec-2009 10:41:07.65 |
| I | SysEvt | 131 | W1DBR1Q02X01 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.65 | 24-Dec-2009 10:41:07.65 |
| I | SysEvt | 131 | W1DBR1Q02J02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.65 | 24-Dec-2009 10:41:07.65 |
| I | SysEvt | 131 | W1DBR1Q02J01 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.65 | 24-Dec-2009 10:41:07.65 |
| I | SysEvt | 131 | W1DBR1Q02I03 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.64 | 24-Dec-2009 10:41:07.64 |
| I | SysEvt | 131 | W1DBR1Q02I02 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.64 | 24-Dec-2009 10:41:07.64 |
| I | SysEvt | 131 | W1DBR1Q02I01 deleted. | | | 24-Dec-2009 10:41:07.64 | 24-Dec-2009 10:41:07.64 |

Figure 4.6: Rapport d'alarmes système

5- Communication :

Erreur de communication : à cause du câblage ou l'automate n'envoie pas la réponse de la commande. La figure 4.7 donne un exemple de rapport d'alarmes de communication avec les automates.

| S *E *W *I [12345] 6:Communi InHouse/System | | | | Alarm print | |
|---|------------------|--|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| ID | Event Text | In Time | Out Time | | |
| E | PLC3_NetB_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok Active | 5-Jun-2011 21:13:27.55 | 5-Jun-2011 21:13:37.55 |
| E | SimSSE 1 | Read link failed for PLC 3 - G1CS100 | | | |
| E | SimSSE 2 | Write link failed for PLC 3 - G1CS100 | | | |
| E | PLC3_NetA_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok | 5-Jun-2011 21:13:18.54 | 5-Jun-2011 21:13:28.55 |
| E | PLC3_CpuA_Status | Alarm | Prog. Mode <- Polling Ok | 5-Jun-2011 21:13:16.54 | 5-Jun-2011 21:13:42.55 |
| E | SimSSE 16 | No valid ORG format, PLC 3, G1CS100: 0 | | | |
| E | PLC3_NetB_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok Active | 5-Jun-2011 21:13:16.02 | 7-Jun-2011 07:23:54.10 |
| E | SimSSE 1 | Read link failed for PLC 3 - G1CS100 | | | |
| E | SimSSE 2 | Write link failed for PLC 3 - G1CS100 | | | |
| E | PLC3_NetA_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok | 5-Jun-2011 21:06:27.02 | 7-Jun-2011 07:23:54.10 |
| E | PLC3_CpuA_Status | Alarm | Prog. Mode <- Polling Ok | 5-Jun-2011 21:06:20.50 | 5-Jun-2011 21:06:30.50 |
| E | SimSSE 16 | No valid ORG format, PLC 3, G1CS100: 0 | | | |
| E | PLC3_NetB_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok Active | 5-Jun-2011 21:06:19.50 | 5-Jun-2011 21:06:42.52 |
| E | SimSSE 1 | Read link failed for PLC 3 - G1CS100 | | | |
| E | SimSSE 2 | Write link failed for PLC 3 - G1CS100 | | | |
| E | PLC3_NetA_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok | 4-Jun-2011 22:19:03.89 | 4-Jun-2011 22:19:13.89 |
| E | PLC3_CpuA_Status | Alarm | Prog. Mode <- Polling Ok | 4-Jun-2011 22:19:03.79 | 7-Jun-2011 07:23:54.10 |
| E | SimSSE 16 | No valid ORG format, PLC 3, G1CS100: 0 | | | |
| E | PLC1_NetB_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok Active | 4-Jun-2011 22:18:54.89 | 4-Jun-2011 22:19:04.89 |
| E | SimSSE 1 | Read link failed for PLC 1 - A1CS100 | | | |
| E | SimSSE 2 | Write link failed for PLC 1 - A1CS100 | | | |
| E | PLC1_NetA_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok | 4-Jun-2011 21:37:32.76 | 7-Jun-2011 07:23:54.10 |
| E | PLC1_CpuA_Status | Alarm | Prog. Mode <- Polling Ok | 4-Jun-2011 21:37:32.84 | 4-Jun-2011 21:37:42.84 |
| E | SimSSE 16 | No valid ORG format, PLC 1, A1CS100: 0 | | | |
| E | SimSSE 1 | Read link failed for PLC 2 - A1CS110 | | | |
| E | PLC3_NetB_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok Active | 4-Jun-2011 21:37:22.84 | 4-Jun-2011 21:38:07.84 |
| E | SimSSE 1 | Read link failed for PLC 8 - W2CS100 | | | |
| E | PLC3_NetB_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok Active | 4-Jun-2011 02:25:09.10 | 4-Jun-2011 02:25:18.10 |
| E | PLC9_NetA_Status | Alarm | No Comm. <- Comm. Ok | 4-Jun-2011 12:29:15.59 | 3-Jun-2011 12:29:22.85 |
| E | PLC9_CpuA_Status | Alarm | Prog. Mode <- Polling Ok | 3-Jun-2011 12:29:15.59 | 3-Jun-2011 12:29:22.85 |

Figure 4.7: Rapport d'alarmes de communication

6- Pxp :

Ce type d'alarmes est dû à cause de ProcessExpert, en cas d'une condition de déclenchement, où le ProcessExpert ne peut pas terminer sa tâche (sera détaillé dans le chapitre suivant).

7- Événement :

- 🌿 Informatifs.
- 🌿 Journalisation des actions de contrôle.
- 🌿 Ouverture de session.
- 🌿 Modification des limites de l'alarme : il faut changer aussi les paramètres d'inter-verrouillage dans l'automate.
- 🌿 Changements au mode du contrôleur (automatique, manuel ou local).

IV.1.3. La Maintenance

Plusieurs tâches de maintenance sont effectuées. Selon le type du diagnostic et les pannes engendrées. La maintenance effectuée ici est corrective. Dans le cas d'une alarme, selon son type, l'opérateur sélectionne la personne qui doit la maintenir.

1- Processus

La maintenance des alarmes processus est affectée aux programmeurs ou comme ils sont appelés instrumentistes. Sont chargés de modifier la programmation dans le processus, cette tâche n'est pas autorisée aux opérateurs, même si ces derniers sont des ingénieurs.

2- Mécaniques

En cas d'alarmes mécaniques, les mécaniciens doivent vérifier les équipements installés, leurs fonctionnements, et éliminer les pannes indésirables, en vérifiant les schémas et les manuelles de chaque équipement.

3- Électriques

En ce qui concerne les alarmes électriques, c'est aux électriciens de régler les problèmes d'électricité, soit des équipements, soit du système électrique en générale. Utilisant des outils de mesures de tension, de courant, ou de température.

4- Système

Les alarmes système correspondant au programme lui-même, c.-à-d. la structure du programme, c'est la tâche de l'ingénieur système ou instrumentiste.

5- Communication

Ce type d'alarme est maintenu par les instrumentistes, ils vérifient les commandes entrantes et sortantes vers les automates. Ils peuvent intervenir en affectant des changements des câbles par exemple.

6- Pxp

C'est l'une des alarmes Pxp est affichée, il faut être sûr que ProcessExpert est capable de contrôler le système, si non, il faut l'arrêter jusqu'à la stabilisation complète du système. Ceci, est pour éviter les risques est garantir la sécurité des équipements et d'assurer la qualité du produit fini.

IV.2. Le Contrôle Qualité par Le Système Expert QCX

IV.2.1. Introduction

La capacité d'automatiser les analyses chimiques des produits finis et semi-finis issus du processus de production du ciment, a été l'élément déclencheur ayant permis l'automatisation des laboratoires dans le domaine de la cimenterie et de nombreux autres processus industriels. L'analyse par rayons X en particulier, a permis d'introduire cette automatisation des laboratoires de chimie.

L'ordinateur est l'un des piliers de cette automatisation. En effet, la fusion du XRF¹ (FRX) et de la technologie informatique au milieu des années soixante ayant permis de livrer le premier spectromètre de fluorescence par rayons X, il est contrôlé par ordinateur avec un système expert, et commercialisé sur le marché marque le début de l'automatisation des laboratoires dans l'industrie du ciment.

IV.2.2. Le Système QCX

QCX (Quality Control by rayon X), est un système informatique de gestion de laboratoire, c'est le système expert dédié au contrôle de qualité par ordinateur et rayon X, cette tâche est faite par le laboratoire de chimie. Pour le but de surveillance de production de sorte que le produit final soit conforme aux normes et standards acceptés.

L'activité principale du laboratoire de production consiste à maintenir le ciment produit dans les limites de qualités prédéfinies. Dans les cimenteries, les principaux processus à surveiller sont : le mélange, la combustion et le broyage. Pour cela, le contrôle de qualité est fait dans plusieurs points :

1. Le mélange des matières premières en tas,
2. Le mélange des matières alimentent le broyeur cru,
3. Le mélange des matières alimentent le four,
4. Le mélange des matières alimentent le broyeur ciment : les échantillons tenus dans ce point servent à mesurer la résistance du ciment,
5. L'humidité, la composition chimique et la finesse des matières premières,
6. La finesse et la couleur du ciment : la finesse et testée par la spécification de la surface Blaine SSB conformément au standards DIN 1164, EN 196 T6, et ASTM C 204-55².

Après le prélèvement des échantillons, ces derniers sont comprimés en pastilles ou tablettes dures soit du clinker ou du ciment, les pastilles sont entrées dans l'appareil d'analyse. Des rayons X attaquent l'échantillon et donne les pourcentages des matières premières composants le mélange.

Cependant, pour la finesse, Les ciments se présentent sous forme de poudre finement divisée. Cette finesse est une caractéristique importante : lors du gâchage, plus la surface de ciment en contact avec l'eau est grande et plus l'hydratation est rapide et complète.

¹ XRF : sert à l'analyse des éléments (Si, Al, Fe, Ca, ...) séquentielle ou simultanée.

² Ce standard est approuvé par CEN (European Committee for Standardization) en 16/06/1989. Bruxel.

Chapitre 4 : Diagnostic et Maintenance par Systèmes Experts

La finesse d'un ciment est généralement exprimée par sa surface massique : c'est la surface totale des grains contenus dans une masse unité de poudre. La surface massique est généralement exprimée en cm^2 de surface des grains de ciment par gramme de poudre.

Dans la SCIMAT, ils utilisent encore la méthode classique par l'appareil de Blaine. À cause du manque des analyseurs en ligne pour déterminer la finesse de la farine et du ciment. Les deux figures suivantes montrent l'ancien et le nouvel appareil d'analyse spécifique de surface (Blaine).

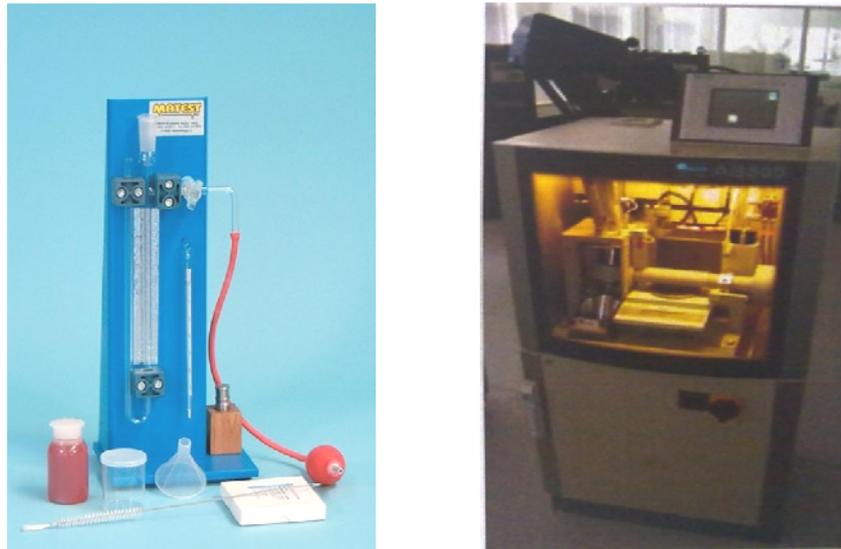


Figure 4.8: Analyse spécifique (Blaine) de surface

IV.2.3. Composants de QCX

- 1- **QCX/Laboratory** : c'est un module central pour administration et suivi des échantillons, des rapports, ... ; acquisition des données et contrôle des instruments.
- 2- **QCX/AutoSampling** : pour l'échantillonnage et le transport automatique d'échantillons. Malheureusement, c'est l'opérateur qui se déplace pour avoir l'échantillon -du point de prélèvement associé- à analyser jusqu'au laboratoire.
- 3- **QCX/AutoPrep** : dédié à la préparation automatique d'échantillons basée sur des équipements automatiques intégrés.

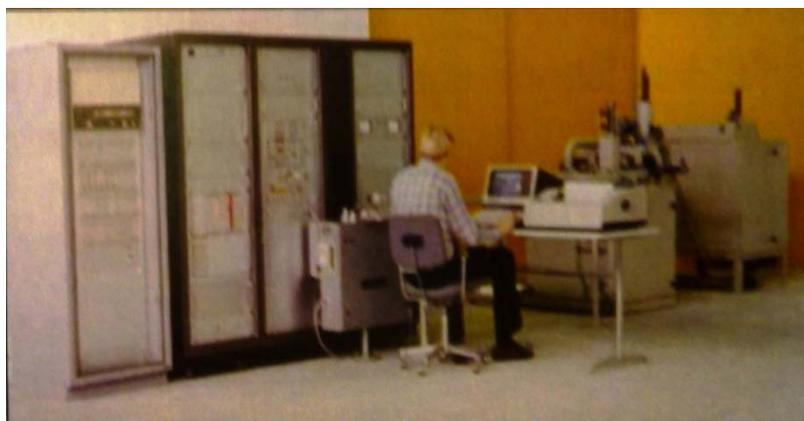


Figure 4.9: Transport et préparation automatiques des échantillons

Chapitre 4 : Diagnostic et Maintenance par Systèmes Experts

- 4- **QCX/RoboLab** : pour la préparation automatique d'échantillons basée sur une technologie robotisée. Mais la cimenterie ne dispose pas de ce Robot, c'est l'opérateur qui s'occupe des échantillons.



Figure 4.10: Préparation robotisée des échantillons

- 5- **QCX/OnStream** : c'est pour le contrôle qualité « en ligne » du cru, cet outil n'est pas installé pour le moment dans la cimenterie, des analyseurs PGNAA sont à installer pour mesurer en continu, et une action de contrôle est calculée toutes les cinq minutes, surtout dans le transport de la matière première.
- 6- **QCX/BlendExpert** : c'est la partie soft de QCX, destinée au contrôle qualité du cru, du ciment, et des tas de pré-homogénéisation¹.



Figure 4.11: QCX/BlendExpert

IV.2.4. Programme QCX

Les programmes QCX sont l'un des éléments essentiels d'un groupe d'échantillons (voir figures (a) et (b) 4.12). Chaque programme contient les informations générales (*nom du*

¹ La qualité des matières premières est variée, c'est pour cela, la pré-homogénéisation est indispensable pour garantir le meilleur mélange dans l'homogénéisation.

programme, type), les paramètres du programme (*paramètres spécifique à l'équipement*), les éléments à analyser (*les éléments de données souhaitant à définir au niveau de l'équipement*) ainsi que les éléments dérivés (*les éléments souhaitons calculer sur base des éléments analysés*).

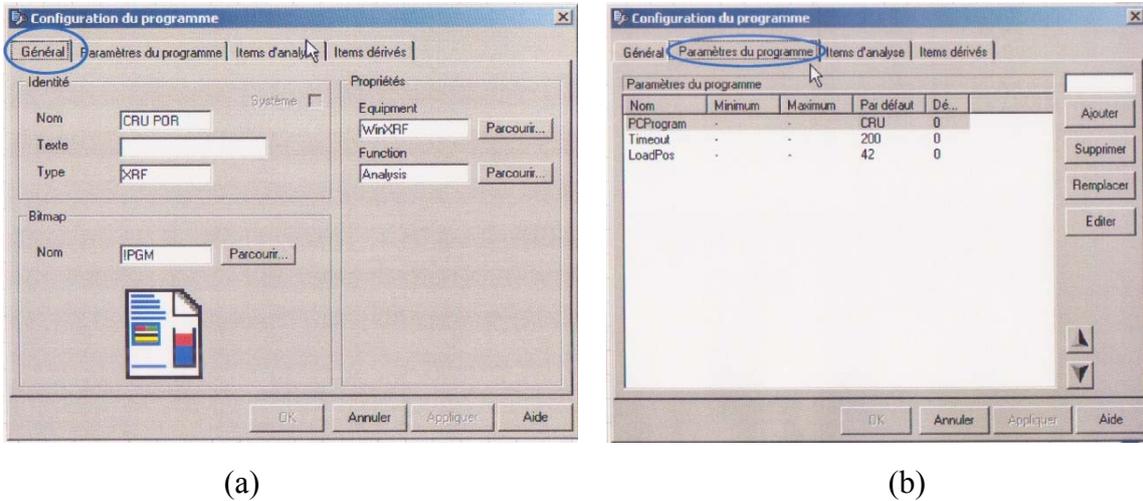


Figure 4.12 : Programme QCX

IV.2.5. Les Rapports QCX

La QCX génère des rapports hebdomadaires, et d'autres mensuels contenant des éléments de données peuvent être sélectionnés lors de la définition du modèle, permettant ainsi de déterminer une valeur statistique comme la déviation standard des échantillons d'un jour bien particulier, valeur qui sera ensuite mentionnée dans le rapport.

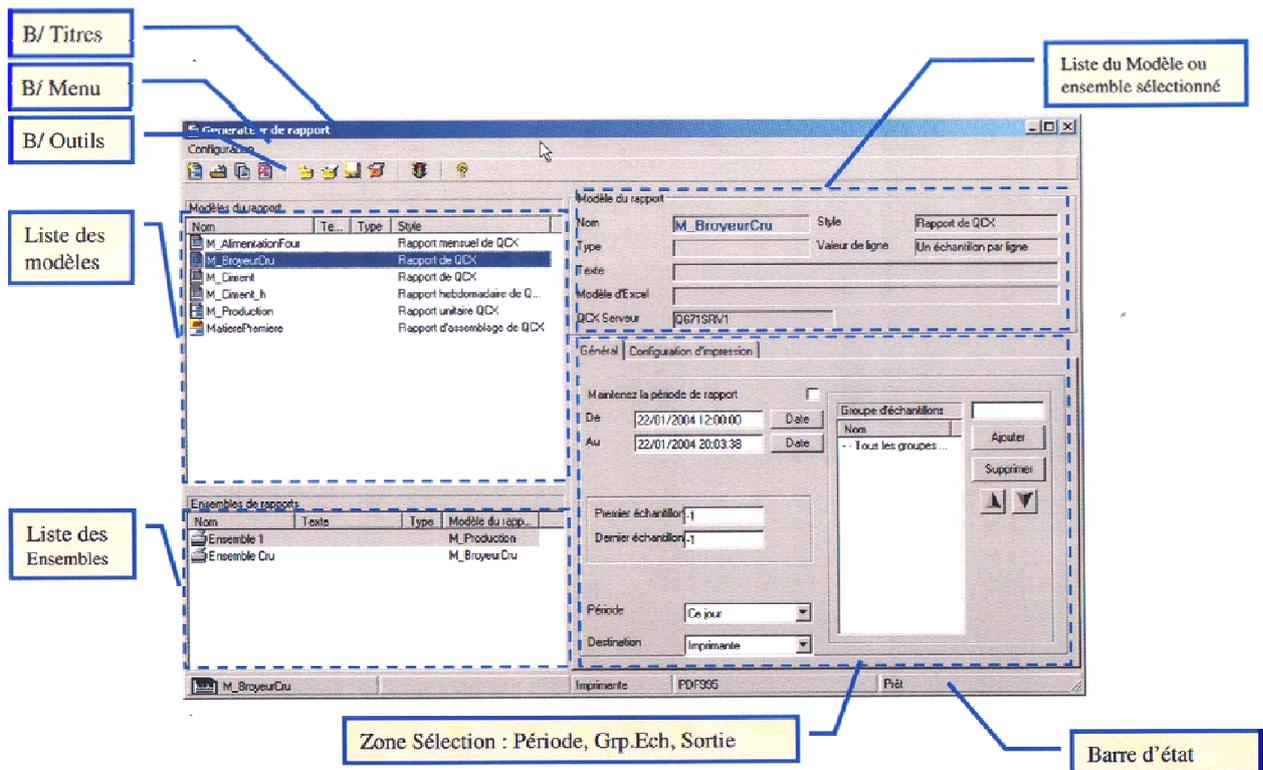


Figure 4.13 : Rapports QCX

Ces rapports permettent d'imprimer les résultats sous forme de tableaux et de les comparer à certaines valeurs statistiques standards. Les rapports QCX sont basés sur un modèle Excel.

IV.2.6. QCX/BlendExpert

Est un logiciel pour le contrôle des processus de mélange. Selon les mesures, il calcule les points de consigne des alimentateurs pour optimiser le mélange des matériaux en ce qui concerne les contraintes de processus et chimiques, des coûts de matériaux, etc. Aussi, pour intégrer le laboratoire et le processus pour un contrôle de qualité optimal et rapide. BlendExpert est utilisé dans la pile (Transporteur à bande), la farine crue et le ciment. (14)

Quatre types de QCX/BlendExpert : BlendDesigner, BlendExpert-Broyeur (ciment et cru), BlendExpert-Pile (longitudinales et rondes) et BlendExpert-Carrière. Chaque type est intégré dans QCX comme il est montré dans la figure au-dessus (figure 4.14).

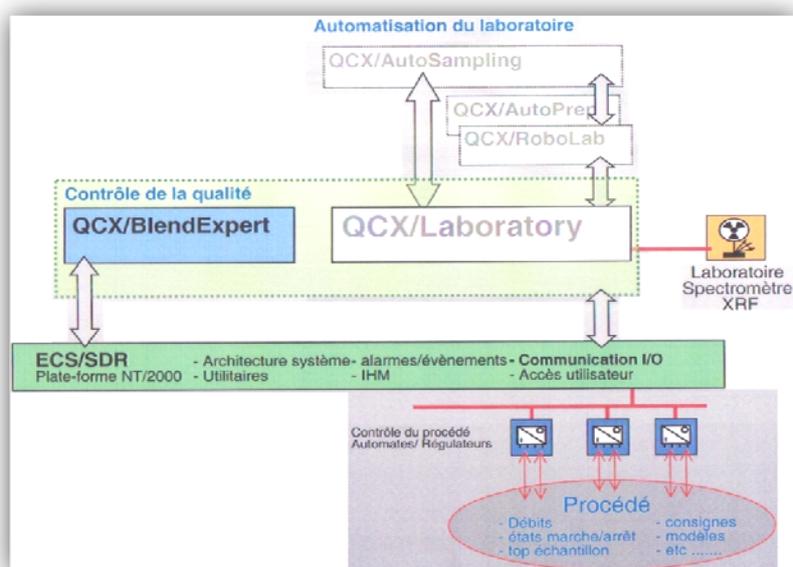


Figure 4.14 : Intégration de BlendExpert dans QCX

Devant l'opérateur, une interface graphique de QCX/BlendExpert-Broyeur cru (voir figure 4.15), les échantillons déjà analysés sont tous affichés. Ainsi que les quantités des silos, les points de consignes des alimentateurs, L'opérateur peut voir même les tendances de variations de chaque point d'analyse.

Chapitre 4 : Diagnostic et Maintenance par Systèmes Experts

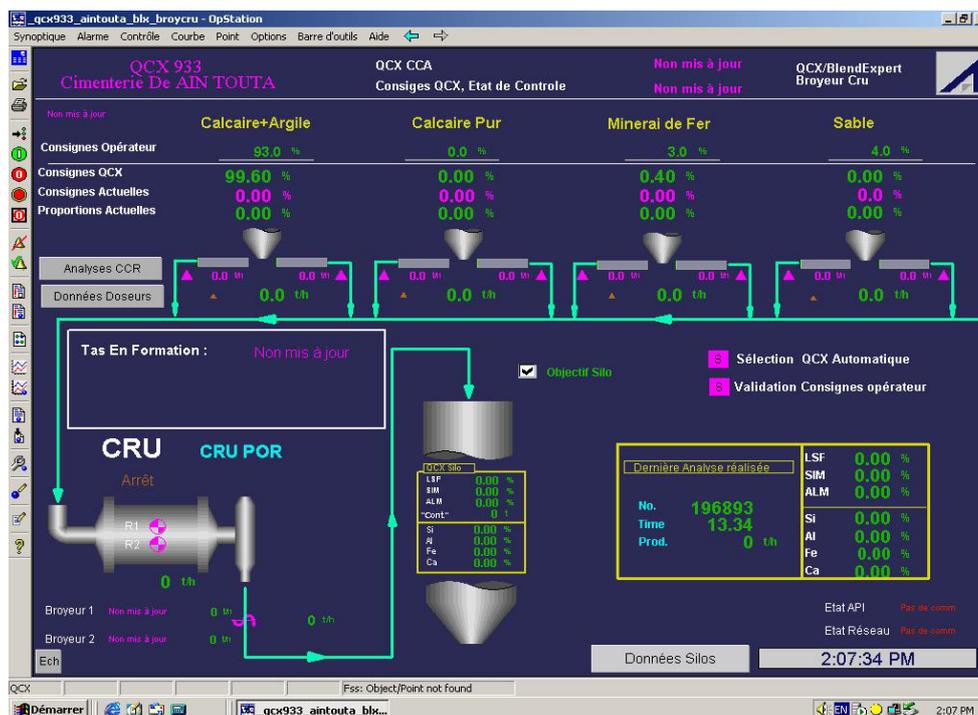


Figure 4.15: Interface graphique QCX/BlendExpert-Broyeur

IV.3. Conclusion

Avec ECS et ECS/QCX, le contrôle, la supervision, le diagnostic et la maintenance sont bien fait. La qualité du produit est assurée, mais à quel point, est ce qu'elle est toujours la même qualité ? Le produit fini n'a pas toujours une finesse unique, elle est variée. Le mélange de tout type de ciment comme produit fini est fait dans les silos de stockage de ciment d'expédition.

La question à poser, est pourquoi on ne peut pas avoir un seul produit identique et de même finesse ? La sur-qualité ou la moine-qualité n'est pas une qualité. Ce problème risque de perdre la certification du produit. Pour éviter le jour où le monde dis, votre produit n'est pas de qualité, n'est pas conforme, et pour assurer non pas une bonne qualité seulement, mais une qualité continue, la solution est par la logique floue. Cette technique est la base de l'outil de pilotage automatique. Dans les années passées FLS a installé SDR/FUZZY, pour des raisons ou d'autres il n'a pas mis en marche continue pour une langue durée. La nouvelle version est ProcessExpert. Ces deux versions seront bien détaillées dans le chapitre suivant.

Chapitre 5
Diagnostic
et Maintenance
par Logique
Floue

V.1. Introduction

L'outil de pilotage automatique basé sur la logique floue, installé dans la cimenterie depuis les années quatre-vingts, il a des périodes de marche perturbées, pour plusieurs années, il est mis en arrêt, pour des problèmes de programmation, d'opérateurs, de maintenance, et plusieurs autres raisons de ne pas lui faire confiance.

Actuellement, un nouveau système est à installer, ECS/ProcessExpert, il est plus développé, il a une interface homme/machine, et intégré dans ECS. Cet outil est utilisé pour le contrôle du four et du broyeur, mais il ne peut être déclenché sauf si le système est stable. Illustrant tout ce qui concerne ProcessExpert dans le nouveau système : ProcessExpert prochainement.

V.2. L'Ancien Système : SDR/FUZZY LOGIC

F.L. SMIDTH a mis au point un système de contrôle de four basé sur un mini-ordinateur. Système qui simule directement le mode d'évaluation et de décision d'un opérateur expérimenté. À cet effet il est utilisé un outil mathématique, dénommé « FUZZY LOGIC ». Par lequel il est possible d'automatiser les interventions des opérateurs. Il permet la programmation « en ligne » et la modification des règles de conduite. Ces règles sont introduites par l'utilisation d'une série de mots et d'expressions usuels.

Le contrôle de marche d'un four s'effectue à deux niveaux, le premier comprend les régulations automatiques qui maintiennent l'alimentation du four, sa vitesse de rotation, la chauffe, ..., à des valeurs affichées. Le deuxième comprend la surveillance et les ajustements des différentes valeurs d'affichage. En raison de la complexité du processus, des temps de réponse importants et moyens de mesure, il n'est pratiquement pas possible d'automatiser ce deuxième niveau de contrôle, qui de ce fait est effectué en général par les opérateurs.

V.2.1. Avantages du Système

L'objet du système FUZZY est de munir les opérateurs d'un outil leur permettant de réaliser un contrôle uniforme et optimal du procédé du four. L'utilisation de ce système a les avantages suivants :

1. En contrôlant la qualité du clinker d'une façon beaucoup plus étroite, des économies d'énergie peuvent être obtenues dans le four et dans le broyeur ciment.
2. Des températures plus stables dans le four signifieront une augmentation de la durée de vie des réfractaires du four.
3. Un contrôle plus étroit de l'oxygène et des températures du préchauffeur peuvent également réduire la consommation d'énergie.

Le système doit être considéré comme un instrument pour les opérateurs auxquels il aide à faire marcher l'usine. Ce qui signifie que dans les situations où le FUZZY n'est pas assez performant, à cause des problèmes mécaniques ou à des conditions spéciales de procédé. L'opérateur devra lui-même prendre le contrôle du four.

V.2.2. Paramètres de Réglage du Four

Le contrôle d'un four présente certains problèmes en raison de la complexité du processus, des temps de réponse ainsi que des possibilités de mesure limitées. Le degré d'automatisation du contrôle d'un four a été relativement faible, et c'est pourquoi la marche satisfaisante du four dépendait en grande partie de l'expérience et de la compétence des opérateurs. Les paramètres du procédé d'un four contrôlés par le FUZZY sont :

- ⊗ L'alimentation du four,
- ⊗ La vitesse du four (rotation par minute),
- ⊗ Le débit du gaz du four (combustion),
- ⊗ Vitesse du ventilateur de tirage principal.

Chacun de ces réglages a une influence sur les différentes phases de préchauffage, calcination, clinkerisation et refroidissement, cela semble défier toute loi d'équilibre que de vouloir maintenir une marche stable du four à une production maximale de clinker, une consommation minimale de combustible et à une charge admissible du matériel.

Ainsi, ces paramètres sont contrôlés à partir d'indications de procédé, tels que couple d'entraînement du four, oxygène et température dans le préchauffeur. De plus les opérateurs devront introduire les valeurs d'échantillons de chaux libre et poids litre dans le système FUZZY/QCX, de façon à permettre au FUZZY de contrôler la qualité du clinker.

V.2.3. Contrôle de la Marche du Four

Le système FUZZY établit en ligne la surveillance et le contrôle des principaux paramètres de conduite, par quoi il se substitue à l'opérateur en assurant ses fonctions de coordination. En conséquence, le système élimine les différences entre les méthodes de contrôle de chaque opérateur : il en résulte une marche plus uniforme au cours des 24 heures. Ce contrôle par FUZZY, est appliqué dans des points de mesures typiques (figure 5.1) pour garantir la meilleure surveillance du four et par conséquence, le contrôle efficace.

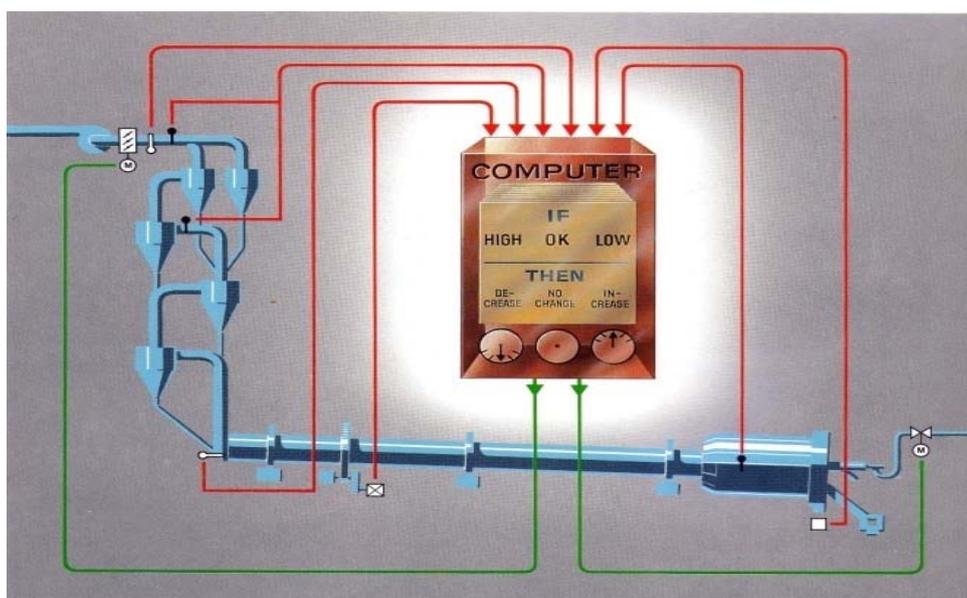


Figure 5.1 : Points typiques de mesure et de contrôle du système de FUZZY LOGIC

V.2.3.1. Conditions de Mise en Marche/Arrêt du Système FUZZY

Ces instructions consistent une description d'utilisation du système de contrôle du four FUZZY, comment le mettre en marche et l'arrêter et détecter les changements de contrôle prévus. De plus, quelques exemples de situations dans lesquelles FUZZY ne doit pas être utilisé.

Le contrôle FUZZY ne veut pas dire substitution du travail de l'opérateur ; il ne s'agit que d'un outil permettant d'optimiser l'opération de l'usine, tout comme toute autre pièce d'équipement électronique. Cela signifie que l'opérateur est toujours chargé de l'opération du four, et chaque fois qu'il estime que le FUZZY ne peut pas prendre en mains la situation présente dans le four, il devra arrêter le FUZZY jusqu'à ce que le four soit de nouveau dans des conditions opérationnelles stables.

Le FUZZY n'est pas supposé travailler à 100% du temps, 90 à 95% étant un facteur de marche normale. Les 5% restants correspondront à des situations de différents problèmes mécaniques ou chimiques. Le bouton d'arrêt/marche du FUZZY, nommé « Fuzzy ». L'état dans lequel il se trouve est signalé soit « on » (en marche), soit « off » (en arrêt).

✓ La mise en marche

Lorsque le Fuzzy est sur le « on », il contrôle les 5 paramètres suivants :

1. Le débit de gaz du four,
2. Vitesse du ventilateur de tirage,
3. Alimentateurs four,
4. Vitesse du four,
5. Registre du ventilateur de tirage.

Sur la base des échantillons insérés, poids litre et chaux libre, le FUZZY changera le débit de gaz du four en petites étapes, de façon à contrôler la chaux libre jusqu'à une consigne de 1.0 à 1.5%. Dans le cas d'un niveau de gaz maximum, le FUZZY aura automatiquement recours à un changement de niveau de production, de façon à contrôler la température de la zone de cuisson (alimentation/vitesse du four).

Sur l'écran de visualisation, l'action planifiée du FUZZY est affichée. En dessous apparaît un nombre appelé BZTI¹; c'est un chiffre entre -1 et +1, indiquant l'approchement de la température de la zone de cuisson à une valeur qui donne une chaux libre correspondant à la consigne. Si BZTI est proche de zéro, il est prévu que la chaux libre soit alors presque égale à la consigne. Lorsque, BZTI = +1 alors four est trop chaud, et BZTI = -1 alors four est trop froid.

Dans le cas de chute de croûtage, ce qui signifie que le matériel adhérent au revêtement du four se détache en grands morceaux, le FUZZY réduira lentement l'alimentation et la vitesse du four de 4 à 8% seulement. Cela se fait par petites étapes, et si la perte de revêtement n'a pas refroidi le four, le FUZZY reviendra à une alimentation et une vitesse d'un niveau normal dans les 30 à 60 minutes.

¹ BZTI : Burning Zone Temperature Index (Index de Température dans la Zone de Cuisson).

En générale, en cas de refroidissement du four, la production (alimentation/vitesse) pourrait tendre légèrement à la baisse de façon à réchauffer le four rapidement. Le FUZZY essaiera de contrôler l'oxygène sur la partie la plus haute du préchauffeur, à un niveau moyen de 3.6%, ceci étant obtenu grâce à de petits changements dans la vitesse du ventilateur de tirage. Mais aussi bien les points de consigne de l'oxygène et de l'alimentation du four sont sujets à des changements, tout cela dépendant de l'opération générale de l'usine.

*** La mise en arrêt**

Le FUZZY peut être mis à l'arrêt dans les situations suivantes :

- * Lors d'une grande chute de croûtage, le transporteur de clinker à dépasser les 80 à 85% de sa charge nominale, il existe nécessairement une diminution de production de 10 à 25%.
- * Les dernières trois chaux libres (FCAO) ont été > 2.5%,
- * Les dernières trois chaux libres (FCAO) ont été < 0.3%,
- * Les trois derniers poids au litre (LTW) ont été > 1450 g/l,
- * Les trois derniers poids au litre (LTW) ont été < 1120 g/l,
- * Si l'alimentation du four est à l'arrêt durant plus de 2 à 3 minutes.
- * Si le débit du gaz s'arrête ou varie de plus de 5 à 10%.
- * Si la consommation calorifique est loin d'atteindre le niveau normal, le FUZZY peut alors être arrêté, à moins qu'il n'y ait une explication précise pour cela, comme par exemple LSF¹ élevé dans l'alimentation du four.
- * Divers problèmes mécaniques.

Chaque opérateur devra se fier à son propre jugement pour décider du moment où arrêter le FUZZY. Normalement le FUZZY peut être remis en marche, une fois où les problèmes ont résolus et le processus se trouve de nouveau en conditions stables.

Notant qu'en arrêtant le FUZZY, la boucle de synchronisation l'alimentation/vitesse est activée automatiquement et l'alimentation peut se situer à un nouveau niveau. L'opérateur devra alors immédiatement réaligner l'alimentation du four à son premier niveau, s'il veut maintenir stable la température au-dessus du préchauffeur. Cette caractéristique devrait être changée par les instrumentistes, en changeant la programmation de l'automate.

Les conditions de mise en marche/arrêt sont changées fréquemment selon les paramètres, voici une fiche présentant les conditions d'enclenchement et de déclenchement du système FUZZY pour la journée 30/10/1996.

| Conditions de marche | Conditions d'arrêt |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Si le débit de gaz V01 \in [4500, 6500] Nm³/h, ✓ Si la température après cyclones \in [315, 380] °C, ✓ Si l'oxygène après cyclones \in [3.20%, 5%], ✓ Si la consommation calorifique spécifique \in [900, 1000] Kcal (kg | <ul style="list-style-type: none"> * Si la chute de croûtage engendrant l'augmentation de l'ampérage du transporteur à auget plus de 80%, * Si la chaux libre (FCAO) > 03 % durant 3 heures successives, * Si la chaux libre (FCAO) < 0.6 % durant 3 heures successives, * Si le poids au litre (LTW) > 1400 g/l |

¹ LSF (facteur de saturation de la chaux libre) = $\text{CaO} / (2.80 \times \text{SiO}_2 + 1.18 \times \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.65 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)$.

| | |
|--|---|
| clinker), ✓ Si vitesse de rotation du four = 2t/mn, ✓ Si la vitesse de ventilateur de tirage ϵ [68%, 72%], ✓ Si le débit de gaz bruleur secondaire réduit entre [850, 900] Nm ³ /h. | durant 3 heures successives, ✗ Si le poids au litre (LTW) < 1050 g/l durant 3 heures successives, ✗ si le débit de gaz engendre des fluctuations importantes. |
|--|---|

Tableau 5.1 : Conditions de marche/arrêt du FUZZY pour Le 30/10/1996

V.2.3.2. Objectifs de Contrôle

Le contrôle du FUZZY est divisé en trois groupes, dont chacun comprend jusqu'à cinq objectifs de contrôle. Un objectif peut être considéré comme une situation du procédé ou un problème qui doit être résolu par le régulateur.

| Groupe 1 | Contrôle de zone de cuisson |
|-------------|--|
| Objectifs : | 1. Calibrage alimentateur Schenck 2. Chute de croûtage 3. Ventilateur du filtre à haut niveau 4. Contrôle de qualité (contrôle de BZTI) 5. Changements de production |

Les objectifs de ce groupe ont pour but de stabiliser et perfectionner la qualité du clinker, de façon à ce que les chaux libres et les poids litre soient maintenus à des niveaux corrects. Les boucles contrôlées à partir de ce groupe sont : gaz, ventilateur de tirage, alimentation du four et vitesse du four.

Les changements effectués sur le ventilateur de tirage ne pourront être que mineurs, car les changements dans le niveau d'oxygène appartiennent au contrôle du groupe N° 2.

| Groupe 2 | Combustion |
|-------------|--|
| Objectifs : | 1. Niveau élevé de CO 2. Niveau d'oxygène bas 3. Température au-dessus du préchauffeur basse 4. Température au-dessus du préchauffeur élevée 5. Niveau d'oxygène élevé |

Ce groupe a pour mission de contrôler et stabiliser le niveau d'oxygène dans la partie haute du préchauffeur à une consigne déterminée. Les boucles contrôlées par ce groupe sont : ventilateur de tirage et gaz. Ce groupe ne peut contrôler ni l'alimentation ni la vitesse du four, car cela interférerait le contrôle des changements effectués par le groupe de contrôle N° 1.

| Groupe 3 | Procédure de mise en marche du four |
|------------|---|
| Objectif : | 1. Augmentation du niveau de production |

Ce groupe a pour but d'augmenter les 4 boucles de contrôle du four durant la mise en marche de ce dernier. Ce groupe, durant une mise en marche, prendra le contrôle du premier groupe et augmentera ensuite les 4 boucles de contrôle à partir de valeurs initiales jusqu'à un niveau normal de production.

Les boucles contrôlées sont : gaz, ventilateur de tirage, alimentation et vitesse du four. Ce groupe n'a qu'un objectif, car il est entendu que toute altération majeure sera traitée par les opérateurs.

1. Synchronisation alimentation/vitesse du four

Le FUZZY synchronisera normalement tout changement d'alimentation et de vitesse du four, de façon à maintenir une couche constante dans le four. Le fait de changer la relation entre alimentation et vitesse peut être la cause de fluctuations dans la température de la zone de cuisson.

En même temps, cependant, ce four opère plus efficacement avec une vitesse élevée, plus proche du maximum de 2.19 rpm si possible. Ainsi, de façon à combiner ces deux objectifs, la stratégie suivante est utilisée par le contrôle FUZZY :

L'opérateur doit introduire une consigne pour l'alimentation du four, normalement une valeur supérieure de 3 à 4 t/h à celle possible à atteindre. Le FUZZY calculera alors le facteur de synchronisation requis de façon à opérer avec la vitesse aussi élevée que possible. Le calcul rassemble à celui-ci : $\text{Facteur Synchr} = (\text{consigne alimentation} + 0.75)/2.19$

La relation normale durant l'opération est : $\text{Alimentation four} = \text{Facteur Synchr} * \text{vitesse four}$

0.75 est utilisé pour permettre au FUZZY d'augmenter la vitesse du four pendant une durée courte, au cas où le four atteindrait une chaleur très élevée, peut être due à un LSF bas dans la farine crue. Il se peut que la consigne vitesse four doive être introduite 2 à 3 fois par semaine, cela dépendant de la qualité du mélange cru et de la stabilité de l'alimentation Schenck, avec le paramètre ZFEEDSP (point de consigne alimentation) = 126.0 t/h.

Il ne faut pas introduire une consigne plus élevée que celle à laquelle l'alimentateur peut faire face, l'alimentateur A n'ayant qu'une limite de 128 t/h. D'autre part, l'introduction d'une consigne trop basse limiterait la production, car le FUZZY arrêterait d'augmenter l'alimentation une fois que la consigne de production atteinte et commencerait alors à réduire le niveau de gaz si le four se trouvait encore chaud. Cette situation assurerait une opération normale de la vitesse du four dans un intervalle de 2.08 à 2.17 rpm.

2. Réglage du niveau d'oxygène

Le FUZZY contrôlera le niveau d'oxygène à la sortie du préchauffeur, conformément à une gamme insérée, qu'est de : 3.40 - 3.55 - 3.70 % (limite basse, consigne, limite haute).

Le contrôle changera la vitesse du ventilateur de tirage, si le niveau d'oxygène est hors de la gamme affichée, 3.4 à 3.7 %. Ceci, se fera chaque deux minutes, avec un petit changement sur le ventilateur, jusqu'à ce que le niveau d'oxygène figure de nouveau dans la gamme choisie.

Le niveau a été choisi par les opérateurs FLS, sur la base de leur expérience, avec la formation de croûtage dans les cyclones, si l'oxygène à l'entrée du four descendait à moins de 1.4%. Il est cependant possible avec le FUZZY contrôle de pouvoir atteindre un niveau un peu plus bas que l'actuel, en raison du contrôle plus précis d'oxygène dans le cas de contrôle

automatique et de ce fait épargner quelque énergie ou obtenir une augmentation de production. Les paramètres utilisés sont :

- | | |
|------------------------|-----------------|
| ✓ Limite haute oxygène | ZO2HL = 3.70 % |
| ✓ Consigne oxygène | ZO2SP = 3.55 %. |
| ✓ Limite basse oxygène | ZO2LL = 3.40 % |

De plus, un niveau d'oxygène très bas existe en relation avec la limite CO et ces deux derniers paramètres sont :

- | | |
|--------------------|-----------------|
| ✓ Oxygène très bas | ZLIM001 = 3.00% |
| ✓ Limite haute CO | ZCOHL = 0.20 % |

V.2.3.3. Introduction d'Échantillons

En relation avec l'introduction du système de contrôle du four FUZZY, la procédure opératrice suivante sera nécessaire. L'un des objectifs du système de conduite FUZZY est de contrôler la qualité du clinker, ceci étant fait en essayant de stabiliser l'analyse de chaux libre à un niveau désiré. Pour cela, les opérateurs doivent introduire ladite analyse dans le système FUZZY. De même, l'analyse du poids au litre, doit être introduit, car cet échantillon est simple et rapide et aidera le FUZZY à réduire l'effet de n'importe quelle inexactitude ou retard dans la confection de l'analyse chaux libre.

Tous les échantillons seront introduits dès qu'ils arrivent à la salle de contrôle. Si un échantillon est oublié, ne faut pas l'introduire avec le prochain, mais insérer simplement le plus récent et oublier l'ancien.

Au début des testes avec le système de contrôle, il est important que tous et chacun des 24 échantillons/jour soient insérés dans le système. Plus tard, une fois que le système est bien rôdé, l'absence de 4 ou 5 échantillons ne changera rien. Cependant, si l'opérateur oublie d'introduire des échantillons durant deux heures consécutives, une alarme apparaissant dans le système lui rappellera de les introduire.

Dans le cas de problèmes dans le processus, ou juste après la mise en service du four, quelques échantillons extra devront être pris et insérés dans le système FUZZY. Peut être chaque demi-heure au lieu de chaque heure comme prévu normalement. Ceci aidera le FUZZY à reconnaître si le four est trop chaud ou froid et il pourra réagir plus rapidement pour changer cette condition.

V.2.3.4. Mise en Marche du Four

Il est possible de mettre en marche le contrôle FUZZY dans 15 à 20 minutes à peine après que le four ait été alimenté¹. Le FUZZY élèvera alors la vitesse du gaz, du ventilateur et de l'alimentateur et celle du four à un niveau normal durant 2 à 5 heures, dépendant de la durée de l'arrêt du four. L'opérateur doit observer qu'il n'est pas nécessaire que l'alimentation et la vitesse soient synchronisées avant la mise en marche du FUZZY.

¹ 15 à 20 min, il est impossible que le système soit stable, et c'est l'une des conditions de marche de FUZZY.

Chapitre 5 : Diagnostic et Maintenance par Logique Floue

Avant de mettre en marche le FUZZY, l'opérateur s'assurera que le procédé se trouve dans des conditions normales de démarrage, ce qui signifie que les paramètres suivants devront se situer dans la gamme suivante :

| Boucle | Gamme possible | Normale |
|----------------------------------|-----------------|----------|
| 1. Vitesse ventilateur de tirage | 45.0 à 70.0% | 75.0 t/h |
| 2. Alimentation four | 70.0 à 128 t/h | 0.45 rpm |
| 3. Vitesse four | 0.40 à 2.19 rpm | 2 rpm |

Ces positions bien sûr dépendront des différentes indications de procédé, qui, à leur tour, devront se situer dans la gamme suivante :

| Boucle | Gamme possible | Normale |
|--|-----------------|----------|
| 1. Température du-dessus du préchauffeur | 320 à 370°C | 355 °C |
| 2. Oxygène de sortie préchauffeur | 3.2 à 4.4% | 3.8% |
| 3. Consommation calorifique | 900 à 1100 kcal | 975 kcal |

La vitesse avec laquelle le FUZZY augmente les variantes procédés dépendra de la durée d'arrêt du four, et par conséquent de la situation de la chaleur dans le four et le préchauffeur. La consommation calorifique après la mise en marche de l'alimentation du four devrait être entre 900 et 1100 calories, plus basse lors d'arrêt du four de courte durée et plus haute lors d'arrêts prolongés.

La durée et la vitesse de l'augmentation du niveau de production dépendront du temps durant lequel le four a été arrêté. Si l'arrêt a été supérieur à 3 heures, le temps maximum sera alors nécessaire et le retour à une production normale prendra de 3 à 4 heures. Si la durée de l'arrêt du four est plus courte, le niveau de production normale sera atteint en un espace de temps plus court.

Si le FUZZY augmente le niveau de production trop rapidement ou trop lentement, l'opération peut alors être ajustée en changeant quelques paramètres. Ces derniers agissant sur les facteurs d'amplification durant la mise en marche sont appelés amplifications rectificatives, et multipliés par les amplificateurs normaux durant la mise en marche.

- ✓ Gaz four ZSUGNF1 = 1.4
- ✓ Ventilateur de tirage ZSUGNF2 = 3.5
- ✓ Alimentation four ZSUGNF3 = 2.0
- ✓ Vitesse four ZSUGNF4 = 2.0

Les facteurs d'amplification normaux pour alimentation et vitesse du four sont calculés sur la base d'arrêt du four ; un arrêt prolongé donne un temps de mise en marche plus long et par là un facteur d'amplification plus bas, ce qui signifie une augmentation plus lente de l'alimentation et la vitesse du four.

Si la vitesse du ventilateur est trop lente, avec -pour effet- un niveau d'oxygène trop bas durant la procédure de mise en marche, le facteur d'amplification des changements de vitesse du ventilateur pourrait être augmenté, et ceci est fait en augmentant le paramètre ZSUGNF2, ce paramètre est un facteur d'ajustement multiplié par rapport à l'amplification normale d'une opération normale ; il ne fait qu'augmenter la dimension des changements durant la mise en marche.

Observant que ceci ne fait que changer l'amplification de la vitesse du ventilateur durant la période de mise en marche. Si une augmentation générale de ce facteur d'amplification est également nécessaire lors d'opération normale, il faudra utiliser le facteur d'amplification normal pour changements de vitesse du ventilateur (ZGAINF2).

Le principe opératif de base durant la période de mise en marche et de maintenir la température au-dessus du préchauffeur dans une gamme déterminée, 320 à 355°C.

355°C n'est pas un chiffre fixe, mais simplement vient du niveau d'opération normale de la température en haut des cyclones, dépendant des fluctuations de la composition du mélange crû. La mise en marche la plus optimale sera réalisée lorsque le FUZZY démarre avant que le niveau de production n'atteigne 95 à 100 t/h dans l'alimentation du four. Il pourrait être impossible d'introduire le FUZZY immédiatement après la mise en marche, en raison de problèmes avec le débit de gaz ou les alimentateurs du four.

Les quatre boucles principales sont contrôlées durant la mise en marche selon les principes suivants :

Alimentation four : est augmentée sur la base de la température au-dessus du préchauffeur. Si celle-ci est supérieure à 355°C, une grande augmentation a alors lieu ; si la température se situe entre 320 et 355°C, un changement moyen a lieu et si la température est inférieure à 320°C, c'est une petite réduction de l'alimentation qui se produit. Au fur et mesure que la mise en marche avance, le niveau de température max. de 355°C est réduit par étape de 5°C chaque cinq minutes (débutant après 70 minutes), de façon à ce que lorsque la production atteint son niveau normal, la température, sera également proche de sa position normale, ou peut être 3 à 6°C au-dessus.

Vitesse du four : cette vitesse opère sous forme de 3 différentes phases durant la mise en marche, et dans la dernière seulement elle est synchronisée avec l'alimentation. Juste après la mise en marche du four, la vitesse du four est maintenue à son niveau bas, en attendant que le couple commence à augmenter, cela étant le signal que la zone de cuisson est en train de chauffer. Quand ceci se produit, commence alors la phase 2, durant laquelle la vitesse du four augmente très rapidement jusqu'à ce que le facteur de synchronisation soit à son niveau normal. Commence alors la phase 3, durant laquelle la vitesse sera changée en même temps que l'alimentation, pour maintenir une synchronisation normale. C'est le changement d'alimentation qui décide le changement de vitesse.

Gaz du four : durant la mise en marche du FUZZY, le gaz est augmenté jusqu'à un niveau d'opération normale, en petites étapes, et atteindra un niveau max/normal au bout de 1 ou 2 heures après le démarrage du FUZZY et le temps total pourrait être de 4 à 5 heures. Le gaz ne sera pas augmenté si la température du préchauffeur est haute (355°C) ou dans le cas d'un niveau bas d'oxygène, Dans ce cas, il attendra les changements d'alimentation pour que la température descende ou que le groupe de combustion obtient une hausse du niveau d'oxygène en augmentant la vitesse du ventilateur de tirage. À un niveau de température normale, ente 320 et 355°C, le gaz sera augmenté lentement jusqu'à atteindre son niveau normal. Et à une température inférieure à 320°C, de grandes augmentations de gaz dans le four se produiront de façon à augmenter la température au-dessus du préchauffeur.

Vitesse du ventilateur : elle sera augmentée à la fois par le groupe 3 et le groupe 2, si besoin et car chaque augmentation dans le débit de gaz sera suivie d'un changement immédiat dans le ventilateur en même temps. Durant la mise en marche, la durée pour la plupart des changements est de deux minutes, une durée fixe, qui ne dépend pas de la situation. Cela est dû au nombre réduit de bonnes indications du procédé durant la période de mise en marche. Durant cette même période, le niveau d'oxygène dans une gamme échelonnée est augmenté de 0.1 à 0.2 %, pour éviter des problèmes de CO.

Maintenance Inclinaisons Fixes

Le FUZZY utilise les échantillons de chaux libre (FCAO) et poids litre (LTW) avec la température maximum (TMP) et le couple du four (TQE), de façon à évaluer l'index de température de la zone de cuisson, BZTI. Cet index est ensuite utilisé pour décider si le four doit être chauffé ou refroidi davantage. Des rapports confirmés entre les 4 signaux sont utilisés dans ce calcul et ces valeurs sont appelées inclinaisons fixes. Elles indiquent de quelle façon des changements dans les niveaux de TMP et TQE ont normalement des conséquences sur LTW et FCAO.

Ces relations ne sont malheureusement pas stables et peuvent après quelques jours ou semaines, dépendant du mélange crû vers le four. Ceci rendrait les estimations dans le FUZZY plus inexactes et de ce fait réduirait l'effectivité du contrôle. Donc, pour maintenir un bon contrôle, ces paramètres devront être supervisés de la façon suivante :

1. Impression du rapport de l'usine 2 ou 3 jours consécutifs (ou chaque Jour).
2. Vérification de la valeur moyenne des points appelés $F1A1B1ALF^1$, $F1A1B2ALF^2$, $F1A2B1ALF^3$, $F1A2B2ALF^4$, en tant que 4 premiers points. La valeur moyenne devrait être celle se trouvant entre 6:00 et 6:00.
3. Comparaison des valeurs durant 3 ou 4 jours avec les valeurs des paramètres :
 - ✓ $F1A1B1ALF$ - Valeur actuelle : 6.000.
 - ✓ $F1A1B2ALF$ - Valeur actuelle : 16.00.
 - ✓ $F1A2B1ALF$ - Valeur actuelle : -0.070.
 - ✓ $F1A2B2ALF$ - Valeur actuelle : -0.120.
4. Recherche dans le rapport les valeurs : moyenne, maximum et minimum et, si ces chiffres indiquent un changement dans les rapports, alors il y'a un changement de la valeur du paramètre dans la direction indiquée de 10 à 15%.

Cette supervision doit être effectuée chaque 1 ou 2 semaines.

Changement de Niveau de Production

La consigne d'alimentation du four est = 126 t/h. Si l'on désire une opération normale avec gaz maximum et le FUZZY contrôlant la température par des changements de

¹ Courbe des 5 derniers échantillons LTW relatifs au signal du couple du four.

² Courbe des 5 derniers échantillons LTW relatifs au signal de température du dessus de préchauffeur.

³ Courbe des 5 derniers échantillons FCAO relatifs au signal du couple du four.

⁴ Courbe des 5 derniers échantillons FCAO relatifs au signal de température du dessus de préchauffeur.

production, il faut toujours situer ce chiffre entre 3 à 4 t/h au de-dessus du niveau possible de production.

En prenant en considération le point « F1INP07¹ », et en vérifiant la valeur max durant les dernières 24 heures, la consigne sera à un niveau de 3 à 4 tonnes au dessus. Ceci permettre d'assurer un contrôle optimal et une production de clinker maximum. En même temps, le niveau normal de vitesse du four sera défini de 2.08 à 2.17 rpm, et qui semble être l'échelle optimale pour ce four. Si un niveau de production plus bas est désiré, ceci peut être obtenu de deux façons :

- ✿ Réduire la consigne d'alimentation du four au niveau désiré, p.ex. 120 t/h. ceci entrainera le FUZZY à contrôler le four par des changements dans le débit de gaz.
- ✿ Réduire le niveau max du gaz du four jusqu'à p.ex. 6000 Nm³/h. Situer la consigne alimentation de 3 à 4 tonnes au-dessus du nouveau niveau de production prédit. Cette procédure doit être effectuée avec FUZZY arrêté, si le changement de niveau doit être fait rapidement. Le niveau max pour le débit de gaz est = 7000 Nm³/h. l'opérateur devra superviser la consommation calorifique lors de la réduction du niveau de production, de façon à ce que le niveau calorifique soit le même après le changement qu'avant. Cette procédure fera que le FUZZY fonctionnera à gaz maximum, mais à un niveau plus bas, ce qui donnera le contrôle le plus efficace lors de changements de production.

Chute de Croûtage

Si un important fragment de croûtage se détache des briques du four, faisant que le matériel descende alors précipitamment dans le four, il est alors nécessaire, dans certain cas, de ralentir la vitesse du four pour éviter que la zone de cuisson se refroidisse en raison de l'avalanche de matériel. Cette situation est appelée « chute croûtage ».

Ce genre de situation se détecte en supervisant le niveau du couple du four, lorsque ce dernier se situe soudainement à un niveau de 5 à 15% supérieur en quelques minutes. L'importance de cette situation dépend normalement de deux facteurs : la grandeur du matériel tombe et l'endroit du four où cela est arrivé.

Bien entendu un grand bloc de matériel fera beaucoup plus de dégâts qu'un petit. Les dégâts seront d'autant plus importants dans le four si le matériel tombe juste avant la zone de cuisson. Dans une telle situation, le FUZZY réagit normalement en réduisant la vitesse du four de 4 à 8% durant une période de 10 à 15 minutes, cela dépendant de l'état actuel du procédé du four. Les facteurs considérés sont l'importance du saut du couple, la température présente dans la zone de cuisson (BZTI) et le niveau actuel de la consommation calorifique.

Après 10 à 16 minutes, le FUZZY commencera à augmenter de nouveau la vitesse du four jusqu'à ré-atteindre son niveau normal, cette opération prenant de 30 à 50 minutes. La réduction de la vitesse du four se fait sans changement synchronisé dans l'alimentation du four, car cela aurait un effet trop important sur la température sur le dessus du préchauffeur et serait la cause de ce que le four ne soit chaud qu'après 30 à 50 minutes. Durant cette période donc, après une chute de croûtage, la couche à recouvrir de matériel augmentera légèrement.

¹ L'alimentation du four.

En raison de réduction de vitesse, la conséquence finale prévue est de ralentir la descente du matériel se précipitant dans le four, de chauffer davantage la zone de cuisson de façon à être en mesure de brûler le matériel extra s'y trouvant. Une autre conséquence de cette situation peut être une surcharge du transport de clinker et au cas où une alarme serait reçue depuis le transport, l'opérateur devrait alors mettre en marche le deuxième transport de clinker, si ce dernier n'est pas déjà en marche.

Dans des cas très rare, il pourrait être nécessaire que l'opérateur arrête le FUZZY et réduise alors la vitesse du four de peut être 50 à 75% de son niveau normal, pour sauvegarder la situation, mais il faudrait qu'il s'agisse d'une chute de croûtage réellement grande.

Il existe quatre paramètres importants contrôlant la façon dont le FUZZY doit réagir face à une chute de croûtage, et dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ ZDELBZ1¹ = 18.00 A : C'est le niveau de la hausse du couple qui déclenchera l'objectif chute de croûtage. Si ce paramètre augmente, le FUZZY détectera alors moins de chutes de croûtage tandis que, si le paramètre diminue davantage de chutes de croûtage sont détectées.
- ✓ ZCONS29 = 10.00 Min : La valeur indique le nombre de minutes après la chute de croûtage durant lesquelles le FUZZY devra continuer à réduire la vitesse du four.
- ✓ ZCONS29 = 30.00 Min : Ce paramètre limite le nombre de détections de chute de croûtage à une chaque 30 minutes, si la valeur du paramètre est 30.

Il ne devrait normalement pas être nécessaire de réduire davantage la vitesse du four peu de temps après la dernière chute de revêtement. La vitesse sera encore basse et consommation calorifique (SHC) sera Probablement proche ou au-dessus du niveau normal.

- ✓ ZCONS28 = 35.00 A : Ce paramètre indique une chute de croûtage très importante et une chute de ces dimensions annulera les 30 minutes de limite de détection mentionnées ci-dessus.

V.2.3.5. Mode d'Opération

Il existe deux moyens de contrôler la température dans le four, soit en changeant le niveau de gaz du four, soit le niveau de production, ainsi que la vitesse et l'alimentation en synchronisation. Les méthodes qui doivent être utilisées son souvent décidées par des limitations, dans le procédé, si l'usine veut un rendement de production maximum.

Si les limites du procédé sont l'alimentation de gaz ou ventilateur de tirage, le contrôle doit alors être effectué par des changements de production tandis que le gaz et le ventilateur doivent se maintenir stables au niveau maximum.

Mais, s'il est préféré un niveau de production plus bas, en raison de limitations de capacité dans l'alimentateur ou dans le rendement du broyeur crû, le four peut être contrôlé par l'un des deux modes ci-dessus. Le mode normal serait d'introduire une consigne de production plus basse dans le FUZZY et la température du four serait contrôlée par des changements dans le débit du gaz.

¹ 18 à 25 limites que le saut dans le couple doit dépasser pour que le FUZZY détecte une chute de croûtage.

Mais si le mode de contrôle utilise semble plus efficace, celui-ci peut toujours, être utilisé en introduisant une limite maximum plus basse sur le débit de gaz et en l'introduisant sur le FUZZY. Le débit de gaz se maintient alors stable à ce niveau plus bas, ayant pour conséquence un rendement de production plus bas, bien que le niveau exact d'alimentation du four serait difficile à prévoir, car il dépendrait des fluctuations dans la qualité de l'alimentation du four.

Les deux systèmes d'alimentation, A et B n'ont pas le même niveau maximum de production, l'alimentateur A ayant un maximum de 128 t/h, alors que B peut atteindre 144 t/h. Cela signifie que dans le cas de niveaux de production normaux proches à 128 t/h, l'alimentateur B devrait être utilisé de façon à ce que le FUZZY continue à contrôler la température de la zone de cuisson par les changements dans le niveau de production. Sinon il devra changer au contrôle par gaz avec un niveau de production maximum.

✿ Index de Température de la Zone de Cuisson (BZTI)

Il s'agit d'un chiffre entre -1 et 1, représentant une indication de la température du four, vue par rapport à la consigne de qualité pour chaux libre dans le clinker.

- - 1.0 à - 0.3 : le four est froid, chaux libre est trop haute.
- - 0.3 à + 0.3 : le four est parfait, chaux libre est proche à la consigne.
- + 0.3 à + 1.0 : le four est chaud, chaux libre est trop basse.

Le calcul du BZTI se base sur les indications suivantes :

- | | |
|---|-----------------|
| ✓ Signal couple four | (TQE) = (0.20) |
| ✓ Température au-dessus du préchauffeur | (TMP) = (0.80) |
| ✓ Échantillons poids litre | (LTW) = (0.15) |
| ✓ Échantillons chaux libre | (FCAO) = (0.85) |

Les chiffres de la colonne de droite indiquent l'importance de chaque signal ou échantillon. 20% du poids du signal du couple et 80% de la température max du préchauffeur. Ce qui signifie que la température est un signal bien plus intéressant pour l'évaluation de chaux libre.

15% du poids litre et 85% de la chaux libre. Ce n'est pas inhabituel, car c'est la chaux libre qui est intéressante du point de vue qualité, les poids litres étant parfois seulement une aide indicative des conditions de la zone de cuisson.

Les signaux TQE et TPM sont filtrés et retardés 1 ou 2 heures de façon à ajuster le temps que le clinker prend pour voyager depuis la zone de cuisson et en dehors de l'endroit d'échantillons et ensuite vers le laboratoire et finalement être inséré dans le système FUZZY.

Les échantillons FCAO et LTW sont utilisés comme les derniers 5 échantillons de façon à compenser les fluctuations dans le mélange crû, donc une moyenne est calculée pour les 5 dernières valeurs d'échantillons. Le BZTI est alors calculé en utilisant la consigne et les valeurs de gamme chaux libre et poids litre. La consigne chaux libre est : ZAN2SP=1.200%.

Cette échelle définira la sensibilité du BZTI, la gamme haute et ZAN2HL et la gamme basse est ZAN2LL. À partir des valeurs présentes, l'échelle de chaux libre apparaît comme suit : Gamme chaux libre : 0.40 – 1.20 – 2.20%.

En raison de l'importance de chaux libre dans le calcul du BZTI, l'exemple suivant peut alors être utilisé :

- ◆ Si (BZTI = 1) alors (chaux libre) $\geq 2.2\%$,
- ◆ Si (BZTI = 0) alors (chaux libre) $\geq 1.2\%$,
- ◆ Si (BZTI = -1) alors (chaux libre) $\geq 0.4\%$,

La consigne pour le poids litre est calculée dans le FUZZY, la valeur devrait correspondre à une valeur de chaux libre de 1.2%.

✦ **Index de stabilité de l'opération du four (KOSI)**

C'est la tendance du BZTI, indiquant la direction sur TMP et TQE durant les 6 à 15 dernières minutes. Ce chiffre se situe entre -1 et +1, de la même façon que -1 signifie que le four est entrain de se refroidir, +1 signifie qu'il est en train de chauffer. Le fait d'être proche de 0 est une condition stable.

En utilisant les BZTI et KOSI, le FUZZY peut désormais décider comment changer la température dans le four. Donc la chaleur devra être augmentée en cas de BZTI bas, et réduite en cas de BZTI élevé. En langage de logique floue, les deux règles sont :

- ◆ Si BZTI est bas alors TMP est élevée.
- ◆ Si BZTI est élevé alors TMP est réduit.

Si BZTI et KOSI sont indiqués dans les directions opposées, la situation donnera un plus petit changement car il est prévu que le BZTI soit amélioré. Dans les programmes du FUZZY, un changement de la chaleur peut en principe être désormais calculé (DFZH), ce changement peut être amélioré soit par le débit de gaz, soit par le niveau de production.

V.2.4. Programme de Conduite du Four par "FUZZY LOGIC"

La conduite du four par le système de "FUZZY" est commandée par le mini-ordinateur. Les règles de commande sont enregistrées via une console de visualisation. Et constituent, dans leur ensemble, une stratégie de conduite qui décrit ce qu'il faut faire dans chaque situation. Les règles de conduite du four sont écrites en langage clair, en utilisant des expressions courantes comme « haut, bas, normal, beaucoup, peu ».

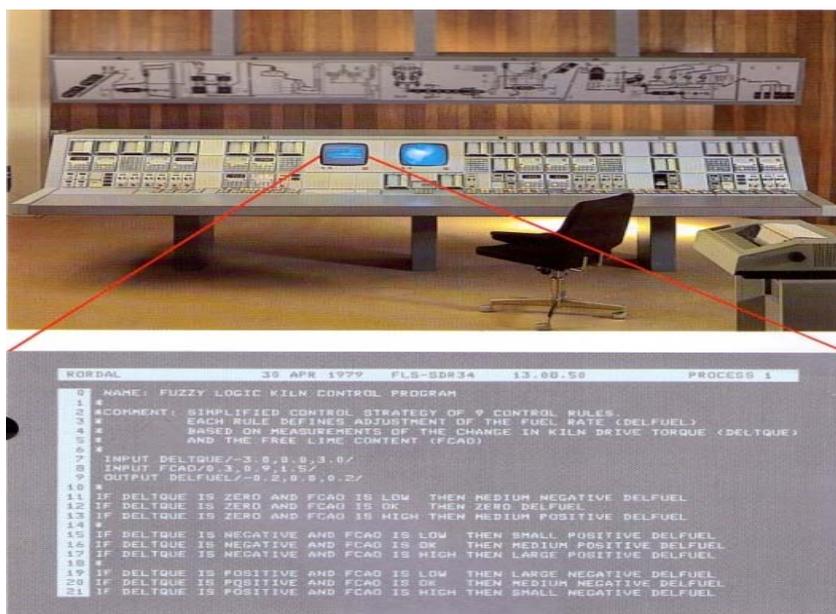


Figure 5.2 : Écran de visualisation avec stratégie simplifiée de conduite de four par neuf règles.

Un programme traite les données et les transforme pour appliquer les réglages demandés. L'ordinateur enregistre automatiquement, au moyen de mesures, toutes les Informations. En appliquant la technique de logique floue, le programme décide ensuite, sous une forme entièrement numérique, dans quelle mesure l'état de marche du moment correspond effectivement aux conditions d'application de chaque règle de conduite et calcule le meilleur compromis entre les différentes propositions de corrections de la marche du four. Ensuite, l'ordinateur apportera automatiquement les corrections de conduite ou présentera, sur un écran de visualisation, le résultat de ses calculs pour contrôle et approbation de l'opérateur.

Ce procédé est typiquement utilisé au cours de la période de mise en marche du four durant laquelle l'opérateur suit attentivement le déroulement de la conduite automatique, et en ajoutant, retirant ou modifiant les règles de conduite au moyen du pupitre de commande, il « apprend » à l'ordinateur la conduite correcte du four. Lorsque l'opérateur est convaincu que la conduite du four se fait de manière adéquate, il peut le laisser fonctionner en automatique.

V.2.4.1. Structure du Programme et Objectifs

🌟 Programmes

Chaque objectif des trois groupes : contrôle de la zone de cuisson, combustion et procédure de mise en marche du four, sont représentés par trois programmes dans le FUZZY, appelés : Déviation, Règlement et Sortie. L'objectif de chacune de ces trois sections est :

🌟 **Déviation** : détection d'une situation du procédé ou entre autres mots, calcul de combien l'objectif est loin de sa consigne. Lorsque la consigne est 0, l'objectif est rempli et aucune action ne doit être entreprise.

Normalement la déviation sera 1.0 ou 0.0, mais pour certains objectifs, la déviation se situera entre -1 et +1. Ce qui permettra aux objectifs avec une priorité de second ordre d'opérer au même moment. Si un objectif à priorité de premier ordre a une déviation de

1.0, aucun objectif à priorité de second ordre ne pourra alors fonctionner. Le nom de programme serait : F1G102D, G1 : groupe, 02 : objectif, D : déviation.

✿ **Règlement** : le programme règlement contient le « savoir-faire » générale de ce qui doit être fait lorsque le procédé se trouve dans ce cas. la majeure partie des règles spéciales sont due à l'utilisation du gaz comme combustible. Si par exemple il s'agit de l'objectif oxygène bas, le changement normal serait alors d'augmenter le tirage, un petit changement dans l'augmentation de la vitesse du ventilateur de tirage est envoyé au programme de sortie. Le nom serait : F1G102R, G1 : groupe, 02 : objectif 2, R : règle.

✿ **Sortie** : le programme de sortie contient le calcul des changements finaux à faire, en multipliant les facteurs d'amplification sur chaque boucle. De plus un contrôle de limite pour chaque boucle est réalisé et à la fin testé si c'est le moment du contrôle. La plus grande partie des objectifs devront faire un changement chaque 2 à 6 semaines s'ils sont activés. Le nom est : F1G102O, G1 : groupe, 02 : objectif 2, O : output.

✿ Chronométrage

À chaque objectif sont attribués deux paramètres, contenant le chronométrage pour le contrôle, une limite inférieure et une autre supérieure pour le contrôle, où l'unité est en minute. Si les deux limites ont un chiffre déterminé semblable, par exemple 2 minutes, l'objectif, s'il est activé, aura alors des actions chaque deux minutes.

Si les deux limites ne sont pas les mêmes, alors l'importance de la déviation décidera quel est le laps de temps qui doit exister entre chaque changement. Si la déviation est proche de -1 ou +1, c'est une durée courte qui est choisie, car le procédé est considéré instable et l'objectif loin de la consigne. Si la déviation est proche de 0.0, c'est alors une grande durée qui est choisie et très peu de changements auront lieu. Le calcul du temps est une fonction linéaire entre les deux limites enregistrées par la déviation.

✿ Priorité

Le choix de l'objectif qui doit fonctionner n'est pas seulement basé sur le calcul de la déviation de chaque objectif, mais une priorité est attribuée à chaque objectif dans un groupe. Les objectifs avec la priorité de premier ordre auront la permission de fonctionner si la déviation n'est pas 0.0 et si leur déviation est 1.0, alors aucun autre objectif avec une priorité de seconde ordre ne pourra fonctionner jusqu'à ce que la situation du procédé soit terminée et la déviation de nouveau à 0.0. (15)

V.2.4.2. Les Règles Floues du Contrôle du Four

On a essayé de simuler les règles de contrôle mises par FLS dans MATLAB à partir de la documentation du programme FUZZY. Les figures suivantes montrent les figures des ensembles flous, les règles de contrôle et la surface dans plusieurs cas de réglage, à chaque fois où les règles de contrôle sont changées.

1. Variation Couple Four, Chaux Libre et Taux de Combustion

Le système de contrôle flou a deux entrées Variation dans le couple du four (DelTQE), la chaux libre (FCAO), et une sortie qu'est le taux de combustion (DelFuel). Où :

Chapitre 5 : Diagnostic et Maintenance par Logique Floue

NEG : négatif, POS : positif, LOW : bas, HIGH : élevé, LNEG : négatif grand, MNEG : négatif moyen, SNEG : négatif petit, SPOS : positif petit, MPOS : positif moyen, LPOS : positif grand.

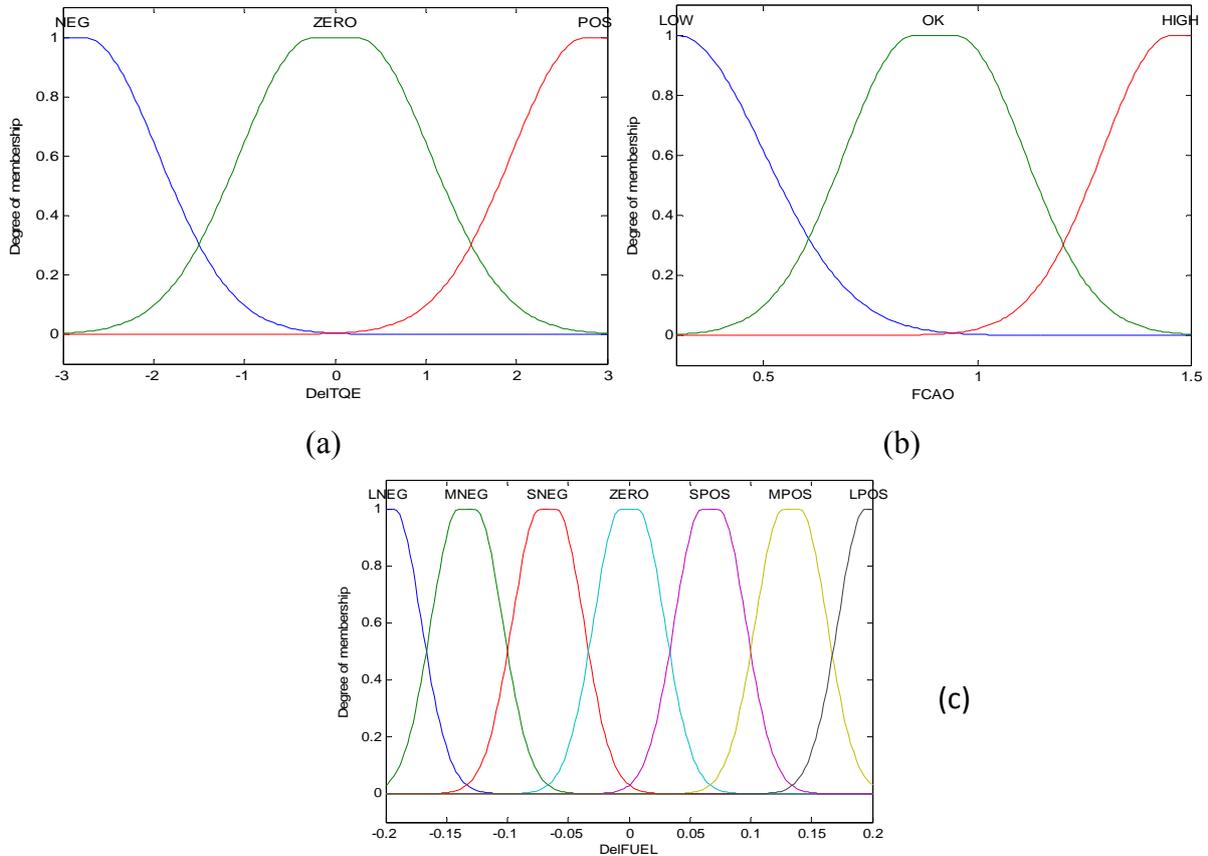


Figure 5.3: (a) (b) Entrées et (c) sortie du système FUZZY

Selon le programme FYZZY, plusieurs règles floues pour le contrôle du four, ces règles sont extraites du document de Contrôle du four par Logique Floue (16), et on a essayé de le réaliser dans Matlab :

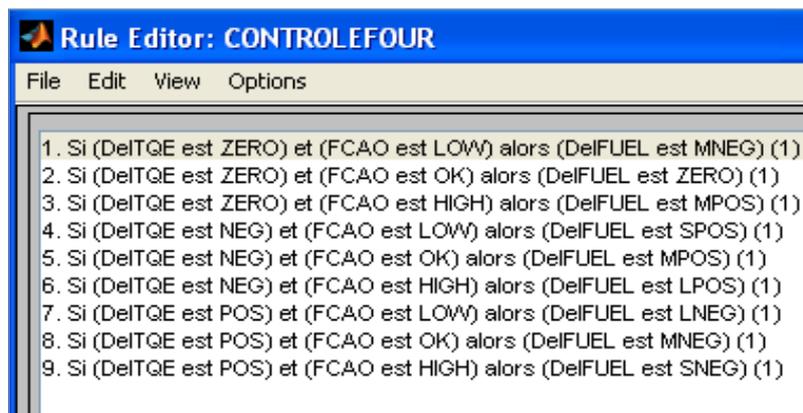


Figure 5.4: Règles de contrôle flou

En appliquant ces règles floues comme illustré dans la figure 5.5. Si par exemple, le couple du four est changé de -1.2%, et la chaux libre de 0.54%, le taux de changement de combustion sera = -0.04 m³/h.

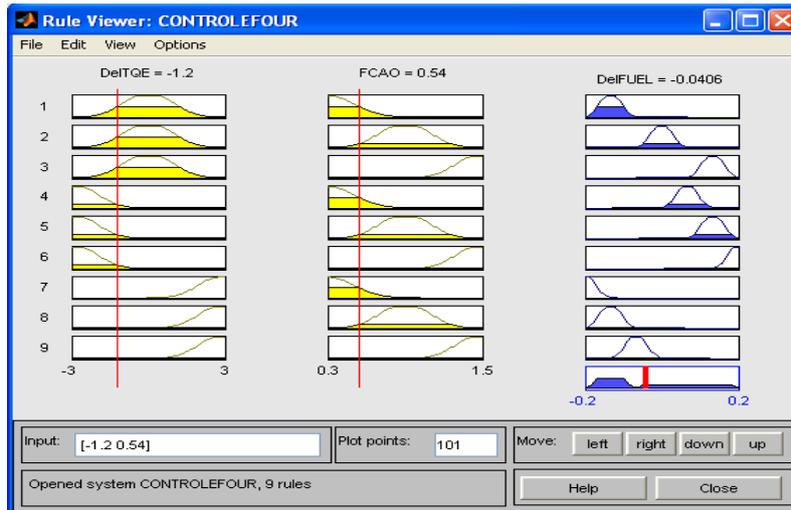


Figure 5.5: Defuzzification des règles de contrôle

La surface générée par ces règles floues est montrée dans la figure suivante :

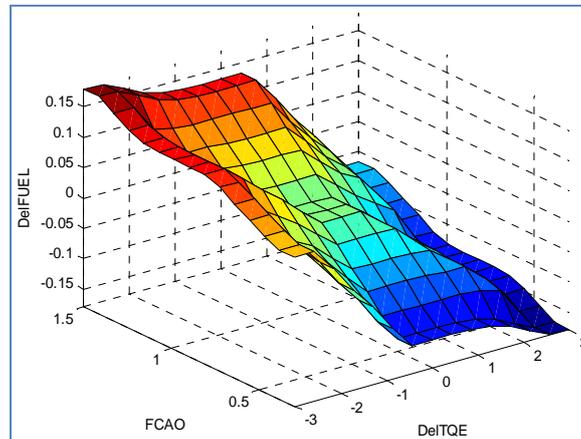
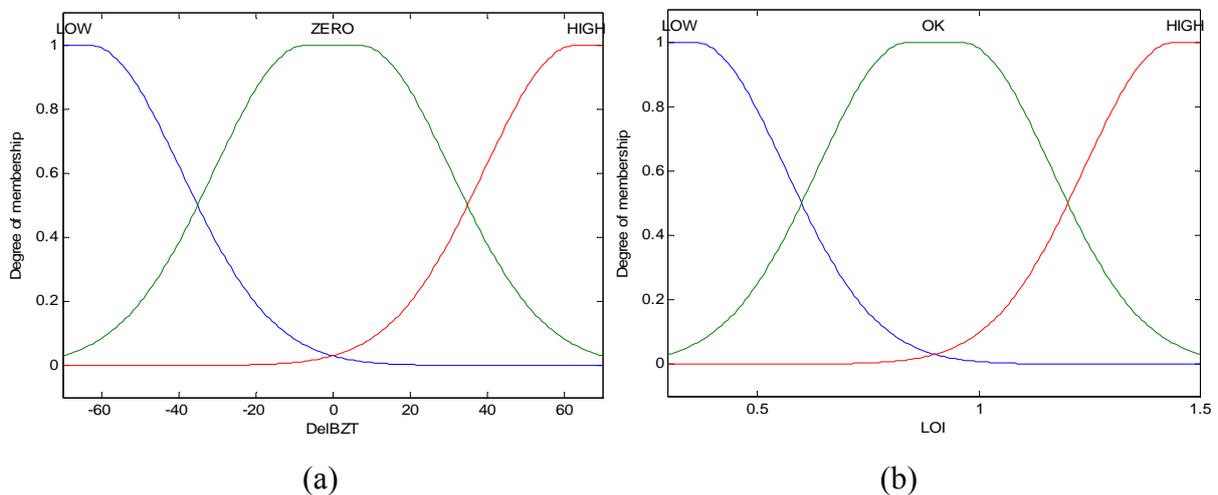


Figure 5.6: Surface générée par les règles floues

2. Température de zone de cuisson, perte au feu et taux de combustion

Le système de contrôle flou a deux entrées Variation dans la température de la zone de cuisson (DelBZT), la perte au feu (LOI, LOSS of Ignition), et une sortie qu'est le taux de combustion (DelFuel).



Chapitre 5 : Diagnostic et Maintenance par Logique Floue

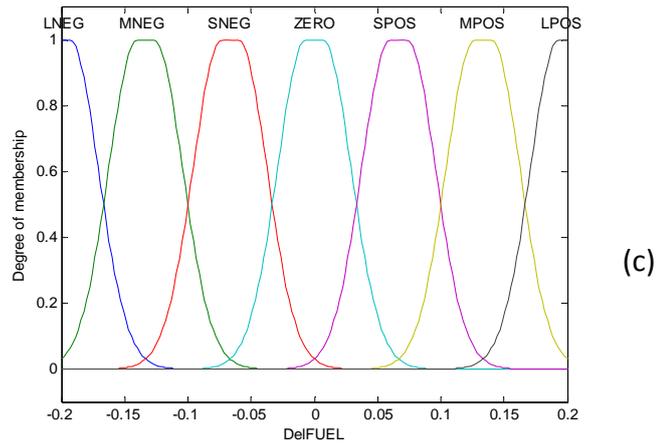


Figure 5.7: (a) (b) Entrées et (c) sortie du système FUZZY

Les règles de contrôle flou sont extraites du document de FLS (17), et on a essayé de les appliquer dans Matlab :

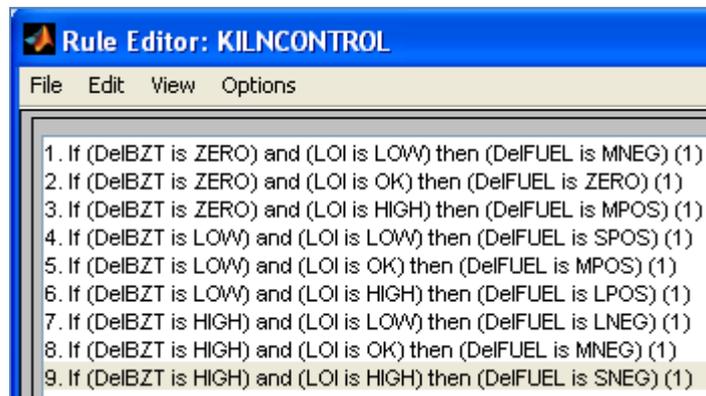


Figure 5.8: Règles de contrôle flou

En appliquant ces règles floues comme illustré dans la figure 5.5. Si par exemple, la température dans la zone de cuisson est changé de 25.7%, et la perte au feu de 0.54%, le taux de changement de combustion sera = 0.025 m³/h.

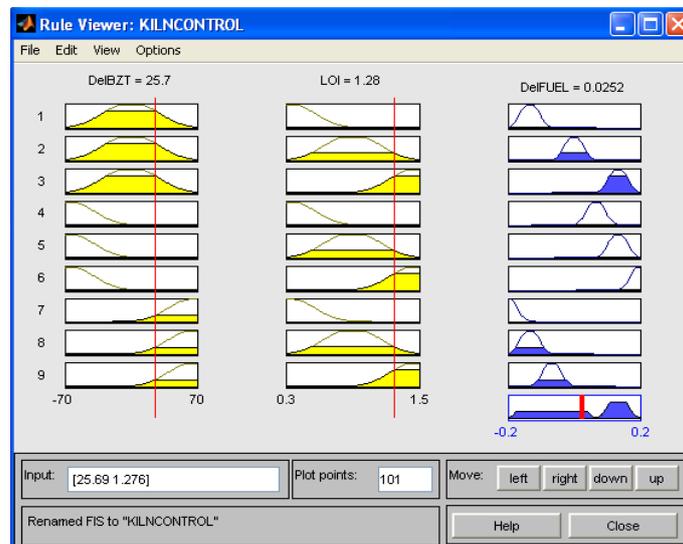


Figure 5.9: Defuzzification des règles de contrôle flou

La surface générée par ces règles floues est montrée dans la figure suivante :

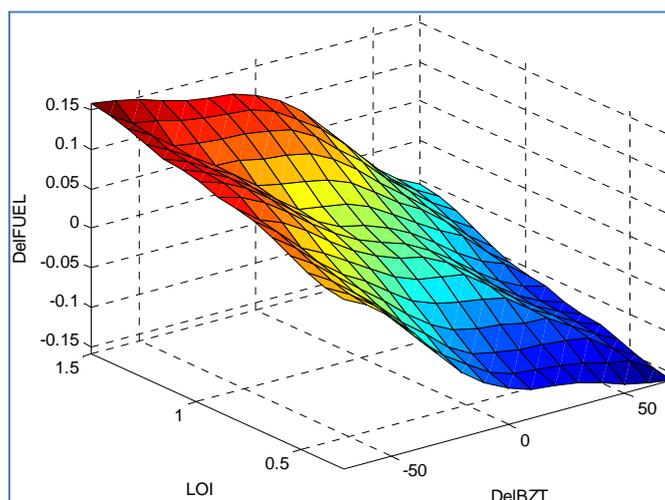


Figure 5.10 : Surface générée par les règles de contrôle flou

V.2.5. Commentaires

La technique de « FUZZY LOGIC » (logique floue) qui vient d'être mise au point par FLS dans les cimenteries, a été testée à l'échelle industrielle et a prouvé son aptitude à la réalisation d'une marche optimale et stable du four. Le système assure une conduite uniforme de 24 heures par jour et élimine de ce fait des variations de forme de conduite par différents opérateurs.

La stratégie de contrôle 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.

Cependant la marche du FUZZY dans la SCIMAT n'est pas comme elle est souhaitée, plusieurs arrêts, plusieurs alarmes, et plusieurs problèmes sont provoqués. Les opérateurs n'ont pas pu réagir avec se système. N'ont même pas pu le comprendre, ni de travailler avec FUZZY LOGIC.

Voici un tableau d'historique de la marche du système FUZZY depuis son installation en 1987 jusqu'à son arrêt en 1997. (18)

| Date | Démarrage | Arrêt | Cause | Observation |
|------------|-----------|--------|-----------------------|-----------------------------|
| 22/11/1987 | 08h:00 | 13h:07 | Croutage | Diminuer la vitesse du Four |
| 28/11/1987 | 10h:35 | 10h:31 | Travaux sur analyseur | |
| 29/11/1987 | 04h:00 | 01h:25 | Défaut analyseur | |
| 30/11/1987 | 16h:35 | 16h:20 | Défaut analyseur | |

| | | | | |
|------------|------------------|------------------|---|--|
| 06/12/1987 | 10h:10 | 19h:30 | Four chaud | |
| 11/12/1987 | 08h:38 | 15h:25 | Croutage | Diminuer la vitesse du Four |
| 12/12/1987 | | 10h:15 | Refroidissement du Four | |
| 13/12/1987 | 22h:58 | 03h:20 | Trop de tirage | |
| 15/12/1987 | 07h:40 | 22h:35 | Trop de tirage | |
| 03/04/1988 | 06h:10 | 22h:10 | Refroidissement du Four | |
| 08/04/1988 | 01h:00 | 00h:39 | Refroidissement du Four | Cl = 2.90 |
| 09/11/1996 | 11h:00 | 09h:02 | Air mini | |
| 10/11/1996 | 23h:05 | 08h:15 | Bourrage de W2A54CY | Blocage de matière |
| 11/11/1996 | 18h:20 | 05h:56 | Refroidissement du four | |
| 12/11/1996 | 08h:38 | 09h:10 | Trop de tirage par J2J01 | Ventilateur |
| 13/11/1996 | 21h:25 | 01h:02 23h:54 | PAL >1450 pendant 3 heures successives + défaut d'analyseur de gaz PAL =1457 + toujours alarme F2CTFZ1 | Condition de déclenchement (PAL max = 1400) Contrôle de gaz |
| 14/11/1996 | 21h:25 | 23h:54 | Chute de gaz (bruleur) | Four froid |
| 15/11/1996 | 05h:48 | | | |
| 16/11/1996 | 10h:28 | 06h:10 | Défaut analyseur | |
| 17/11/1996 | 07h:20 17h:20 | 13h:05 | Four froid | Température = 1126°C (température max = 1400) |
| 18/11/1996 | | 00h:12 | Chute croutage | Brique |
| 19/11/1996 | 03h:50 12h:00 | 05h:22 22h:48 | Défaut analyseur Four chaud + PAL élevé | PAL =1500, débit gaz =5710 |
| 20/11/1996 | 04h:43 | 08h:08 | Chute croutage | Brique |
| 25/11/1996 | 14h:20 | 15h:00 | QCX à l'arrêt | |
| 26/11/1996 | 05h:10 | 05h:31 | Ventilateur J2J01 | Pression max1 = 44% |

| | | | | |
|------------|----------------------|--------|---|--|
| 01/03/1997 | 16h:10 23h:33 | 18h:08 | Four froid | FUZZY a diminué le gaz, PAL= 1280 => PAL=700 T=1040 => T=900 |
| 02/03/1997 | | 03h:00 | Four froid | FUZZY a diminué le gaz, PAL= 1217 => PAL=1000 T=1050 => T=900 |
| 18/03/1997 | 08h:35 13h:00 | 12h:13 | Défaut analyseur | Consigne : faire marcher le FUZZY pour four 1 après 16 ^H :00, en cas où vous avez une alarme Co (mauvaise combustion), diminuer légèrement gaz V31 afin d'éviter le refroidissement du four par augmentation de tirage |
| 19/03/1997 | 10h:30 | 09h:25 | Ventilateur J1J01 | Arrêt du four |
| 05/04/1997 | 11h:32 | 15h:59 | PAL > 1400 pour 3 heures successives | Condition de déclenchement |

Tableau 5.2 : Historique de marche du FUZZY LOGIC du four

La marche du FUZZY n'est pas continue, selon les opérateurs, il pose beaucoup de problèmes, chaque après un déclenchement du système, il y'aura une rupture de 2 ou 3 mois pour un autre enclenchement.

F.L. SMIDTH a un nouveau système de logique floue à installer dans la cimenterie, c'est un package séparé, et sera enclenché après la stabilisation du système. Cependant, les opérateurs disent qu'il ne sera jamais en marche, et c'est ce que on va le voir avec le nouveau système appelé ECS/ProcessExpert.

V.3. Le Nouveau Système : ECS/ProcessExpert

V.3.1. Introduction

N'y a pas de grands changements dans le processus du contrôle, le nouveau système de contrôle flou, ProcessExpert est inspiré de la même façon et presque les mêmes règles de contrôle.

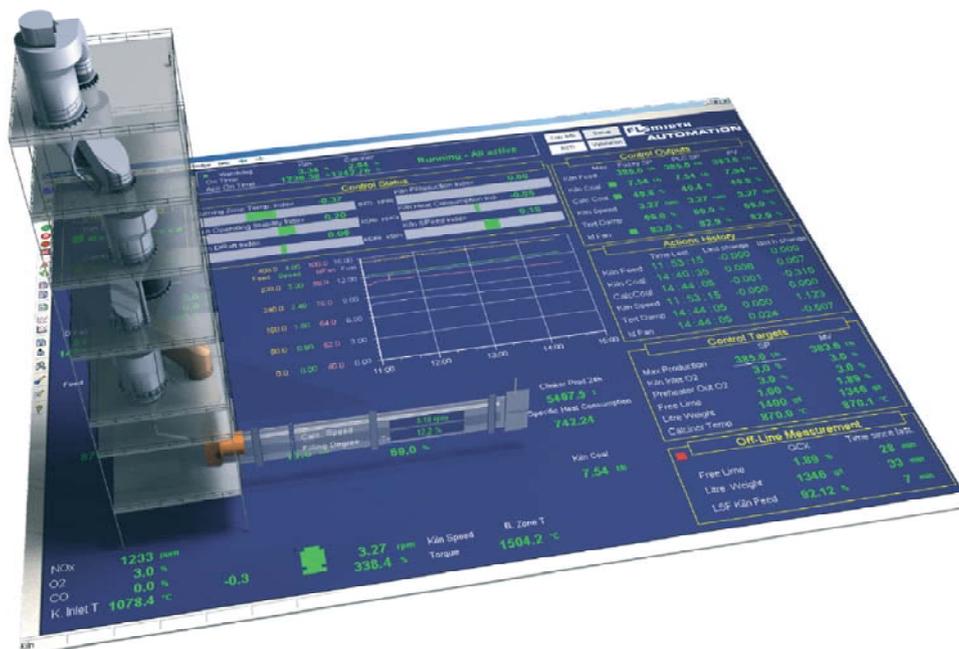


Figure 5.11: Vue 3D pour ProcessExpert (19)

ECS/ProcessExpert est une solution de contrôle et d'optimisation de haut niveau pour les processus complexes, tels que les processus de cuisson. Le contrôle est optimisé à l'aide des fonctions avancées de l'application ProcessExpert, personnalisées pour répondre aux exigences de chaque utilisateur. Le système de contrôle et d'optimisation repose sur la célèbre plateforme industrielle ECS (Expert Control & Supervision), spécialement développée pour ses fonctions de télésurveillance, de supervision et de rapport.

Selon le type d'application des techniques, système expert avancées, une logique floue, des réseaux neuronaux et un contrôleur prédictif à base de modèles (MPC), sont utilisées dans les modules de l'application ProcessExpert afin de permettre des schémas de contrôle hybrides en vue de répondre aux exigences liées à un contrôle de processus donné. Ces modules procèdent à des évaluations complexes et régulières des conditions des processus, et exécutent des actions de contrôle appropriées de façon plus fréquente et plus fiable que les opérateurs humains.

Comme une boîte à outils ouverte, l'application ProcessExpert permet la personnalisation des solutions implantées afin de répondre aux besoins de chaque usine en incorporant les connaissances de tout ce qui concerne les contrôles. Le système ProcessExpert assiste 24 heures sur 24 les opérateurs dans leurs tâches de contrôle.

Pour les modules de contrôle ProcessExpert, il convient de souligner les caractéristiques de base suivantes :

- ❁ Le système de contrôle ProcessExpert est un outil général d'implantation de stratégies de contrôle de haut niveau, c.-à-d, de schémas de contrôle qui prennent des décisions et exécutent des actions au même niveau que les opérateurs humains.
- ❁ Le système de contrôle ProcessExpert peut être utilisé pour contrôler et optimiser une vaste gamme de processus différents.
- ❁ Le système de contrôle ProcessExpert peut servir à évaluer les décisions à des niveaux plus élevés encore, comme le point de consigne de la chaux libre, sur la base des analyses de la charge du four, du type de clinker et des informations sur les additifs utilisés dans le système de broyage du produit fini.
- ❁ Le concept « priorités » offre un contrôleur puissant, où la spécification exacte de points de consigne et d'autres paramètres n'est pas particulièrement critique. La « priorité » tend à éliminer les spécifications en conflit, telles qu'un point de consigne erroné pour la température de gaz de fumée par rapport à l'objectif de combustion complète.
- ❁ La prise en charge des données statistiques et la validation automatique des mesures dans le système de contrôle ProcessExpert contribuent à renforcer la puissance du contrôleur.
- ❁ Des algorithmes dédiés pour le calcul des « indicateurs clés de performance et indicateurs de service » sont largement utilisés dans les applications de contrôle pour permettre aux utilisateurs d'évaluer le fonctionnement des processus.

Les systèmes fournis intégralement sont configurés selon les spécifications de la cimenterie ou sous la forme d'une « boîte à outils » utilisée par les ingénieurs pour développer les applications et la stratégie de contrôle souhaitée.

Pour les ingénieurs de l'installation qui connaissent l'environnement logiciel MATLAB (application tierce pour une modélisation avancée des processus et une configuration avancée du contrôleur), la boîte à outils ProcessExpert comprend une interface intégrée pour l'exécution de programmes basés sur Matlab au sein des applications développées dans ProcessExpert.

II.1.1. Application ECS/ProcessExpert pour Four

La production d'un clinker de bonne qualité est une tâche complexe si tous les facteurs pertinents, tels que la stabilité du four, l'efficacité du combustible, la production maximale et la protection de l'équipement mécanique, sont pris en compte.

Le processus du four est influencé par les perturbations internes et externes (figure 5.12), telles qu'un changement du contrôle du four par les différents opérateurs, un changement de la qualité de la charge du four, la préparation de la charge et la qualité du combustible, l'instabilité du refroidisseur et les conditions de revêtement. Toutes ces perturbations entravent le contrôle.

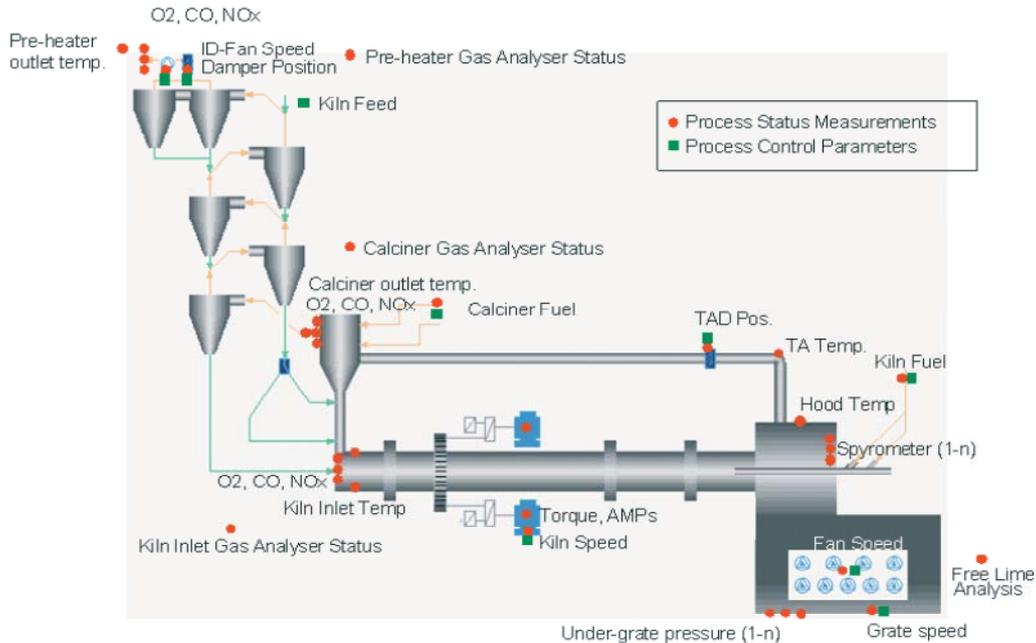


Figure 5.12: Points perturbant le contrôle flou du four (19)

Plus de 150 installations par FLS dans le monde entier, montre que l'utilisation du module de contrôle du four ECS/ProcessExpert peut offrir les avantages suivants :

- ❁ Économie de combustible (3 à 5 %).
- ❁ Économie de réfractaire (30 à 50 %).
- ❁ Réduction considérable des formations d'anneaux.
- ❁ Amélioration de la qualité de clinker.
- ❁ Augmentation du facteur de marche du four et du taux de production (jusqu'à 5 %).

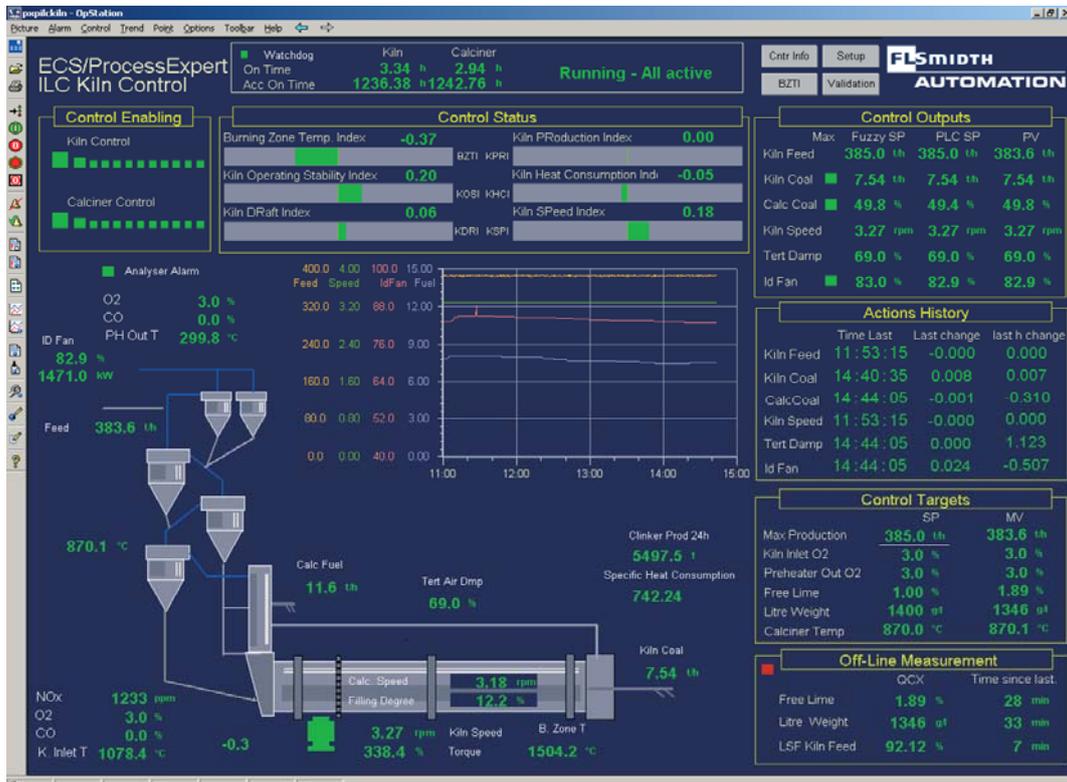


Figure 5.13: Interface ECS/ProcessExpert (19)

Le module de contrôle automatique du four, ProcessExpert (figure 5.13) entre en action lorsque le four a atteint environ 70 % de sa capacité. À partir de là, le contrôleur prend en charge les points de consigne disponibles, tels que :

- ❁ Niveau de combustible.
- ❁ Vitesse de remplissage.
- ❁ Vitesse du four.
- ❁ Vitesse du ventilateur de tirage.

Le contrôleur agit fréquemment (généralement toutes les cinq à dix secondes) sur les variations de plus de 35 à 40 mesures de processus et indicateurs, compare leur tendance statistique aux conditions de marche visées et modifie en conséquence les points de consigne disponibles en ligne. Il est assez naturel qu'un opérateur humain ne puisse pas prendre en charge autant d'informations et calculer les actions nécessaires à la fréquence requise. Parallèlement, chacun sait que chaque four possède un comportement spécial qui lui est propre et exige des contrôles particuliers qui ne sont connus que par des opérateurs expérimentés de la cimenterie.

Grâce à l'application de ProcessExpert, aux connaissances sur les processus de la personne chargée de la mise en service et aux connaissances disponibles de l'opérateur, la mise en service de module de contrôle du four vient de compléter l'application de contrôle du four spécifique. De plus, des stratégies de contrôle dédiées pour la prise en charge de perturbations telles que chute d'anneaux, hauteur teneur en CO dans le préchauffeur ou température élevée dans le préchauffeur, sont également incluses dans l'application ProcessExpert pour four. (20)

II.1.1.1. L'Explorateur d'ECS/ProcessExpert (PxpExplorer)

L'explorateur ProcessExpert est lancé depuis le menu démarrer seulement, où la fenêtre suivante sera affichée (figure 5.14) (21) contenant toutes les unités de processus à contrôler :

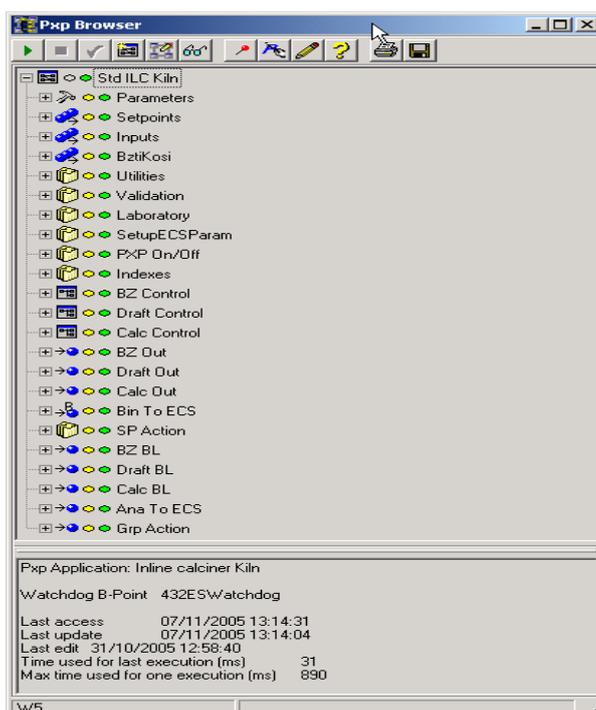


Figure 5.14 : Boite de dialogue de sélection de l'unité à contrôler

Cette fenêtre est composée de trois parties : la première partie est la barre d'outils, la deuxième est une arborescence pour les unités de processus, et la partie trois est une description de l'unité sélectionnée.

a- La barre d'outils : 

La barre d'outils contient plusieurs boutons, chacun d'eux, a une fonction, est peut être activé ou désactivé selon l'unité sélectionnée. Où chaque bouton signifie :

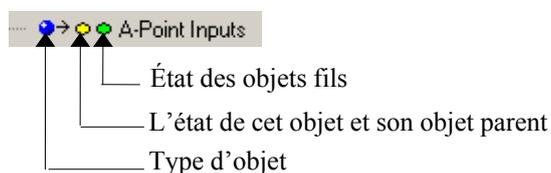
-  Démarrer ou activer l'objet sélectionné,
-  Arrêter ou désactiver l'objet sélectionné,
-  Redémarrer l'alarme de l'objet sélectionné,
-  Créer une nouvelle unité dans l'éditeur,
-  Éditer l'objet sélectionné dans l'éditeur,
-  Démarrer l'écran de l'objet sélectionné,
-  L'explorateur reste en haut de la fenêtre,
-  Apparaître seulement les paramètres (entrées, sorties, points et variables sont cachés),
-  Entrer le mode d'édition,
-  Ouvrir l'aide de l'explorateur,
-  Imprimer l'objet sélectionné,
-  Enregistrer les modifications dans un fichier .PDF ou .RTF.

b- L'arborescence des objets : C'est l'élément essentiel de l'explorateur de ProcessExpert, il affiche l'état de l'unité de processus et ces objets. Ainsi les valeurs de chaque objet de cette unité. Dans cette arborescence, on peut explorer le contenu de chaque objet, en cliquant sur « + », et on réduire en cliquant sur « - ».

c- La description de l'objet : C'est une zone de description indiquant l'état de l'objet sélectionné. Si l'objet sélectionné est une unité de processus, la zone affiche le nom d'unité, le type de l'application, le dernier accès, dernière exécution, et dernière modification. Affiche aussi le temps de la dernière exécution et le temps maximum d'une exécution (les deux en millisecondes).

d- La barre d'état : Cette barre est affichée au-dessous de la zone de description, la partie gauche affiche l'identificateur ID de l'objet sélectionné, l'ID est unique utilisé pour chercher les informations de l'objet. Si ID est une entrée, sortie, variable, paramètre ou points, la valeur est affichée dans la partie droite de la barre d'état.

e- L'état de l'objet : Chaque objet admet un type et un état dépendant de l'état de son parent ou de son fils, et chaque couleur, a une indication spécifique. Les figures suivantes présentent des exemples sur des états différents d'un objet.



- 🌿 Vert : l'objet est en cours d'exécution.
- 🌿 Bleue : l'objet prêt à l'exécution mais n'est pas activé.
- 🌿 Jaune : l'objet est arrêté parce que son parent est arrêté.
- 🌿 Gris : l'objet est arrêté.
- 🌿 Rouge : l'objet est arrêté à cause d'une erreur.

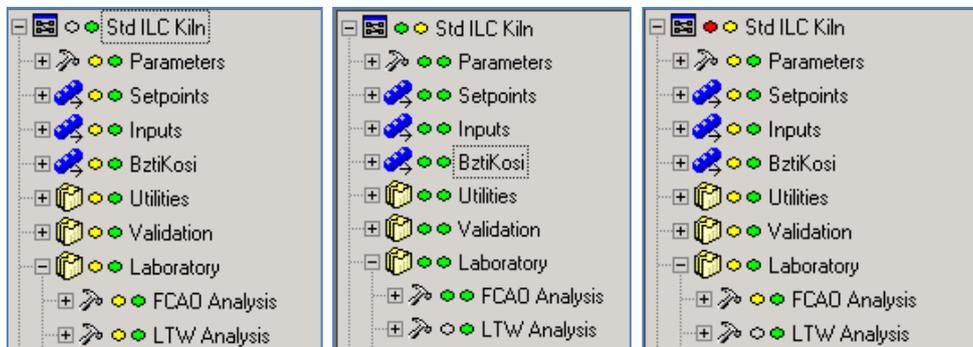


Figure 5.15: État des objets dans l'explorateur d'ECS/ProcessExpert

f- Édition des paramètres, entrées et sorties

Il est possible de changer les valeurs des paramètres, des entrées et des sorties. Ceci, si en cliquant sur  et entrer les valeurs correspondantes. (21)

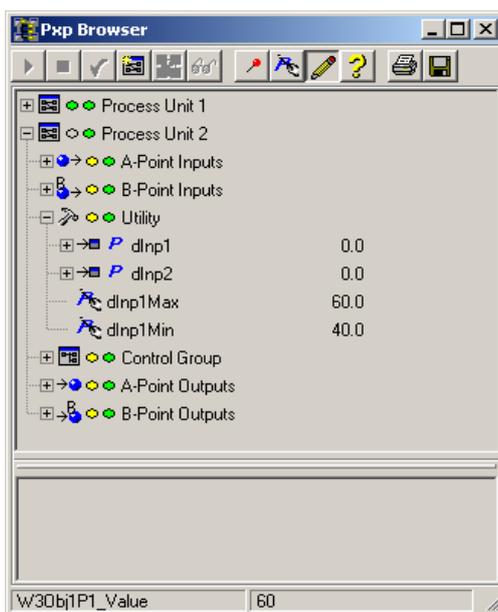


Figure 5.16: Saisie des valeurs des objets dans l'explorateur ECS/ProcessExpert

II.1.1.2. Circulation d'Information dans ECS/ProcessExpert

L'opérateur utilise la mimique de l'OP-Station pour contrôler le processus. Ainsi, toutes les fonctions de ProcessExpert, à savoir, le démarrage, l'arrêt, changement des points de consigne, et supervision des valeurs calculées. Toutes les modifications sont enregistrées dans la base de données de processus. ProcessExpert a trois interfaces pour l'utilisateur :

- 🌿 L'explorateur, pour démarrer, arrêter et contrôler toutes les unités.
- 🌿 L'éditeur, pour créer ou éditer les différentes unités de processus.
- 🌿 L'écran, pour les détails et paramètres affichés des unités de processus.

Ces trois interfaces sont connectées à un serveur d'ECS/ProcessExpert, comme il est illustré dans le schéma suivant (figure 5.17). (22)

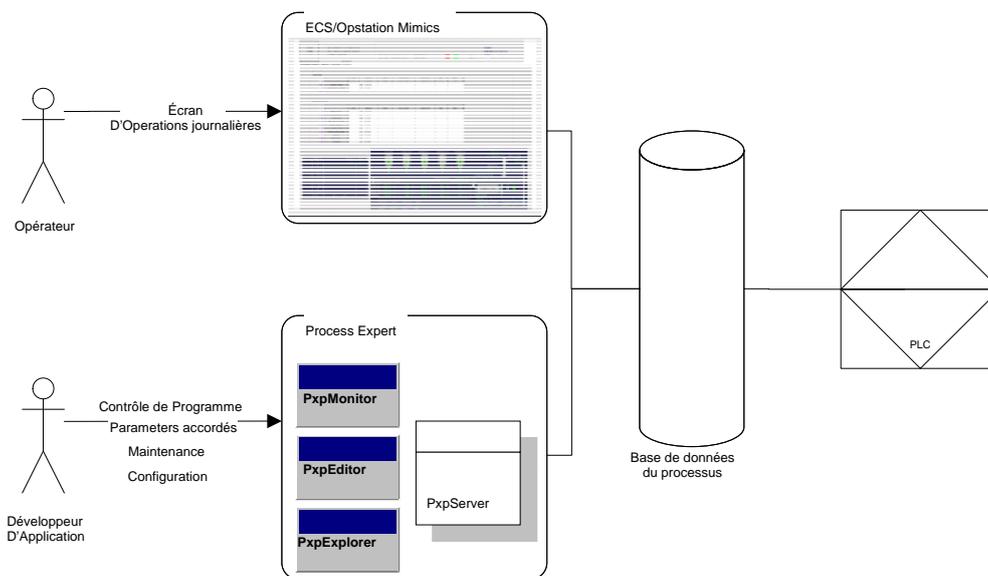


Figure 5.17: Circulation de l'information dans ProcessExpert

II.1.1.3. Écran ProcessExpert (PxpMonitor)

C'est l'élément de supervision dans ProcessExpert, il permet aux opérateurs de suivre la circulation de l'information entre les unités de processus. Dans cet écran, ils peuvent aussi changer les valeurs des données des objets en ligne (entrées, paramètres, variables, tableaux, matrices ou sorties).

Cependant, il est impossible de changer la structure, créer ou supprimer des unités, ces opérations sont autorisées dans l'explorateur ECS/ProcessExpert seulement.

II.1.1.3.1. Démarrer PxpMonitor

PxpMonitor, peut être démarré en utilisant le menu démarrer ou l'explorateur. Avec le menu démarrer, la boîte de dialogue de la figure 5.18 s'apparait. Avec cette boîte de dialogue on peut sélectionner l'unité à contrôler, p.ex., le four (kiln), on cliquant sur l'icône  de la barre d'outils de l'explorateur de ProcessExpert.

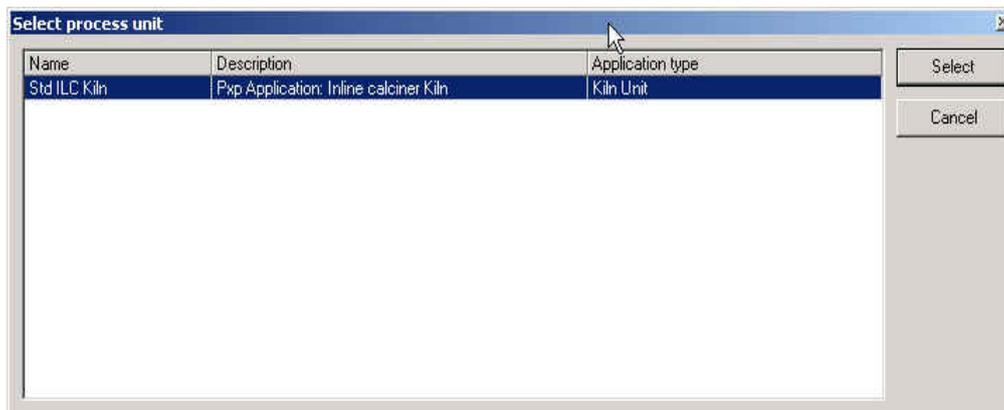


Figure 5.18: Selection d'unité four pour le contrôle flou

En cliquant sur le bouton Select, la fenêtre dans la figure 5.19 (22) s'apparaît, c'est l'unité « Four », et tous ces objets. Les couleurs, ont la même signification citée dans l'explorateur ECS/ProcessExpert.

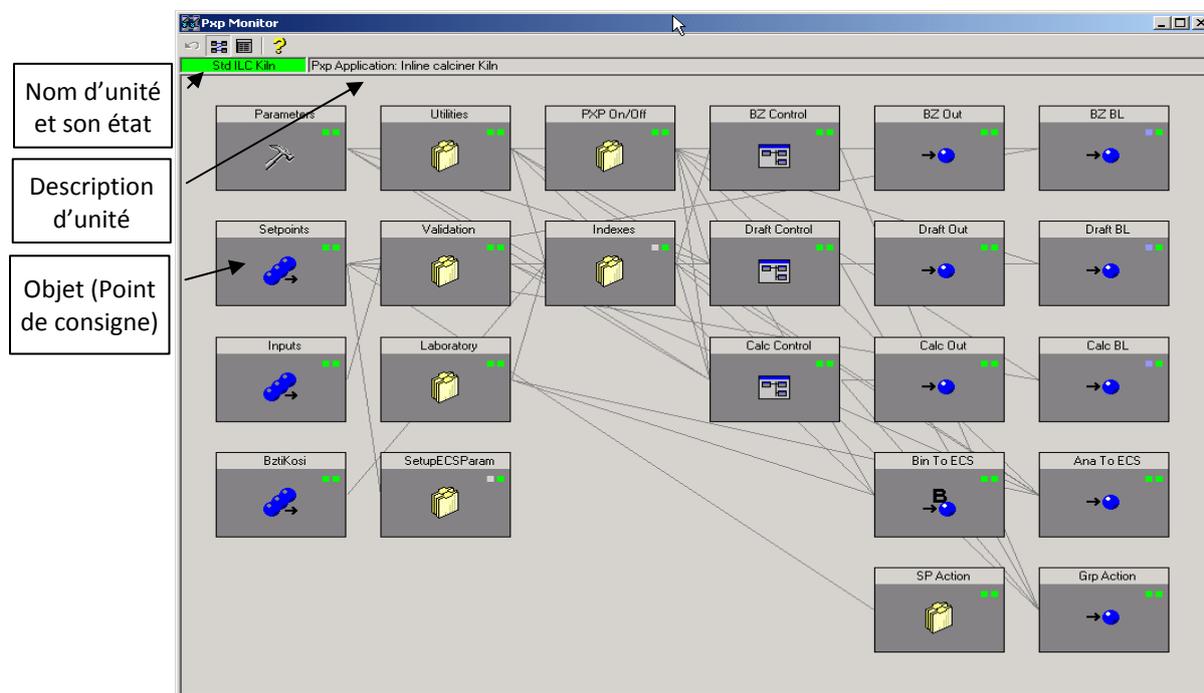


Figure 5.19 : L'unité de processus « Four » et ces objets

II.1.1.3.2. Affichage des Valeurs

Si en cliquant avec le bouton droit de la souris sur un objet, un menu contextuel affichant trois fonctions peuvent être effectuées sur cet objet, comme il est montré dans la figure 5.20 (23), les fonctions sont :

- ☛ Afficher les valeurs : afficher les valeurs des entrées et des sorties.
- ☛ Entrer : changer la vue d'écran vers la vue d'objet sélectionné.
- ☛ Éditer : ouvrir l'éditeur sur l'objet sélectionné.

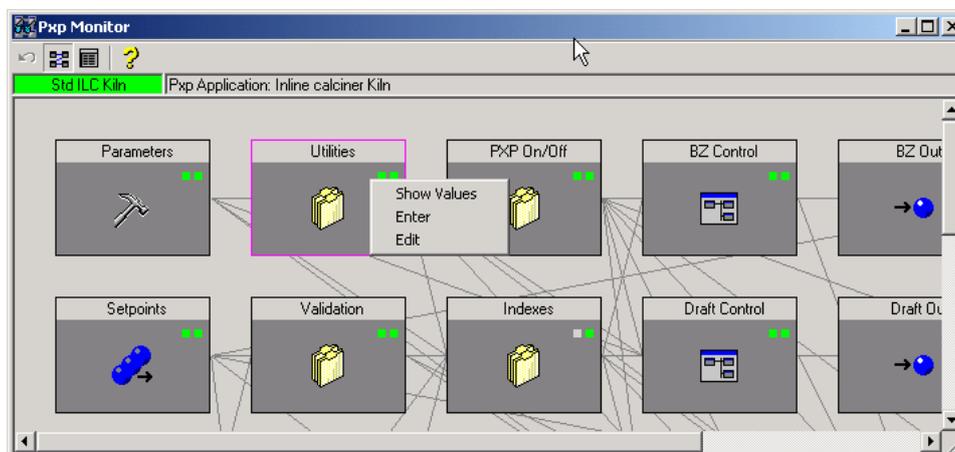


Figure 5.20 : Ouverture d'un objet

Avec un clic sur *Entrer* ou double clic de l'objet sélectionné, la fenêtre suivante est affichée. Par exemple pour les analyses du laboratoire, l'entrée chaux libre et poids litre sont apparait.

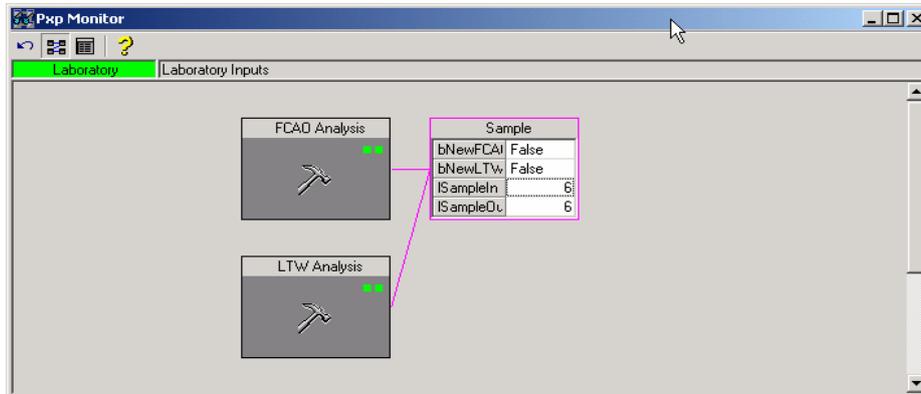


Figure 5.21 : Afficher les valeurs d'un objet

II.1.1.3.3. Les Points de Consigne dans ProcessExpert

Pour afficher les points de consigne des entrées, en cliquant sur Setpoints dans PxpMonitor, la fenêtre ci-dessous s'affiche. Les points de consignes peuvent être affichées, sont : vitesse de ventilateur de tirage, alimentation du four, vitesse du four et autres points. Devant chaque point de consigne, est affiché un code spécifique correspond ce point.

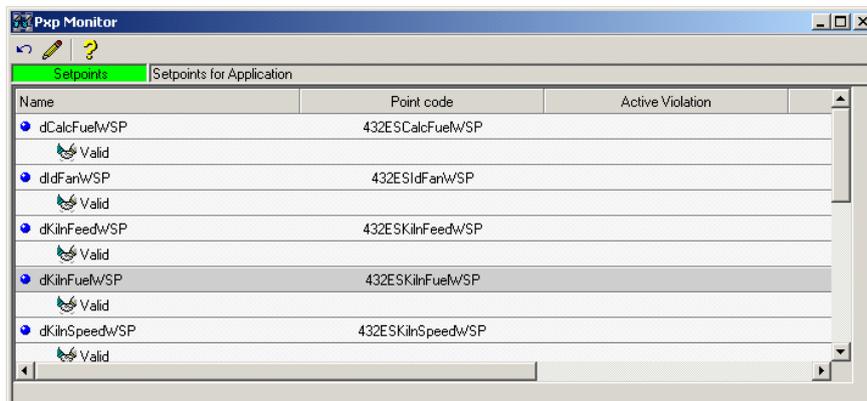
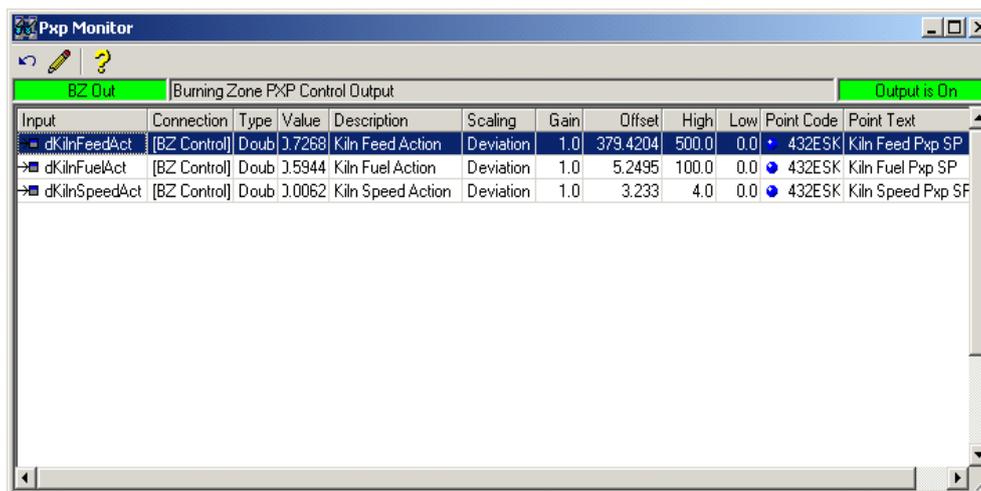


Figure 5.22 : Affichage des points de consignes

II.1.1.3.4. Les Sorties dans ProcessExpert

Action de clic sur *Out* affiche la fenêtre des sorties dans ProcessExpert (figure 5.23) (23), comme par exemple pour la sortie de contrôle de la zone de cuisson BZ, en affichant les entrées connectées (Alimentation du four, gaz de combustible et la vitesse du four). Ainsi, le type de chacune d'elles, la description, sa déviation, et autres informations.

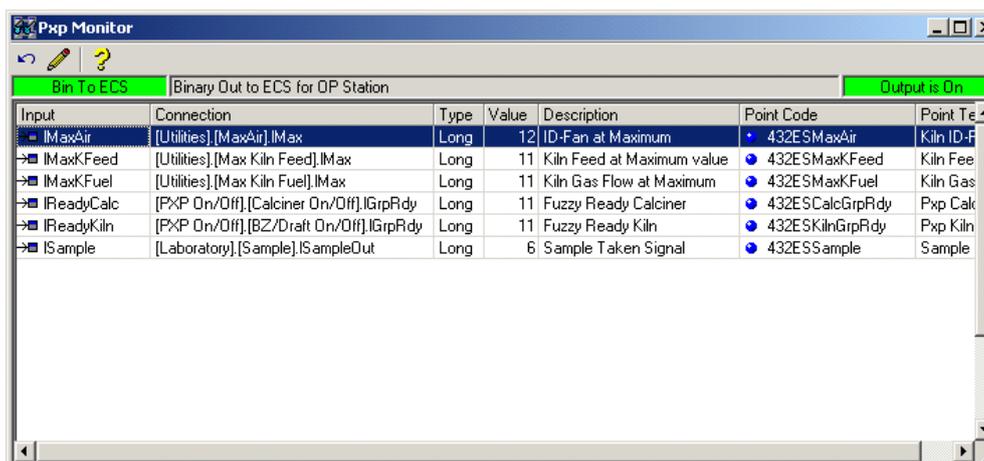


The screenshot shows a window titled 'Pxp Monitor' with a sub-header 'Burning Zone PXP Control Output'. A green bar at the top right indicates 'Output is On'. Below this is a table with the following data:

| Input | Connection | Type | Value | Description | Scaling | Gain | Offset | High | Low | Point Code | Point Text |
|---------------|--------------|------|--------|-------------------|-----------|------|----------|-------|-----|------------|-------------------|
| dKilnFeedAct | [BZ Control] | Doub | 3.7268 | Kiln Feed Action | Deviation | 1.0 | 379.4204 | 500.0 | 0.0 | 432ESK | Kiln Feed Pxp SP |
| dKilnFuelAct | [BZ Control] | Doub | 3.5944 | Kiln Fuel Action | Deviation | 1.0 | 5.2495 | 100.0 | 0.0 | 432ESK | Kiln Fuel Pxp SP |
| dKilnSpeedAct | [BZ Control] | Doub | 3.0062 | Kiln Speed Action | Deviation | 1.0 | 3.233 | 4.0 | 0.0 | 432ESK | Kiln Speed Pxp SF |

Figure 5.23 : Affichage d'une sortie d'ECS vers un point BZ

D'autres sorties sont affichées de l'ECS vers l'OPStation, contenant les mêmes informations affichées, les entrées, le type, la valeur, Et c'est ce qu'on peut le voir dans la figure 5.24. (23)



The screenshot shows a window titled 'Pxp Monitor' with a sub-header 'Binary Out to ECS for OP Station'. A green bar at the top right indicates 'Output is On'. Below this is a table with the following data:

| Input | Connection | Type | Value | Description | Point Code | Point Text |
|------------|--|------|-------|----------------------------|-----------------|------------|
| IMaxAir | [Utilities].[MaxAir].IMax | Long | 12 | ID-Fan at Maximum | 432ESMaxAir | Kiln ID-F |
| IMaxKFeed | [Utilities].[Max Kiln Feed].IMax | Long | 11 | Kiln Feed at Maximum value | 432ESMaxKFeed | Kiln Fee |
| IMaxKFuel | [Utilities].[Max Kiln Fuel].IMax | Long | 11 | Kiln Gas Flow at Maximum | 432ESMaxKFuel | Kiln Gas |
| IReadyCalc | [PXP On/Off].[Calciner On/Off].IGrpRdy | Long | 11 | Fuzzy Ready Calciner | 432ESCalcGrpRdy | Pxp Calc |
| IReadyKiln | [PXP On/Off].[BZ/Draft On/Off].IGrpRdy | Long | 11 | Fuzzy Ready Kiln | 432ESKilnGrpRdy | Pxp Kiln |
| ISample | [Laboratory].[Sample].ISampleOut | Long | 6 | Sample Taken Signal | 432ESSample | Sample |

Figure 5.24 : Affichage d'une sortie d'ECS vers OPStation

II.1.1.3.5. L'objet

✿ Modification du code d'objet

Cette fonction permet d'afficher la fenêtre d'édition du code, et l'arborescence des données (figure 5.25) (23). La partie droite, affiche les entrées, les variables, les sorties et les calculs à faire. La partie gauche ou l'arbre, affiche leurs types, valeurs, descriptions et connections.

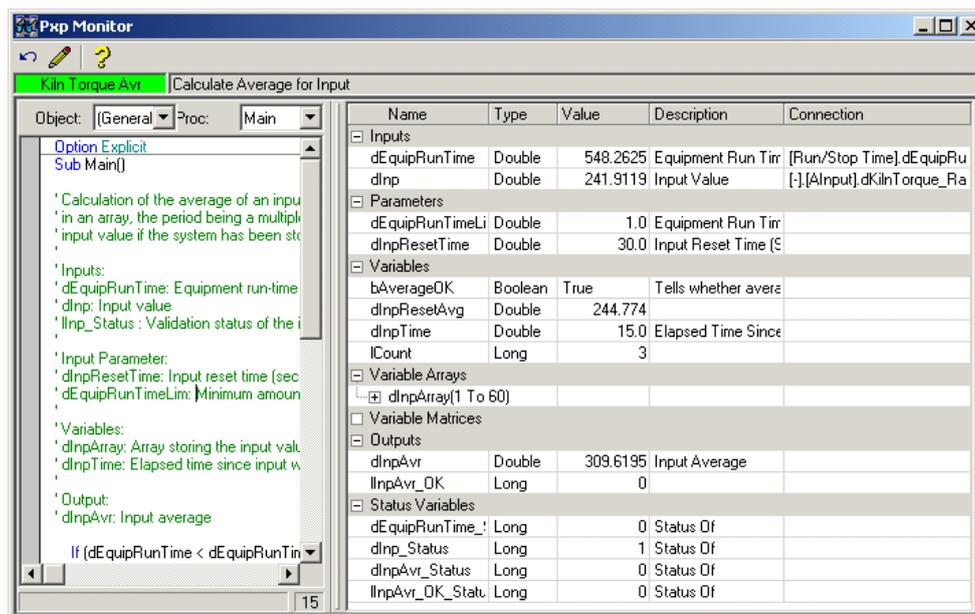


Figure 5.25: Modification du code d'objet

Les modifications sont faites en ligne par clic sur le bouton , un message d'alerte apparait (figure 5.26) indiquant que le code est modifié, et demande la confirmation de mise à jour.

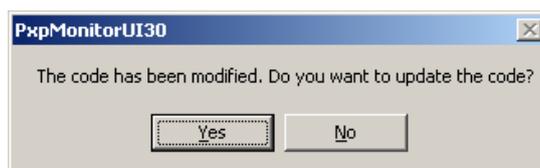


Figure 5.26 : Message de confirmation de mise à jour (23)

Indices d'objet

Les indices d'un objet sont les paramètres contrôlés dans une unité de processus. Comme par exemple pour le four, ces indices sont : vitesse, stabilité, température de calcination, production, et consommation de chaleur. Les modifications peuvent être en ligne aussi (figure 5.27) (23).

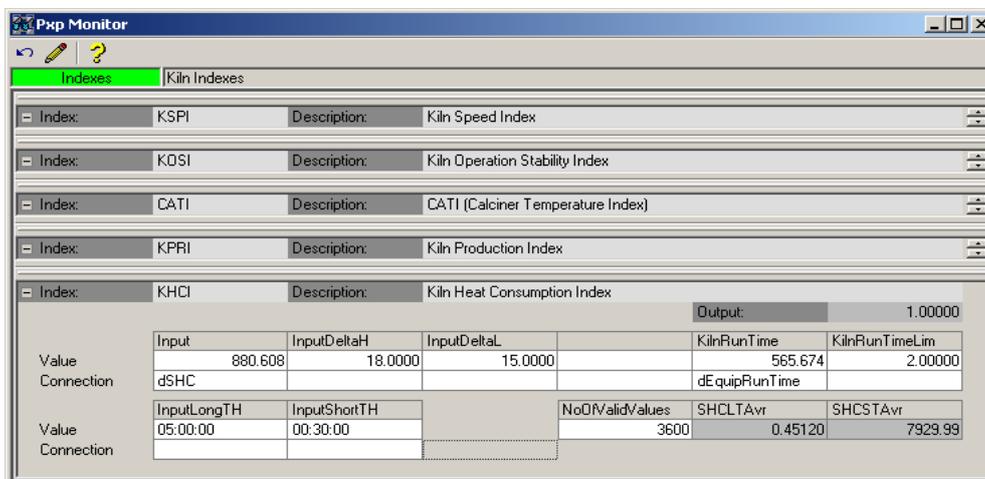


Figure 5.27: Indices d'un objet

Un objet Matlab

C'est un code source avec Matlab (figure 5.28) (23), intégré dans ProcessExpert pour des opérations spécifiques. La modification des valeurs se fait par un clic sur l'icône de Matlab dans l'arborescence de l'explorateur ProcessExpert, ou dans l'arbre de l'objet lui-même, et en ligne.

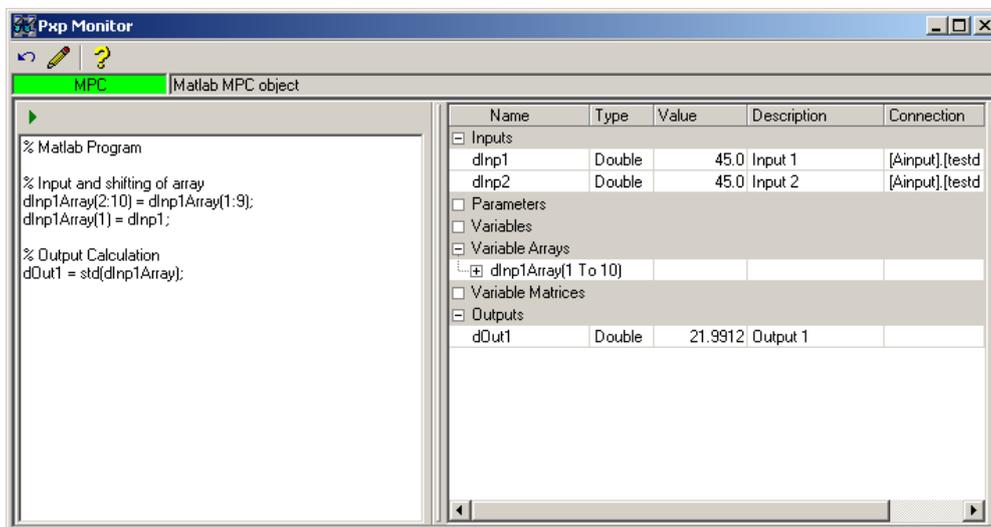


Figure 5.28: L'objet Matlab

II.1.1.3.6. Les Règles Floues

Cette fenêtre, (figure 5.29) (23) affiche les règles floues, l'arbre des valeurs et le graphe de Defuzification. BZTI : index de température de zone de cuisson, KOSI : index de stabilité de l'opération du four et HACT : Index de l'Action de Chaleur (changement de chaleur).

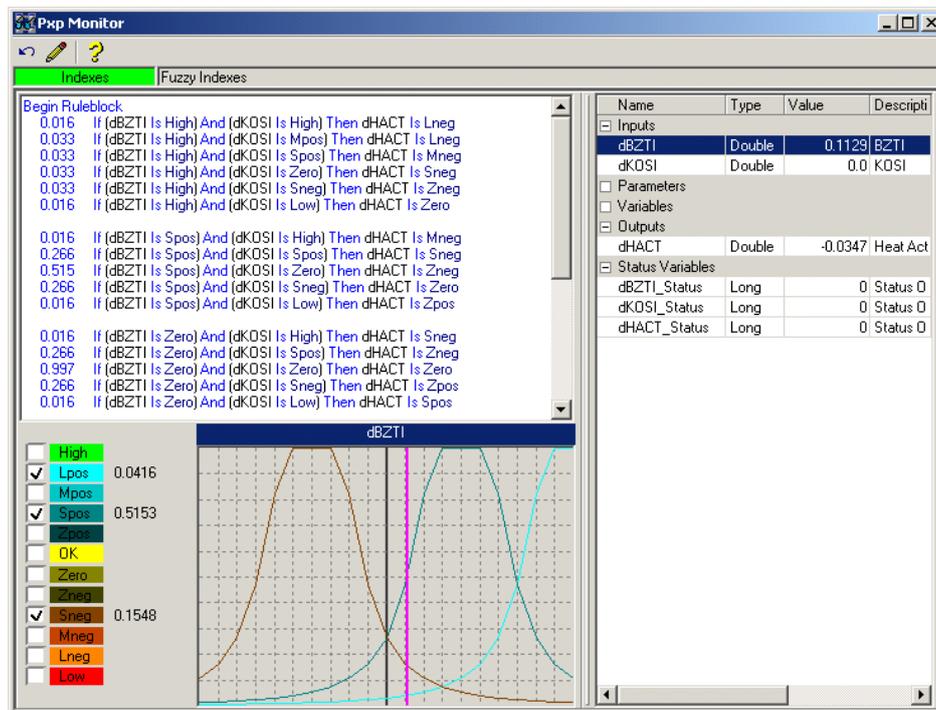


Figure 5.29: Règles de contrôle flou dans ECS/ProcessExpert

II.1.1.3.7. La Déviation

Autres règles floues sont ajoutées dans ProcessExpert pour régler la déviation. Pour changer ces règles ou éditer d'autres règles floues, on clique sur , et on confirme la mise à jour. Les règles floues de la déviation apparaissent dans la figure 5.30. (23)

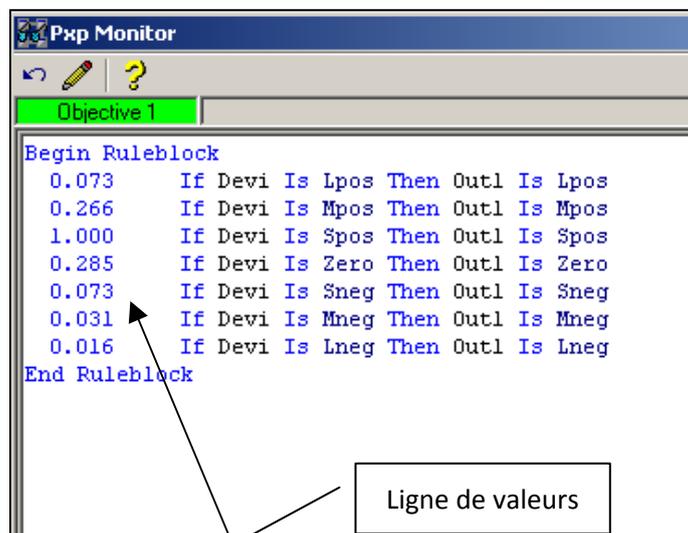


Figure 5.30 : Règles de déviation

II.1.2. Application ECS/ProcessExpert pour le Broyeur Ciment

La qualité du ciment produit dépend non seulement de sa composition chimique, mais aussi de ses valeurs de résistance influencées par la finesse du produit. La division du broyeur à ciment étant une source majeure de consommation électrique dans la cimenterie, le coût de la production de ciment, peut être réduit en maximisant l'efficacité de broyage du ciment. L'application de ProcessExpert pour le contrôle automatique du broyeur ciment vise à :

- ✿ Accroître la stabilité du broyage.
- ✿ Réduire le temps de démarrage (changement de produit) et donc la production hors spécification.
- ✿ Augmenter la finesse du produit « hors spécification » au lieu de le sur-broyer.
- ✿ Réduire la consommation électrique spécifique et accroître ainsi la capacité de broyage.
- ✿ Renforcer l'homogénéité de la qualité du ciment produit.
- ✿ Permettre la gestion automatique des recettes de produit et le changement de Production.

Selon la disponibilité des informations, la valeur actuelle et la tendance des mesures de processus sont prises en compte avec une fréquence de 10 à 30 s, et des décisions de contrôle appropriées sont prises par le système ProcessExpert.

Avec Quality Targets dans PxpMonitor (figure 5.31) (23), on peut voir les valeurs arrivant du laboratoire, comme la finesse du ciment, l' SO_3 , la température et la pression.

Quality Targets | Target for recipe corresponding to lab value

| Name | Value | Type | Description | Connection |
|----------|-------|--------|---------------------|------------|
| SwitchNo | | 1 Long | Block Switch Number | Output |

Outputs

| Name | Value | Type | Description |
|---------------|--------|--------|---------------------------------------|
| dFineness | 3200.0 | Double | Current Fineness Target |
| dLOI | 4.0 | Double | Current LOI Target |
| dMillDP | 0.0 | Double | Target for Differential Pressure over |
| dMillExitTemp | 125.0 | Double | Mill Exit temperature target |
| dSO3 | 3.0 | Double | Current SO3 Target |

Block: Recipe1 | Number: 1 | Default: True | Description: Values for Recipe 1

| Name | Value | Type | Description | Connection |
|---------------|--------|--------|---------------------------------------|------------|
| dFineness | 3200.0 | Double | Current Fineness Target | |
| dLOI | 4.0 | Double | Current LOI Target | |
| dMillDP | 0.0 | Double | Target for Differential Pressure over | |
| dMillExitTemp | 125.0 | Double | Mill Exit temperature target | |
| dSO3 | 3.0 | Double | Current SO3 Target | |

Block: Recipe2 | Number: 2 | Default: False | Description: Values for Recipe 2

| Name | Value | Type | Description | Connection |
|---------------|--------|--------|---------------------------------------|------------|
| dFineness | 2500.0 | Double | Current Fineness Target | |
| dLOI | 5.0 | Double | Current LOI Target | |
| dMillDP | 0.0 | Double | Target for Differential Pressure over | |
| dMillExitTemp | 120.0 | Double | Mill Exit temperature target | |
| dSO3 | 2.0 | Double | Current SO3 Target | |

Block: Recipe3 | Number: 3 | Default: False | Description: Values for Recipe 3

| Name | Value | Type | Description | Connection |
|---------------|-------|--------|---------------------------------------|------------|
| dFineness | 0.0 | Double | Current Fineness Target | |
| dLOI | 0.0 | Double | Current LOI Target | |
| dMillDP | 0.0 | Double | Target for Differential Pressure over | |
| dMillExitTemp | 0.0 | Double | Mill Exit temperature target | |
| dSO3 | 0.0 | Double | Current SO3 Target | |

Figure 5.31 : ProcessExpert du broyeur ciment

En outre, l'application d'un équipement de granulométrie en ligne fait partie intégrante de la stratégie de contrôle conçue dans les systèmes ProcessExpert. Cette application est utilisée dans l'ECS/QCX/BlendExpert déjà citée dans le chapitre précédent.

II.1.3. Contrôle Objective d'Objet

Le contrôle objective d'un objet contient quatre blocs, la déviation, les règles, le temps et les sorties (figure 5.32) (23). Chaque bloc montre les entrées et les sorties, le bloc Déviation a une courbe pour (Devi). Si l'objet utilisé est une règle floue, le bloc règle affiche le graphe des courbes de la sortie, sinon, le bouton Graph est désactivé.

La lampe  indique si le bloc est activé, est  indique qu'il est désactivé. Et la partie droite de la fenêtre affiche les changements dans les paramètres de contrôle.

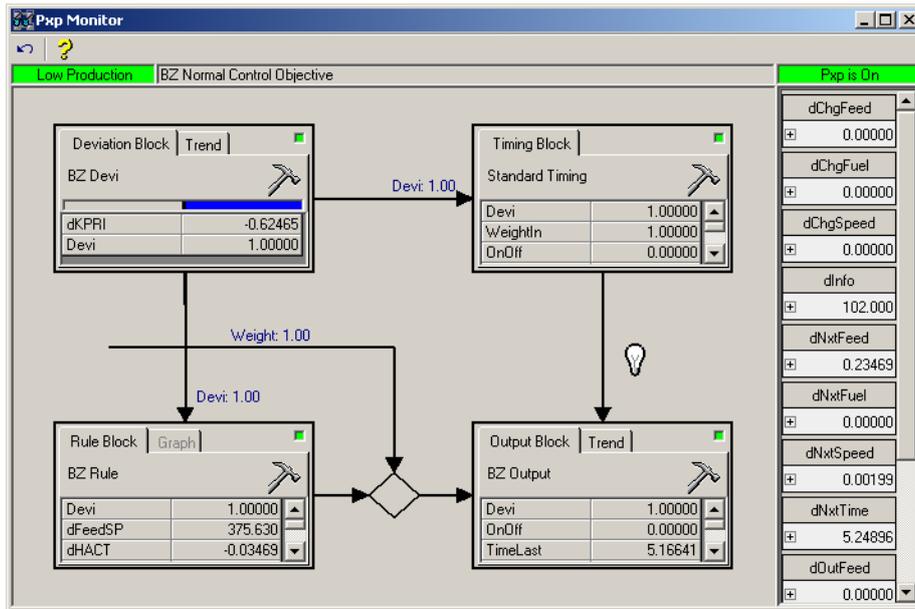


Figure 5.32 : Contrôle objective d'objet

II.1.4. Contrôle Groupe d'Objet

Le contrôle groupe peut contenir les types des objets suivants : contrôle objective d'objet, objet d'utilité, une règle floue et un objet Matlab. Ces objets peuvent être connectés dans une structure par priorité d'exécution dans cet ordre. La figure suivante (23), montre un contrôle groupe et des contrôles objectives d'objet.

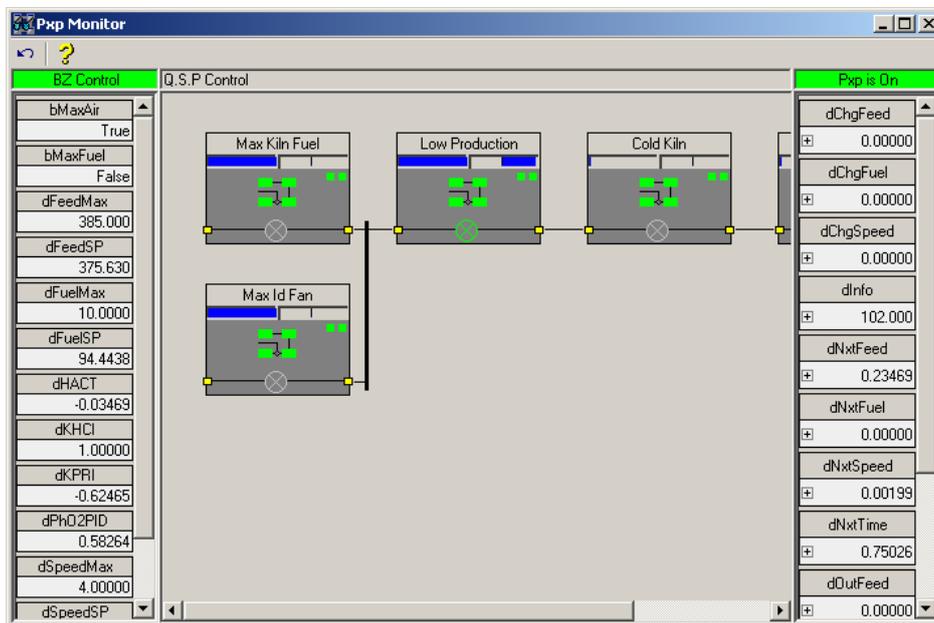


Figure 5.33 : Contrôle groupe d'objet

II.2. Conclusion

Les inconvénients de SDR/FUZZY sont éliminés dans le nouveau système ECS/ProcessExpert. ECS/ProcessExpert est l'application autopilote du contrôle du four, elle optimise l'application du processus normal, beaucoup mieux que 99% de tous les opérateurs s'elle est bien réglée et bien gérée.

Avec cette application, l'assurance de qualité continue est le but essentiel, elle peut être garantie par le contrôle, la supervision, le diagnostic et la maintenance du processus, utilisant tout les paramètres possibles, les indications, les points de consignes, etc.

Cependant, le majeur inconvénient, est la qualification de l'opérateur, son acceptation de cette application, son confiance à quel degré lui permet de réagir. Peut être avec l'expérience, il sera habituel, et ils peuvent l'accepter.

Partie 4

Application

Résumé

Malgré tout les avantages cités de ProcessExpert, son utilisation dépend de la stabilité du système. Sa disponibilité dans ce cas est optimale, mais dans le cas contraire, est totalement absente.

Notre contribution est le principe de décentraliser le contrôle flou sur les différents régulateurs et contrôleurs, où l'absence d'un n'influe pas sur les autres.

Aussi, une application est réalisée, utilisant Step 7 et FuzzyControl++ dans l'atelier Broyeur Ciment, pour le contrôle de la qualité du produit, et la régulation de sa finesse avec des régulateurs flous.

Dans le premier chapitre de cette partie, en citant l'environnement de travail, et les outils de programmation, soit d'automatisme ou de logique floue.

Dans le deuxième chapitre, on présente l'application avec des captures d'écran de l'interface, et les régulateurs et les contrôleurs flous utilisés.

Chapitre 6

L'Environnement de Travail

VI.1. Les Automates Programmables

VI.1.1. Introduction

Automate Programmable Industriel, API (Programmable Logic Controller, PLC) est un dispositif similaire à un ordinateur, ayant des entrées et des sorties, utilisé pour automatiser des processus comme la commande des machines sur une ligne de fabrication du ciment dans une usine. Là où les systèmes automatisés plus anciens emploieraient des centaines ou des milliers de relais et de cames avec la logique câblée, un simple automate suffit. Les automaticiens ou instrumentistes, sont les programmeurs de ces Automates Industriels.

L'API est structuré autour d'une unité de calcul ou processeur (Central Processing Unit, CPU), d'une alimentation et de modules suivant les besoins de l'application, tel que :

- ❁ Des cartes d'entrées/sorties (Input/Output) numériques (Tout ou Rien) ou analogiques.
- ❁ Cartes d'entrées pour brancher des capteurs, boutons poussoirs, ...
- ❁ Cartes de sorties pour brancher des actionneurs, voyants, vannes, ...
- ❁ Des modules de communication Modbus, Profibus, Ethernet, pour dialoguer avec d'autres automates, des entrées/sorties déportées, des supervisions ou autres interfaces homme-machine IHM (Human Machine Interface, HMI).
- ❁ Des modules dédiés métiers, tels que de comptage rapide, de pesage...
- ❁ Des modules d'interface pour la commande de mouvement, tels que démarreurs progressifs, variateurs de vitesse, commande d'axes.
- ❁ Des modules de dialogue (homme/machine) tel que le pupitre (tactile ou avec clavier), pour dialoguer avec l'automate par réseau industriel propriétaire, ou non et affichant des messages ou une représentation du procédé.

Les programmes des API sont traités selon un cycle précis : acquisition de toutes les entrées (recopie dans une mémoire image), traitement des données (calculs), mise à jour des sorties. Le temps d'un cycle d'API varie selon la taille du programme, la complexité des calculs et de la puissance de l'API. Le temps de cycle est généralement de l'ordre d'une vingtaine de millisecondes et est protégé par un chien de garde (watch-dog).

Les API se caractérisent par rapport aux ordinateurs par leur fiabilité et leur facilité de maintenance (bien que les ordinateurs industriels atteignent également un très bon degré de fiabilité). Les modules peuvent être changés très facilement et le redémarrage des API est très rapide.

VI.1.2. Le Super-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. Les caractéristiques qui font du S7-400 un super-automate :

- ✿ Des possibilités de communication et de mise en réseau optimales : Le S7-400 est l'outil idéal pour la coordination d'installations complètes et le pilotage de lignes de communication subordonnées avec stations esclaves, grâce à une puissance de communication élevée et des interfaces intégrées.
- ✿ Des CPU de puissances échelonnées : La puissance du S7-400 est graduable grâce à une gamme échelonnée de CPU, ce qui lui confère une capacité quasi-illimitée en périphérie d'E/S.
- ✿ Un automate S7-400 peut intégrer sans problème technique de sécurité et automatisation standard ; un S7-400 en configuration redondante augmente la disponibilité de l'installation.
- ✿ Une grande liberté dans le choix des emplacements : Le S7-400 possède une architecture modulaire, sans contraintes pour le placement des modules ; on peut puiser dans une gamme diversifiée de modules pour les configurations d'extension centralisée comme pour les structures décentralisées.
- ✿ La configuration et la programmation du S7-400 s'effectuent à l'aide du standard mondial STEP 7 ; les outils d'ingénierie SIMATIC contribuent à une réduction supplémentaire des coûts ; de puissantes fonctions de diagnostic intégrées augmentent la disponibilité du S7-400.
- ✿ Le S7-400 se prête sans problème à des extensions en service car les modules sont embrochables et débrochables à chaud. (24)
- ✿ Des CPU à compatibilité ascendante,
- ✿ Des modules sous boîtiers d'une grande robustesse,
- ✿ Une technique de raccordement des modules de signaux des plus confortables,
- ✿ Des modules compacts pour un montage serré,
- ✿ Une intégration confortable des systèmes de contrôle-commande,
- ✿ Le paramétrage logiciel de tous les modules,
- ✿ Un fonctionnement sans ventilation,



Figure 6.1 : Automate Programmable S7-400

Le système de diagnostic intelligent de la CPU contrôle en permanence le bon fonctionnement du système et du processus. Dans le cadre de cette surveillance, il enregistre les défauts ainsi que les événements spécifiques affectant le système (boîte noire de la CPU). Il est possible de lui ajouter des messages de diagnostic personnalisés.

Ce diagnostic permet de déterminer si l'acquisition des signaux (dans le cas de modules TOR) ou la conversion analogique (modules analogiques) se déroule correctement. En présence d'un message de diagnostic (p.ex. Absence d'alimentation capteurs), le module déclenche une alarme de diagnostic. La CPU interrompt alors l'exécution du programme utilisateur et traite le bloc d'alarme de diagnostic correspondant. Des alarmes de processus permettent de surveiller les signaux du processus et de déclencher des réactions aux modifications les affectant.

VI.1.3. La CPU 416-3 DP

La CPU choisie pour notre automate, est la CPU 416-3 DP, ce type de CPU a plusieurs avantages par rapport aux autres CPU. Les plus essentiels, le nombre de liaisons, mémoire, temps d'exécution des instructions (bits/μs) et l'espace d'adressage d'entrées/sorties (ko) sont illustrés dans le schéma suivant :

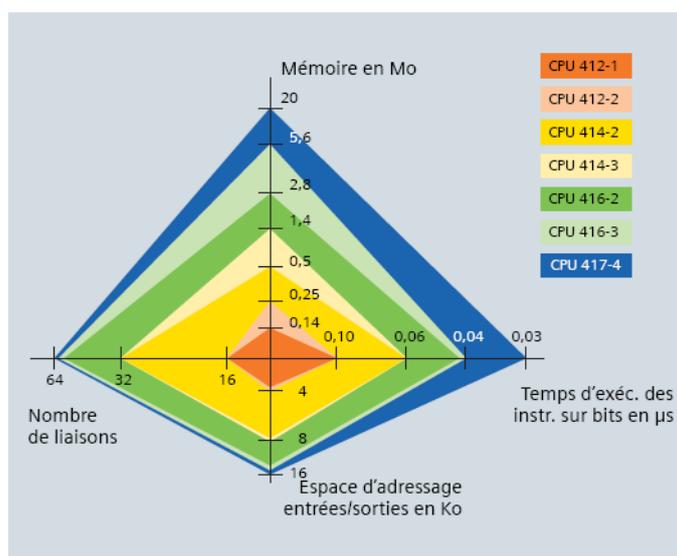


Figure 6.2 : Différences entre CPU 416 et les autres CPU

En ce qui concerne le temps de réponse aux alarmes de procédé, de diagnostic et le défaut asynchrone dans l'OB85 (OB d'erreur d'exécution du programme), chaque CPU est caractérisée par un temps de réponse. Le tableau ci-après résume les différences.

| CPU | Temps de réponse aux alarmes de procédé | | Temps de réponse à une alarme de diagnostic | | Défaut asynchrone (OB85 avec actualisation de la mémoire image) |
|----------|---|--------|---|--------|---|
| | Min | Max | Min | Max | |
| 412-1/-2 | 544 μs | 560 μs | 608 μs | 624 μs | 392 μs |
| 414-2/-3 | 325 μs | 335 μs | 365 μs | 375 μs | 300 μs |
| 416-2/-3 | 220 μs | 230 μs | 245 μs | 255 μs | 200 μs |
| 417-4 | 200 μs | 210 μs | 225 μs | 235 μs | 180 μs |

Tableau 6.1 : Temps de réponse des différentes CPU aux alarmes (25)

En observe que dans le schéma 6.2 et le tableau 6.1, la CPU 417-4 et mieux que 416, mais la CPU 416 est performante, suffisante et n'est pas plus cher que la CPU 417-4.

VI.2. Les Régulateurs Flous

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 invariables dans le temps ou dans le cas de régulations multi-grandeurs. Il peut remplacer ou compléter un régulateur classique.

Deux types de régulateurs existent, la boucle de régulation du premier type ne permet pas le dépassement mais prend plus de temps pour atteindre le point de consigne. La boucle de régulation du deuxième type permet le dépassement du point de consigne mais avec un degré décroissant jusqu'à l'atteinte du point de consigne (figure 6.3). Cependant le régulateur flou, peut éliminer les deux problèmes des régulateurs ordinaires déjà cités.

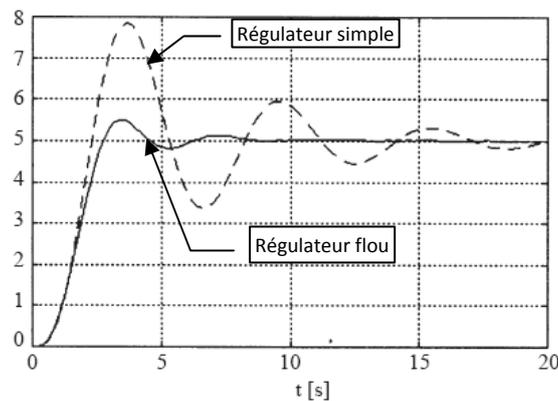


Figure 6.3: Degré de dépassement d'un régulateur flou et d'un régulateur simple

VI.3. Process Control System PCS 7

PCS 7 (figure 6.4) est un système de conduite de processus qui, grâce à de nombreuses fonctions automatiques, on peut créer un projet rapidement et facilement. PCS 7 contient plusieurs outils utilisés dans la programmation, parmi eux, Step 7 et WINCC.

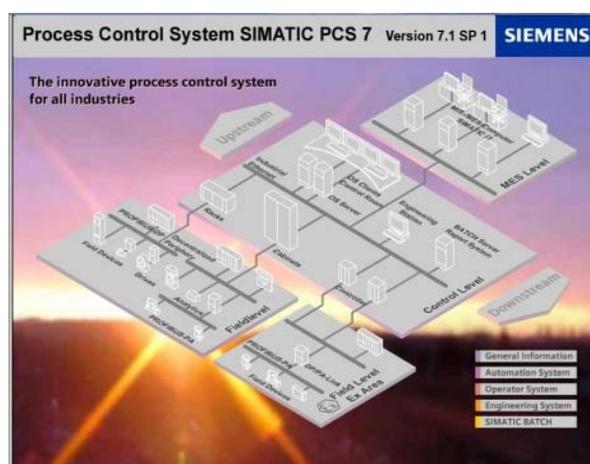


Figure 6.4: Interface PCS 7

Le démarrage de PCS 7 est avec SIMATIC Manager, l'application centrale et le portail d'accès à toutes autres applications qu'on peut les utiliser pour créer un projet PCS 7. Un projet PCS 7 est constitué des objets suivants :

- ❁ Configuration matérielle : configuration de l'ensemble du matériel d'une installation, p.ex. 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.

Il s'agit des objets de base présents, quelque soit le nombre de stations opérateurs, de modules ou de leur mise en réseau. (26)

VI.3.1. 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 STEP 7 pour des applications sur SIMATIC S7-300/400, SIMATIC M7-300/400 présentant des fonctionnalités supplémentaires :

- ❁ Possibilité d'extension grâce aux applications proposées par l'industrie des logiciels SIMATIC.
- ❁ 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. (27)

Step 7 est lancé en utilisant SIMATIC Manager, une fenêtre (figure 6.5) s'ouvre demandant de créer un nouveau projet avec l'assistant sinon, ouvrir un projet existant.

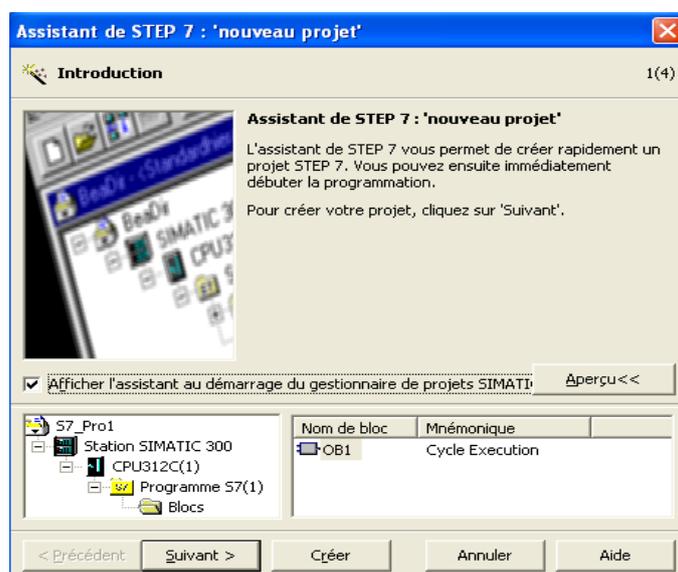


Figure 6.5: L'assistant de création de projet Step 7

Plusieurs langages (figure 6.6) sont en disposition du programmeur : Cont (Contact), List (Liste), Log (Logigramme), S7-Graph (Grafcet), ..., pour créer son projet.

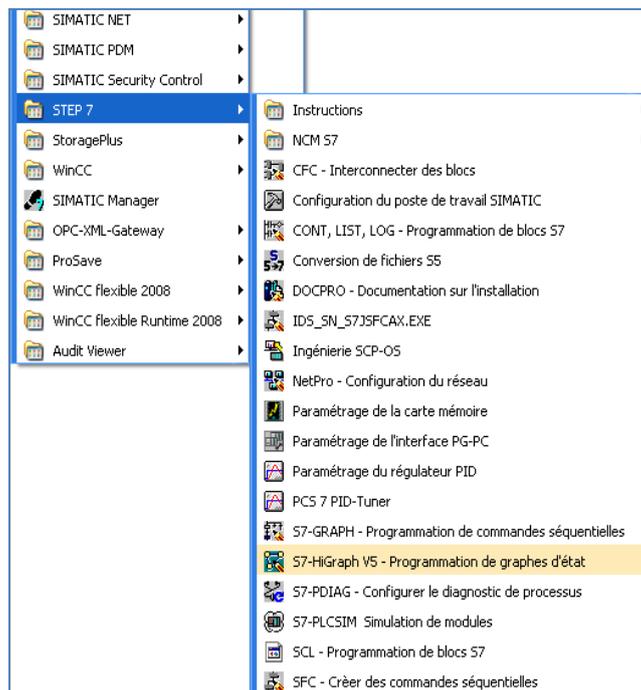


Figure 6.6: Outils de programmation Step 7

VI.3.2. WINCC

Logiciel de supervision et de configuration en fonctionnement monoposte ou multiposte. Les fonctions du système de contrôle-commande sont réparties selon leurs tâches entre les ressorts suivants.

- ❁ Est un système graphique pour afficher et commander les vues de processus : Le système graphique 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.
- ❁ Système de courbes pour analyser le processus : Les valeurs de processus acquises et mémorisées durant la conduite du processus sont représentées sous forme de courbes et servent à analyser le processus. Ces courbes s'affichent dans les vues de processus, les fenêtres de processus ou les blocs d'affichage.
- ❁ Système d'alarmes pour diagnostiquer le processus. existe quatre types d'alarmes, sont :
 - ❁ Alarmes de processus.
 - ❁ Alarmes de contrôle-commande.
 - ❁ Alarmes de conduite.
 - ❁ Alarmes système.
- ❁ Les alarmes provenant du système d'automatisation s'affichent par ordre chronologique dans plusieurs listes d'alarmes. Les alarmes s'affichent dans des listes d'alarmes ou sont acquittées par l'opérateur quand il possède l'autorisation appropriée.

- ❖ Système de journaux pour documenter le processus. Dans la conduite du processus, le système de journaux sert à consigner des commandes et des alarmes ainsi qu'à acquérir les journaux configurés, les éditer et les imprimer.
- ❖ Système d'archives pour enregistrer et afficher les valeurs de processus, les alarmes et les journaux. Dans la conduite du processus, le système d'archives sert à enregistrer et à afficher des valeurs de processus, des alarmes et des journaux. (28)

Dans le cas réel, où le programme est chargé dans la CPU de l'automate, les valeurs affichées sont des valeurs réelles, soit des valeurs de capteurs, de régulateurs, ou des calculs différents. Dans le cas inverse, elle sera une simulation du processus, soit pour les tests, soit pour les exposer.

VI.4. FuzzyControl++

VI.4.1. Définition

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 développer de manière efficiente 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. La figure 6.7 montre l'interface de création des systèmes experts flous, avec un maximum de huit entrées et quatre sorties.

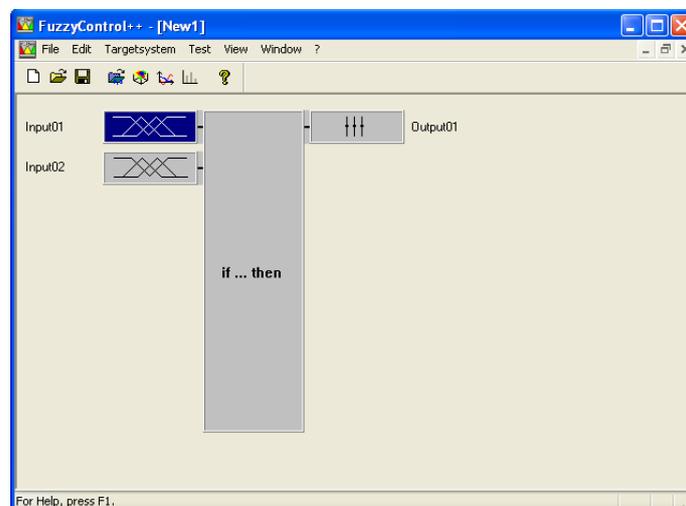


Figure 6.7: FuzzyControl++

L'analyse en ligne des systèmes de logique floue est réalisée à l'aide d'outils de courbes et des graphiques à 2, 3 ou 4 dimensions. De plus, un générateur de courbes fait office de simulateur de processus pour la mise au point offline. Ainsi que, des diagrammes bidimensionnels servent à visualiser l'évolution des signaux d'entrée et de sortie des systèmes à base de logique floue.

VI.4.2. FuzzyControl++ et SIMATIC PCS 7

FuzzyControl++ est exécutable sur tout système SIMATIC S7, système de contrôle de procédés SIMATIC PCS7 et les systèmes SCADA SIMATIC WinCC et met à disposition une bibliothèque de blocs fonctions et de vues graphiques. SIMATIC WinCC intègre les systèmes Fuzzy sous forme de Smart-Objects à l'aide d'une OLL. Les systèmes Fuzzy sont configurés et compilés à l'aide de l'outil de configuration, l'exploitation s'effectuant avec le logiciel Runtime ainsi réalisé.

Les systèmes FuzzyControl++ et NeuroSystems (réseaux neuronaux) peuvent échanger des données sans difficultés via des fichiers FPL (Fuzzy Programming Language). Cette fonction permet une mise au point aisée de systèmes Fuzzy et Neuro-Fuzzy. (29)

La librairie de FuzzyControl++ est intégrée dans Step 7 dès son installation. La librairie est sous forme de blocs, illustrée dans la figure 6.8.

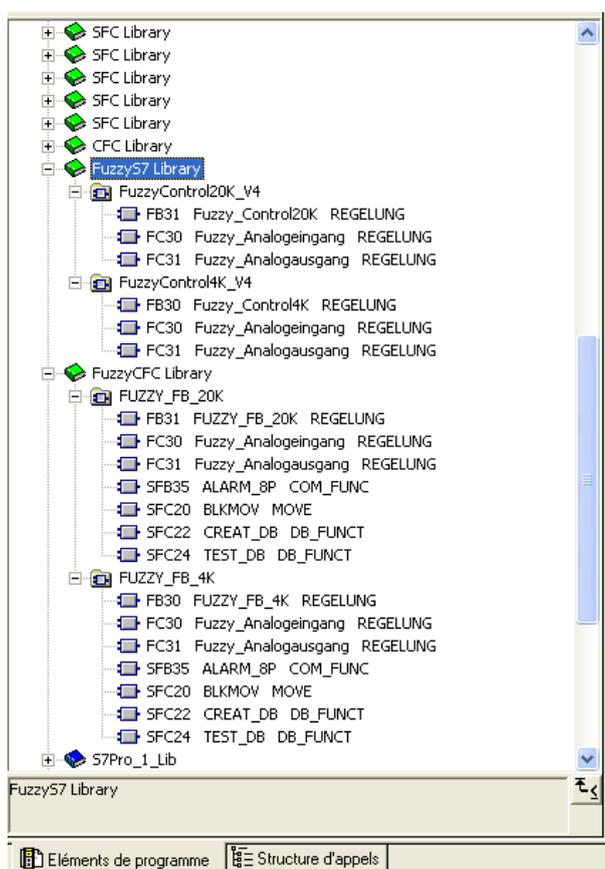


Figure 6.8: La Bibliothèque de FuzzyControl++

FuzzyControl++ (V5), avec en option, l'extension CFC (figure 6.9) ainsi que d'autres packages de communication pour les chargements de bloc et la visualisation dynamique via

réseau. Pour l'exploitation avec SIMATIC S7, le logiciel de communication SIMATIC NET est requis (Softnet S7 PB ou Softnet S7 IE). Ce logiciel est intégré dans SIMATIC PCS7.



Figure 6.9: Diagramme CFC de FuzzyControl++

Chapitre 7

Application

VII.1. Introduction

ProcessExpert, l'outil de pilotage automatique basé sur la logique floue installé dans la cimenterie, est un package séparé du système. Il est enclenché quand le système de contrôle de four est totalement stable.

Cependant, pour une simple condition de mise en arrêt, ou d'une alarme indiquant la non-stabilité du système, ProcessExpert est arrêté complètement, et aucun contrôle flou dans l'usine, ni pour le four, ni pour le broyeur. Notre but, est d'essayer d'appliquer des régulateurs et/ou des contrôleurs flous séparément. En cas d'une alarme dans un régulateur/contrôleur quelconque, n'empêche pas l'autre de finir sa tâche. En plus, la fiabilité et l'efficacité des régulateurs flous par rapport aux régulateurs ordinaires concernant l'atteinte du point de consigne. On va essayer d'appliquer cette contribution pour différencier les résultats obtenus de ceux existants.

L'atelier choisi pour notre travail est le broyeur ciment, c'est le résultat du processus de fabrication de ciment. La finesse du ciment, sa qualité chimique, sa couleur, ... sont tous des paramètres à observer, et à régler en cas de non performance du produit.

La démarche est composée de trois parties, l'alimentation du broyeur ciment avec du clinker, le broyeur ciment, et le stockage du ciment dans les silos pour l'expédition.

VII.2. Composants du Programme de l'Automate

Les composants du programme sont affichés dans une fenêtre divisée en deux parties, la partie droite, est l'arborescence de tous les composants du programme. La sélection d'un composant, affiche son contenu dans la partie gauche. La capture d'écran suivante (figure 7.1) est la vue des composants du programme.

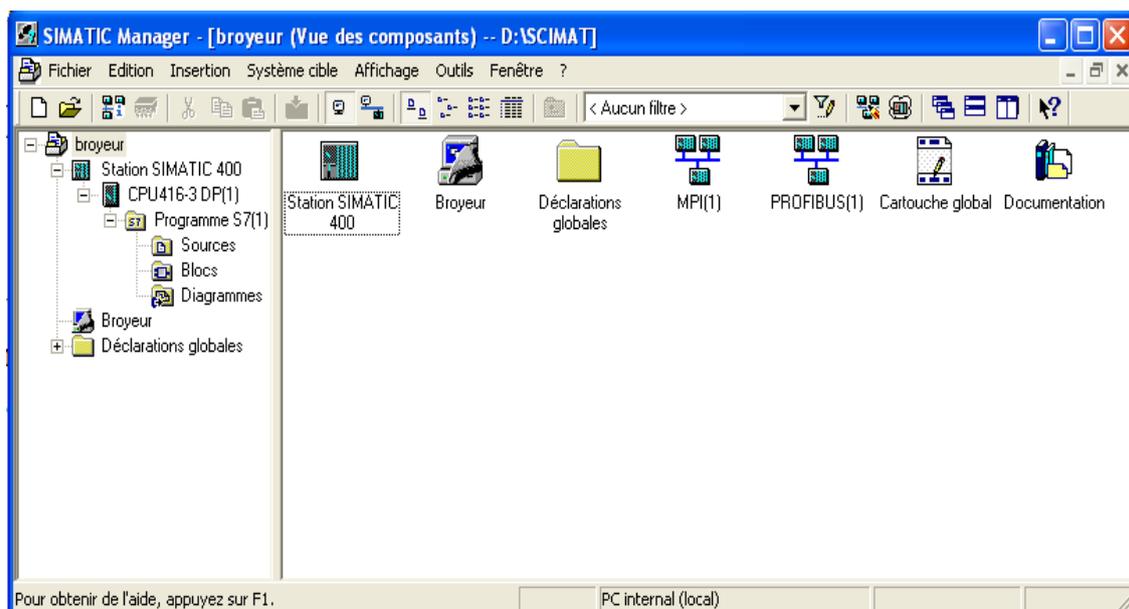


Figure 7.1 : Composants du programme

VII.2.1. Programme S7 de CPU 416-3 DP

La CPU utilisée 416-3 DP, est la CPU installée réellement à la SCIMAT dans la totalité des automates programmables. Le programme constitue la table des mnémoniques et les blocs programmés pour chaque équipement ou grandeur de mesure utilisé par le processus.

VII.2.1.1. La Table des Mnémoniques

Une mnémonique (nom symbolique) permet d'utiliser des désignations parlantes à la place d'adresses absolues. En combinant l'usage de mnémoniques courts et de commentaires explicites, pour répondre à la fois aux besoins d'une programmation concise et d'une programmation bien documentée.

Dans notre programme, les mnémoniques sont affectées aux blocs système, blocs utilisateur, composants, équipements, alarmes. En d'autre terme sont les entrées et les sorties du système. Et il faut être sûr que chaque élément dans le processus a une mnémonique qui le représente, une adresse, et un type, soit dans le programme ou dans l'interface de la station de l'opérateur. Le tableau suivant, présente une partie de la table des mnémoniques du broyeur ciment Z1, la représentation des mnémoniques est comme suit, pour par exemple Z1S01L9 :

| Z1 | S01 | L9 |
|--------------------|-------------------------|--|
| Atelier Broyeur Z1 | Équipement : Séparateur | L'unité à mesurer : Niveau d'huile (Level) |

Tableau 7.1 : Codification des éléments de la table des mnémoniques

Cette représentation, est la représentation actuelle des équipements et des composants du broyeur ciment mise par FLS dans la SCIMAT. La figure 7.2 présente une partie de la table des mnémoniques.

| Etat | Mnémonique / | Opérande | Type de | Commentaire |
|------|--------------------|---------------|---------|-------------------------------|
| 1 | Complete Restart | OB 100 OB 100 | | Redemarrage Complet |
| 2 | Cycle Execution | OB 1 OB 1 | | Cycle d'exécution |
| 3 | Cyclic Interrupt 5 | OB 35 OB 35 | | Interruption Cyclique 5 |
| 4 | Loss of Rack Fault | OB 86 OB 86 | | Perte de Rack |
| 5 | OB Not Loaded... | OB 85 OB 85 | | OB n'est pas chargé |
| 6 | P1P11C31 | A 1.2 | BOOL | Permission_Locale_Filtre |
| 7 | P1P11T41 | E 7.1 | BOOL | Temperature_Filtre_Mini |
| 8 | P1P11T42 | E 7.2 | BOOL | Temperature_Filtre_Max |
| 9 | Programming E... | OB 121 OB 121 | | Erreur de programmation |
| 10 | Restart | OB 101 OB 101 | | Redemarrage |
| 11 | Z1A01C61 | E 6.6 | BOOL | Reponse_Doseur |
| 12 | Z1A01F1 | EW 15 | WORD | Debit_Doseur |
| 13 | Z1A01F2 | E 6.0 | BOOL | Deficit_Poids |
| 14 | Z1A01U41 | E 6.3 | BOOL | Regulation_Locale |
| 15 | Z1A03S9 | E 4.7 | BOOL | Controle_Vitesse_Transp_Bande |
| 16 | Z1A03Z1 | E 5.0 | BOOL | Course_Dejetee_Max1 |
| 17 | Z1A03Z2 | E 5.1 | BOOL | Course_Dejetee_Max2 |
| 18 | Z1C01C61 | E 6.7 | BOOL | Reponse_Doseur |
| 19 | Z1C01F1 | EW 17 | WORD | Debit_Doseur |
| 20 | Z1C01F2 | E 6.1 | BOOL | Deficit_Poids |
| 21 | Z1C01U41 | E 6.4 | BOOL | Regulation_Locale |
| 22 | Z1D01C61 | E 7.0 | BOOL | Reponse_Doseur |
| 23 | Z1D01F1 | EW 19 | WORD | Debit_Doseur |

Figure 7.2 : Table des mnémoniques

VII.2.1.2. Les Blocs

Chaque bloc exécute une fonction (FC : fonction) ou plusieurs fonctions (FB : bloc fonctionnel) d'un équipement ou d'une alarme. La figure 7.3 présente un ensemble de blocs système (OB : bloc d'organisation) et de blocs utilisateur (FC, FB, DB, ...). La séquence

d'exécution des blocs est programmée dans le bloc système OB1, par des appels aux autres blocs.

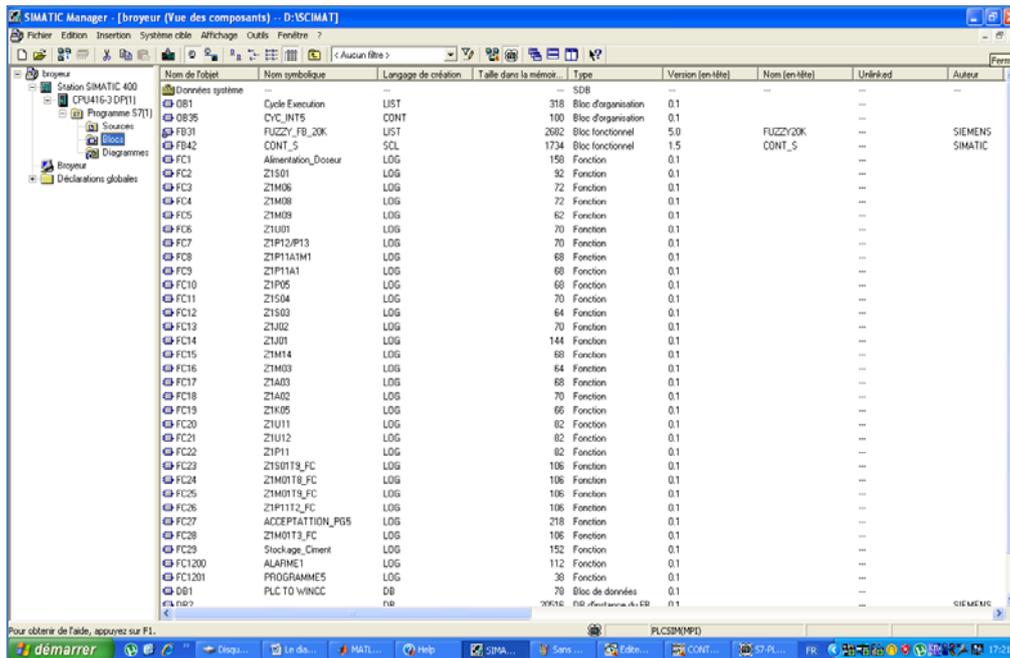


Figure 7.3 : Blocs du programme S7

VII.2.2. La Station Opérateur

L'interface homme/machine est possible en créant des vues dans la station opérateur (OS). Ces vues présentent le processus du système, les équipements de l'atelier, les alarmes peuvent avoir lieu, et d'autres informations. L'interface est exécutée dans WINCC Runtime, où l'opérateur peut entrer des données, voir des indications, démarrer ou arrêter la marche du système.

Nous avons trois vues expliquant le processus du broyeur ciment, AlimentationBroyeur, BroyeurCiment et StockageCiment. Les alarmes sont affichées dans la quatrième vue, qu'est Alarmes. La sélection des groupes de l'atelier est faite dans la vue Sélection. On accède à toutes les vues par la vue Générale. Les vues utilisées sont illustrées sur la figure 7.4.

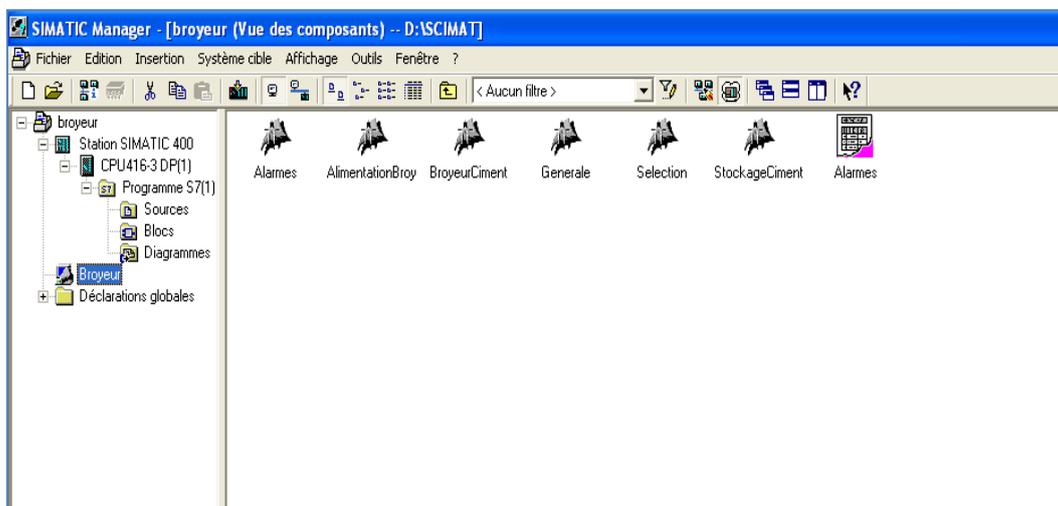


Figure 7.4 : Vues de station opérateur

VII.3. Processus de Broyage Ciment

VII.3.1. Alimentation Broyeur

L'alimentation du broyeur est le clinker, qu'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 silos ou alimentateurs. Tout un bloc pour la programmation du processus d'alimentation, ce bloc contient quatre réseaux pour chaque alimentateur, le premier pour les cas d'arrêt, le deuxième est pour les alarmes, le troisième est l'acceptation de démarrage, et le quatrième est la commande de marche de l'alimentateur. Les figures 7.5 et 7.6 montrent l'exécution du bloc de l'alimentation du broyeur ciment. (Les autres blocs sont insérés dans l'annexe A).

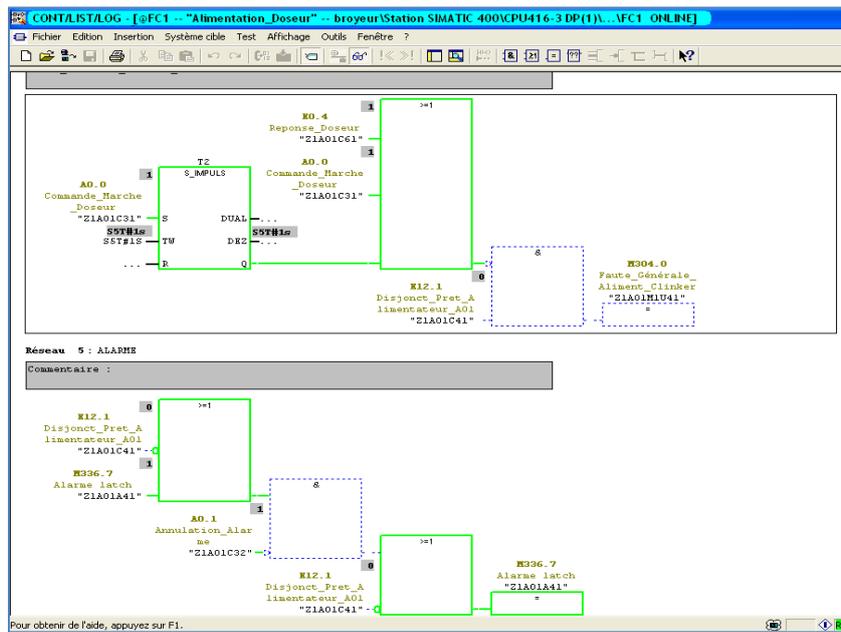


Figure 7.5: Alarmes de l'alimentateur ciment

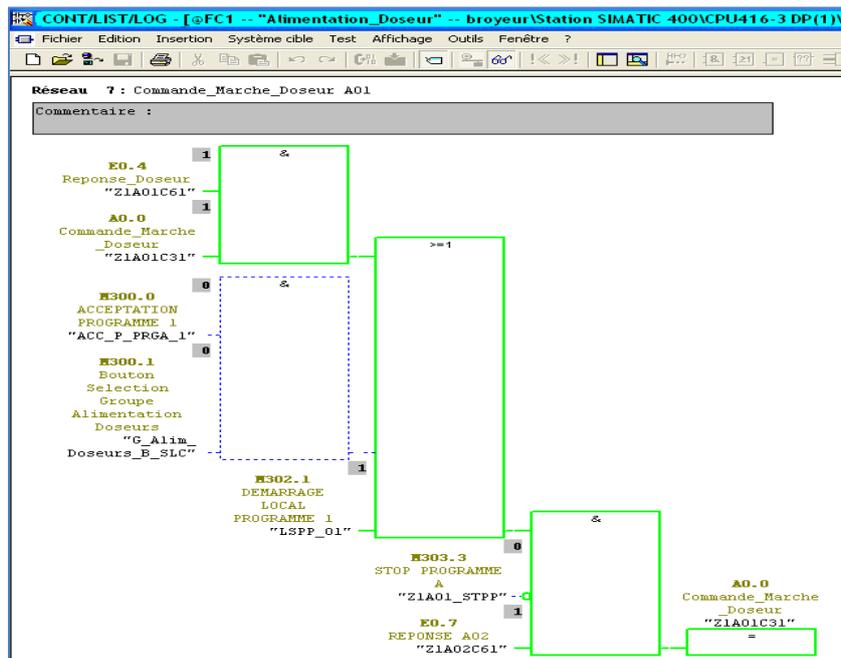


Figure 7.6: Commande de marche de l'alimentateur ciment

VII.3.2. Broyage

Le broyeur à boulets, constitué de tubes blindés remplis de boulets en acier trempé, sont entraînés par des moteurs électriques. Dans la chambre de broyage, les matières sont broyées par les boulets en rotation. Lors du broyage en circuit fermé, le clinker passe rapidement dans le broyeur. Le broyage a pour but de réduire les grains du clinker en poudre, et de permettre l'ajout du gypse (environ 4%) pour réguler quelques propriétés du ciment Portland, comme son temps de prise et de durcissement.

À la sortie du broyeur, le ciment est à une température environ de 160 °C, et avant d'être transporté vers des silos de stockage, il doit passer au refroidisseur pour que sa température soit maintenue à environ 65 °C. Le ciment passe par un élévateur, et récupéré dans un séparateur à air installé derrière le broyeur puis transporté dans les silos à ciment.

VII.3.2.1. Conditions de Démarrage

VII.3.2.1.1. Conditions Pratiques

- ☛ Eau de refroidissement pour le palier de sortie du broyeur.
- ☛ Eau de refroidissement pour les paliers et réducteur de ventilateur S03.
- ☛ Arrivé d'eau de refroidissement d'huile du réducteur Symetro M09.
- ☛ Arrivé d'eau dans le réservoir d'eau d'injection dans le broyeur à ciment.
- ☛ Degré de remplissage convenable des trémies d'alimentation en clinker, gypse et ajouts.
- ☛ Position correcte des vannes à air de commande et à air comprimé des compresseurs (U11 et U12) qui alimentent la pompe flux U05.

VII.3.2.1.2. Conditions Électriques

- ☛ Mettre les régulateurs en marche avec les points de consigne suivants :

Alimentation totale = 90 t/h, Injection d'eau à la sortie = 0%, Puissance ventilateur S03 = 0%.

- ☛ Si aucun des moteurs n'est en état d'alarme.
- ☛ Si aucune des alarmes n'est max dans les aéro-glissières flux.
- ☛ Si aucun niveau d'huile min dans les paliers du broyeur, le réducteur Symetro et le séparateur.
- ☛ Si aucune température max dans le broyeur et le séparateur.
- ☛ Si la trémie d'alimentation (U04) de la pompe flux n'est pas pleine (niveau max).
- ☛ Si aucun déport des bandes A02 et A03.
- ☛ Si les registres P06 et P05 sont fermés.

VII.3.2.1.3. Autres Conditions de Démarrage

- ☛ Demander au laboratoire le dosage de clinker, gypse et ajouts.
- ☛ Vérifier si le broyeur est plein (folaphone M01X1), si l'élévateur est trop chargé (J01J2) pour réduire l'alimentation et si la température M01T3 dans les limites pour l'injection d'eau à la sortie du broyeur.
- ☛ À moins qu'il ne s'agisse d'un débrayage prolongé du matériel, il faut laisser toujours les corps chauffants des filtres en marche.

Toutes les conditions précédentes sont les entrées de l'acceptation des programmes de démarrage. La figure 7.7 montre le bloc correspondant (le bloc complet est dans l'annexe A).

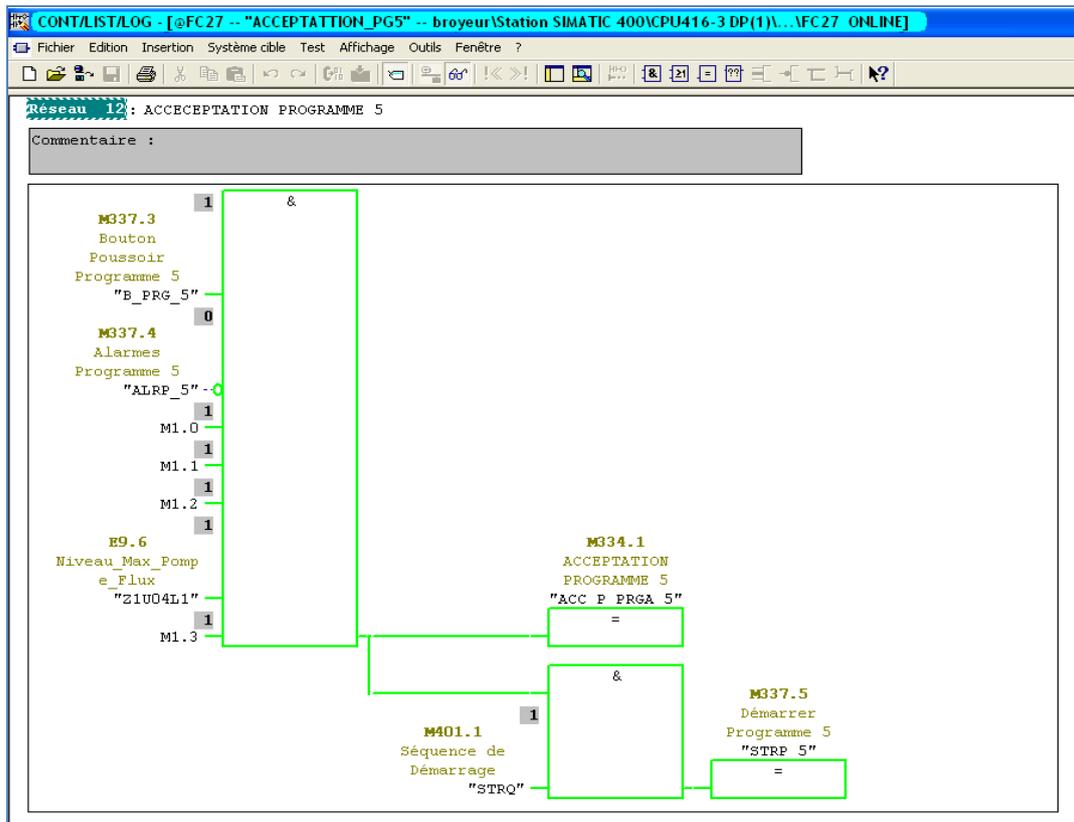


Figure 7.7: Acceptation du programme de démarrage de l'atelier de broyage

VII.3.2.2. Mise en Marche

Si toutes les conditions déjà citées sont présentes, le broyeur ciment peut être démarré selon la séquence de démarrage. La séquence commence du dernier équipement au premier, pour vérifier la disponibilité de celui-ci avant le démarrage du broyeur. À chaque équipement ont été associés des verrouillages et des conditions de mise en marche.

Trois types de verrouillage correspondent un équipement, les verrouillages de marche (conditions de marche ou de démarrage de l'équipement), 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, comme p.ex. son niveau d'huile, sa température, sa pression, ...). La séquence de démarrage est schématisée sur l'organigramme le la figure 7.8.

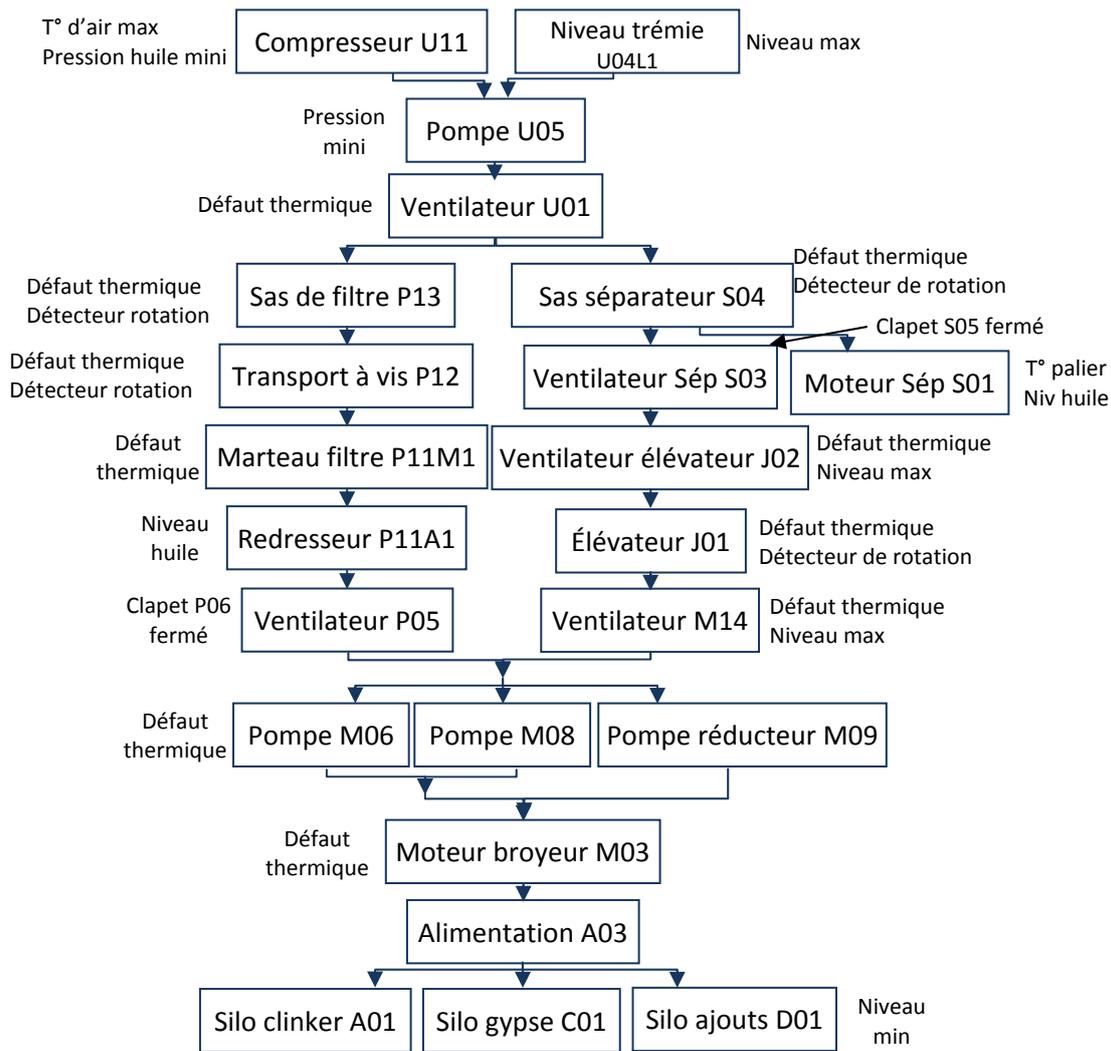


Figure 7.8: Séquence de démarrage de l'atelier broyeur ciment

VII.3.2.3. 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 les actions de maintenance à effectuer. Le tableau 7.2 englobe la totalité des alarmes qui peuvent être engendrées.

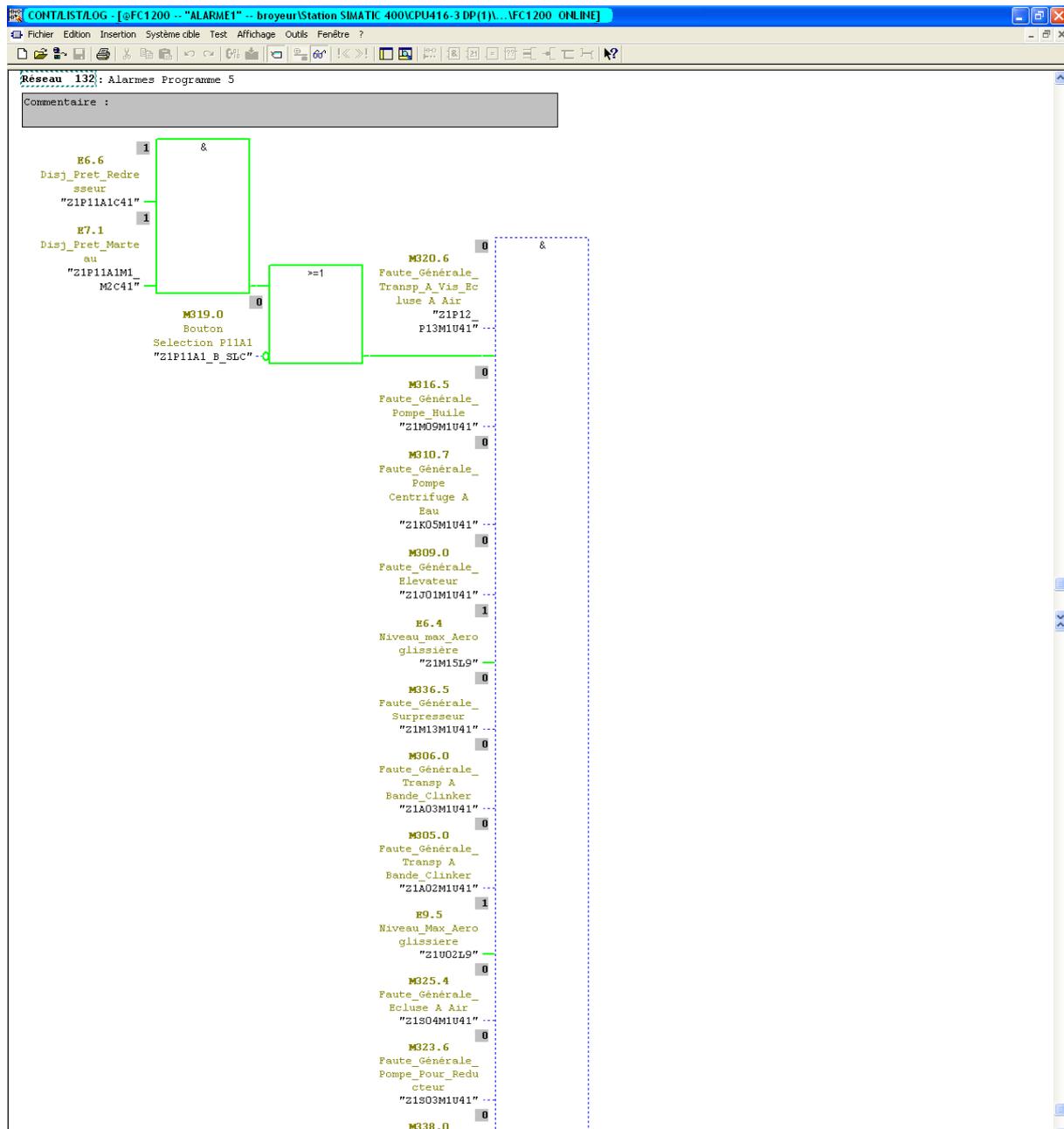
| Alarme | Désignation | Action de maintenance |
|---|---|---|
| Aucune tension | L'interrupteur principal de la sous station a été tourné | Envoyer l'électricien |
| Défaut tension | Un des interrupteurs d'alimentation est arrêté | Envoyer l'électricien |
| Défaut thermique | La machine a été surchargée | Réarmer et redémarrer, et vérifier l'état mécanique de la machine |
| J01S9 P12S9 P13S9 A03S9 A02S9 | Contrôle de vitesse d'élévateur Contrôle de vitesse de transport à vis Contrôle de vitesse d'écluse à air (sas) Contrôle de vitesse transport à bande A03 Contrôle de vitesse transport à bande A02 | La machine est arrêtée, annuler l'alarme immédiatement |
| U11P41 U11P42 | Défaut compresseur par verrouillages de protection | Contrôler : Pression huile Mini compresseur |

| | | |
|---|--|---|
| U11T41 | | Pression eau Mini de compresseur Température air Max compresseur |
| S03 M03 | Défaut de démarreur du séparateur et moteur broyeur par verrouillage de protection | Examiner : Première position au démarrage Dernière position en marche Température d'huile max Niveau d'huile min Relais thermique du servomoteur |
| S01T9 M01T9 S03T9 M02T9 M01T8 | Température palier Max de séparateur Température palier Max entrée broyeur Température palier Max de Ventilateur Température palier Mini réducteur Symetro Température palier Max sortie broyeur | Vérifier l'eau de refroidissement et contrôler les températures de paliers |
| S01L9 M01L9 M01L8 M02L9 | Niveau huile Mini de séparateur Niveau huile Mini entrée broyeur Niveau huile Mini sortie broyeur Niveau huile Min réducteur Symetro | Les machines s'arrêtent, vérifier les niveaux d'huile |
| M03T8 S03T7 | Température enroulement Moteur Broyeur Température enroulement Max ventilateur | Envoyer l'électricien |
| M01T3 | Température Max de sortie broyeur | Contrôler l'injection d'eau de sortie broyeur |
| M01T2 | Température cloison Mini du broyeur | Contrôler l'injection d'eau entrée |
| A03Z2 A02Z2 | Course déjetée Max 1 ou 2 (A03, A02) | Alignement des rouleaux et les descentes |
| A03G91 A02G91 | Arrêt d'urgence par câble (A03, A02) | Vérifier pourquoi l'arrêt d'urgence par câble est activé |
| P11T2 | Température Mini de filtre | Vérifier si le chauffage du filtre est allumé |
| M15L9 J03L9 U02L9 | Niveau Max dans les aéro-glissières M15, J03 et U02 | Démarrer leurs ventilateurs et Faire marcher les transporteurs en aval |
| U04L1 L03L1 L04L1 | Niveau Max dans les silos U04, L03 et L04 | Réduire l'alimentation ou changer les silos vers d'autres |
| L01L2 L03L2 L04L2 | Niveau Mini des trémies d'alimentation | Commencer le chargement de clinker, gypse ou ajouts |
| Défaut aliment-ateurs | Le doseur sélectionné ne démarre pas après 256s Si l'alimentation totale du broyeur fait défaut pendant plus de 512s | Redémarrer immédiatement, Arrêter le broyeur |
| U05P1 | Air comprimé Mini pour pompe flux | Vérifier les compresseurs, si sont bons, arrêter le broyeur et démarrer localement le cycle de vidage de la pompe |
| M01P2 | Le tirage du broyeur est insuffisant | Ouvrir P06 jusqu'à M01P1=1mbar |
| A01F2 C01F2 D01F2 | Déficit de poids, extraction défaillante des trémies d'alimentation | Si les trémies sont pleines, rétablir l'extraction, sortir des barres ou frapper sur la trémie |
| M01X1 | Si Folaphone > Max = 80%, le premier compartiment du broyeur se remplit. M01X1 réduit automatiquement l'alimentation Si Folaphone < Min = 20%, défaut d'alimentation | Vérifier si ceci est dû au manque de matière de retour (J01J2 est bas) pour éviter le colmatage du sas ou la cloison du broyeur, si ce n'est pas le cas, augmenter l'alimentation |
| J01J2 | J01J2 > 80% surcharge du broyeur J01J2 < 20% | Réduire l'alimentation Vérifier le sas et l'aéro-glissière, si sont bons, Augmenter l'alimentation |
| M03P1 | Filtre colmate du moteur broyeur | Nettoyer le filtre entre le moteur et le ventilateur de refroidissement |

| | | |
|------------------------|--|---|
| M03K5 | Défaut courant d'air du moteur broyeur | Vérifier si le ventilateur peut marcher |
| M02X1 M02X2 | Commencement de vibrations Max 1 dans le réducteur Symetro Max 2 des vibrations | Informier le mécanicien pour inspecter le réducteur Symetro |
| Arrêt d'urgence commun | L'atelier s'arrête | Redémarrer l'atelier après stabilisation |

Tableau 7.2 : Alarmes et actions de maintenance effectuées

Les alarmes sont traitées dans un bloc spécial aux alarmes. Ces dernières sont une condition nécessaire pour l'acceptation du programme de démarrage déjà cité. Le bloc des alarmes est illustré sur la figure 7.9.



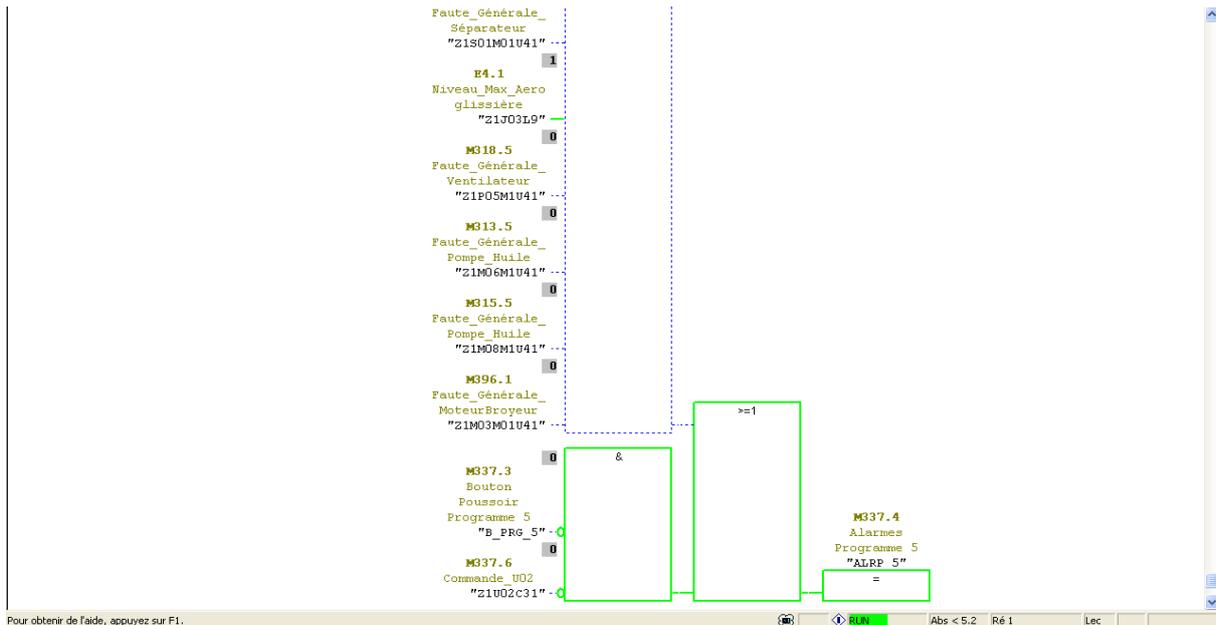


Figure 7.9: Les Alarmes

VII.3.2.4. Les Boucles de Régulation

Plusieurs régulations sont réalisées dans le broyeur ciment, régulation de finesse, régulation de quantité de SO₃ (régulation d'alimentation) qui vient du gypse et régulation de température avec l'eau injectée par la pompe à la sortie du broyeur.

VII.3.2.4.1. Régulation d'Alimentation

a) Boucle de Régulation de SO₃

SO₃ est l'un des composants chimiques du ciment, sa quantité entrée dans la fabrication du ciment, doit être observée, analysée et réglée. Tout cela pour ne pas avoir un ciment non résistant. La boucle de régulation de SO₃ est illustrée sur l'organigramme de la figure 7.10. La quantité du gypse réduite ou augmentée est la quantité de clinker respectivement augmentée ou réduite.

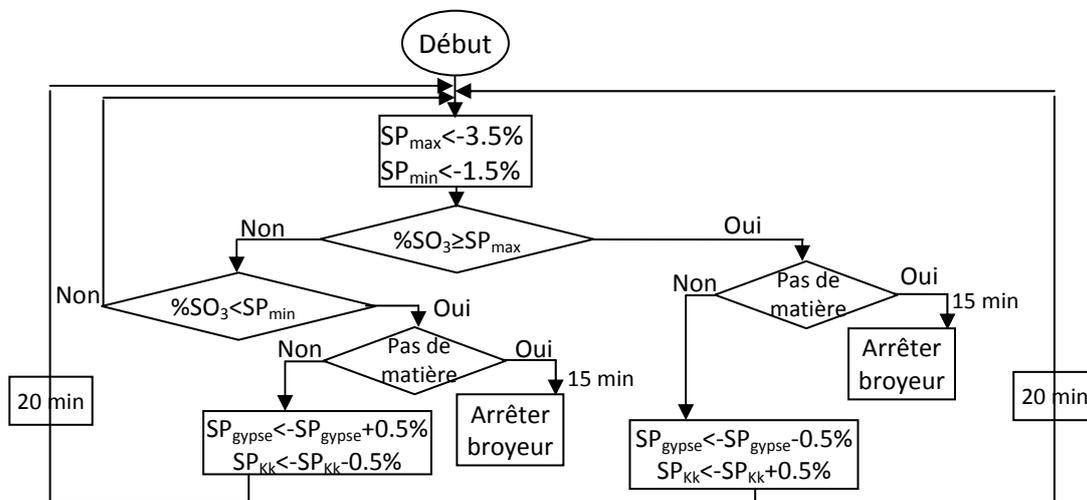


Figure 7.10: Organigramme de réglage de SO₃

b) Boucle de Régulation de PAF (Perte Au Feu)

PAF (Perte Au Feu) est l'action de calcination du ciment, il vient des ajouts soit pouzzolane ou laitier, analysé et observé par le laboratoire. Il doit être réglé parce que, d'un coté économique, la diminution d'ajouts implique l'augmentation du clinker. Et la quantité ajoutée est la quantité du clinker réduite. La boucle de régulation de PAF est illustrée sur l'organigramme de la figure 7.11.

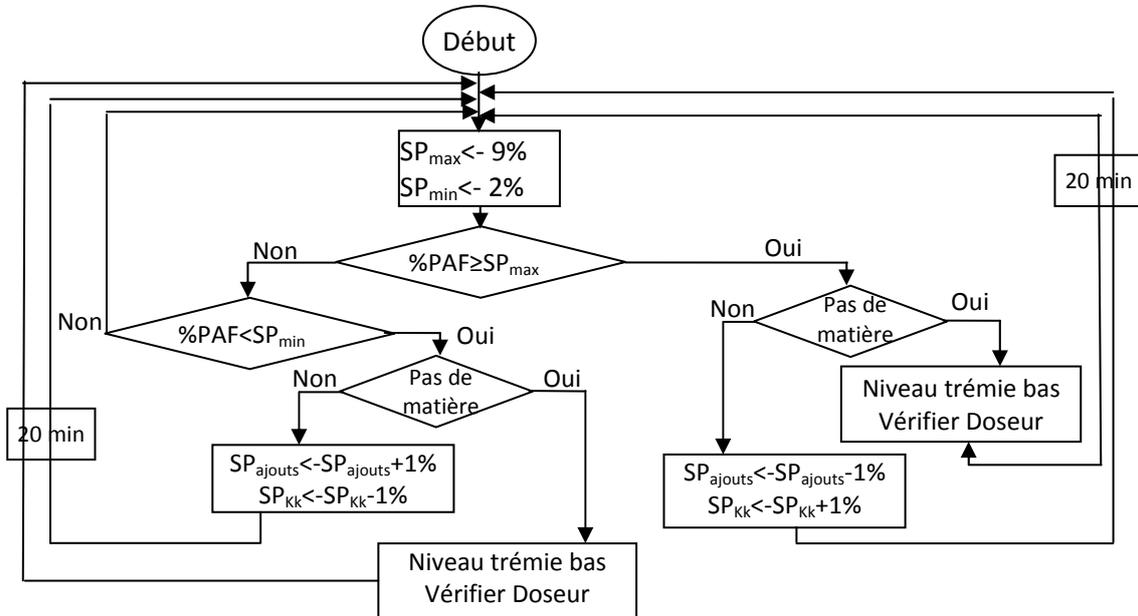
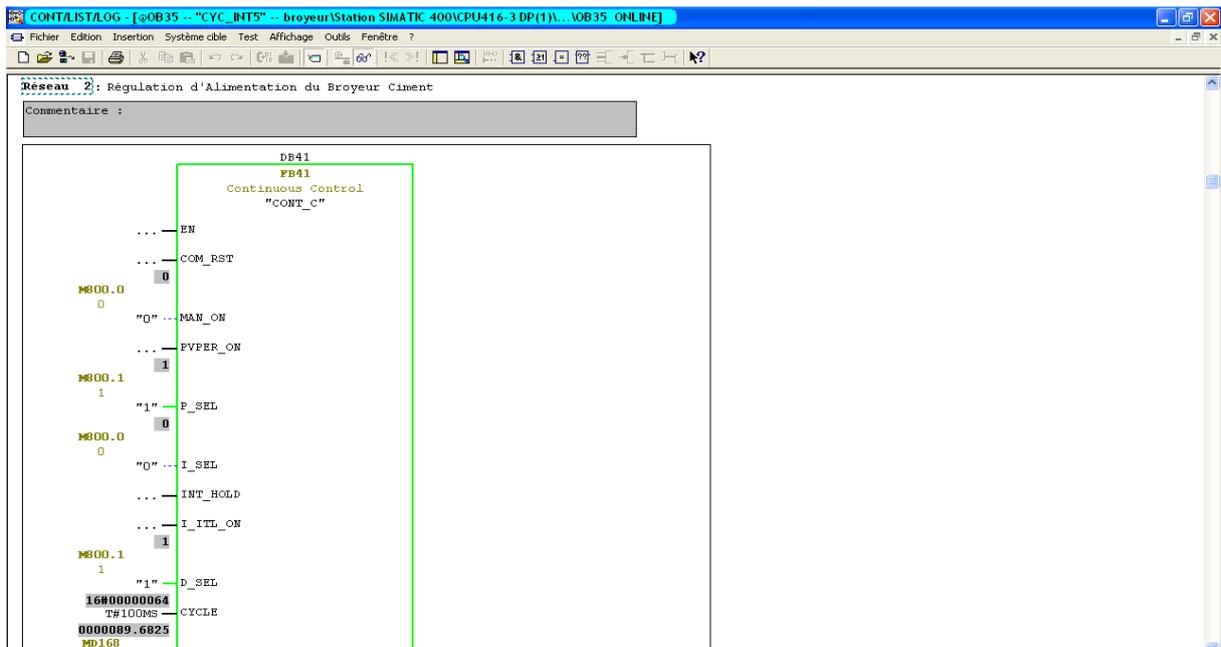


Figure 7.11 : Organigramme de réglage de PAF

La figure 7.12 présente le régulateur d'alimentation du broyeur ciment. Il utilise le point de consigne d'alimentation et la charge de l'élévateur.



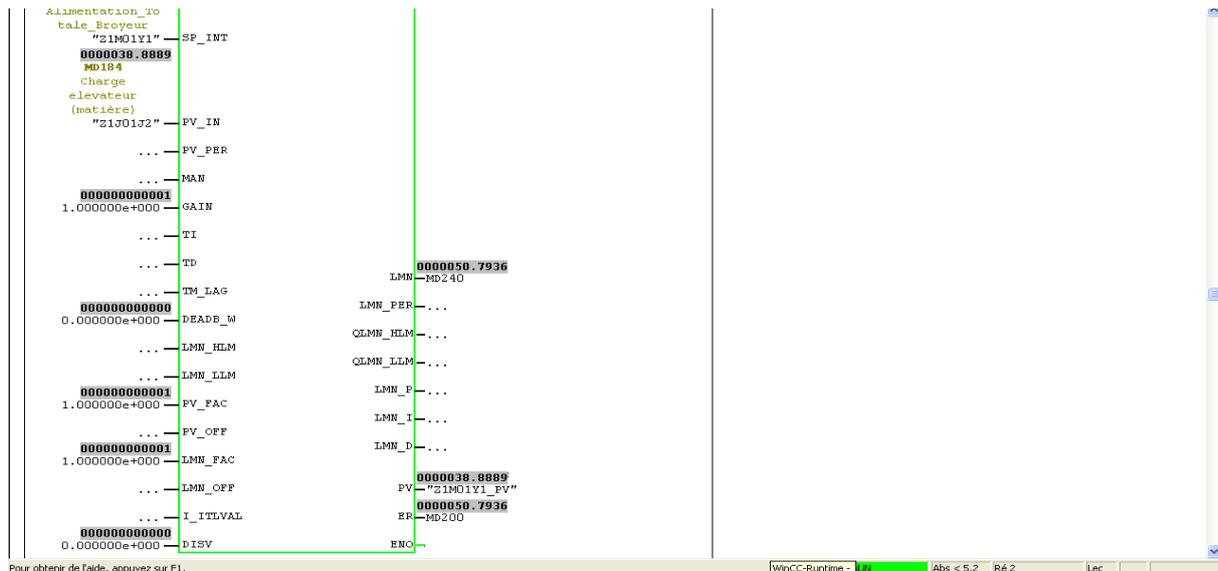


Figure 7.12 : Régulateur simple d'alimentation du broyeur

Les deux boucles de régulations sont réalisées par un régulateur cascade. Le premier point de consigne est l'alimentation totale M01Y1. Ce point de consigne est divisé en trois autres points de consignes. Le premier est relatif au clinker, le deuxième pour le gypse et le troisième pour les ajouts.

Cette division est exécutée selon les pourcentages des débits des matières premières voulues. Pour le clinker, il est de 75%, 8% pour le gypse et 12% pour les ajouts. Le pourcentage varie selon la qualité du ciment produite à partir des analyses du laboratoire ou en cas d'ajout de l'adjuvant au ciment.

La figure 7.13 représente la division du point de consigne sur les doseurs du clinker, gypse et ajouts. Le gypse ne doit pas dépasser 10% de ce point de consigne. La somme des trois pourcentages ne doit pas dépasser 100%.

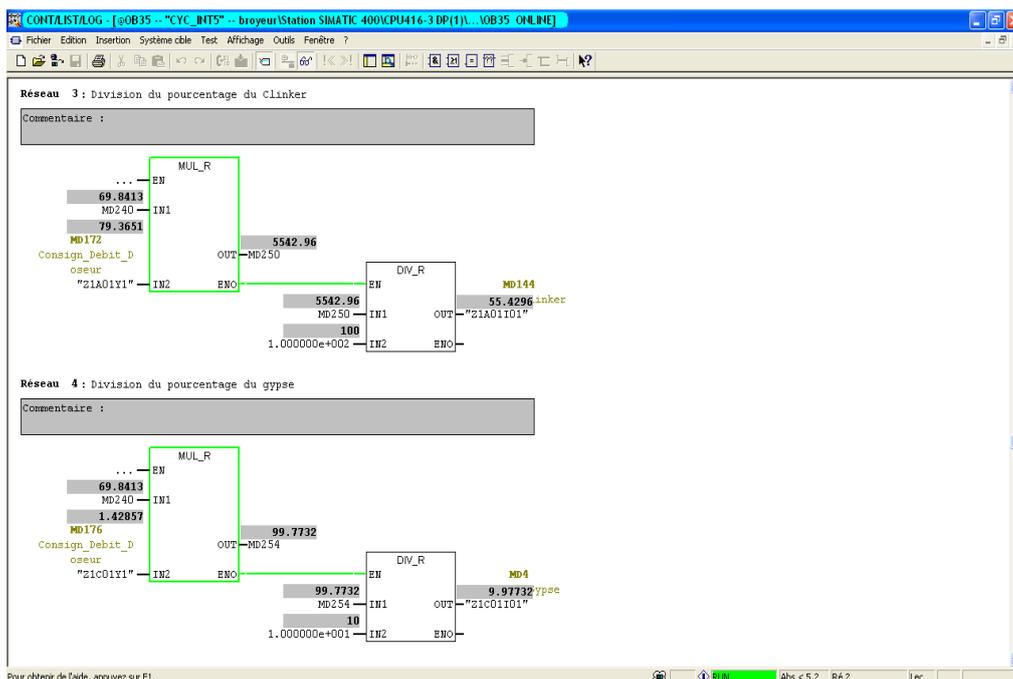


Figure 7.13 : Division des pourcentages des doseurs

VII.3.2.4.2. Régulation de Vitesse du Séparateur

Suivant le résultat des analyses du laboratoire, la finesse de ciment SSB et sa composition sont adaptées afin d'obtenir un produit de qualité constante. Les essais (comme les résistances mécaniques) ainsi que les analyses exigées par les normes sont effectuées au laboratoire de l'usine sur des échantillons prélevés à l'expédition.

La finesse est réglée par un séparateur de poussière, le produit de qualité est transporté vers les silos de stockage de ciment, le reste est retourné au broyeur pour un deuxième broyage. Le réglage est fait, en changeant les points de consigne de vitesse (SP_{vit}) et/ou puissance (SP_{pui}), l'organigramme de la figure 7.14 illustre le principe de régulation selon les deux règles :

*Si le ciment est trop fin alors réduire la vitesse,
Si le ciment est trop gros alors accroître la vitesse.*

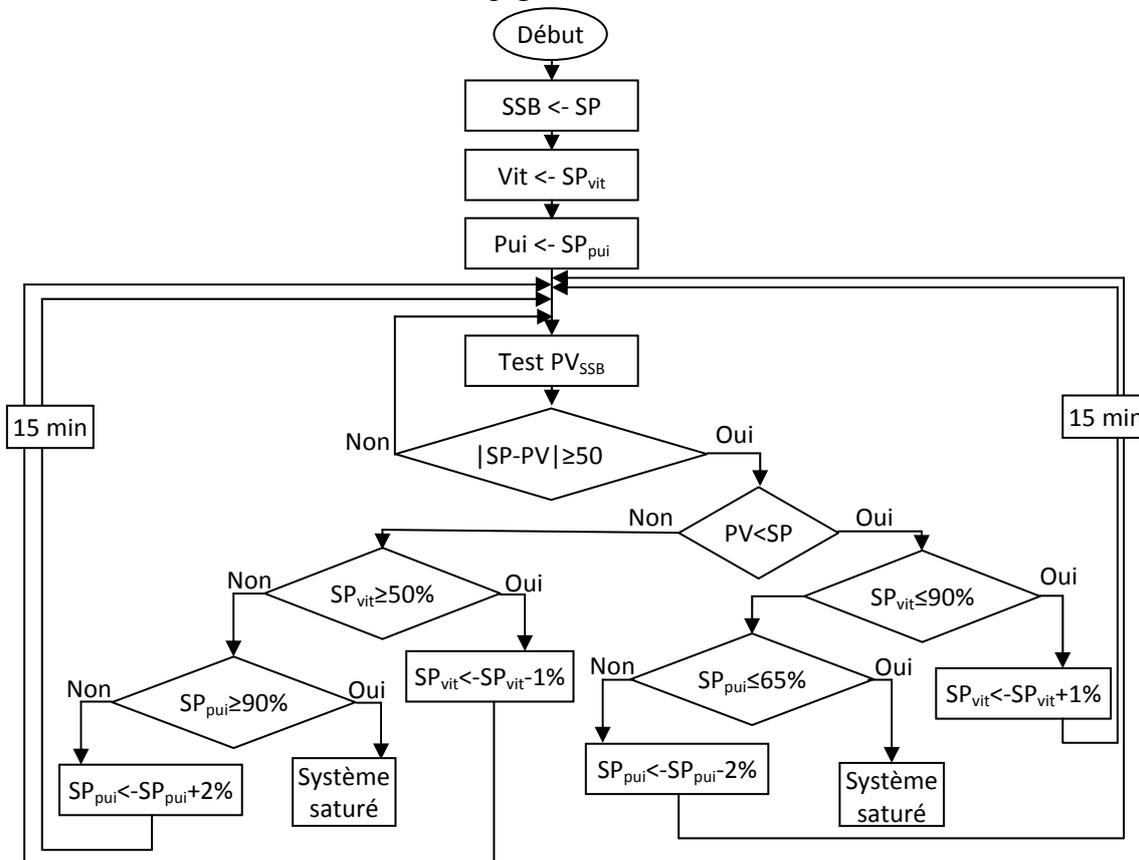


Figure 7.14 : Organigramme de régulation de finesse (SSB)

La synchronisation optimale entre la vitesse du passage de l'air dans le séparateur et la vitesse de rotation du séparateur est obtenue aux plus grandes vitesses possibles. Par conséquent, il ne faut pas toucher au point de consigne du ventilateur, qu'est près du réglage maximal. Régler seulement la vitesse de rotation du séparateur.

Pour démarrer le séparateur, on a besoin de la réponse du moteur du broyeur, la commande et la réponse du séparateur et la réponse du ventilateur U01 pour envoyer la matière vers l'aéro-glissière U02. Le bloc du séparateur est capté sur la figure 7.15.

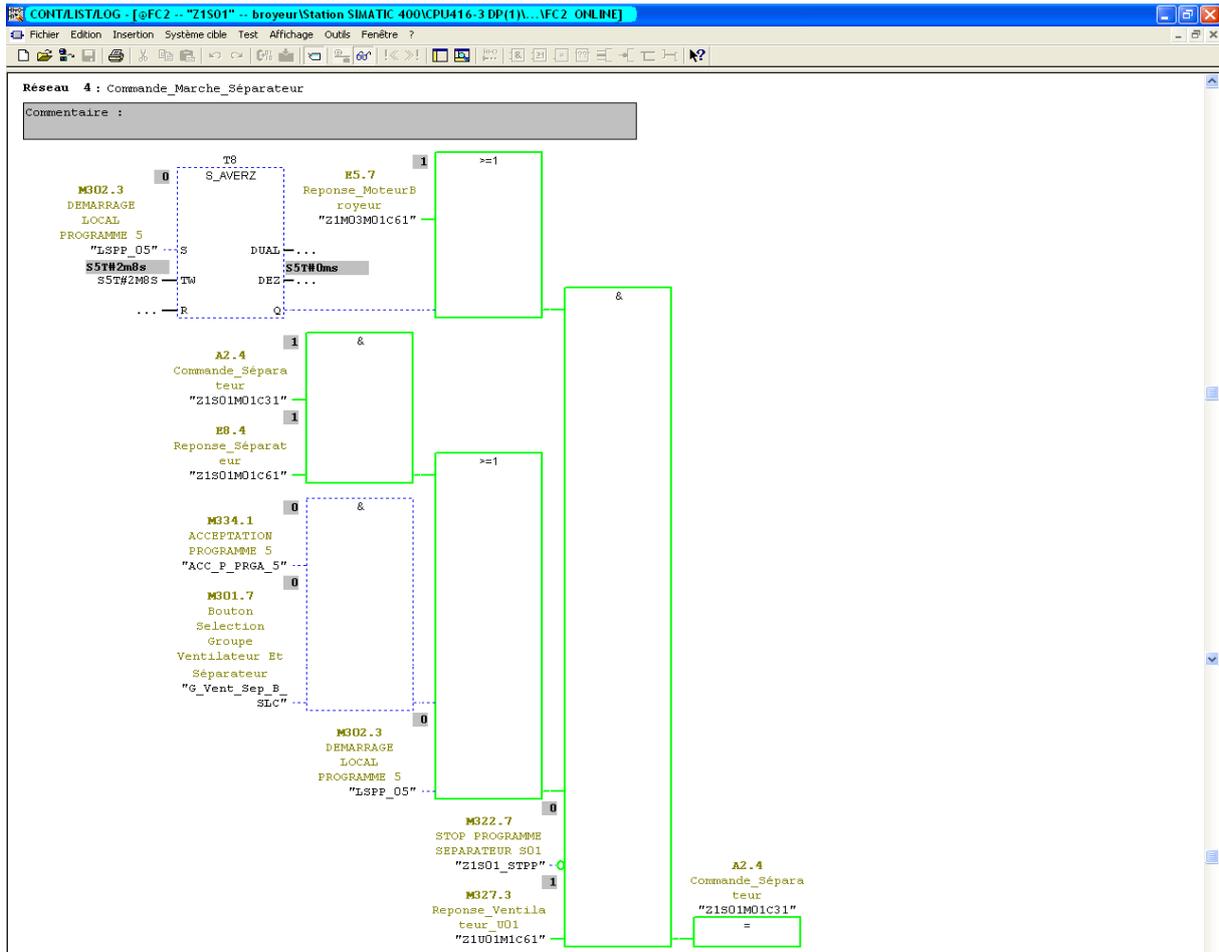


Figure 7.15 : Bloc séparateur S01

En utilisant FuzzyControl++, pour le régulateur flou de vitesse du séparateur. Il faut vérifier la connexion entre l'outil de configuration FuzzyControl++ et le bloc dans le programme Step 7. L'image intermédiaire est le bloc DB31.

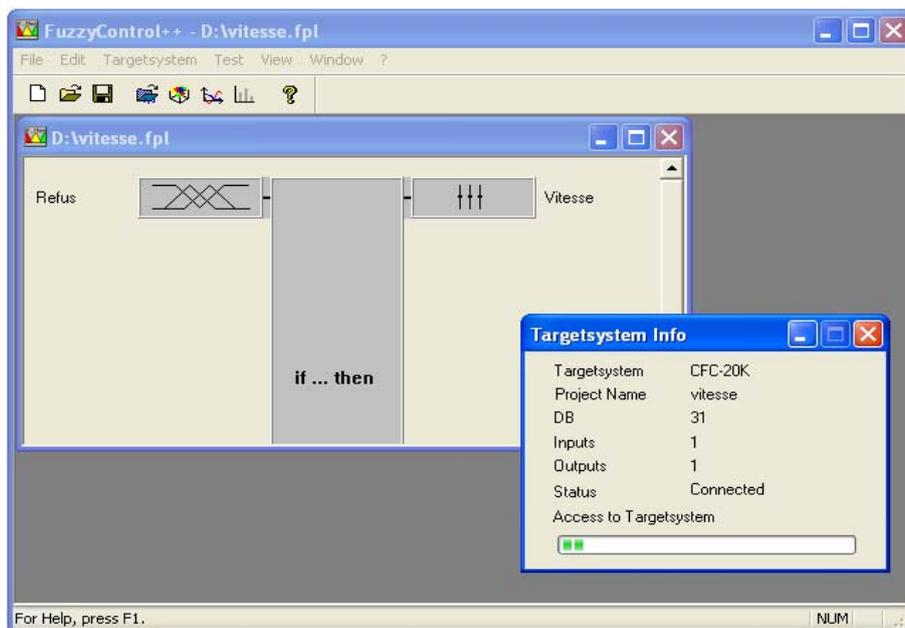
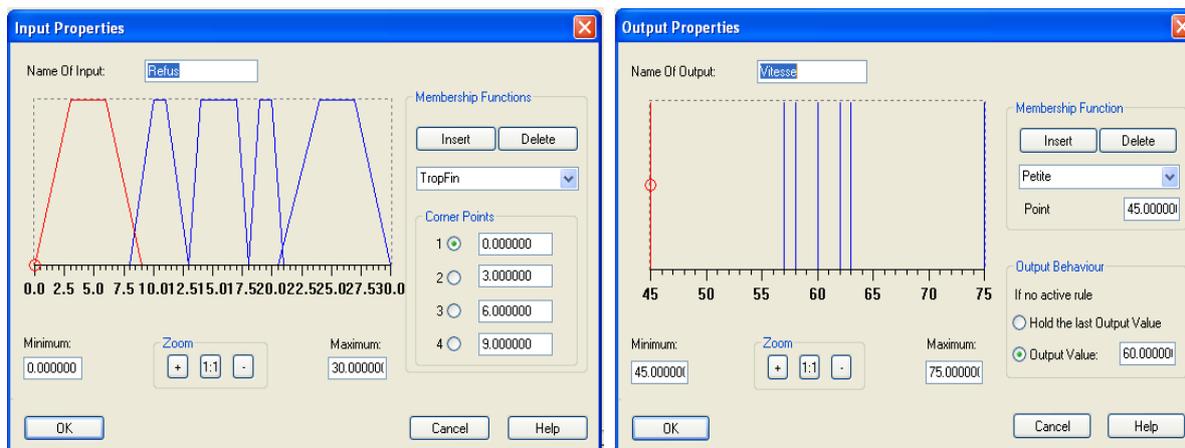


Figure 7.16 : Connexion entre FuzzyControl++ et le programme Step 7

Les deux figures 7.17 (a) et (b) suivantes montrent les ensembles flous de l'entrée refus et la sortie vitesse.



(a)

(b)

Figure 7.17 : (a) (b) Ensembles flous pour refus et vitesse

- ✿ Pour un refus de 17%, la vitesse du séparateur est = 60%.
- ✿ Si le refus est < 17% alors réduire la vitesse de 2%.
- ✿ Si le refus est > 17% alors augmenter la vitesse de 2%.
- ✿ Si le refus est < 14% réduire la vitesse de 3%.
- ✿ Si le refus > 18% augmenter la vitesse de 3%.

La figure 7.18 montre la table des règles déjà citées :

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Refus | TropFin | Fin | Bon | Gros | TropGr |
| Vitesse | VMoi | VMoins2 | Minimal | VPlus2 | VPlus3 |

Figure 7.18 : Tables des règles flous

La courbe de régulation de vitesse selon le refus, apparait sur la figure 7.19, par l'outil FuzzyControl++.

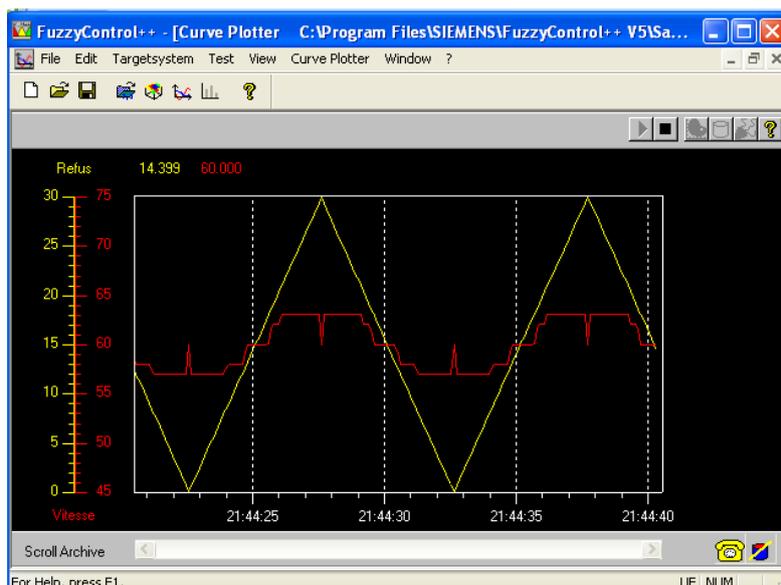


Figure 7.19 : Courbe de régulation de vitesse de séparateur

Dans les cas extrêmes, c'est à l'opérateur de vérifier quelques points, si le refus est $< 9\%$ alors soit :

La matière été facile à broyer, et le débit du broyeur est élevé, alors l'opérateur doit vérifier l'alimentation broyeur. Ou le séparateur a démarré avec une grande vitesse.

La vitesse du séparateur est basse ($< 50\%$) et ne s'augmente pas, alors l'opérateur doit vérifier l'accouplement du séparateur. La matière entrée est humide ($\geq 8\%$) et provoque un enrobage sur les boulets et elle ne sera pas broyée, ou la matière est très difficile à broyer où l'opérateur doit réduire l'alimentation. La surface générée dans cette boucle de régulation est illustrée sur la figure 7.20.

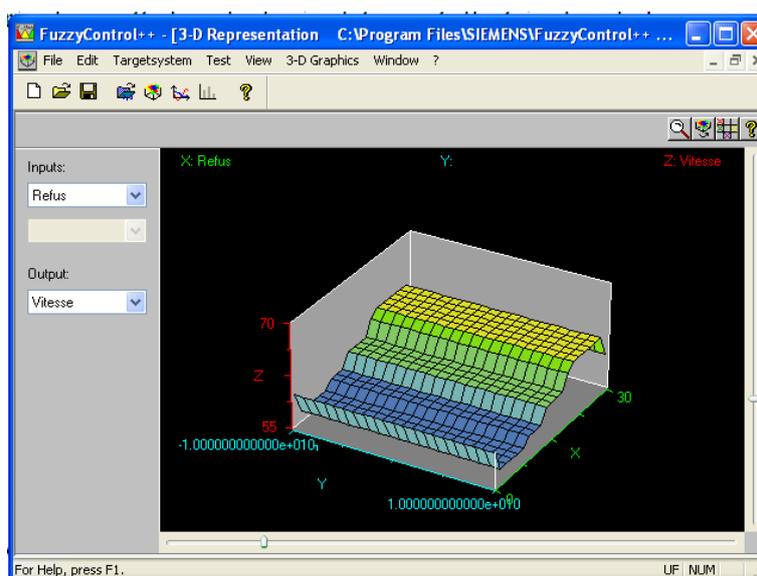


Figure 7.20 : Surface générée par la boucle de régulation de vitesse du séparateur

Le bloc du contrôleur flou est présenté sur la figure 7.21, pour l'entrée 17 par exemple, la vitesse sera 60.

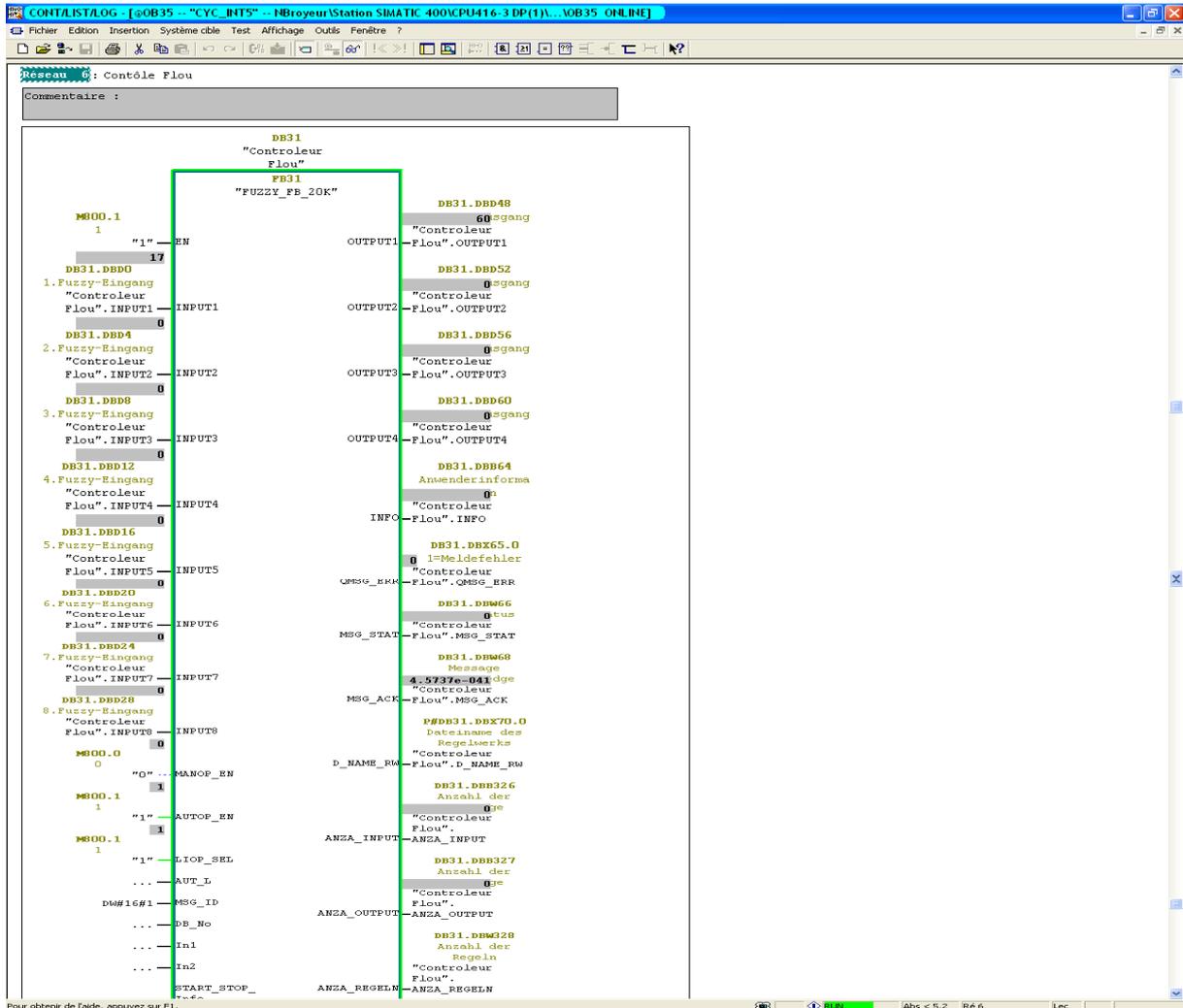


Figure 7.21 : Bloc du contrôleur flou pour la vitesse du séparateur

Le démarrage de rechargement des données est lancé en même temps d'exécution des règles floues du système configuré. Le fichier est archivé avec une extension « .dat » dans le disque dur. La figure 7.22 présente la liaison entre l'outil FuzzyControl++ et son bloc Step 7.

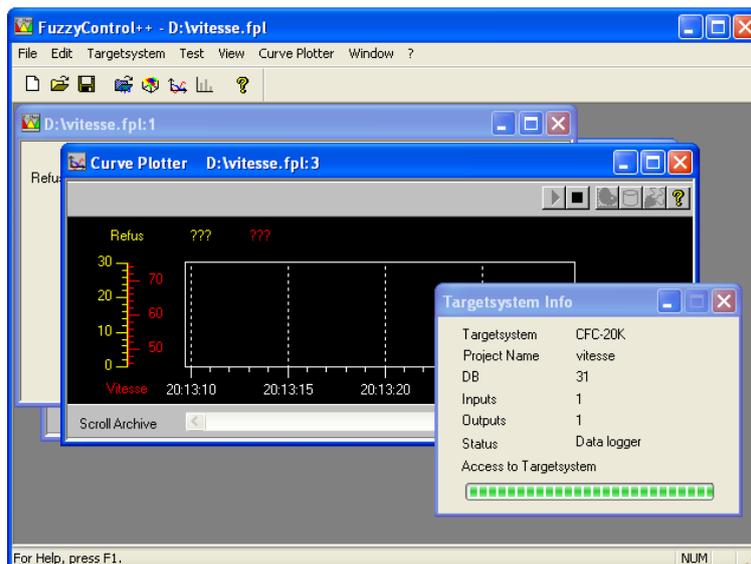


Figure 7.22 : Rechargement des données par l'exécution des règles floues

VII.3.2.4.3. Régulation de Température Sortie de Broyeur

Pour régler la température de sortie de broyeur avec injection d'eau, en utilisant la vanne K02 et la pompe K05. Si la température est $> 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ouvrir la vanne, et si la température est $\leq 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ fermer la vanne. La commande de marche de la pompe dépend aussi de la pression de la vanne. Sur la figure 7.23 on a le bloc de commande de marche de la pompe K05.

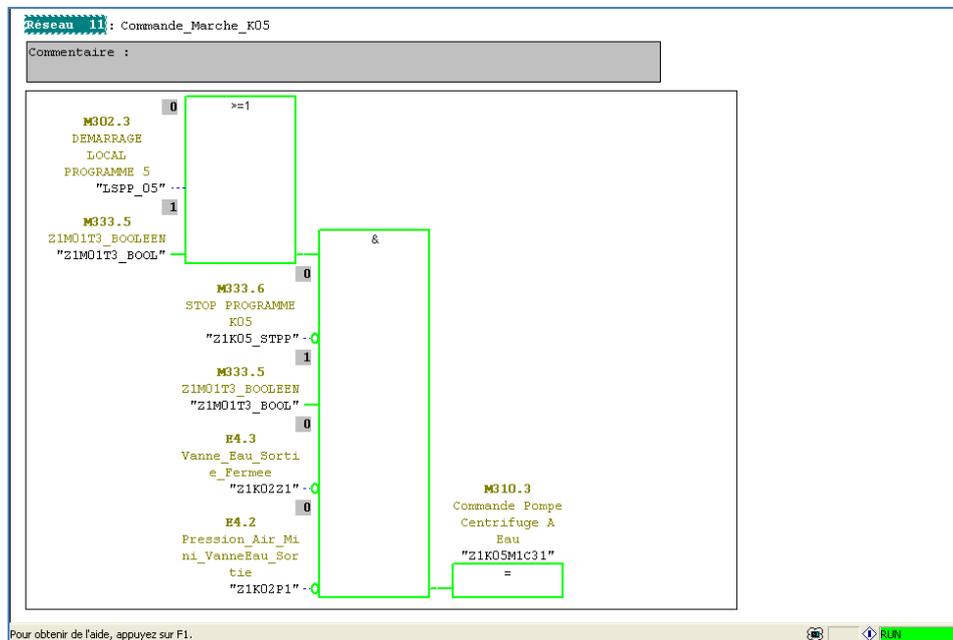
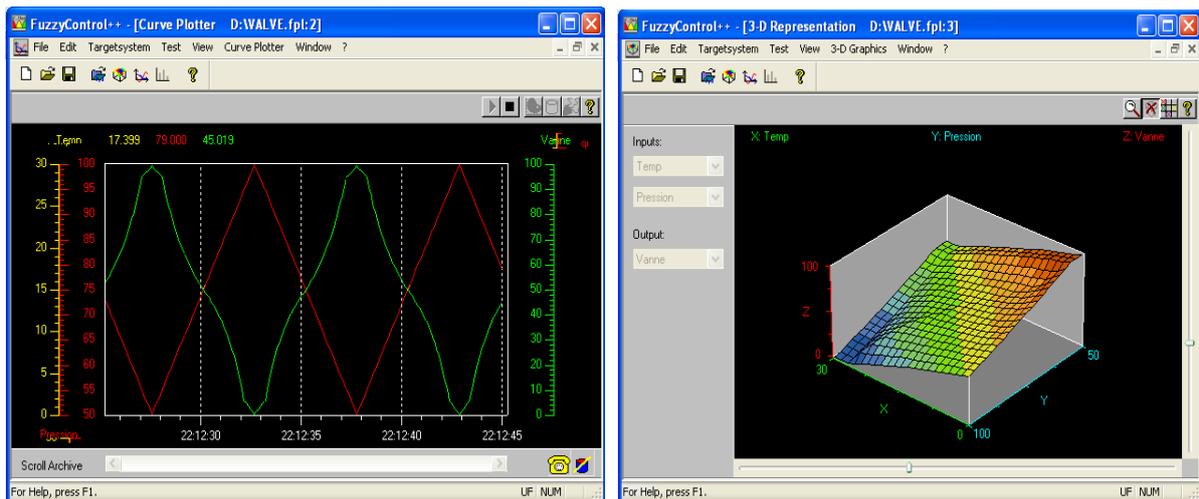


Figure 7.23 : Bloc pompe K05

La régulation floue est faite en utilisant FuzzyControl++, la boucle de régulation est illustrée sur les figures 7.24 (a) et (b). L'action sur la vanne est faite selon la température de sortie du broyeur et la pression d'air de la vanne.



(a)

(b)

Figure 7.24 : (a) et (b) Boucle de régulation de température et surface générée

Le bloc du contrôleur flou est présenté sur la figure 7.25, pour l'entrée 118 par exemple, la vitesse sera 80.

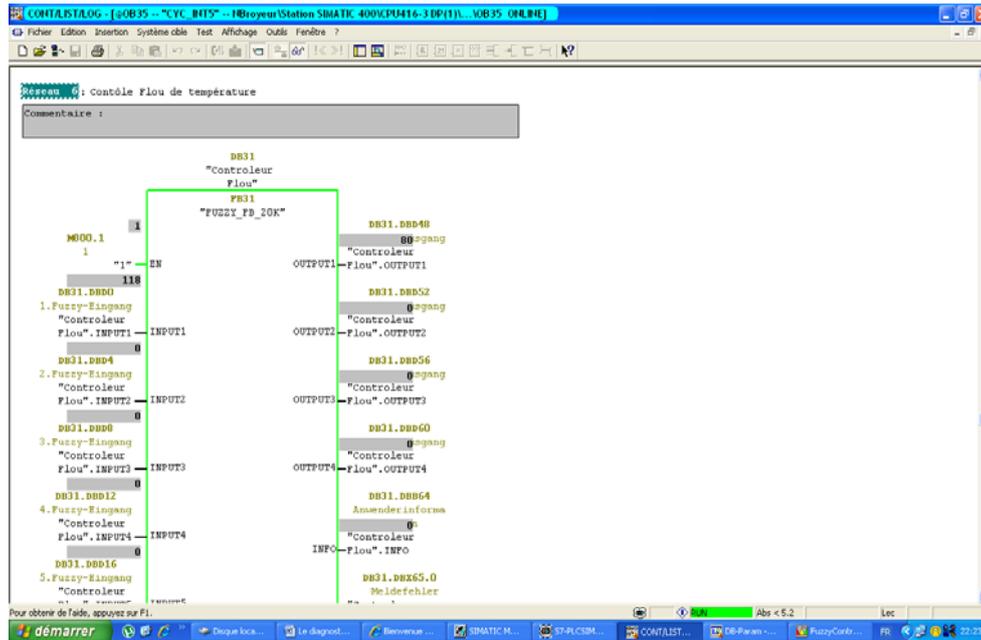


Figure 7.25 : Bloc du controleur flou de température

II.1.1. Stockage Ciment

Après le broyage, le ciment est stocké dans des silos, et près à être expédié dans les moyens de transports comme camions. Chaque silo a un niveau max. Ce niveau est une alarme pour arrêter broyeur. La figure 7.26 illustre le réseau d’affichage d’alarme en cas d’un niveau max qu’est 80%.

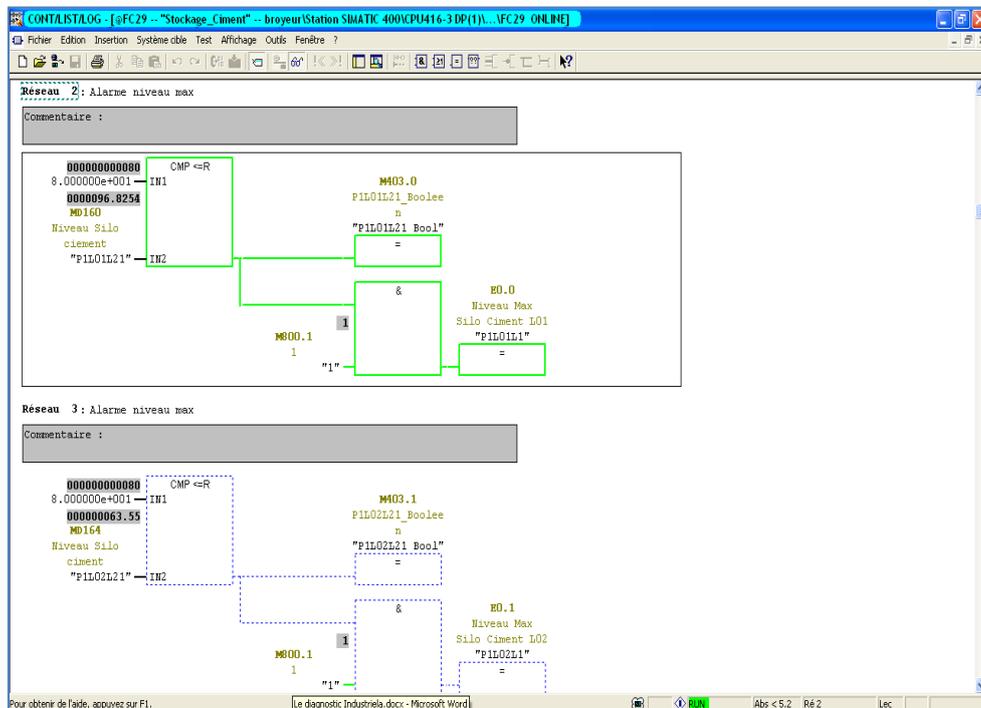


Figure 7.26 : Alarme niveau max d'un silo de ciment

II.2. SEF-DIAGMA

II.2.1. Interface Générale

Notre système expert flou pour le diagnostic et la maintenance du broyeur ciment SEF-DIAGMA est lancé via une interface générale (figure 7.27) permettant l'accès à toutes les vues d'opérateurs. Soit par les images des composants de l'atelier, Alimentation, Broyeur ou Stockage, soit par les boutons en haut de la fenêtre.

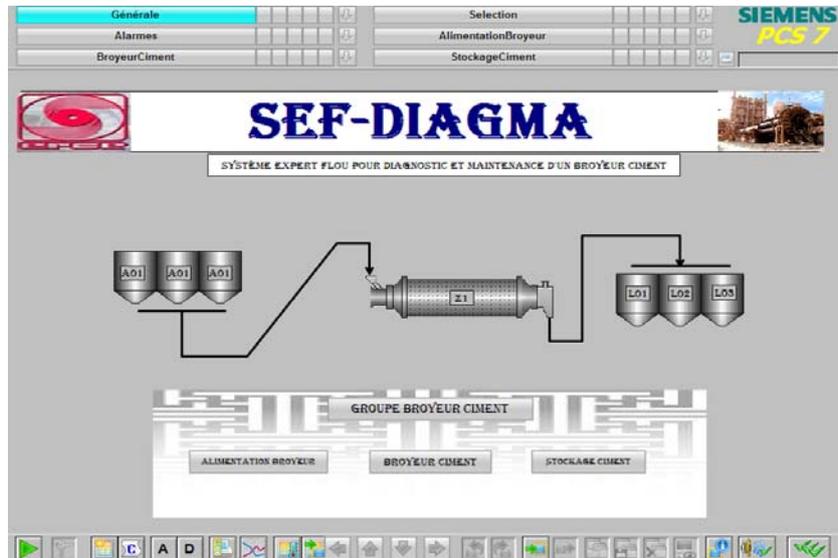


Figure 7.27 : Interface générale SEF-DIAGMA

L'opérateur peut aussi afficher la liste des alarmes, l'acquitter, afficher les courbes des différentes mesures. Ou quitter l'interface complètement en cliquant sur le bouton  ensuite le bouton .

II.2.2. Sélection des Équipements

La sélection des équipements (figure 7.28) est réalisée par la sélection des groupes, chaque groupe contient un nombre d'équipements ordonnés selon la séquence de démarrage. Le démarrage du groupe signifie le démarrage des équipements inclus.



Figure 7.28 : Sélection des équipements

Dans d'autres 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.

II.2.3.L'Alimentation Du Broyeur

Pour la modification de l'alimentation (Figure 7.29), on doit vérifier le folaphone M01X1, et la charge de l'élévateur J01J2. *Si J01J2 est bas et M01X1 est haut, alors réduire l'alimentation <10 t/h. Si J01J2 est bas et M01X1 est bas (possiblement un début de blocage de la cloison de sortie) alors réduire l'alimentation.*

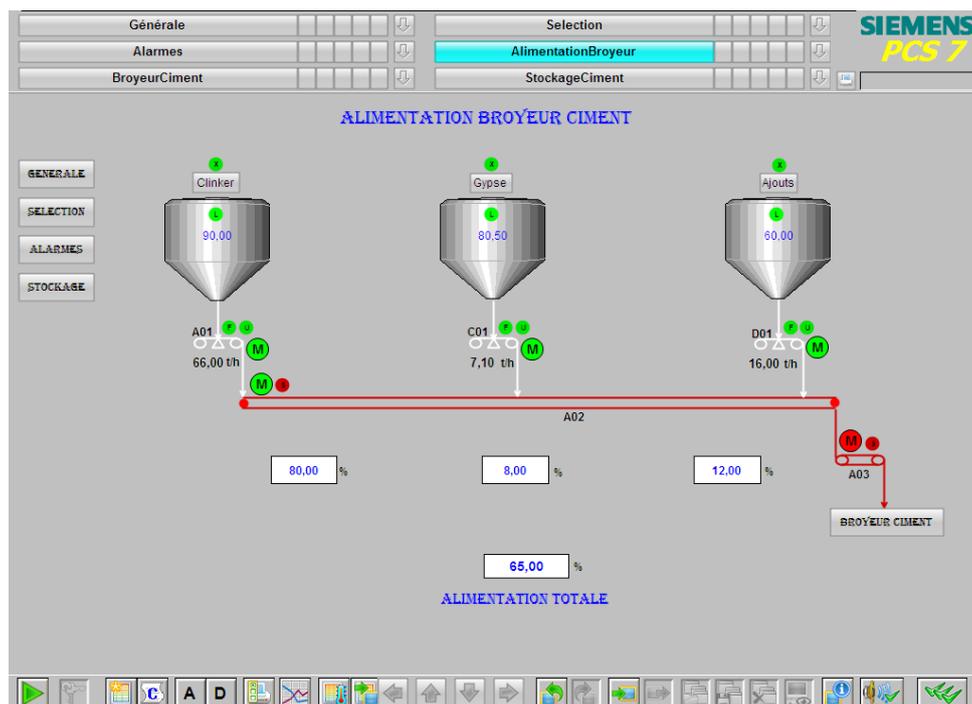


Figure 7.29 : Alimentation du broyeur ciment

Les régulations sont faites au niveau des trémies en vérifiant le niveau de chaque trémie, et selon la vitesse des tabliers et les doseurs soient en marche ou en panne, et selon le point de consigne donné par l'opérateur. La quantité extraite de chaque trémie est calculée selon le pourcentage désiré pour le mélange du broyeur ciment.

II.2.4.Le Broyeur Ciment

La station opérateur pour broyeur ciment est présentée sur la figure 7.30. En affichant les valeurs calculées, comme la température, la vitesse, ..., ou entrer les points de consigne, comme le tonnage, le débit d'eau à injecter à la sortie du broyeur, ou la vitesse du séparateur.

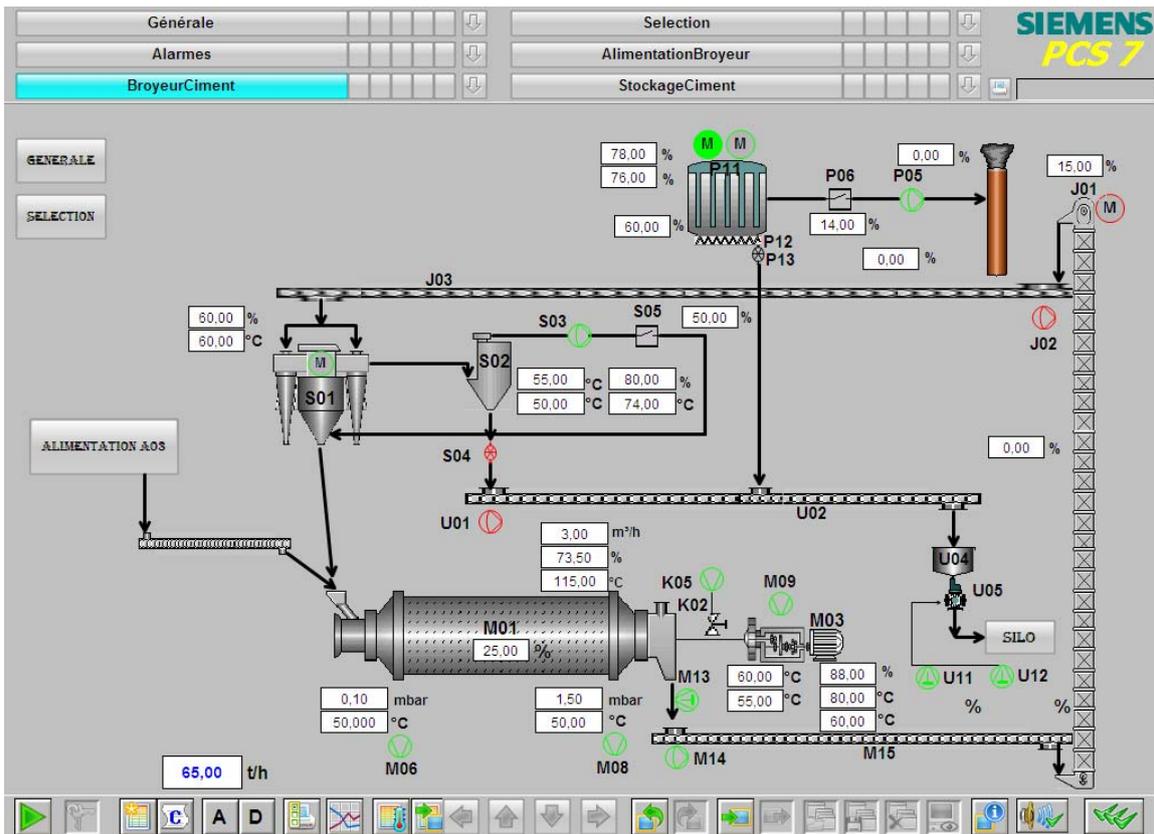


Figure 7.30 : Broyeur Ciment

Pour afficher la courbe de la température du palier d'entrée du broyeur M01T9, en clique sur le bouton . La courbe affichée sur la figure 7.31 montre la variation de la température en utilisant le simulateur de PCS 7, PLCSIM.

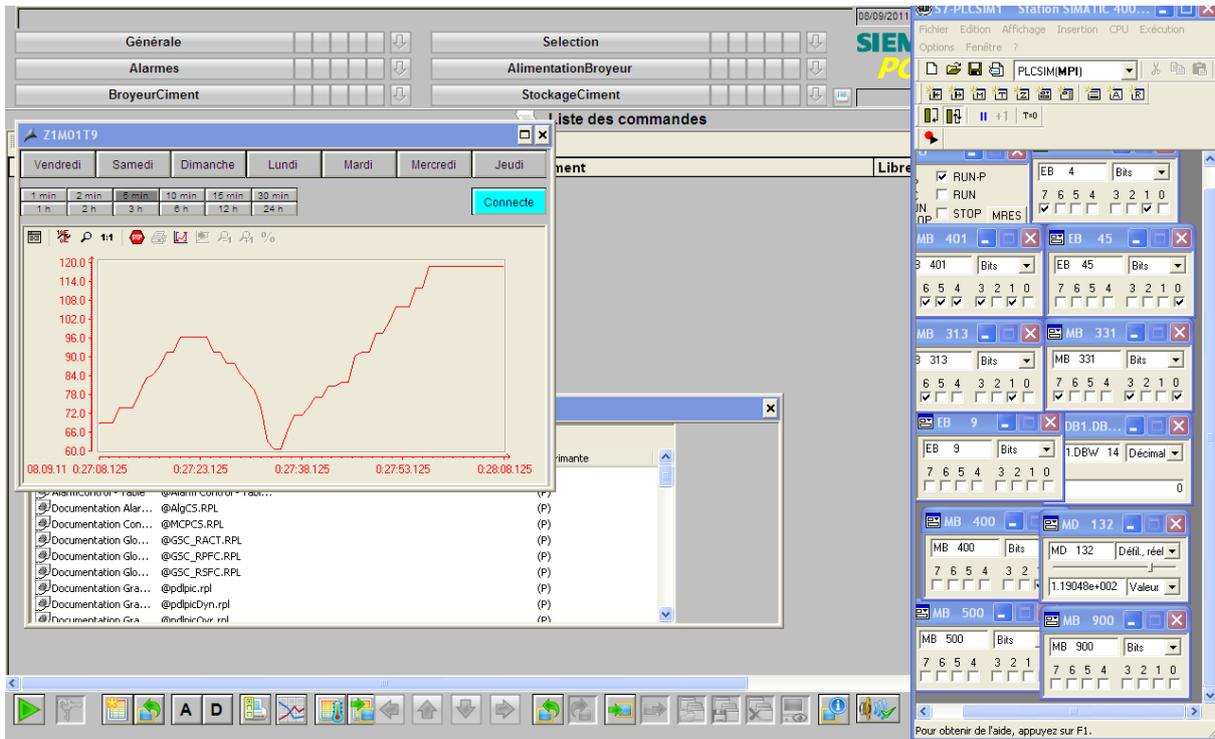


Figure 7.31 : Courbe de variation de la température M01T9

II.2.5. Stockage Du Ciment

Le ciment est stocké dans des silos, si l'un des silos a atteint son niveau max, la matière est envoyée au silo suivant par la sélection du bouton , le triangle vert indique la direction de circulation de matière. Le ciment est expédié dans des camions dans des sacs, l'arrêt de sortie de la matière est fait par clic sur le bouton . La figure 7.32 représente le process de stockage du ciment.

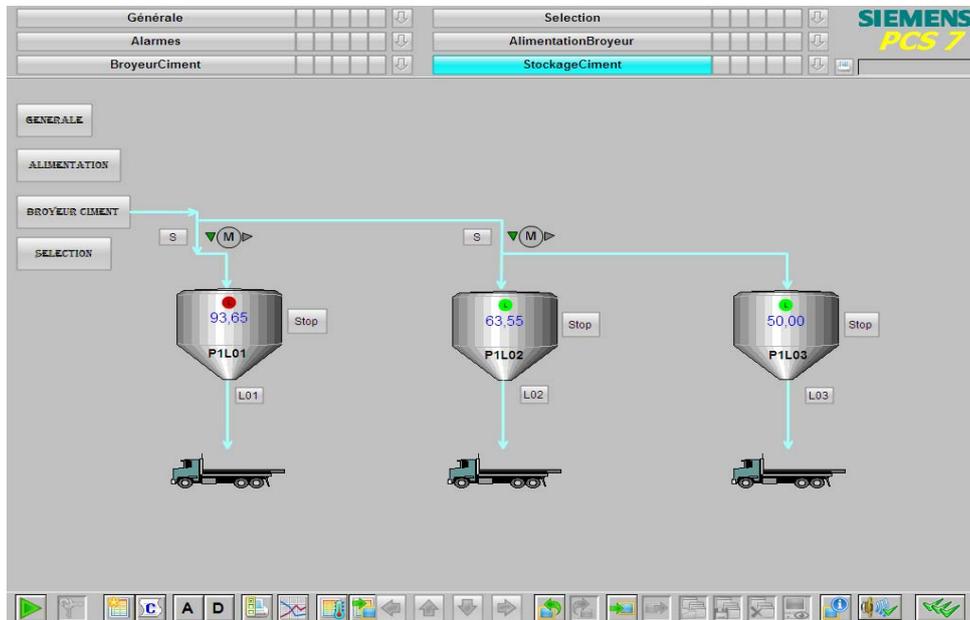


Figure 7.32 : Stockage du ciment

II.2.6. Diagnostic et Maintenance des Alarmes

Le but essentiel de notre travail est le diagnostic et la maintenance. Ce but est atteint par les alarmes provoquées ou engendrées pendant la mise en marche du système. Plusieurs types d'alarmes peuvent avoir lieu, parmi eux, les alarmes système et les alarmes process. La figure 7.33 illustre quelques alarmes et leurs tâches de maintenance effectuées.

Sur la table des alarmes, on peut acquitter une alarme par un clic sur le bouton , ou plusieurs alarmes en utilisant le bouton . Sur la figure 7.33, apparaît quelques alarmes acquittées. Et si ces alarmes ont des avertisseurs sonores, on peut l'acquitter par l'utilisation du bouton .

The screenshot shows the 'Diagnostic des Alarmes' window in Siemens PCS 7. At the top, there is a header bar with the date '24/09/11', time '14:39:01.375', and alarm type 'Faute Générale A03'. Below this, there are several tabs: 'Générale', 'Alarms', 'BroyeurCiment', 'Selection', 'AlimentationBroyeur', and 'StockageCiment'. The main area contains a table of alarm events.

| Date | Heure | Num | Etat | Texte d'alarme WinCC | Zone | Maintenance |
|----------|----------------|-----|------|----------------------------------|---------------------|--|
| 24/09/11 | 14:39:01.371 | 16 | ✓ | Faute Générale A02 | Transport A bande | Problèmes mécaniques transport à ba |
| 24/09/11 | 14:39:01.371 | 12 | ✓ | Faute Générale A03 | Transport A bande | Problèmes mécaniques transport à ba |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:61 | 3 | ✓ | Réponse Elévateur J01 | Elévateur | Vérifier l'elévateur |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:60 | 4 | ✓ | Réponse Ventilateur J02 | Elévateur | Vérifier le ventilateur J02 |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:68 | 5 | ✓ | Réponse Pompe Centrifuge K05 | Broyeur | Vérifier la pompe centrifuge K05 |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:57 | 6 | ✓ | Réponse Moteur Broyeur M03 | Broyeur | Vérifier le moteur du broyeur |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:48 | 7 | ✓ | Réponse Registre | Filtre A Manche | Vérifier la ventilateur |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:46 | 8 | ✓ | Réponse P11A1 | Filtre A Manche | Vérifier le redresseur |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:45 | 9 | ✓ | Réponse P11A1M1 | Filtre A Manche | Vérifier le marteau |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:42 | 10 | ✓ | Réponse Trnsp vis/Ecluse P12/P13 | Filtre A Manche | Vérifier Trnsp à vis et l'ecluse à air |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:38 | 11 | ✓ | Réponse Ventilateur S03 | Séparateur | Vérifier le ventilateur S03 |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:35 | 12 | ✓ | Réponse Sas S04 | Séparateur | Vérifier le sas S04 |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:33 | 13 | ✓ | Réponse Ventilateur U01 | Broyeur | Vérifier le ventilateur U01 |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:27 | 14 | ✓ | Réponse Compresseur U11 | Broyeur | Vérifier le compresseur U11 |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:26 | 15 | ✓ | Réponse Compresseur U12 | Broyeur | Vérifier le compresseur U12 |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:21 | 16 | ✓ | Réponse A01 | Alimentateur Doseur | Vérifier la bande A01 |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:17 | 17 | ✓ | Réponse A02 | Transport A bande | Vérifier la bande A02 |
| 24/09/11 | 14:07:42,20:13 | 18 | ✓ | Réponse A03 | Transport A bande | Vérifier la bande A03 |

Figure 7.33 : La table des alarmes

La figure 7.34 présente une liste d'alarmes de process, leurs dates, heures et l'événement provoqué. Ces alarmes sont des problèmes du système lui-même, soit dans le chargement du programme à la CPU, sa liaison, ou des problèmes de Wincc et les outils inclus.

The screenshot shows the 'Alarmes de process' window in Siemens PCS 7. The header bar shows the date '08/09/2011 09:12:08'. Below the header, there are tabs for 'Générale', 'Alarms', 'BroyeurCiment', 'Selection', 'AlimentationBroyeur', and 'StockageCiment'. The main area contains a table of process alarm events.

| Date | Heure | Priorit | Texte d'alarme WinCC | Evénement | Etat |
|----------|--------------|---------|----------------------|--|------|
| 08/09/11 | 00:11:40.359 | 0 | STATION | Adaptateur de terminal 00:22:64:83:4C:F6 déconnecté | OS |
| 07/09/11 | 22:11:40.218 | 0 | | CSIG::STATION:La hiérarchie d'affichage groupe n'est | A |
| 07/09/11 | 22:10:34.000 | 0 | | SSM::STATION:Le taux de remplissage du lecteur de p | A |
| 07/09/11 | 22:10:11.609 | 1 | | WCRT::Erreur de chargement de l'Object Engine | A |
| 07/09/11 | 22:09:19.359 | 1 | | WCRT::Erreur de chargement de l'Object Engine | A |
| 07/09/11 | 22:06:40.468 | 0 | STATION | Adaptateur de terminal 00:22:64:83:4C:F6 déconnecté | P |
| 07/09/11 | 21:16:36.796 | 0 | STATION | Adaptateur de terminal 00:22:64:83:4C:F6 déconnecté | A |
| 07/09/11 | 21:16:36.795 | 0 | STATION | Adaptateur de terminal 00:22:64:83:4C:F6 déconnecté | Acq |
| 07/09/11 | 20:57:44.031 | 0 | STATION | Adaptateur de terminal 00:22:64:83:4C:F6 déconnecté | P |
| 07/09/11 | 18:37:02.984 | 0 | STATION | Adaptateur de terminal 00:22:64:83:4C:F6 déconnecté | A |
| 06/09/11 | 11:51:37.796 | 1 | | WCRT::Erreur de chargement de l'Object Engine | A |
| 06/09/11 | 11:25:27.593 | 0 | | CSIG::STATION:La hiérarchie d'affichage groupe n'est | A |
| 06/09/11 | 11:24:21.000 | 0 | | SSM::STATION:Le taux de remplissage du lecteur de p | A |
| 06/09/11 | 11:23:59.203 | 1 | | WCRT::Erreur de chargement de l'Object Engine | A |
| 06/09/11 | 11:23:02.531 | 1 | | WCRT::Erreur de chargement de l'Object Engine | A |
| 03/09/11 | 20:01:54.203 | 0 | | REDRT::STATION:RedundancyControl: Basculement st | A |
| 03/09/11 | 20:01:54.203 | 0 | | REDRT::STATION:Erreur RedundancyControl Applicati | A |
| 03/09/11 | 19:01:32.015 | 1 | | WCRT::Erreur de chargement de l'Object Engine | A |
| 03/09/11 | 18:46:31.484 | 0 | | CSIG::STATION:La hiérarchie d'affichage groupe n'est | A |
| 03/09/11 | 18:45:25.000 | 0 | | SSM::STATION:Le taux de remplissage du lecteur de p | A |
| 03/09/11 | 18:44:50.515 | 0 | | WCRT::Erreur de chargement de l'Object Engine | A |
| 03/09/11 | 18:47:41.484 | 0 | | CSIG::STATION:La hiérarchie d'affichage groupe n'est | A |
| 03/09/11 | 16:41:43.187 | 0 | | WCRT::STATION:La liaison ProgrammeS7(1) est étab | A |
| 03/09/11 | 16:41:43.156 | 0 | | WCRT::STATION:La liaison NouvelleLiaison est établi | A |
| 03/09/11 | 16:41:34.000 | 0 | | SSM::STATION:Le taux de remplissage du lecteur de p | A |

Figure 7.34 : Alarmes de process

II.3. Conclusion

Notre application au niveau de la SCIMAT, et plus exactement au niveau du broyeur ciment par le système expert flou SEF-DIAGMA, a confirmé notre idée, à savoir que la décomposition des contrôleurs ou des régulateurs flous, d'où l'absence de l'un n'empêche pas les autres de compléter leurs tâches, au lieu d'un package complet et séparé, qu'est soit existant à 100%, soit absent à 100%.

D'un autre côté, les régulateurs flous ont un effet plus important que les régulateurs ordinaires. Le temps de régulation et la stabilisation de la courbe de régulation est réduite par rapport à une courbe de régulation normale.

Cependant, d'un côté économique, il est très coûteux d'introduire une usine totalement autopilotée. La technique de la logique floue est efficace, mais sa programmation reste difficile pour les opérateurs. Cet obstacle a un grand effet sur la généralisation du contrôle flou dans tous les ateliers de la cimenterie.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Tout au long de ce travail de thèse, nous avons principalement traité l'application des techniques d'intelligence artificielle, la logique floue et les systèmes experts dans le domaine du diagnostic et de maintenance industriels. Nous avons abordé ce thème afin d'étudier les avantages, les inconvénients, et les obstacles qui peuvent être observés dans la surveillance, le contrôle, le diagnostic et la maintenance de processus. Une meilleure caractérisation des états fonctionnels du système permet de mieux diagnostiquer le procédé, c'est-à-dire de mieux détecter des états anormaux, ainsi que des dérives éventuelles dans le fonctionnement du procédé.

Pour le cas de processus complexes industriels qui présentent des dynamiques hautement non linéaires et possèdent un grand nombre de variables, pour lesquels il est parfois difficile d'obtenir un modèle mathématique précis qui permet de détecter les états anormaux. La technique de la logique floue et les systèmes experts, ont prouvé leur efficacité dans le contrôle et la surveillance des systèmes industriels. Et c'est ce qu'on a procédé dans les deux chapitre quatre et cinq, concernant leur application dans SCIMAT. Toutefois leurs performances sont fortement dépendantes de la bonne sélection des paramètres, et la maîtrise du processus à réaliser.

Cependant, nous avons observé que la philosophie d'application de la logique floue au sein de la cimenterie est basée sur le principe du tout ou rien. Autrement dit, l'outil ProcessExpert basé sur la logique floue est lié la stabilité du système. Il fonctionne en logique binaire en cas d'instabilité du système.

Notre contribution réside dans l'application de la logique floue dans des régulateurs séparés, c'est à dire la mise en place d'un contrôle flou destiné à la régulation des tâches bien spécifiques. Cette approche basée sur un système expert flou réalisé pour les régulations de la finesse du ciment, la quantité de SO_3 , dans l'atelier broyeur ciment, pour assurer la qualité conforme du produit. Cette approche proposée au responsable de l'unité de production de la SCIMAT a trouvé un écho très positif.

En effet, au vu des résultats encourageants obtenus, l'approche proposée solutionne le fonctionnement de la logique floue néanmoins nécessite une formation accrue des instrumentistes aussi bien ceux de la Cimenterie que ceux de F.L.Smith Automation.

Compte tenu des résultats satisfaisants obtenus, nous proposons comme perspectives la généralisation de cette approche à tous les ateliers de l'usine. L'idée d'appliquer la logique floue pour des régulateurs séparés est peut être compliquée, et difficile à mettre en place, mais reste originale est convaincante sur le plan simulation. Pour la SCIMAT, il est plus intéressant d'avoir un système flou de contrôle, de supervision, de diagnostic et de maintenance continu, qu'un système basé sur la stabilisation d'un système industriel compliqué, difficile à contrôler ces paramètres.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

1. **Cox, Earl.** *La Logique Floue Pour les affaires et l'industrie.* [trad.] Maurice Clerc. Paris. Edition : International Thomson Publishing, 1997.
2. **Bon, Jean-Louis.** *Fiabilité des systèmes, Méthodes mathématiques.* Paris-Sud. Edition : Masson, 1995.
3. **Villemeur, A.** *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels.* France. Edition : Eyrolles, 1988.
4. **Zwingelstein, Gilles.** *Diagnostic des défaillances, théorie et pratique pour les systèmes industriels.* Paris. Edition : Hermes, 1995.
5. **R.Mahdaoui, H.L Mouss.** *Diagnostic Industriel par Neuro-Floue Application à Un Système de Production.* Setif, Algérie. 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007.
6. **Mezroua medali.** Le diagnostic par système expert. *Centerblog.* [En ligne] 2009. <http://www.centerblog.net/blog-technologie-sciences.html>.
7. **Norme, AFNOR.** Statistique et Qualité , introduction à la fiabilité. Novembre 1977. X NF, 06-501.
8. **Monchy, François.** La fonction maintenance, formation à la gestion de la maintenance industrielle. *Collection Technologies de l'Université à l'Industrie.* Édition : Masson, 1991.
9. **Djerfa Nour El Houda, Yahia Afaf.** *Etude de l'optimisation d'un contrôleur flou par des méta-heuristiques et son application à la commande d'un processus dynamique.* Oued-Smar, Algérie. Institut National d'Informatique, 2008.
10. **François. Chevie, François. Guély.** Extrait du Cahier Technique Schneider n° 191. Paris. Edition : Schneider Electric, 1998.
11. **Pomerol, Jean-Charles.** *Les Systèmes Experts, Technologies de Pointe.* Paris. Edition : Hermes, 1988.
12. **Farreny, Henri.** *Les Systèmes Experts, principes et exemples, Techniques Avancées de l'Informatique.* Paris. Edition : Berti, 1989.
13. **Kaufman, Arnold.** *Le pramétrage des moteurs d'inférence, Traité des nouvelles technologies, Série Mathématiques Appliquées.* Paris. Edition : Hermes, 1988.
14. **F.L. Smidth Automation.** *Knowledge delivered, Automation Course Manual, QCX Training Book, Ain Touta, Algeria.* Danemark. Edition : F.L. Smidth Automation, 2011.
15. **F.L. Smidth Automation.** *Système QCX/FUZ/CEM/LRM, FUZZY, Description et instructions d'entretien.* Danemark : F.L. Smidth Automation, 1996. 793415 A.
16. **F.L. Smidth Automation.** *Control of a cement kiln by FUZZY LOGIC.* Danemark. Edition : F.L. Smidth Automation, 1987.
17. **F .L. Smidth Automation.** *Turn-Key automation with the FLS-ACE system, Kiln control using FUZZY LOGIC.* Danemark. Edition : F.L. Smidth, 1980. N° 39A9-E80.
18. **SCIMAT.** *Fiches historiques de mise en marche du four avec FUZZY.* Ain Touta, Batna. 1987-1997.
19. **F.L. Smidth Automation.** *ECS/ProcessExpert-Kiln.* Danemark. 2007. PP-7004.PXP.0001.

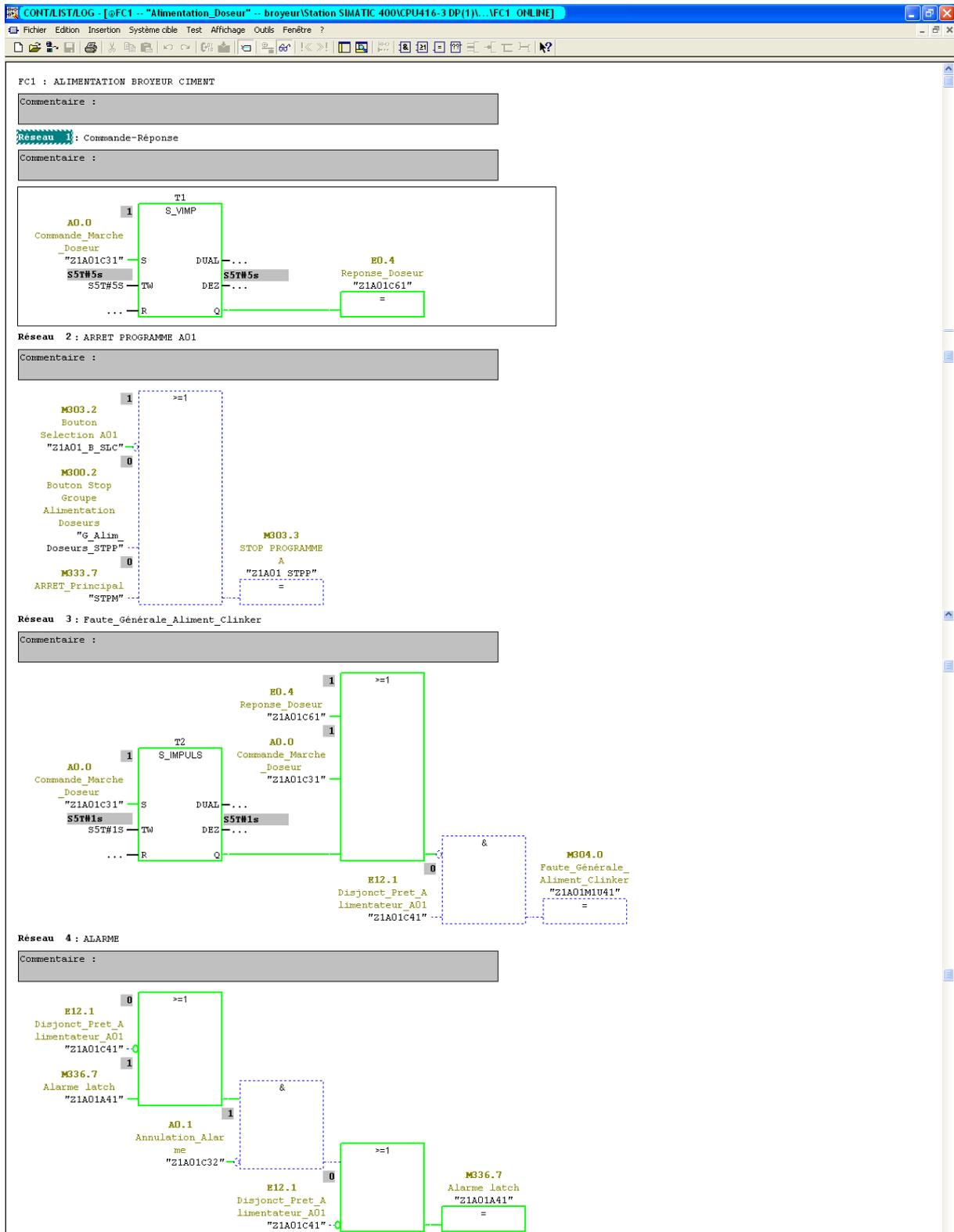
20. **F.L. Smidth Automation.** *Modernisation de système de conduite, Fournitures et prestations.* Danemark. Edition : F.L. Smidth Automation, 2007. 2007NOu003-8.
21. **F.L. Smidth Automation.** *Process Expert Browser.* Danemark. Edition : F.L. Smidth Automation, 1998.
22. **F.L. Smidth Automation.** *Process Expert Concepts.* Danemark. Edition : F.L. Smidth Automation, 1998.
23. **F.L. Smidth Automation.** *Process Expert Monitor, User manual.* Danemark. Edition : F.L. Smidth Automation, 1998.
24. **Siemens AG.** *Le super-automate pour solutions système dans l'industrie manufacturière et de procédés SIMATIC S7-400.* Allemagne. Edition : Siemens AG, Janvier 2005. 6ZB5310-OJD03-0BB1.
25. **Siemens AG.** *SIMATIC, Système d'automatisation S7-400 Caractéristiques des CPU, Manuel de référence.* Allemagne. Edition : Siemens AG, Avril 2006. A5E00267849-02.
26. **Siemens.** *SIMATIC, Système de conduite de processus PCS 7, Getting Started - Part 1 (V7.1). Mise en route.* Allemagne. Edition : Siemens, 2009. A5E02122224-01.
27. **Siemens, .** *SIMATIC. Programmer avec STEP 7. Manuel.* Allemagne. Edition : Siemens, 2006. A5E00706945-01.
28. **Siemens.** *SIMATIC. Système de conduite de processus PCS 7. OS Conduite du process (V7.1). Instructions de service.* Allemagne. Edition : Siemens, 2009. A5E02122499-01.
29. **Siemens AG Industrial Solutions and Services.** *Siemens Industry IA-DT-BT Service&Support - Automation Service, Automation Support, Simatic Service, Simatic Support, Technical Supportqsd, Technical Consulting.mht.* Allemagne. Edition : Siemens, 2004. 18791728.

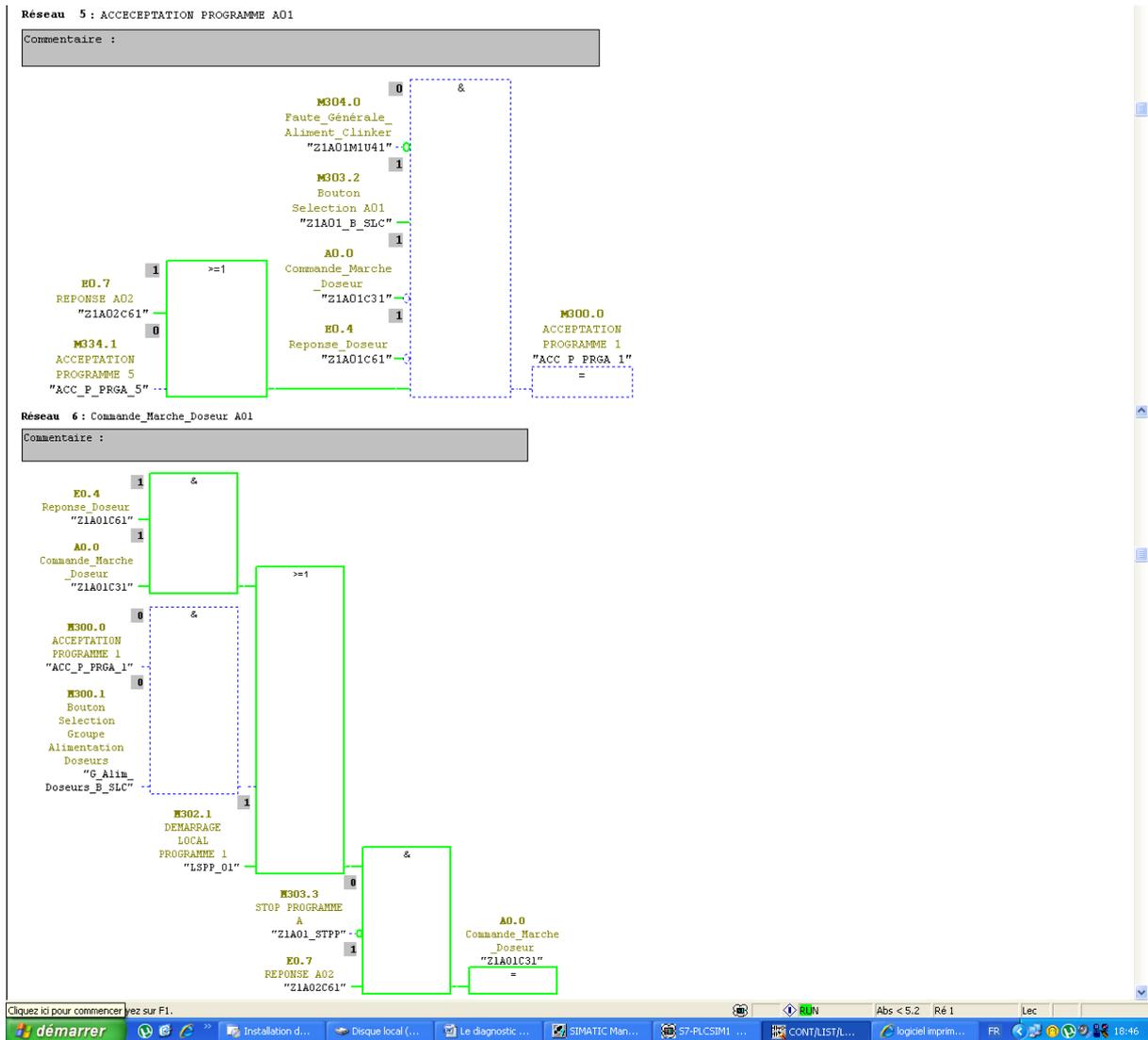
Annexes

Annexes

Annexe A : Les Codes Sources

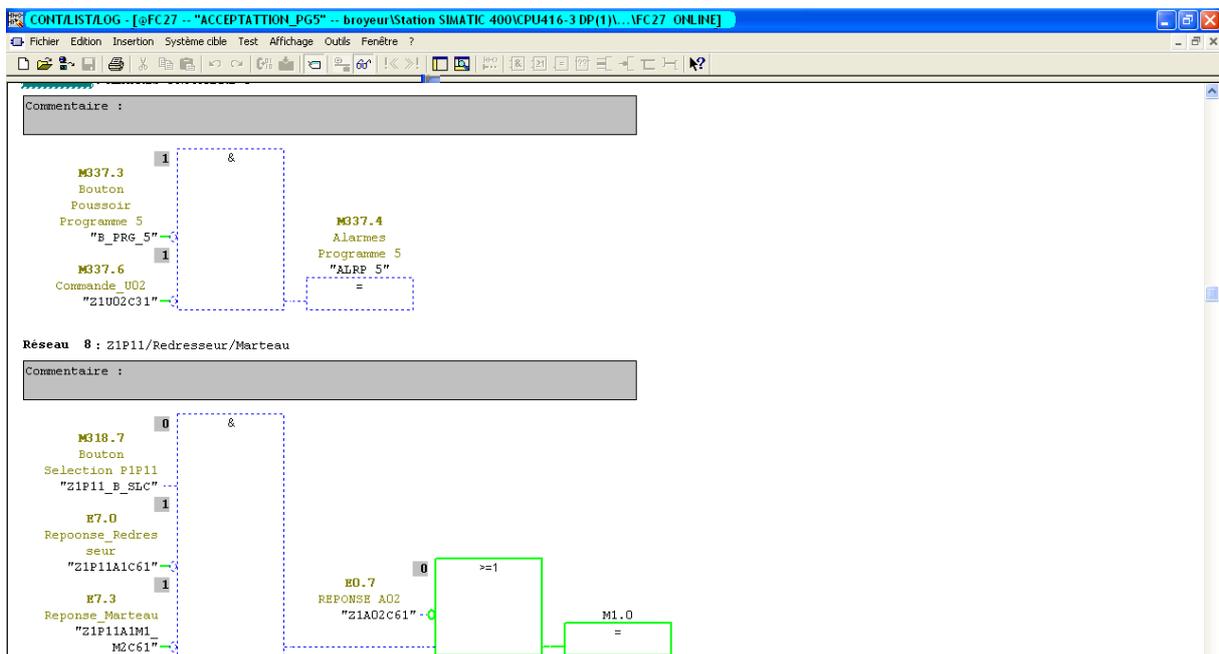
1- Bloc Alimentateur Doseur





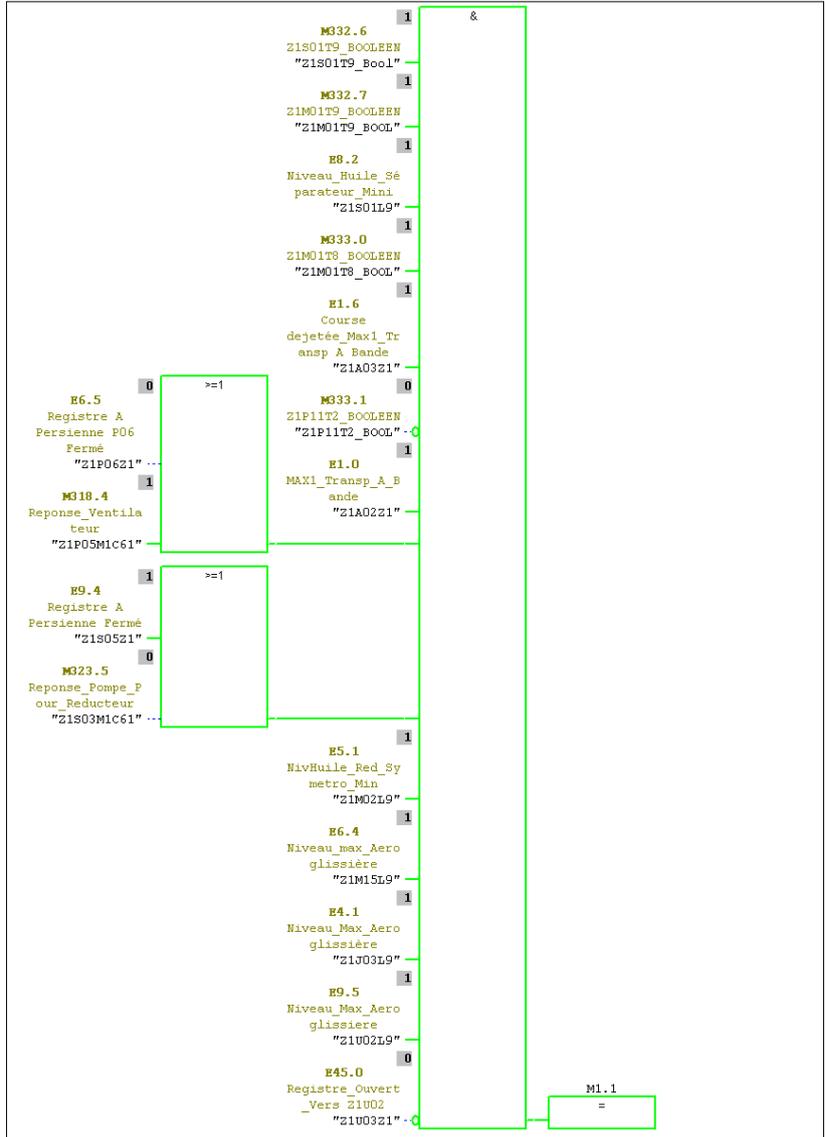
2- Blocs de l'Atelier Broyeur Ciment

a) Acceptation du programme de démarrage

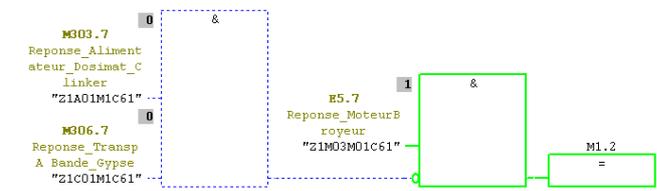


Reseau 9: Conditions

Commentaire :

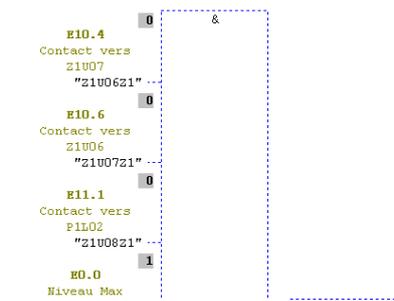


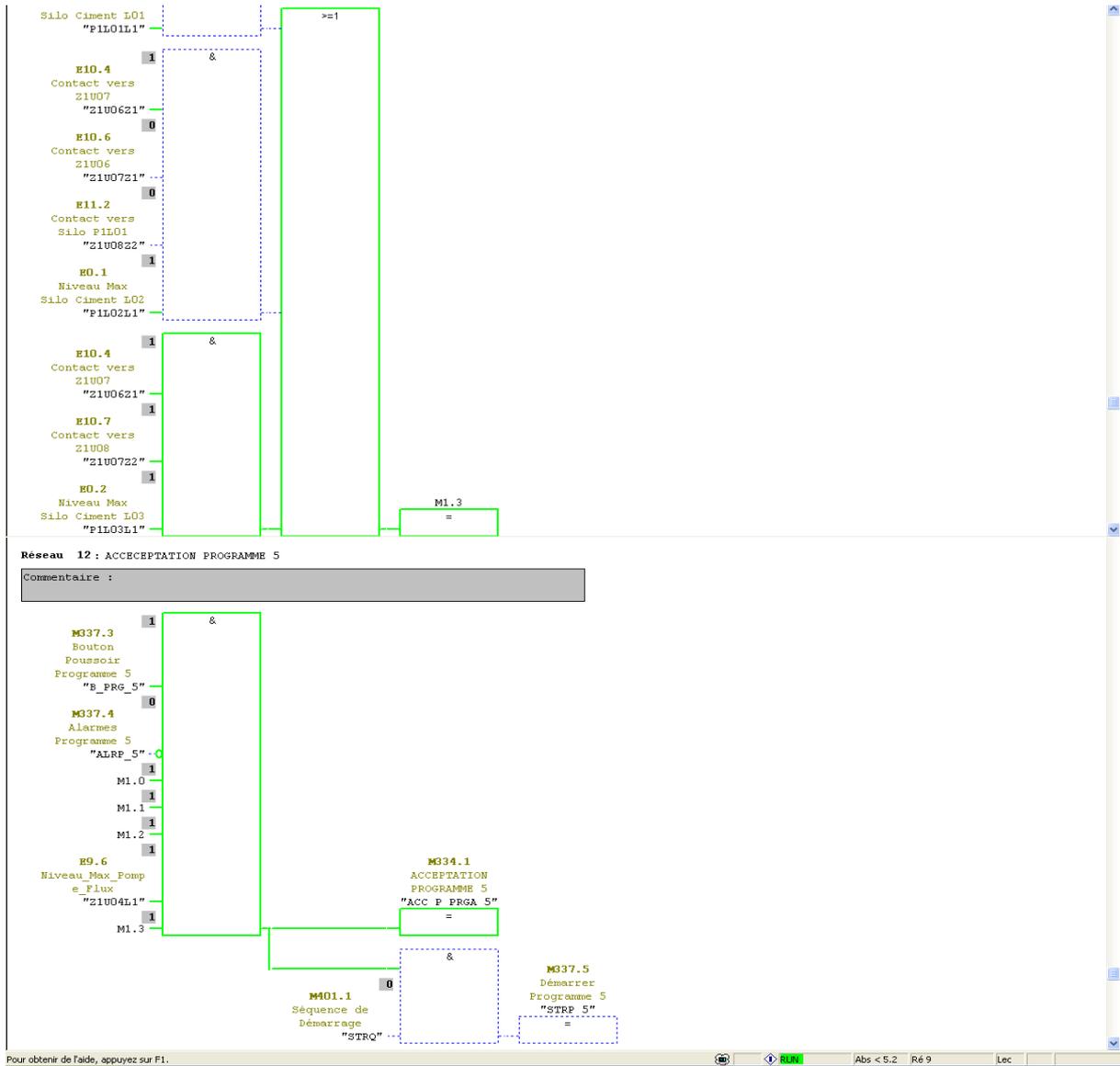
Commentaire :



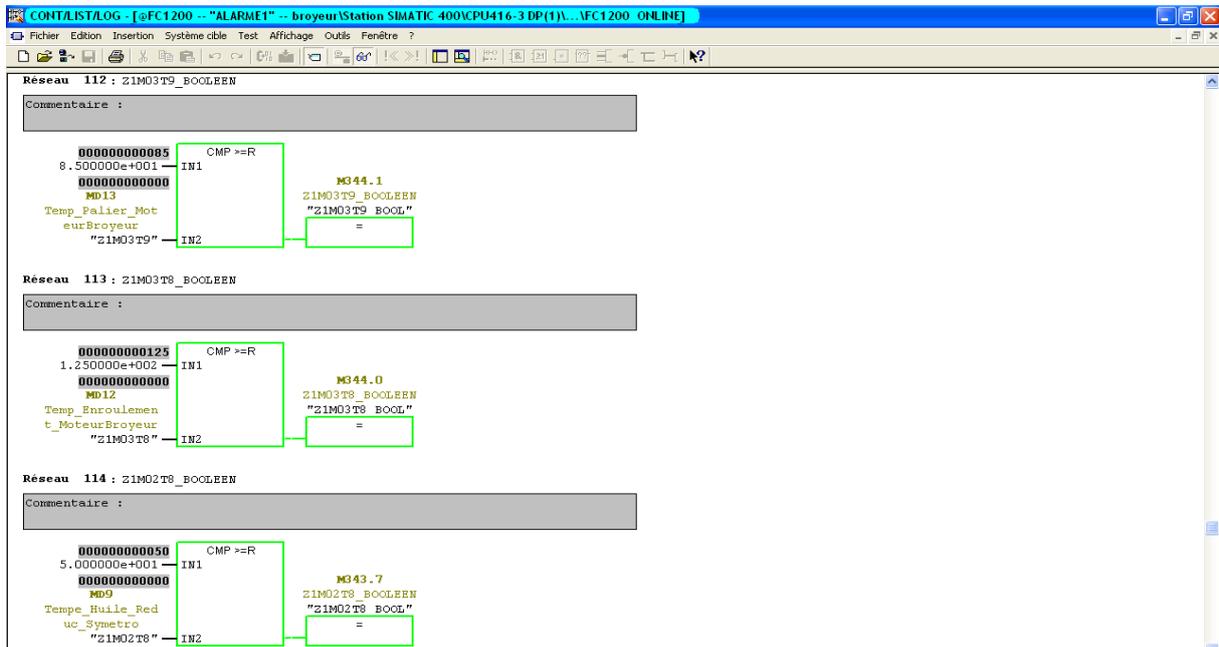
Reseau 11: Titre :

Commentaire :



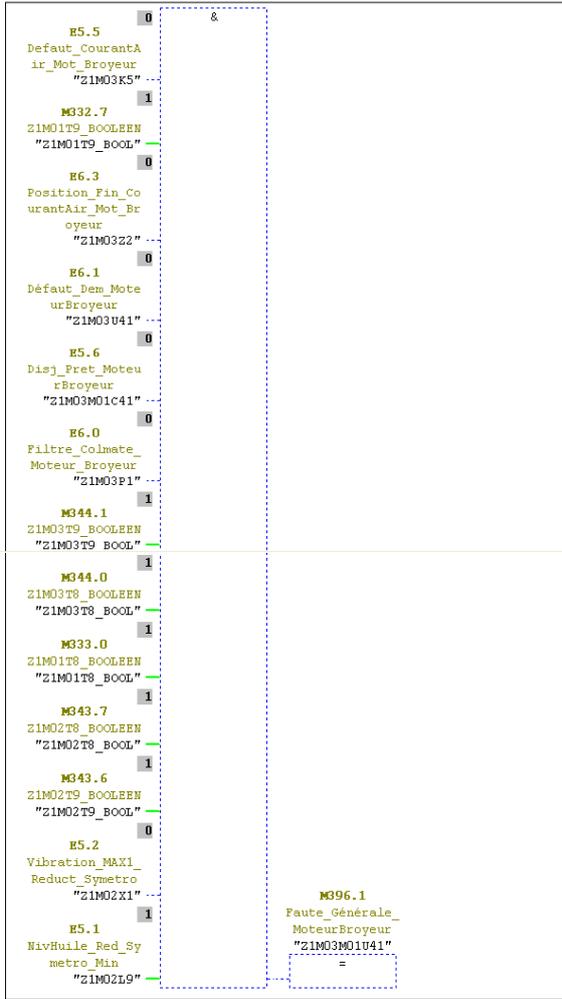


b) Alarmes

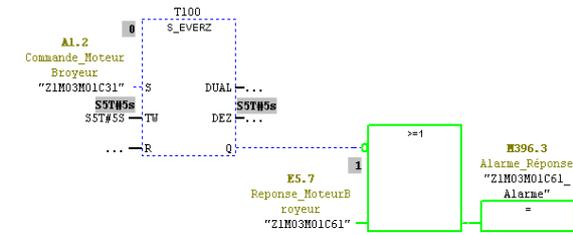


Réseau 110 : Faute_Générale_M03

Commentaire :

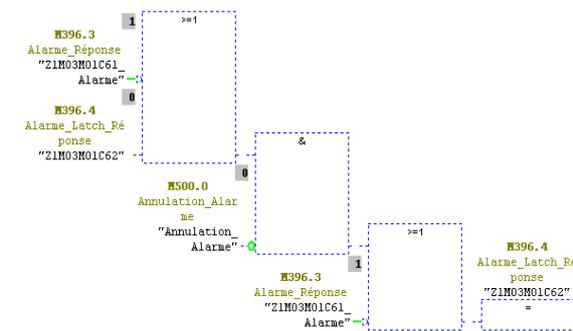


Réseau 117 : Alarme_Latch_M03



Réseau 119 : Alarme_Latch_Réponse_M03

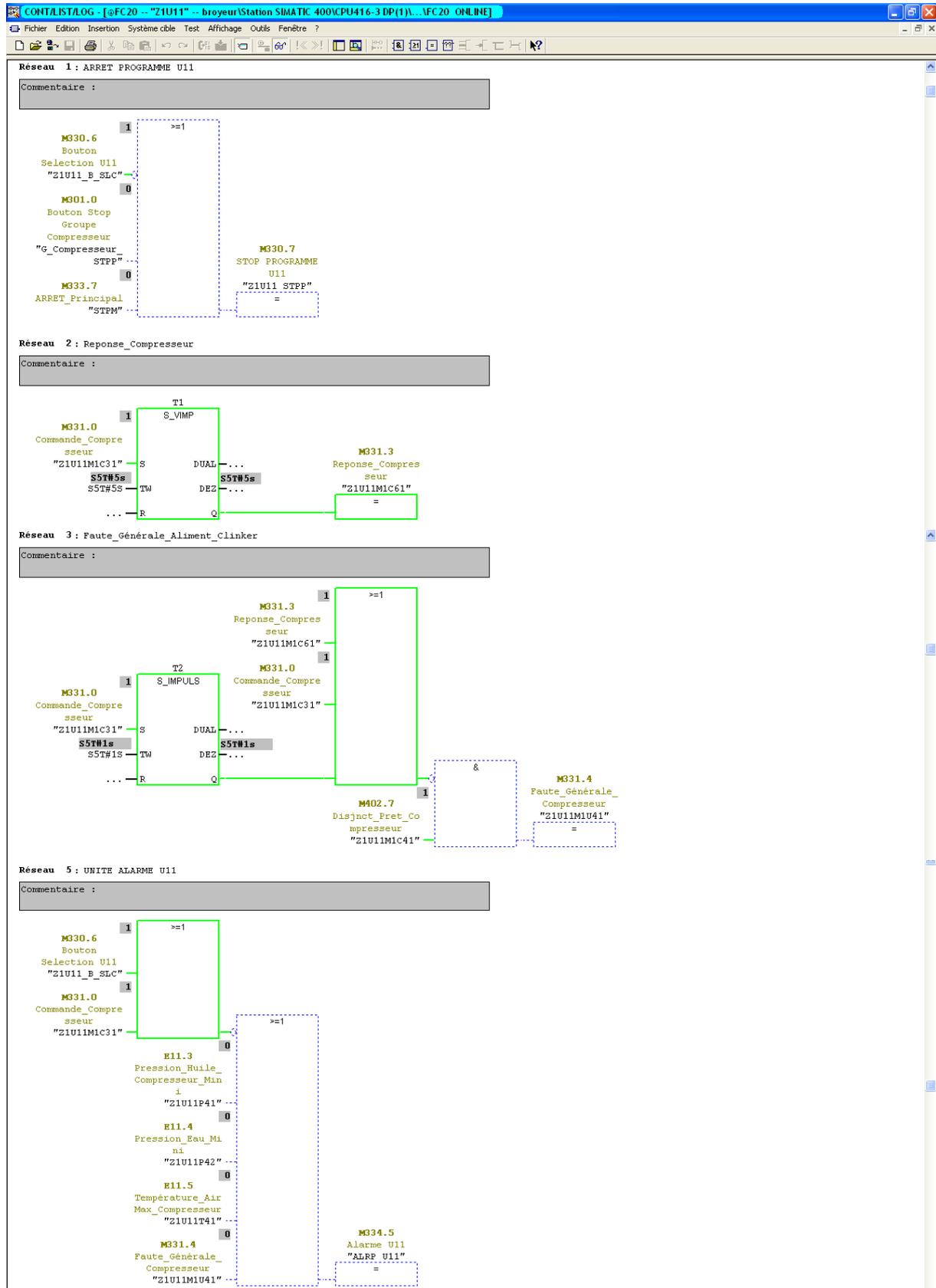
Commentaire :

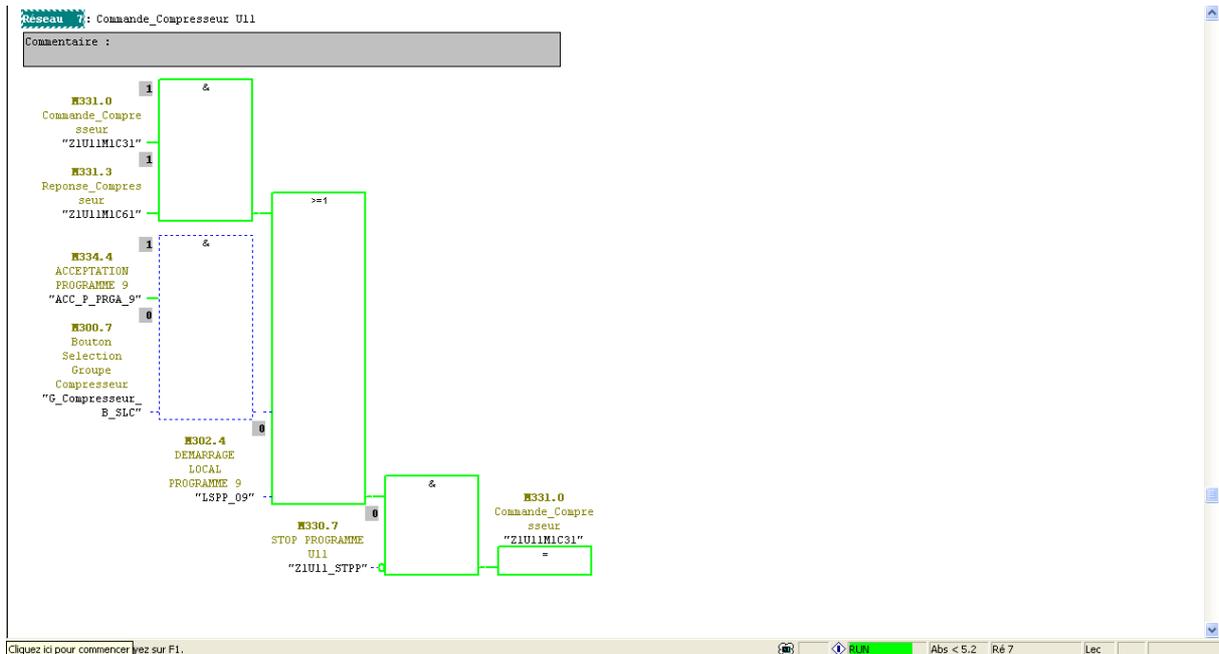


c) Équipements de l'Atelier

1. Compresseur Z1U11

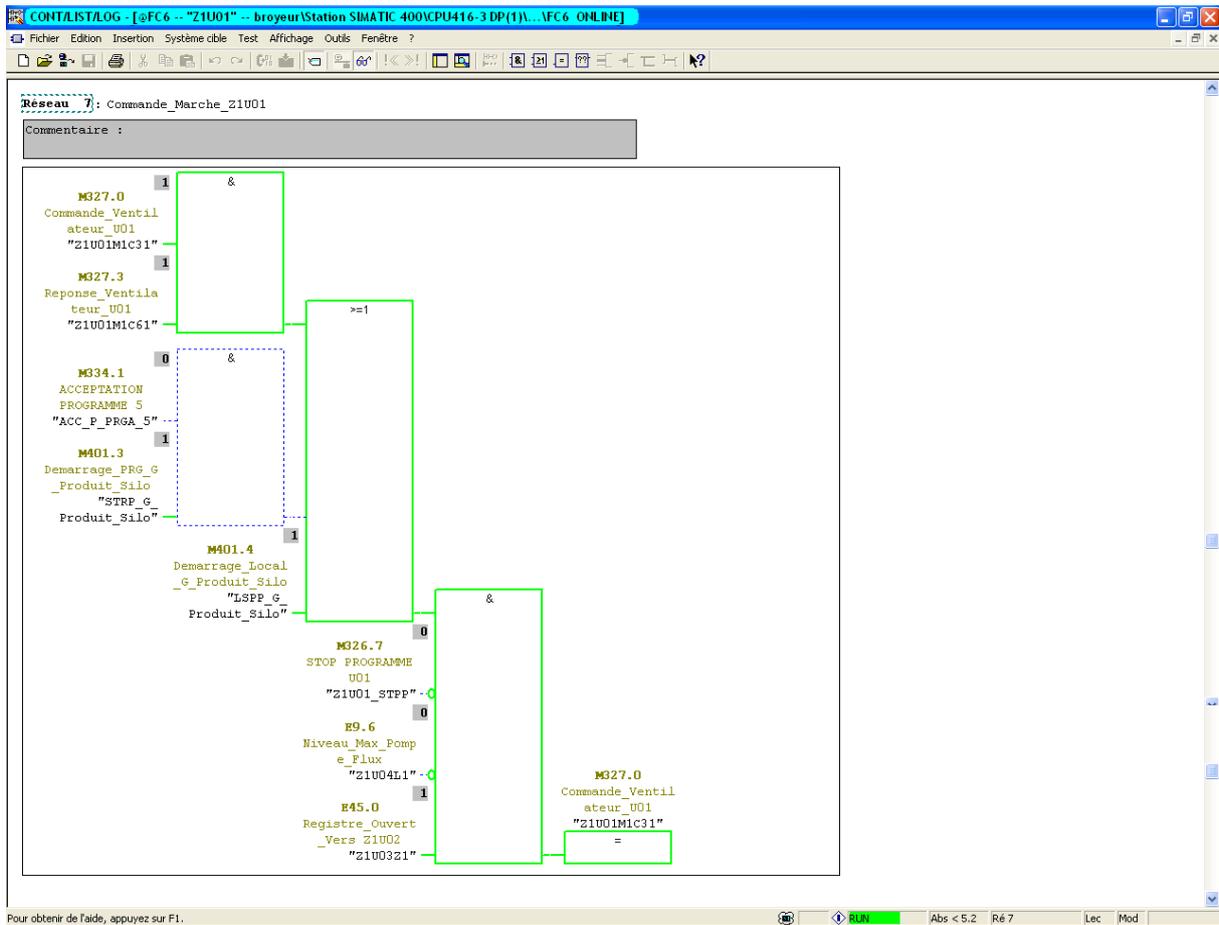
Les premiers équipements à démarrer sont les compresseurs. Ces derniers s'occupent d'envoi d'air vers la pompe U05. La figure suivante présente l'exécution du bloc de compresseur U11 en langage CONT.





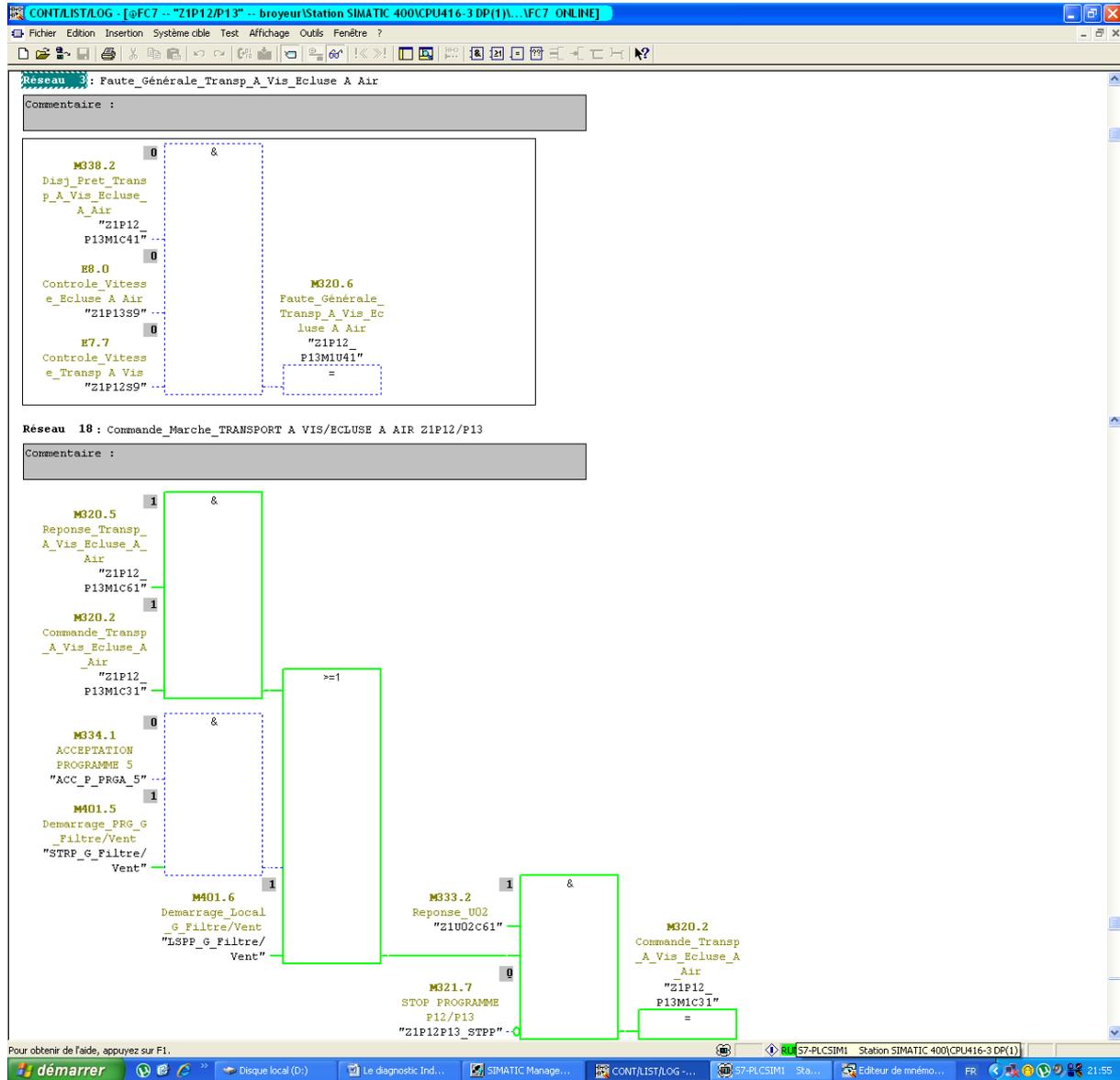
2. Ventilateur Z1U01

Le ventilateur U01 marche quand le registre de l'aéro-glissière U03 est ouvert vers U02, et s'il n'y a pas un niveau max dans la trémie U04.



3. Transport à vis et de l'écluse à air Z1P12/P13

Les deux moteurs du transporteur à vis et de l'écluse à air (sas) se démarrent et s'arrêtent simultanément. Le démarrage nécessite la réponse de l'aéro-glissière U02 si elle n'est pas en niveau max. Les deux équipements ont des contrôleurs de vitesse.



4. La pompe Z1M06

Le démarrage de la pompe à huile de circulation pour entrée M06, constitue en même temps le contrôle que le contact à huile du M01L9 (Niveau Huile Entrée Broyeur Mini) fonctionne normalement, et qu'il n'est pas bloqué à la position normale du niveau d'huile. Cela s'effectue automatiquement. Le démarrage de M06, nécessite la réponse du moteur broyeur M03 pour ne pas être mise en marche sans aucun intérêt.

Annexes

CONT/LIST/LOG - [FC3 -- "Z1M06/M08/M09" -- broyeurStation SIMATIC 400/CPU416-3 DP(1)...AFC3 ONLINE]

Fichier Edition Insertion Système cible Test Affichage Outils Fenêtre ?

Réseau 8 : Faute_Générale_M06

Commentaire :

```
graph LR
    M349.6[0] --- AND1((&))
    M5.0[1] --- AND1
    AND1 --- M13.5[0]
```

Réseau 9 : ARRET PROGRAMME M06

Commentaire :

```
graph LR
    M02.7[0] --- AND1((&))
    M333.7[0] --- AND1
    AND1 --- M13.0[0]
```

Réseau 9 : Commande_Marche_M06

Commentaire :

```
graph LR
    M313.4[1] --- AND1((&))
    M313.1[1] --- AND1
    AND1 --- M13.1[0]
```

Logiciel: SIMATIC Manager

Statut: RUN

Horloge: Abs < 5.2 Ré 9 Lec

22:00

Annexe B : la Maintenance

Contrôle et Maintenance des Filtres à Manches¹

Le Filtre à manches est à un appareillage statique qui subit les effets du fonctionnement des machines auxquelles il est connecté (ventilateur de tirage, système d'évacuation des poussières, compresseurs, panneau de nettoyage).

Les procédures d'utilisation du Filtre à manches ne prévoient aucune manœuvre, intervention ou surveillance de la part de l'opérateur pendant le fonctionnement et tout le système est géré automatiquement. L'exposition au risque n'a principalement lieu que pendant les opérations d'inspection et de maintenance, pendant lesquelles on doit prêter la plus grande attention.

1. Système de contrôle des filtres

Le système de contrôle, de diagnostic et de maintenance est développé par Redecam, à base de Step 7, et WINCC Flexible. La figure suivante, présente la phase de tirage des poussières dans la ligne 1.

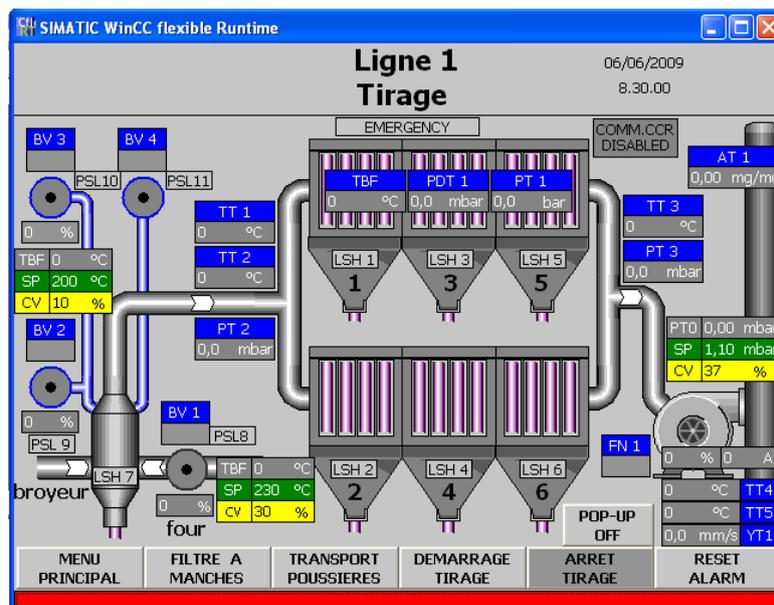


Figure B.1 : Tirage de poussières

Les poussières tirées par le ventilateur de tirage, sont transportées comme produit semi-fini aux silos de stockage du clinker. La figure B.2, présente le schéma de transport de poussières. En cas de problèmes, des alarmes sont affichées, l'opérateur doit réagir et régler le problème avant l'arrêt du four.

¹ Redecam Group. *Filtre à Manches Bi-Get, Utilisation et maintenance*. Italie : MS-BF-01, Rev .A, 1999.

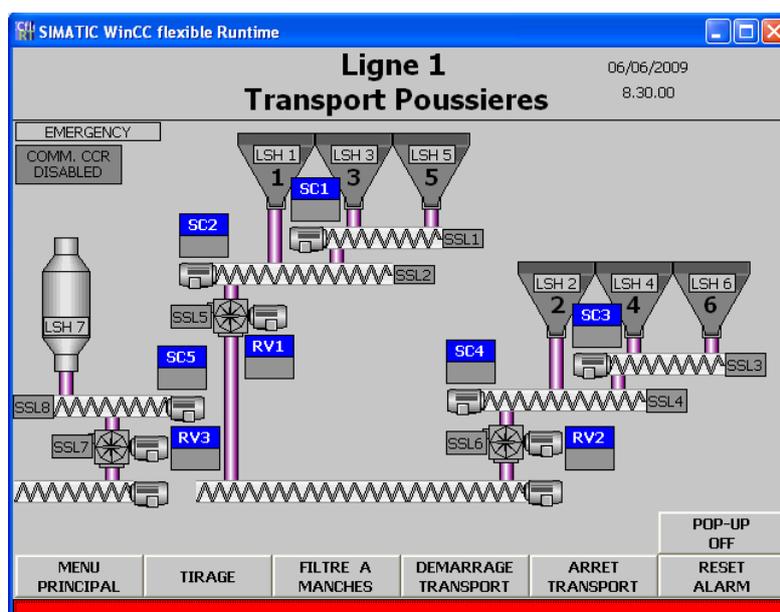


Figure B.2 : Transport de poussières

2. Maintenance programmée

La machine est dépourvue de pièces à usure proprement dites et le seul élément dont le remplacement périodique est prévu est le moyen filtrant. Cependant, même au cas où aucune anomalie particulière ne se serait présentée, après une année de fonctionnement il est conseillé de procéder à une inspection approfondie pour éliminer les anomalies éventuelles et les débuts d'endommagement, et permettre un fonctionnement efficace et sûr pendant toute la durée de vie utile de la machine. L'inspection consiste essentiellement en l'exécution des opérations suivantes :

🌿 Vérification de l'efficacité du système de filtrage :

❖ Vérification en ligne

Parfois, en cas de dommages limités aux manches, il est possible de trouver la file de manches contenant celle qui est endommagée pendant le fonctionnement du filtre. Dans certains, en effet, la manche trouée se remplit de poussière de sorte que, au moment du nettoyage, l'air comprimé génère à la cheminée une « bouffée » clairement visible ; l'effet est d'autant plus évident que le filtre est petit et les conduites d'une longueur et d'un volume limités. La « bouffée », si elle est présente, a une fréquence évidente égale à celle du cycle de nettoyage (normalement 1 toutes les 5 mn. environ).

Si cette condition se produit, il faut procéder comme suit :

- ✓ Arrêter les compartiments à la fois pour trouver celui qui génère l'anomalie
- ✓ Arrêter les collecteurs d'air comprimé pour trouver celui qui génère l'anomalie.
- ✓ Une fois le collecteur identifié, sélectionner le mode de nettoyage « Manuel » et continuer avec le nettoyage une électrovanne à la fois, en observant la bouche de la cheminée, jusqu'à ce qu'on ait trouvé celle qui génère une augmentation de poussière.
- ✓ Débrancher l'électrovanne relative pour éliminer le phénomène tant qu'on ne peut pas faire l'inspection interne.

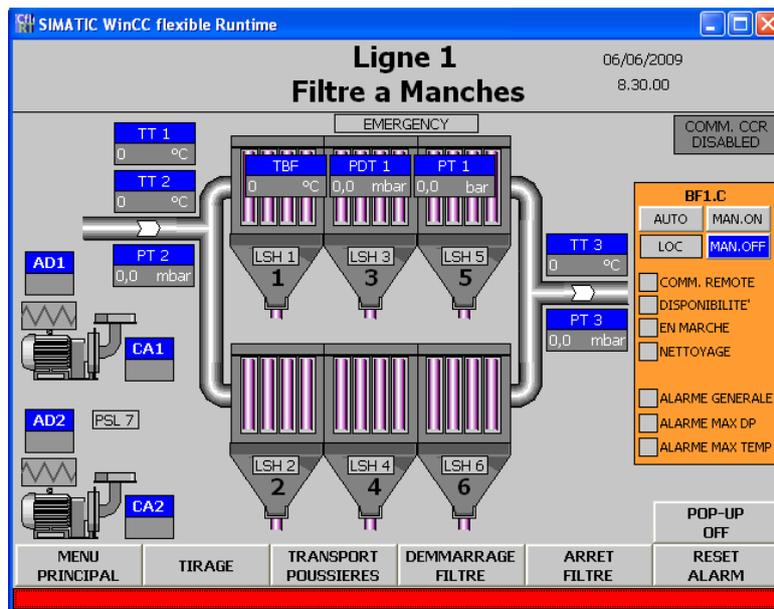


Figure B.3 : Maintenance de filtre à manches

❖ Vérification hors ligne

- ✓ Arrêter le ventilateur de tirage ou, si c'est prévu, isoler le compartiment à vérifier ;
- ✓ Ouvrir les compartiments en agissant, selon les cas, sur les petites portes ou sur les portes supérieures, en éclairant le plenum si c'est nécessaire.
- ✓ Observer l'état de la plaque à tubes :
 - ❁ si elle apparaît propre ou (après une longue période de fonctionnement) couverte d'un voile de poussière, le moyen filtrant peut être considéré efficace en ce qui concerne l'émission.
 - ❁ si la plaque à tubes est couverte d'une couche consistante (5 mm), procéder au nettoyage complet du compartiment, remettre le filtre en marche et répéter l'inspection après un bref délai (durée en fonction de l'entité de la poussière)
 - ❁ si des accumulations de poussière sont présentes ou s'il se produit des 'bouffées' dont l'origine est bien identifiable, procéder à l'extraction des manches intéressées par l'anomalie et en éliminer la cause, puis remettre le système en marche et répéter l'inspection pour vérifier l'efficacité de l'intervention.
 - ❁ si les accumulations de poussière se concentrent sur les bords de la plaque à tubes, enlever la poussière présente et vérifier les soudures. Identifier et éliminer la cause, puis remettre le système en marche et répéter l'inspection pour vérifier l'efficacité de l'intervention

Si, après la vérification, on trouve des manches défectueuses ou endommagées et les rechanges ne sont pas immédiatement disponibles, on peut boucher la manche en plaçant par-dessus le diffuseur secondaire une boule de moulin enveloppée dans un chiffon, si possible graissé.

❁ Vérification de l'efficacité du système de nettoyage :

- ✓ Vérifier si l'alimentation de l'air comprimé est activée et si la pression est comprise dans les limites prescrites
- ✓ Actionner le panneau de nettoyage en mode automatique

Le minuteur commence à exciter les électrovannes : la sortie de l'air comprimé se caractérise par la production d'un bruit sec qui doit rester inaltéré sur toutes les électrovannes. En fin de cycle, si c'est prévu, la vanne de purge s'ouvre ; celle-ci doit fonctionner de la façon spécifiée.

🔧 Vérification de la partie sujette à usure.

Les autres parties sujettes à usure à long terme sont :

- 🔧 Les joints des vannes pilotes.
- 🔧 Les membranes des vannes pneumatiques.
- 🔧 Les joints des portes d'accès.

La durée des détails ci-dessus dépend des conditions environnementales et d'utilisation (température ambiante, nombre de cycles de nettoyage, qualité de l'air comprimé, dépression de fonctionnement, nature du gaz traité) ; Même au cas où il n'y aurait aucune anomalie, et de toute façon en fonction du caractère critique de l'installation, une vérification périodique est conseillée.

Au cas où le filtre serait muni de vannes de compartimentation, ces dernières doivent être soumises aux procédures de maintenance normales pour les détails mécaniques de ce genre (vérification et graissage des roulements) ; selon la nature du gaz, une usure des pales de fermeture et de leur siège peut se produire, auquel cas elles doivent être remplacées.

Les jonctions pneumatiques de l'air comprimé peuvent à la longue voir leur capacité d'étanchéité diminuer ; elle doit être vérifiée périodiquement sur tout le circuit pour éviter une augmentation des consommations et une perte d'efficacité.

3. Résolution d'autres problèmes

La pression de l'air comprimé s'abaisse ou n'arrive pas à monter La cause de ce défaut est une fuite en un point du circuit, qu'il faudra identifier et éliminer.

Il faut isoler tous les collecteurs :

- ✓ si la pression ne monte toujours pas, la fuite se trouve sur le réseau d'alimentation ou sur le réducteur ; faire les contrôles nécessaires et consulter éventuellement la documentation spécifique.
- ✓ si la pression monte et atteint la valeur correcte, ouvrir le clapet d'arrêt manuel des collecteurs, un à la fois, pour trouver celui qui est défectueux.

Une fois le collecteur défectueux identifié, rouvrir le clapet manuel et trouver, à l'aide du bruit, la cause de la fuite :

- ✓ Si le problème est lié à une vanne de purge, il faut la débloquer et, si c'est nécessaire, la remplacer ou l'enlever.

Annexe C : Exemples de Systèmes Experts

1. **MAINTEX** : est un système expert pour le diagnostic de pannes de systèmes à techniques complexes.

L'utilisation de ces systèmes experts d'aide au diagnostic augmente la disponibilité des installations. Avec le système MAINTEX on obtient une réduction de 25% sur le coût de l'entretien.

Le but de ce système expert est de réduire les délais et les coûts de maintenance et de réglage et d'accroître la qualité de la production. La méthode prédéfinie, la stratégie de développement et ses environs permettent un spécialiste équipements pour construire des bases de connaissances par lui-même.

2. **Managing uncertainty in a fuzzy expert system**

Il est montré comment un système expert flou peut traiter les incertitudes et les ambiguïtés de manière à produire un ensemble flou de conclusions préliminaires. Les incertitudes sont spécifiées par des valeurs de confiance et les ambiguïtés sont traitées par des ensembles flous, son auteur est BUCKLEY J. J. édité par Academic Press.¹

3. **GUMMEX**

Un système expert pour la génération des étapes de travail nécessaires à la fabrication. Par INDICA N.R. Le système expert est utilisé pour la fabrication de produits manufacturés ; il intervient dans toutes les étapes nécessaires à l'élaboration des plans de fabrication. La base de connaissance GUMMEX comprend actuellement 400 règles de production. Son extension concernera essentiellement la planification. Son éditeur est Akademische Verlagsgesellschaft Athenaion.²

4. **An expert-simulation system for construction productivity forecasting: Conformation method used to illustrate the uncertainty associated with expert's knowledge**

Son auteur est BOUSSABAIN A. H.; DUFF A. R. Le système expert et à réseau neuronal constituent un intéressant et nouvel outil pour le traitement des incertitudes liées au processus de décision. Les auteurs examinent les différentes sources d'incertitudes pour un système expert de planification des travaux, et montrent comment les résultats fournis par le système expert peuvent être utilisés pour estimer la durée d'une opération ou d'un projet. Édité par Taylor and Francis.³

¹ Identifiant : ISSN : 0020-7373 CODEN : IJMMBC, <http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=13816035> (International journal of man-machine studies A.1988, vol. 29, n°2, pp. 129-148 [bibl. : 2p.]).

² Identifiant : ISSN : 0027-7436 CODEN : NADOAW, <http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=12396919> (Nachrichten für Dokumentation A. 1985, vol. 36, n° 1, pp. 22-27 [bibl. : 6 ref.]).

³ Identifiant : ISSN : 0961-3218, <http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=15745418> (Building research and information A. 1996, vol. 24, n° 5, pp. 279-286 [bibl. : 14 ref.]).

5. A fuzzy expert database system

Le système proposé est le produit de l'intégration d'un outil de construction de systèmes experts flous, appelé SYSTEM Z-II, et d'un système de gestion de base de données appelé Rdb/VMS. Il est capable d'extraire des termes et des données flous stockés dans la base de données et les utiliser pour le raisonnement flou dans le système expert, ses auteurs sont : LEUNG K. S. ; WONG M. H. ; LAM W. édité par Elsevier Science.¹

6. SOLEXPERT

Systèmes experts de diagnostic et de conception d'installations solaires, son auteur est QUINETTE J.Y. de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie Vanves FRA (Organisateur de congrès) ; Agence française pour la maîtrise de l'énergie Service habitat et tertiaire Valbonne FRA. SOLEXPERT, est un prototype de système expert qui permet une analyse technico-économique, lors de la conception ou lors d'un diagnostic d'existant, de trois types d'installations solaires : eau chaude sanitaire, plancher solaire direct, et chauffage de piscines.²

7. MMCX

Les composites à matrice métallique (CMM) forment une classe relativement nouvelle de matériaux techniques qui offrent au concepteur l'opportunité d'adapter leurs propriétés à des exigences spécifiques. Le système consiste en une interface d'hypertexte dynamique intégrée en un système expert développé à partir de l'environnement COMDALE/X. Les données sur les propriétés mécaniques et physico-thermiques des alliages de la matrice, des matériaux de renforcement et des CMM sont emmagasinées dans des banques de données accédées par le système expert.

Les modèles mathématiques, qui utilisent les propriétés des matériaux constituants pour déterminer les propriétés effectives des composites, sont gérés par le système, concevant ainsi des composites à matrice métallique et remplissant les vides des propriétés. Une feuille de chiffreur, gérée par le système, contient les modèles mathématiques du modulus élastique effectif, de la conductivité thermique, du coefficient d'expansion thermique, du rapport de Poisson, des modules de cisaillement et en vrac des particules, des barbes, des fibres courtes et des composites de fibre. Bien que les propriétés physiques et mécaniques puissent souvent limiter la sélection des constituants, c'est la réactivité chimique du renforcement céramique. Ses auteurs sont LEGZDINS C. F. ; SAMARASEKERA I. V. ; MEECH J. A. Édité par Metallurgical Society of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy.³

¹ Identifiant : ISSN : 0169-023X, <http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=20042449> (Data & knowledge engineering A. 1989, vol. 4, n° 4, pp. 287-304 [bibl. : 23 ref.]).

² Conférence : Séminaire solaire thermique, Sophia Antipolis, FRA, 1990-07-04 Rapport : ADEME - 90-04-DOC, <http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=24682254> (A. 1991, pp. 121-136).

³ Identifiant : ISSN : 0008-4433 CODEN : CAMQAU, <http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=14868773> (Canadian metallurgical quarterly A. 1997, vol. 36, n° 3, pp. 177-202 [bibl. : 199 ref.]).

8. La réhydratation du veau : Présentation d'un système expert

En plus de la déshydratation, l'entérite diarrhéique du veau est généralement associée à des déséquilibres hydro-électrolytiques et acido-basiques. L'évaluation de ces troubles par la mesure du pH sanguin et des concentrations sériques de Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , et par le calcul du trou anionique (concentration sérique des cations diminuée de celle des anions) et de l'excès de base, permet d'ajuster au mieux le traitement et de préciser le pronostic. Le déséquilibre le plus fréquemment observé est l'acidose avec ou sans augmentation du trou anionique selon l'étiologie de la diarrhée. L'acidose est corrigée par l'administration de solutés bicarbonatés ou de carbonates. Les autres troubles moins fréquents sont l'alcalose et les dyskaliémies.

Un système expert, sous forme d'un protocole clinique et thérapeutique, a été développé pour évaluer les troubles acido-basiques et hydro-ioniques associés aux entérites diarrhéiques du veau. Par NAVETAT Hervé ; RIZET Claude ; MEYUS André ; ... et édité par l'Académie vétérinaire de France.¹

9. Aide au diagnostic étiologique de la démence par un système expert couplé à une application informatique

Contexte : Établir le diagnostic étiologique d'un syndrome démentiel s'avère souvent difficile et requiert du temps. Pour autant, il s'agit d'une démarche indispensable, les modes évolutifs et les durées différant en fonction de ces étiologies.

But : Valider un système expert couplé à une application informatique permettant, en présence d'un syndrome démentiel, un classement des différents diagnostics étiologiques de démence du plus vraisemblable au moins vraisemblable.

Méthodes : Quatre-vingt patients d'une consultation mémoire qui présentaient un diagnostic probable de démence ont été étudiés. Le diagnostic étiologique porté lors de la consultation a été comparé au moyen du test kappa à celui attribué par ce système expert à partir du renseignement de 21 questions présélectionnées.

Résultats : Concernant le diagnostic de démence à un corps de démence fronto-temporale et de maladie d'Alzheimer avec ou sans lésions cérébrovasculaires, les concordances entre les diagnostics du clinicien et le système expert se sont avérées moyennes à bonnes. La concordance était excellente pour le diagnostic de démence vasculaire. En prenant en considération les 2 diagnostics donnés comme étant les plus probables par le système expert, on obtenait une concordance globale de 87.5% avec le diagnostic porté en consultation mémoire.

Ce système expert s'est montré capable de fournir une orientation étiologique en pré. Ses auteurs sont OASI Christel ; PARIEL Sylvie ; KONRAT Cécile ; ... édité par Edimédica.²

¹ Identifiant : ISSN : 0001-4192 CODEN : BAVFAV, <http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=1252740> (Bulletin de l'Académie vétérinaire de France A. 2007, vol. 160, n° 4, pp. 325-332 [bibl. : 1/4 p.]).

² Identifiant : ISSN : 0397-7927, <http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=21534067> (La Revue de gériatrie A. 2008, vol. 33, n° 10, pp. 847-854 [bibl. : 15 ref.]).

10. CONSTRUCTION DES CARTES GÉNÉRALES A PETITE ÉCHELLE A L'AIDE D'UN SYSTÈME EXPERT

La compétence cartographique s'acquiert généralement par l'éducation formelle et l'expérience professionnelle. Une telle compétence peut aussi s'acquérir par la lecture des manuels qui offrent un guide général pour la confection des cartes et leur reproduction.

Le but de cette recherche est de développer un ensemble de règles dérivées des textes et revues professionnels aussi bien que de l'expérience personnelle, qui puissent répondre à la question suivante : étant donné un ensemble de besoins et de conditions pour la représentation cartographique d'une ou plusieurs variables géographiques, quelles sont les spécifications cartographiques qui aboutiront à une solution graphique optimale. L'ensemble des règles de jugement, une matrice dont les coefficients relient les besoins aux spécifications, constitue la base des connaissances d'un système expert programmé en langage Pascal. Une seconde matrice contient les règles inférées selon le processus d'acquisition des connaissances du système.

Les nouvelles règles de jugement se développent par suite d'une série d'exercices cartographiques où les règles préalables sont testées et modifiées de manière itérative jusqu'à ce que le système expert soit capable d'offrir une solution cartographique satisfaisante. Le système, confronté à l'expertise humaine, permet de résoudre les problèmes cartographiques d'échelle, de projection, d'imposition, de variables visuelles, de couleur et de généré. Son auteur est MULLER J.-C. édité par Comité français de cartographie.¹

¹ Identifiant : ISSN : 1634-3522, <http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=21211023> (Le Monde des cartes A. 2009, n° 200, pp. 116-121 [bibl. : 1/4 p.]).