

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

Thiès

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception

Option ELECTROMECHANIQUE

Thème :

**AMELIORATION DES OPERATIONS DE CONDUITE DE
L'ATELIER BROYAGE CIMENT ET CONCEPTION D'UN
MOTEUR DE CALCUL AUTOMATISE ET SYNOPTIQUES
POUR LA LIGNE CUISSON**

Application : Les Ciments Du Sahel S.A

Auteurs : Mlle Bineta THIAM
M. Ataba SAMBOU

Directeurs internes : Dr, Ing. Salam SAWADOGO, enseignant à l'EPT/UT
Dr, Ing. Mamadou WADE, enseignant à l'EPT/UT

Directeur externe : MScA, Ing. Oumar DIALLO, Chef département production CDS

Année : 2007/2008

SOMMAIRE

Le but de ce projet est de permettre une bonne supervision et un bon fonctionnement de l'atelier broyage ciment à partir de la salle de commande, d'abord par l'acquisition de données supplémentaires liées aux conditions de bonne marche du broyeur ciment, puis par l'automatisation des tâches répétitives. Ce projet porte également sur la conception d'un moteur de calcul automatisé incluant des synoptiques, qui permet de déterminer et de suivre les paramètres intrinsèques de la ligne de cuisson.

L'atelier broyage ciment comporte une unité de lubrification dénommée HLPC qui envoie de l'huile pressurisée au niveau des paliers du broyeur. Cette unité est pilotée par un automate SLC500, certaines informations passent par un coffret FLEX (entrée et sorties déportées). La liaison avec les coffrets FLEX se fait par fils, ne permettant que la mise en marche, l'arrêt, et ne donnant pas de détails sur la nature des alarmes, lorsque celles-ci se déclenchent. L'objectif est de relier le SLC500 à l'automate principal CONTROLOGIX à l'aide d'un câble DH+, de programmer le dialogue entre les deux automates pour l'envoi et la réception des données et la création de synoptiques au niveau de la salle de commande, afin de pouvoir suivre l'évolution de ces données supplémentaires telles que la température des paliers du broyeur, la température des huiles du HLPC, la nature exacte des alarmes du HLPC et d'effectuer des acquittements. Pour cela nous avons eu recours à des logiciels de programmation de communication et de supervision.

L'atelier comporte aussi une pompe à adjuvant de mouture pour le broyage du ciment. Lorsque le broyeur s'arrête accidentellement, la pompe continue à tourner, et ne peut être arrêtée que sur site. L'objectif est d'automatiser le fonctionnement de cette pompe, afin qu'il soit possible de la commander aussi à distance à partir de la salle de commande, en passant par des coffrets FLEX. Pour cela nous avons modifié le circuit de commande électrique du moteur de la pompe, et avons écrit, à partir d'un langage ladder, la nouvelle commande sur RSLogix5000.

Au niveau de la ligne cuisson certaines valeurs intrinsèques ne sont pas disponibles à la salle de commande, tels que les paramètres du four, du refroidisseur, les bilans thermiques pour ne citer que cela. Afin de déterminer ces valeurs, des calculs fastidieux sont opérés et nécessitent beaucoup de temps. Dans cette partie il s'agira, à partir des données de la supervision, du logiciel de données plant guide, de mesures sur site et des analyses du laboratoire, de déterminer par calcul les paramètres nécessaires au bon fonctionnement du four. Pour cela, nous avons créé un moteur de calcul automatisé et des synoptiques dans un environnement Visual Basic sous Excel. Ce progiciel sera protégé par mot de passe. Les données seront enregistrées selon la date et l'heure. L'accès aux fichiers sauvegardés ne sera autorisé qu'aux personnes habilitées à le faire. Un synoptique indiquera en permanence les dernières valeurs saisies.

Actuellement, à la salle de commande, grâce aux données acquises du SLC500, au logiciel de supervision et aux synoptiques que nous avons créés, nous pouvons suivre le fonctionnement et l'évolution de l'atelier broyage ciment et ainsi prévoir les éventuels problèmes. De même, le calcul des paramètres intrinsèques de la ligne cuisson peut se faire désormais en moins de 15 minutes, alors qu'il pouvait s'étendre sur toute une journée. La consultation des fichiers sauvegardés permet d'avoir un bon suivi de l'évolution de cette partie de la production. Cependant pour l'automatisation de la pompe à adjuvant seule l'étude théorique a été faite.

Mots-clés : automatisation - automates - unité de lubrification- broyeur - moteur de calcul - synoptique - ligne cuisson – coffret – câble – supervision – pompe - Visual Basic.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX.....	i
LISTE DES FIGURES.....	ii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	iii
LISTE DES ANNEXES.....	iv
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIERE PARTIE : LA SOCIETE LES CIMENTS DU SAHEL.....	2
CHAPITRE I : PROCESSUS DE FABRICATION DU CIMENT.....	3
1.1. L'extraction des minerais.....	4
1.2. Le concassage	4
1.3. La pré-homogénéisation et le stockage	4
1.4. Le séchage et le broyage de la farine crue	4
1.5. La cuisson.....	4
1.6. Le broyage et l'expédition	5
CHAPITRE II : PRESENTATION.....	7
2.1. La partie crue.....	7
2.2. La ligne cuisson.....	7
2.3. Broyage ciment, l'ensachage et l'expédition	9
DEUXIEME PARTIE : AMELIORATION DES OPERATIONS DE CONDUITE	
DE L'UNITE DE LUBRIFICATION (HLPC) DE	
L'ATELIER BROYAGE CIMENT.....	10
INTRODUCTION	11
CHAPITRE I : INFORMATIONS SUR LE FONCTIONNEMENT DES	
AUTOMATES.....	12
1.1. Les automates.....	12
1.1.1. Définition.....	12

1.1.2. Les automates programmables industriels	12
1.1.3. Quelques marques et modèles	13
1.1.4. Quelques terminologies et définitions liées aux automates	14
1.2. Le ControlLogix.....	16
1.2.1. Caractéristiques principales.....	16
1.2.2. Les variables	18
1.2.2.1. Adressage des variables.....	18
1.2.2.2. Définition des données	18
1.2.2.3. Types de données	19
1.2.3. Langage ladder.....	19
1.2.3.1. Instructions de base.....	19
1.2.3.2. Instructions de temporisation et de comptage	21
1.2.3.3. Instructions de comparaison	24
1.2.3.4. Instructions de calcul	25
1.2.3.5. instructions de transfert	25
1.2.3.6. Instructions sur fichier	26
1.2.3.7. Instructions de contrôle de programme.....	27
1.3. Le SLC 500.....	28
1.3.1. Caractéristiques principales.....	28
1.3.2. Jeu d'instructions de programmation SLC	30
1.3.2.1. Instructions de bases	30
1.3.2.2. Instructions des temporisateurs et compteurs	31
1.3.2.3. Autres instructions	31
1.4. Le module d'interface de communication Data Highway Plus (DH+)...	32

1.5.	Les logiciels de programmation et de communication	37
1.5.1.	RSLinx.....	37
1.5.2.	RS LOGIX 5000.....	39
1.5.2.1.	Définitions.....	39
1.5.2.2.	Définition et introduction d'une variable.....	40
1.5.3.	RS LOGIX 500.....	40
CHAPITRE II : ETUDE DE L'UNITE DE LUBRIFICATION DES PALIERS DU		
	BROYEUR (HLPC).....	42
2.1.	Composants du HLPC.....	42
2.2.	Fonctionnement du HLPC.....	42
2.3.	Système de contrôle local écran à touche (Proface).....	44
CHAPITRE III : ACQUISITION DE DONNEES SUPPLEMENTAIRES DU		
	HLPC.....	45
3.1.	Procédure de communication entre automate.....	45
3.1.1.	La sous routine B00.....	48
3.1.2.	La sous routine Z15.....	48
3.1.3.	La routine DH+.....	50
3.2.	Câblage et programmation pour l'échange des données.....	51
3.2.1.	Choix des données à envoyer de l'atelier broyage ciment à la salle de commande.....	51
3.2.2.	Câblage du DH+.....	53
3.2.3.	Déblocage du module DH+ dans le ControlLogix.....	53
3.2.4.	Création d'instructions et de nouveaux TAGS et programmation...53	

3.3.	Création de points et de synoptiques au niveau de la supervision.....	56
3.3.1.	Le Logiciel de supervision ECS (Engineering Control System).....	56
3.3.2.	Création des points et du synoptique.....	57
3.3.3.	Test et vérification.....	61
	CONCLUSION.....	62

TROISIEME PARTIE : AUTOMATISATION DE LA POMPE A ADJUVANT DE MOUTURE.....

	MOUTURE.....	63
	INTRODUCTION	64
	CHAPITRE I : ETUDE DE LA POMPE A ADJUVANT DE MOUTURE	65
1.1.	Caractéristiques.....	65
1.2.	Présentation de la solution retenue	66
1.2.1.	Câblage électrique du moteur de la pompe.....	67
1.2.2.	Programme automatisé du fonctionnement de la pompe.....	68
1.2.3.	Câblage électrique du moteur du malaxeur.....	69
1.2.4.	Programme automatisé du fonctionnement du malaxeur.....	70
	CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES EQUIPEMENTS	71
2.1.	Fût à adjuvant et réservoir.....	71
2.2.	Détecteur de niveau capacitif (tout ou rien).....	71
2.2.1.	Calcul de la longueur du capteur (D1).....	71
2.2.2.	Principe de fonctionnement.....	72
2.3.	Moteur du malaxeur	72
	CONCLUSION.....	74

QUATRIEME PARTIE : CONCEPTION D'UN MOTEUR DE CALCUL

AUTOMATISE ET DE SYNOPTIQUES POUR LA LIGNE DE CUISSON.....	75
INTRODUCTION	76
CHAPITRE I : PARAMETRES INTRINSEQUES ET CONCEPTION DU MOTEUR DE CALCUL AUTOMATISE ET SYNOPTIQUES...	77
1.1. Introduction de Visual basic sous Excel.....	77
1.2. Moteur de calcul automatisé et synoptiques.....	79
1.2.1. Détermination de l'impulsion de l'air primaire (bruleur).....	79
1.2.2. Détermination de la vitesse au niveau du rising pipe.....	84
1.2.3. Environnement.....	87
1.2.4. Détermination du rendement du refroidisseur.....	89
1.2.5. Vue d'ensemble des paramètres de la ligne cuisson.....	94
1.2.6. Bilan thermique.....	98
1.2.7. Les volatiles.....	103
CHAPITRE II : GUIDE D'UTILISATION DU MOTEUR DE CALCUL.....	110
CONCLUSION.....	113
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	114
REFERENCES.....	115
ANNEXES	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Bits de contrôle et d'état de la temporisation au travail (TON).....	22
Tableau 2 : Bits de contrôle et d'état de la temporisation au déclenchement (TOF)	23
Tableau 3 : Eléments modifiés par l'instruction remise à zéro (RES)	23
Tableau 4 : Longueur maximale du bloc à copier par l'instruction de copie de fichier (COP)..	26
Tableau 5 : Caractéristiques des SLC 5/03 et 5/04.....	29
Tableau 6 : Instructions de base du SLC	30
Tableau 7 : Instructions des temporisateurs et compteurs du SLC	31
Tableau 8 : Autres instructions du SLC	32
Tableau 9 : Dépannage de l'alimentation	35
Tableau 10 : Dépannage du module.....	36
Tableau 11 : Etat du module.....	37
Tableau 12 : Etat des voies	37
Tableau 13 : Affectations des adresses et des TAG	55
Tableau 14 : Tableau relationnel Visual Basic et Excel.....	78
Tableau 15 : Paramètres de l'impulsion de l'air primaire.....	80
Tableau 16 : Paramètres du débit de l'air primaire.....	81
Tableau 17 : Paramètres de la Vitesse du Rising Pipe	84
Tableau 18 : Paramètres de l'environnement	87
Tableau 19 : Paramètres du rendement du refroidisseur.....	90
Tableau 20 : Paramètres de la vue d'ensemble.....	95
Tableau 21 : Paramètres du bilan thermique.....	99
Tableau 22 : Paramètres des volatiles du cyclone1.....	104
Tableau 23 : Paramètres des volatiles du cyclone5.....	105
Tableau 24: Paramètres du clinker.....	105
Tableau 25 : Volatilités.....	105
Tableau 26 : Autres paramètres des volatiles.....	105

REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements vont à tous ceux qui de près ou de loin nous ont apporté leur aide, en particulier :

- la Direction de l'ESP, pour la formation qu'elle nous a apportée
- la Direction des Ciments Du Sahel, pour nous avoir accordé ce projet de fin d'études
 - M Mamadou NDIAYE, directeur d'exploitation des Ciments Du Sahel
 - M. Salam THIOUNE adjoint au Directeur d'exploitation des Ciments Du Sahel
- nos directeurs de projet :
 - M. Oumar DIALLO, chef de département Production des Ciments Du Sahel pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité.
 - M. Salam SAWADOGO, professeur d'automatique et informatique industrielle à l'Ecole Polytechnique de Thiès, pour son aide précieuse, ses conseils avisés et sa disponibilité.
 - Mr Mamadou WADE, professeur d'électronique de puissance à l'Ecole Polytechnique de Thiès, pour son soutien, sa présence, ses précieux conseils.
- à l'ensemble du personnel des Ciments Du Sahel pour leur disponibilité et leur collaboration. En particulier
 - Mr Malick THIAM, chef du service contrôle commande industrielle
- à l'ensemble du corps professoral de l'Ecole Polytechnique de Thiès pour leurs enseignements au cours des trois années scolaires qui viennent de s'écouler
- à Mr Salif GAYE chef de département du Génie Mécanique de l'Ecole Polytechnique de Thiès, pour la rigueur qu'il a su nous inculquer
- à Mme Philomène FAYE notre chère et dévouée bibliothécaire qui a été comme une mère
- à Mme Rose FAYE secrétaire du département Génie Mécanique, pour son attention et sa disponibilité à notre égard
- à la famille de l'Ecole Supérieure Polytechnique dont nous sommes fiers de faire partie
- à l'ensemble du personnel de l'Ecole Polytechnique de Thiès
- à nos camarades de promotions

LISTE DES FIGURES

Figure 1: L'automate ControlLogix en alimentation	16
Figure 2: Quatres principaux réseaux de communication du ControlLogix	18
Figure 3: Le SLC500	28
Figure 4: Réseau DH+	33
Figure 5: Le module Data Highway Plus (DH+)	33
Figure 6: Liaison DH+	34
Figure 7: Module DH+ dans le back plane	35
Figure 8: Ouverture de RSLinx	39
Figure 9: Le circuit du HLPC	42
Figure 10: Procédure de communication entre l'automate ControlLogix et l'automate SLC500..	45
Figure 11: Interface de structure de donnée PLCtoSUB.....	47
Figure 12: 10 mots utilisés pour la réception des données du SLC500/1 (SUBPLC [1].RX).....	48
Figure 13: Câblage du module DHRIO	53
Figure 14: Base de données de l'ECS.....	56
Figure 15: Création des points virtuels (1).....	58
Figure 16: Création des points virtuels (2).....	58
Figure 17: Création des points virtuels (3)	59
Figure 18: Interface de dessin des différents points.....	60
Figure 19: Synoptique 1 de l'atelier broyage ciment.....	60
Figure 20: Synoptique 2 de l'atelier broyage ciment.....	61
Figure 21: Schéma de câblage existant du moteur de la pompe à adjuvant	65
Figure 22: Nouveau dispositif pour la pompe à adjuvant.....	67
Figure 23: Nouveau Schéma de câblage électrique pompe à adjuvant.....	68
Figure 24: Programmation Ladder du fonctionnement de la pompe.....	69
Figure 25: Schéma câblage électrique malaxeur	70
Figure 26: Programme Ladder du fonctionnement du malaxeur	70
Figure 27: Schéma de câblage du détecteur de niveau capacitif (tout ou rien)	71
Figure 28: programme principal du moteur de calcul.....	110
Figure 29: Page principale de moteur de calcul automatisé et synoptique	110
Figure 30: Feuille saisie du moteur de calcul.....	111
Figure 31: Ouverture du fichier consultation (sans le bouton enregistrer)	111
Figure 32: Feuille saisie du moteur du fichier sauvegardé (sans possibilité de modification).....	112

LISTE DES ABREVIATIONS

CDS : Les Ciments Du Sahel

ESP : Ecole Supérieure Polytechnique

FLSmidth: Société danoise, premier fabricant mondial de cimenterie

LOI : Lost On Ignition

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

PFE : Projet de Fin d'Etudes

TCP: Transport Control Protocol

TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol

IP: Protocole Internet

CIP: Control and Information Protocol

CPU : Central Processing Unit (unité centrale)

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1: Programme de la sous routine B00
- ANNEXE 2: Programme de la sous routine Z15
- ANNEXE 3: Programme de la routine DH+
- ANNEXE 4: Adressage des données du HLPC dans RSLogix500
- ANNEXE 5: Adressage et configuration des TAG dans RSLogix5000
- ANNEXE 6: Etapes du déblocage du module DH+
- ANNEXE 7: Système de configuration ControlLogix
- ANNEXE 8: Configuration des messages du SLC 500 vers le ControlLogix
- ANNEXE 9: Configuration des messages du ControlLogix vers le SLC 500
- ANNEXE 10: Commande et Réception du câble DH+
- ANNEXE 11: Caractéristiques du Motoréducteur SEW R17
- ANNEXE 12: Fichier de calcul existant pour les pertes bilan thermique
- ANNEXE 13: Fichier de calcul existant pour les pertes par radiation et par convection
- ANNEXE 14: Fichier de calcul existant pour les pertes dues aux gaz de sortie
- ANNEXE 15: Fichier de calcul existant pour les pertes sur le refroidisseur
- ANNEXE 16: Fichier de calcul existant pour les pertes sur les réactions chimiques
- ANNEXE 17: Fichier de calcul existant pour la saisie des entrées
- ANNEXE 18: Fichier de calcul existant pour le bilan thermique du four
- ANNEXE 19: Fichier de calcul existant pour la vitesse du Rising Pipe
- ANNEXE 20: Fichier de calcul existant pour le bilan des volatiles
- ANNEXE 21: Fichier existant du synoptique du bilan des volatiles

INTRODUCTION GENERALE

La société les Ciments Du Sahel, créée en 2002, est l'une des plus modernes au Sénégal. Elle est munie de plusieurs types de machines lourdes et équipée d'automates, de capteurs, de plusieurs appareils de mesure, ainsi que d'une salle de commande chargée d'assurer le fonctionnement et le suivi de ces machines. Certains paramètres et données peuvent être acquis directement à la salle de commande grâce à des câblages, mais d'autres ne sont accessibles que sur site.

Dans le souci d'améliorer le fonctionnement de l'exploitation, le besoin d'acquérir plus de données, à partir de la salle de commande, s'est fait sentir, car le fait d'aller sur site pour récupérer ces dernières prenait du temps. De plus leur absence pouvait influencer sur la réalisation d'autres activités connexes.

Ce projet consiste à apporter le plus de données et de paramètres fiables à la salle de commande, le plus rapidement possible, et par la même occasion à alléger le travail des opérateurs.

Ce mémoire est structuré en quatre parties. La première partie est consacrée à la présentation de la société « les Ciments Du Sahel » ainsi qu'au processus de fabrication du ciment. La deuxième traite de l'acquisition à temps réel de données de l'automate de l'unité de lubrification du broyeur ciment (HLPC). La troisième est consacrée à l'étude de l'automatisation de la pompe à adjuvant de l'atelier de ce broyeur. La quatrième est axée sur la conception d'une base de données et de synoptiques pour le suivi des paramètres intrinsèques de la ligne cuisson.

PREMIERE PARTIE :
LA SOCIETE LES CIMENTS DU SAHEL

CHAPITRE I : PROCESSUS DE FABRICATION DU CIMENT¹

Le ciment est une gangue (substance pierreuse ou autre qui enveloppe les minéraux dans la terre) hydraulique durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre utilisée avec de l'eau pour agréger du sable fin et des graviers (granulats) pour donner le béton. Le mot « ciment » peut désigner différents matériaux comme par exemple: le plâtre, la chaux commune, la pouzzolane naturelle, le ciment prompt, le ciment Portland ou ciment artificiel

Un ciment artificiel est un produit provenant de la cuisson de mélanges artificiels (de la main de l'homme) de silice, d'alumine, de carbonate de chaux, sur lesquels l'eau n'a aucune action (ou qu'une action très lente avant la trituration) et qui, réduits en poudre mécaniquement, font prise sous l'action de l'eau en des temps variables suivant leur qualité.

Les ciments peuvent être classés en deux grandes familles :

✚ les ciments Portland :

- Le ciment Portland (CEM I)
- Le ciment Portland composé (CEM II)

✚ les ciments composites ou mélangés :

- Les ciments de hauts fourneaux (CEM III)
- Les ciments pouzzolaniques (CEM IV)
- Les ciments au laitier et aux cendres ou ciment composé (noté CEM V)

La société les Ciments Du Sahel (C.D.S) met sur le marché plusieurs variétés de ciments dont les plus commercialisées sont : le ciment Portland ordinaire, le ciment Portland composé CEMII (95% de la production) et le ciment de hauts fourneaux.

Le processus de fabrication du ciment comprend six grandes étapes :

- l'extraction des minerais
- le concassage
- la pré-homogénéisation et le stockage
- le séchage et le broyage
- la cuisson
- le broyage

¹ FLSMidth "Les Ciments Du Sahel -Cimenterie de Kirène Cours de production" Volume 3 ; Edition 2005.

1.1. L'extraction des minerais :

Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique ou encore par ripage au bulldozer. La roche est reprise par des camions vers un atelier de concassage. Pour produire des ciments de qualités constantes, les matières premières doivent être très soigneusement échantillonnées.

1.2. Le concassage :

L'argile et le calcaire, provenant des carrières, sont acheminés vers l'atelier concassage où leurs grosseurs sont réduites, à environ 50 mm, grâce à un concasseur à marteau.

1.3. La pré-homogénéisation et le stockage :

A la sortie du concasseur ces matières concassées passent par un analyseur gamma à rayon qui permet de vérifier la proportion du mélange, avant d'être acheminées à la halle de pré-homogénéisation, en passant par le tour d'angle A. La phase de pré homogénéisation consiste à créer un mélange relativement homogène. Cette opération est réalisée dans une halle en disposant la matière en couches horizontales superposées, puis en la reprenant verticalement à l'aide d'une roue-pelle.

1.4. Le séchage et le broyage de la farine crue :

A partir de la halle de pré-homogénéisation et de la halle des ajouts, le mélange, le calcaire et la latérite sont acheminés au niveau des 4 trémies, où une navette permet de sélectionner la trémie à remplir, selon la matière qui arrive, soit le mélange argilo-calcaire, soit latérite, soit le calcaire (la latérite et le calcaire proviennent du hall d'ajout). A la sortie des trémies de dosage, selon les proportions fixées par le laboratoire, un autre mélange est obtenu, constitué des trois ensembles cités précédemment. Ce mélange est envoyé au niveau du broyeur vertical à meules "ATOX" (plus économique en énergie), où il est séché et broyé très finement (inférieure à 200 microns), puis envoyé vers le silo d'homogénéisation.

1.5. La cuisson :

L'homogénéisation s'opère au moment de l'extraction du produit pour l'alimentation du four. La farine crue va suivre différentes étapes de transformation lors de sa lente progression dans le four, composé de 5 cyclones et d'un précalcinateur, vers la partie basse à la rencontre de la flamme. Cette source de chaleur est alimentée au charbon broyé, fuel lourd, gaz, ou

encore en partie avec des combustibles de substitution, tels que le coke de pétrole, les pneus usagés, les farines animales, les huiles usagées.

La température nécessaire à la clinkérisation est de l'ordre de 1 450°C. L'énergie consommée se situe entre 3 200 et 4 200 kJ (764,45 et 1003,34 kcals) par tonne de clinker, qui est le produit semi fini obtenu à la fin du cycle de cuisson. Il se présente sous forme de granules grises.

À la sortie du four, un refroidisseur à grilles permet de ramener la température du clinker à environ 100°C.

Le clinker est le résultat d'un ensemble de réactions physico-chimiques progressives (clinkérisation) débutant par la décarbonatation du carbonate de calcium (donnant la chaux vive), puis la scission de l'argile en silice et alumine et de la latérite pour le fer, ensuite la combinaison de la silice et de l'alumine et du fer avec la chaux pour former la C_3S , C_2S , C_3A , C_4F .

Le clinker obtenu à la sortie du four est d'abord concassé par un concasseur à marteau plus petit que le premier, puis les grains sont envoyés au silo clinker.

1.6. Le broyage et l'expédition :

La dernière phase de fabrication dans une cimenterie est le broyage du clinker, dans un broyeur à boulets (dispositif cylindrique chargé de boulets d'acier et mis en rotation), avec un pourcentage de gypse et éventuellement de d'autres additifs. Au niveau du silo clinker, celui-ci est extrait vers le rotary gâte qui alimente 4 silos doseurs du ciment successivement selon le type de matière (clinker, gypse ou calcaire). La société dispose d'une trémie pour le clinker, d'une pour le gypse et deux autres pour le calcaire. Ce mélange dosé est envoyé au niveau du broyeur ciment. Quand les matières ont traversé le broyeur, elles sont envoyées à un séparateur qui les divise en deux fractions dont un produit fini plus fin et un autre plus grossier qui va retourner vers le broyeur pour y subir un broyage supplémentaire. Le produit broyé entre dans le séparateur par un récupérateur à grumeaux et deux goulottes pneumatiques. Le récupérateur a pour rôle de retenir et d'évacuer les grumeaux ainsi que les corps broyant. Pour un contrôle du volume rejeté, le produit repris est mesuré par un débitmètre placé dans la trappe et le registre à double volet qui sépare la goulotte pneumatique et celui placé à l'entrée du broyeur.

Le produit fini quitte le rotor par le haut et passe dans deux cyclones. Le rotor est actionné par un moteur à vitesse variable. En faisant varier la vitesse du moteur, il est possible de régler la finesse du produit fini.

Le ciment est retenu pour être séparé de l'air. Cet air est alors mis en circulation grâce à un ventilateur placé en aval des deux cyclones puis est divisé en deux : une partie étant réinjecté dans le séparateur (air nécessaire), l'autre partie (air excédentaire ou parasite) sortant du circuit par l'intermédiaire du filtre et un ventilateur de dépoussiérage.

Le broyeur est ventilé par certaines quantités de gaz servant à évacuer les vapeurs d'eau et à établir à l'entrée de la machine une dépression permettant d'éviter les émissions de poussières dans l'atmosphère.

Les gaz de ventilation du broyeur sont dépoussiérés par un filtre à manches particulier. Une certaine quantité de particules transportées par ces gaz peut contenir des éléments ayant une granulométrie plus élevée que celle du produit visé. C'est le cas lorsque la circulation des gaz est à grande vitesse. En fonction de la finesse, la poudre piégée par le filtre est soit retenue, soit refoulée vers l'entrée du séparateur, soit réintégrée dans le flux de transport du produit fini au moyen d'un registre à volet directionnel. Par défaut, les poudres sont dirigées vers le séparateur.

Le ciment, en poudre est aspiré et envoyé vers l'un des silos ciment selon le type de ciment.

Le ciment est stocké dans ces silos, puis est envoyé à la zone ensachage expédition où il est soit ensaché avant de charger les camions, soit chargé en vrac dans un camion citerne prévu à cet effet et est expédié.

CHAPITRE II : PRESENTATION

La société les Ciments Du Sahel (C.D.S) est la deuxième cimenterie du Sénégal. Cette société anonyme d'une superficie de 100 ha a démarré sa production en 2002. Elle se situe à 80 km au Sud-est de Dakar dans la zone de Kirène, dans la communauté rurale de Diass, la sous préfecture de Sindia, dans le département de Mbour.

Le secteur de la production est composé de trois départements en termes de production: la partie crue, la partie cuisson et la partie ciment et ensachage.

2.1. La partie crue

Elle est composée de carrières, d'un atelier de préparation des matières premières et d'un atelier de préparation de la farine.

Carrières

L'entreprise dispose de 2 carrières:

- La carrière d'argile et de latérite située environ à 15 km du site ;
- Une première carrière de calcaire située à environ 2km du site ;

Atelier de préparation des matières premières

Il est composé de l'atelier concassage (équipé d'un concasseur à marteau de 650 tonnes/heure), d'un analyseur gamma ou analyseur en continu servant à limiter les dérives des variables chimiques du produit concassé par rapport aux consignes, d'une halle de pré homogénéisation d'une capacité de 18000 tonnes et d'une halle de stockage des appoints (ou halle d'ajouts) d'une capacité de 20000 tonnes.

Atelier de préparation de la farine

Il comporte un broyeur vertical "ATOX" de 150 tonnes par heure, utilisé pour broyer le mélange issu du dosage, un silo d'homogénéisation de capacité 8000 tonnes où est stocké la farine sortant du broyeur "ATOX".

2.2. La ligne cuisson

Le système du four aux Ciments Du Sahel est celui d'un four I.L.C (in line calcination ou calcinateur en ligne). Ce four est équipé d'un préchauffeur de 5 étages. Le caisson du précalcinateur ou calcinateur est intégré dans la conduite montante du four. Ces températures variant entre 870 et 900°C à l'étage inférieur du cyclone. Avec une telle

température, la réaction de décarbonatation du carbonate de calcium (CaCO_3) va se produire rapidement : $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.

C'est une réaction endothermique où le CO_2 représente les pertes au feu. Le seuil normal de calcination de la matière introduite dans le four est de 90 à 95%. L'air chaud venant du refroidisseur est mélangé aux gaz du four avant d'être utilisé pour la combustion. Cela signifie que la combustion dans le calcinateur est alimentée par un mélange de gaz relativement faible en oxygène (11 à 12%), ceci participe grandement à la réduction des émissions de NO_x . Le courant d'air qui passe à la fois dans le four et le calcinateur est contrôlé par le même ventilateur. Ce qui nécessite un système de régulation dans le canal d'air chaud, de façon à disposer de moyens de contrôle sur le tirage.

La ligne de cuisson est constituée de la tour échangeur, du four et du refroidisseur de clinker.

La farine crue entre par la tour échangeur en contre courant avec les gaz chauds. Avant l'entrée de la farine au niveau du four, s'effectue l'amorçage du procédé de clinkérisation nécessitant l'utilisation de combustibles.

Le sous système tour échangeur peut être modélisé comme suit :

Entrées tour échangeur: farine crue, combustibles et airs faux

Sorties tour échangeur : gaz chauds, réactions de décarbonatation, pertes par rayonnement et convection.

Durant la combustion au niveau du four, des pertes par rayonnement s'y effectuent au niveau de la virole.

Ainsi, nous pouvons modéliser le four comme suit :

Entrées four: combustibles, airs faux

Sorties four: rayonnement (virole du four) et convection, réaction de clinkérisation.

Le refroidisseur permet de réduire fortement la température du clinker sorti du four. L'air de refroidissement est obtenu à l'aide des ventilateurs de soufflage, peut être décomposé en air chaud, utilisé par le four et le calcinateur et en excès d'air utilisé par les broyeurs.

Le refroidisseur peut être modélisé comme suit :

Entrées refroidisseur: air de refroidissement, clinker chaud

Sorties refroidisseur: excès d'air, clinker refroidis, rayonnement et convection.

2.3. Broyage ciment, l'ensachage et l'expédition :

Le Broyage Ciment

Il comporte quatre doseurs (deux pour le calcaire, un pour le gypse, et un autre pour le clinker) à partir desquels s'effectue le dosage des constituants du ciment, un broyeur ciment de 120 tonnes par heure, quatre silos pour le ciment.

Le broyeur à ciment de la société Les Ciments Du Sahel est un broyeur à boulets. Ce broyeur est composé de deux compartiments. Le premier contient des boulets de grandes tailles destinées à la désintégration des matériaux bruts, le second contient des boulets de petite taille servant essentiellement à réduire en fine les matériaux pré broyés. Les deux compartiments sont séparés par un diaphragme ou cloison. Ils sont chargés avec le nombre de boulets correspondant à la force de broyage recherchée.

Dans ces types de broyeurs, une grande partie de l'énergie fournie est transformée en chaleur. Le reste sert à la fragmentation des matériaux, mais aussi à leur ré agglomération. Les grains sont traités collectivement à l'intérieur du broyeur par des boulets qui opèrent par chocs. Un injecteur d'eau stabilise automatiquement la température de sortie dans toutes les conditions de fonctionnement de la machine

Le matériau sortant du broyeur est transporté par une goulotte pneumatique puis par un élévateur à godets et une seconde goulotte pneumatique vers l'entrée du séparateur. La qualité du ciment final dépend largement du mode opérationnel et des divers paramètres relatifs au broyeur ciment.

L'ensachage et l'expédition

Il comporte trois ensacheuses rotatives à huit becs, desservant chacune deux lignes de chargement de camions, un dispositif de chargement du ciment en vrac.

En plus de la production, il existe d'autres secteurs dont l'administration et les organes de contrôle et de supervision, parmi lesquels nous pouvons citer: la salle de commande avec une supervision automatisée (supervision et stockage des données), le département de contrôle qualité (contrôle le produit fabriqué à chaque étape du processus), l'environnement (système de dépoussiérage et contrôle des émissions), la centrale électrique qui assure à la cimenterie une autonomie en énergie électrique.

DEUXIEME PARTIE :
AMELIORATION DES OPERATIONS DE CONDUITE DE L'UNITE DE
LUBRIFICATION (HLPC) DE L'ATELIER BROYAGE CIMENT

INTRODUCTION

Dans le processus de fabrication du ciment, à la sortie du four, le clinker ainsi que d'autres additifs sont envoyés au niveau du broyeur ciment. Afin que ce dernier puisse tourner, sur ses paliers, librement et sans usure, de l'huile pressurisée lui est envoyée. Ce fluide est envoyé à partir d'une unité de lubrification (HLPC). Cette dernière est gérée par un automate SLC500, permettant son bon fonctionnement et celui du broyeur. Un écran à touche (Proface), directement relié à l'automate, permet d'agir sur ce dernier et de voir l'état du HLPC et les valeurs des températures des paliers du broyeur.

L'écran à touche se trouve dans l'atelier broyeur ciment, ainsi, si une alarme signale au niveau de la supervision qu'il y a un problème au HLPC, les rondiers sont obligés d'aller jusqu'à l'atelier, afin de lire, sur cet écran, la nature du problème.

Cette partie de notre projet consiste à transférer des données essentielles, du SLC 500 à la salle de commande, en passant par un autre automate, le ControlLogix.

Dans un premier temps nous allons étudier le processus de communication entre le SLC et le ControlLogix, puis nous choisirons les données à envoyer de l'atelier broyage ciment à la salle de commande. Le câblage et la programmation pour l'échange des données suivront, puis nous effectuerons le test du programme et du fonctionnement et enfin nous passerons à la création de points et de synoptiques au niveau de la supervision.

CHAPITRE I : INFORMATIONS SUR LE FONCTIONNEMENT DES AUTOMATES

1.1. Les automates :

1.1.1. Définition¹ :

L'automate est un dispositif se comportant de manière automatique, c'est-à-dire sans intervention d'un humain. Ce comportement peut être figé, le système fera toujours la même chose, ou s'adaptera selon un algorithme prédéfini.

Dans le domaine de la mécanique, on nomme automate un appareil renfermant divers dispositifs mécanique et/ou électriques, qui lui permettent d'exécuter une séquence déterminée d'opérations de manière synchronisée. L'automate est donc un objet programmé et doté d'une mémoire.

1.1.2. Les automates programmables industriels (API):

Un API est un dispositif électronique programmable destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les prés actionneurs (partie opérative côté actionneur) à partir de données d'entrées ou capteurs (partie commande côté capteur), de consignes et d'un programme informatique.

On nomme aussi Automate Programmable Industriel un dispositif similaire à un ordinateur, utilisé pour automatiser des processus comme la commande des machines sur une ligne de montage dans une usine. Là où les systèmes automatisés plus anciens emploieraient des centaines ou des milliers de relais et de cames, un simple automate suffit. L'API est structuré autour d'une unité de calcul ou processeur, d'une alimentation (depuis des tensions courant continu CC ou courant alternatif CA) et de modules suivant les besoins de l'application, tels que des:

- cartes d'entrées et sorties numériques (tout ou rien) ou analogiques
- cartes d'entrées pour brancher des capteurs, boutons poussoirs, ...
- cartes de sorties pour brancher des actionneurs, voyants, vannes, ...
- modules de communication, InterBus, DeviceNet, Ethernet, FIPIO, FIPWAY, RS232,... pour dialoguer avec d'autres automates, des entrées/sorties déportées, des supervisions ou autres interfaces homme-machine
- modules dédiés métiers, tels que de comptage rapide, de pesage...

¹<http://www.wikipedia.com>

- modules d'interface pour la commande de mouvement, dits modules Motion, tels que démarreurs progressifs, variateurs de vitesse, commande d'axes...
- modules de dialogue (homme-machine) tel que le pupitre (tactile ou avec clavier) dialoguant avec l'automate par réseau industriel propriétaire ou non et affichant des messages ou une représentation du procédé.

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.

L'absence d'interface Homme-machine, pour visualiser l'action et le fonctionnement du programme sur la partie opérative, font que les automates sont très souvent reliés par une communication à un pupitre opérateur, une interface graphique (écran d'affichage ou écran tactile) ou un PC. Dans ce dernier cas, on parle de supervision

1.1.3. Quelques marques et modèles :

- Allen Bradley/ Rockwell Automation: Modèles ControlLogix, CompactLogix, FlexLogix, GuardPLC, Micrologix, PLC5, SLC500
- Mitsubishi automation: Modèles MELSEC F1, F2, FX1N, FX2N, AxN, AxS, QnA, QnAS, System Q
- Panasonic: Modèles FP série
- Samson: Modèles TROVIS 5171
- Siemens: Modèles SIMATIC S5 & S7
- Schneider Electric: April
- Télémécanique Modicon (marques de Schneider Electric): Modèles Twido, M340, TSX Micro, Premium, Quantum, Atrium, Momentum.

1.1.4. Quelques terminologies et définitions liées aux automates¹ :

Instruction : forme d'information communiquée qui est à la fois une commande et une explication pour décrire l'action, le comportement, la méthode ou la tâche qui devra commencer, se terminer, être conduit, ou exécuté.

Pré-scrutation : phase précédant la scrutation (analyse minutieuse des instructions).

Entrées-Sorties : on appelle Entrées-Sorties les échanges d'informations entre le processeur et les périphériques qui lui sont associés.

Bus de données : permet, comme son nom l'indique, la circulation des données, mais aussi des instructions, entre les 4 grands blocs ;

Bus d'adresse : permet au processeur de désigner à chaque instant la case mémoire ou le périphérique auquel il veut faire appel ;

Bus de contrôle : est également géré par le processeur et indique, par exemple, s'il veut faire une écriture ou une lecture dans une case mémoire, ou une entrée/sortie de ou vers un périphérique ; on trouve également, dans le bus de contrôle, une ou plusieurs lignes qui permettent aux circuits périphériques d'effectuer des demandes au processeur ; ces lignes sont appelées lignes d'interruptions matérielles (IRQ).

Carte réseau : carte d'extension d'ordinateur. Elle assure le rattachement d'un équipement informatique à un ensemble d'autres ressources connectées sur le même réseau. Les équipements communiquent sur le réseau au moyen de signaux qui doivent absolument respecter des normes.

PCI (Peripheral Component Interconnect) : standard de bus local (interne) permettant de connecter des cartes d'extension sur la carte mère d'un ordinateur. L'un des intérêts du bus PCI est que deux cartes PCI peuvent dialoguer entre elles sans passer par le processeur.

Bande passante : Capacité de transmission du réseau, exprimée en bits par seconde. Un réseau Ethernet traditionnel a une bande passante de 10 Mbits. Le Fast Ethernet travaille à 100Mbits.

Protocole de communication : ensemble de contraintes permettant d'établir une communication entre deux entités (matériels ou logiciels, d'un réseau de télécommunication).

CIP (control and information Protocol) : protocole de contrôle et d'information, couche applicative Ethernet/IP. Le protocole CIP utilise le modèle réseau « producteur/consommateur ». Dans ce modèle, un producteur diffuse les données (multidestinatoires) une fois à tous les consommateurs.

¹ Rockwell Automation "Documentations Générales", MARS 2004

Consommateur : Dispositif destinataire dans le modèle réseau CIP.

Producteur : source d'information dans le modèle de réseau CIP

Ethernet : Couche physique standard utilisant les méthodes CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, Accès Multiple avec détection de porteuse et détection de collision). Protocole de transmission de données par paquets utilisé dans les réseaux locaux, qui permet d'atteindre différents débits qui peuvent varier selon le support employé.

Switch (interrupteur en français) : en informatique, un switch désigne un commutateur réseau, un équipement qui permet l'interconnexion d'entités réseau appartenant à un même réseau physique. Contrairement au concentrateur (ou hub), il fractionne le réseau en domaines de collision indépendants.

Châssis : cadre rigide ou mobile fait d'une matière résistante, destiné à entourer ou supporter quelque chose. Le châssis d'un automate ControlLogix désigne le cadre sur lequel sont montés ses composants.

Fond de panier : en informatique c'est une carte composée d'un bus. Ce bus possède généralement un ensemble de slots permettant d'y intégrer un ensemble de périphériques. Le bus permet la communication entre le processeur et les différents modules.

Réseau Ethernet : Réseau local conçu pour l'échange à grande vitesse d'informations entre ordinateurs et dispositifs connexes.

Messagerie explicite : messagerie non critique en temps utilisée pour la configuration de dispositifs et la collecte de données, par exemple pour le chargement de programmes ou la messagerie d'égal à égal entre deux automates programmables.

Messagerie implicite : messagerie temps réel des données E/S.

Passerelle : Module ou ensemble de modules permettant les communications entre stations sur réseaux différents.

Module : Unité matérielle fonctionnelle destinée à être utilisée en conjonction avec d'autres composants.

IP : protocole internet qui offre le mécanisme de routage des messages. Tous les messages contiennent non seulement l'adresse de la station de destination mais aussi l'adresse d'un réseau de destination, ce qui permet aux messages d'être envoyés vers de multiples réseaux dans une organisation ou dans le monde.

Temps d'attente : temps entre le lancement d'une requête pour des données et le début du transfert de données proprement dit.

Adresse module : nombre à six bits utilisé pour identifier de façon unique tout module sur le fond de panier ControlLogix local et étendu.

Rack : ensemble physique et logique de modules applicatifs partageant une même alimentation et un même fond de panier pour les communications entre modules.

Commutateur : Dispositif réseau qui relie entre eux les dispositifs ou segments de réseau.

TCP (Transport Control Protocol) : protocole plus fiable mais plus lent qu'UDP. Il est utilisé pour la messagerie explicite sous Ethernet/IP.

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) : Protocole de niveau transport (TCP) et de niveau réseau (IP) couramment utilisés pour les communications sur et entre réseaux.

Baud : mesure du nombre de symboles transmis par seconde par un signal modulé.

1.2. Le ControlLogix¹ :

L'automate programmable industriel ControlLogix est un système électronique destiné à automatiser les tâches d'une installation industrielle en utilisant des fonctions logiques, séquentielles ou numériques. Il est constitué d'un châssis, d'une alimentation, d'un processeur, de modules d'entrées/sorties (E/S) et de modules de communications.

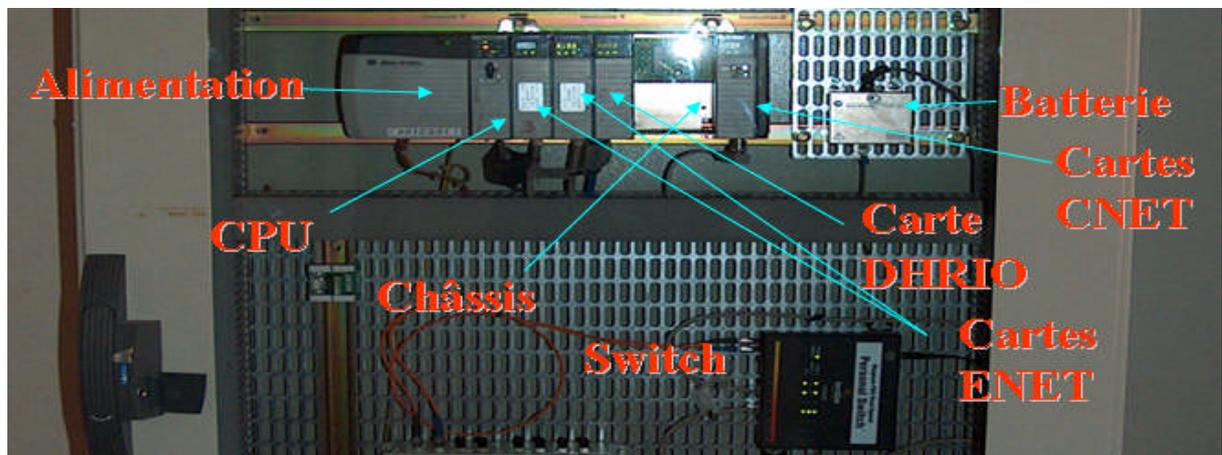


Figure 1 : l'automate ControlLogix en alimentation

1.2.1. Caractéristiques principales :

- Le châssis est le support sur lequel sont montés les composants du ControlLogix ;
- L'alimentation du ControlLogix est un boîtier monté sur le châssis, permettant d'alimenter ce dernier, directement au fond de panier, en courant continu électrique de

¹ Rockwell Automation "Documentations Générales", MARS 2004

1,2 V, 3,3 V, 5 V et 24 V. Le boîtier est fixé sur le premier compartiment gauche du châssis ;

- Le processeur est la partie de l'ordinateur qui sera responsable des calculs à effectuer. Le ControlLogix utilise un processeur logique Logix de la famille 5000 (5500 ou 5555) avec 512 KB de RAM ;
- Le module Data Highway Plus ou DH/RIO est un module de communication qui permet d'envoyer des messages depuis et vers des dispositifs en réseau Data Highway Plus, à destination d'autres réseaux tels que Control Net et Ethernet. Ce module permet d'apporter des informations d'égal à égal dans le châssis, aux fins d'utilisation par le processeur ControlLogix lorsqu'il se trouve dans le châssis ;
- La Carte ENET est un module permettant le transfert de données entre le ControlLogix et la salle de commande via le réseau Ethernet ;
- La batterie ;
- Le switch ;
- Les modules d'E/S du ControlLogix permettent à ce dernier de recueillir les informations provenant des détecteurs (entrées) et d'agir sur les actionneurs en fonction des informations reçues. Ces modules offrent de nombreuses propriétés, telles que :
 - ✓ Retrait et insertion sous tension (RIUP) ;
 - ✓ Transfert des données lors d'un changement d'état ou à des intervalles périodiques ;
 - ✓ Diagnostics des modules et du câblage intégrés ;
 - ✓ Horodatage (Opération consistant à dater un document électronique de façon fiable) ;
 - ✓ Détrompage électronique et identification des modules ;
 - ✓ Mises à jour par mémoire flash.

L'automate ControlLogix peut communiquer à travers quatre principaux réseaux:

- **Le réseau Control Net** permettant, grâce à un module Contrôle net, la communication avec les automates PLC-5C, ou les coffrets FLEX ;
- **Le réseau DeviceNet** permettant, grâce aux modules d'E/S de communiquer directement avec les détecteurs et les actionneurs ;

- Le réseau Ethernet permettant grâce à un module Ethernet de communiquer avec la salle de commande sur un ordinateur ;
- Le réseau DH/RIO permettant grâce au module DH/RIO de communiquer d'un automate ControlLogix à un automate SLC.

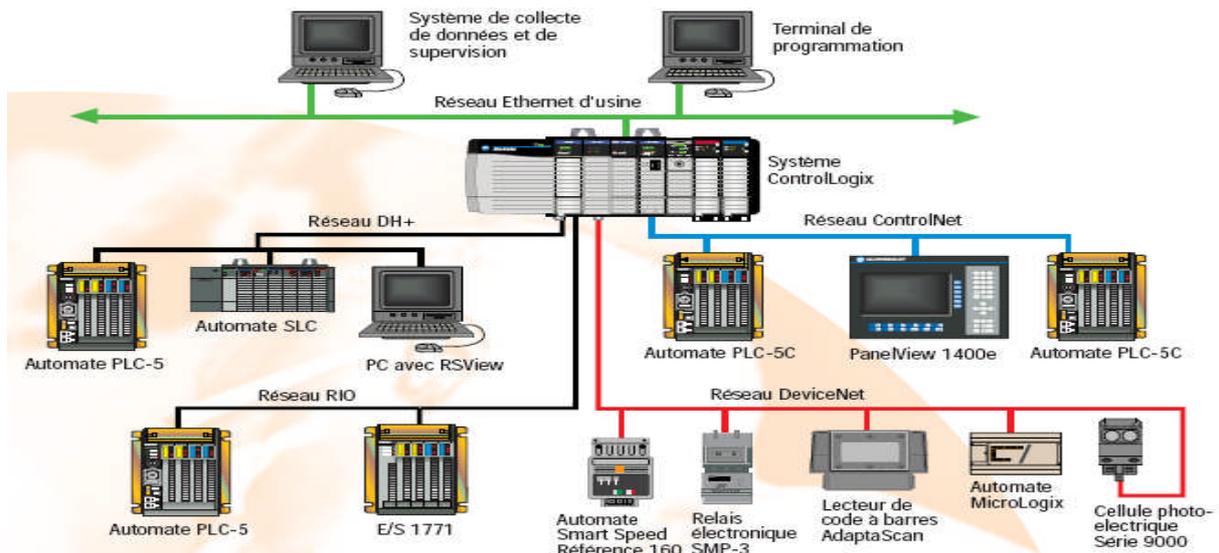


Figure 2 : Quatre principaux réseaux de communication du ControlLogix

1.2.2. Les variables :

1.2.2.1. Adressage des variables :

L'adressage se fait en suivant la logique du matériel (utilisation de « tags »).

Compte tenu de la longueur de l'adressage il est possible de définir des noms qui « pointent » vers l'adresse physique et qui évoquent la signification de la variable.

1.2.2.2. Définition des données :

La définition des données est réalisée dans « Controller Tags » pour tous les programmes ou bien dans « Programme Tags » si la définition est valable uniquement dans le programme considéré.

La démarche de définition d'une nouvelle variable est assez semblable à celle que l'on trouve pour les langages de programmation des structures des ordinateurs (Pascal, Fortran, C): définition du nom de la variable, de son type et de son champ si c'est un tableau. De manière pragmatique, on utilise les lignes des tableaux mis à disposition.

1.2.2.3. Types de données :

Les types de données suivants sont disponibles :

- 🚦 **BOOL** Booléen, c'est-à-dire 1 bit
Valeur 0/1
- 🚦 **SINT** Entier court codé sur 8 bits
Valeur de -128 à +126
- 🚦 **INT** Entier codé sur 16 bits
Valeur de -32768 à +32767
- 🚦 **DINT** Entier double codé sur 32 bits
Valeur de - 2 147 483 648 à + 2 147 483 647

Les automates ControlLogix fonctionnent plus efficacement et utilisent moins de mémoire quand ils travaillent avec des nombres entiers de 32 bits (DINT).

1.2.3. Langage ladder (échelle):

C'est un langage graphique, basé sur des schémas électriques logiques, utilisé pour programmer les microcontrôleurs et les Automates Programmables Industriels. Le principe permet de représenter à base de relais tout système logique.

Un programme LADDER se lit de haut en bas et l'évaluation des valeurs se fait de gauche à droite. Les valeurs correspondent en fait, si on le compare à un schéma électrique, à la présence ou non d'un potentiel électrique à chaque nœud de connexion. En effet, le LADDER est basé sur le principe d'une alimentation en tension représentée par deux traits verticaux reliés horizontalement par des bobines, des contacts et des blocs fonctionnels.

Il existe 3 types d'élément de langage :

- les entrées (ou contact), qui permettent de lire la valeur d'une variable booléenne;
- les sorties (ou bobines) qui permettent d'écrire la valeur d'une variable booléenne;
- les blocs fonctionnels qui permettent de réaliser des fonctions avancées.

1.2.3.1. Instructions de base :

🚦 Les entrées (ou contacts) :

Il existe deux types de contact:

- Le contact normalement ouvert (XIC) : examine si le contact est fermé

XIC
--| |--

Ce contact est fermé lorsque la variable booléenne associée (XIC ici) est vraie, sinon, il est ouvert.

- Le contact normalement fermé (XIO) : examine si le contact est ouvert

XIO

--|/|--

Ce contact est ouvert lorsque la variable booléenne associée (X ici) est vraie, sinon il est fermé.

- ONS : entrée de stockage, est précédé d'une autre entrée. C'est une instruction d'entrée rémanente qui déclenche un événement une seule fois. Après une transition de ligne de faux à vrai, l'instruction ONS reste vraie pendant une scrutation de programme et devient fausse dès qu'elle est franchie, ceci même si sa ligne reste vraie. Elle ne peut être réactivée qu'une fois que la ligne devient fausse et redevient vraie. Le bit de stockage ONS est l'adresse de bit qui se souvient de l'état de la ligne à la scrutation précédente. Ce bit est utilisé pour reconnaître une transition de faux à vrai de la ligne.

-[ONS]-

Les sorties (ou action)

- OTE : si cette bobine est soumise à un potentiel, c'est-à-dire qu'il existe un circuit fermé reliant cette bobine des deux cotés du potentiel, alors la variable booléenne associée (OTE ici) est active ou 'vraie', sinon elle est 'fausse'.

OTE

—()—

- OTL (latch): accrochage de sortie. S'active si la ligne est vraie et reste active même si la ligne devient fausse. Ne peut être désactivée que par une action unlatch

OTL

—[L]—

- OTU (unlatch) : décrochage de sortie. Permet de désactiver la sortie latch. L'instruction de déverrouillage dit à l'automate de mettre Off le bit adressé. Il reste donc ensuite Off, quelle que soit la condition de la ligne, jusqu'à ce qu'il soit mis On (en principe par l'instruction OTL d'une autre ligne)

OTU

—[U]—

- OSR (impulsion front montant) et OSF (impulsion front descendant) : sont utilisés pour déclencher un événement une seule fois. Ces instructions déclenchent un événement en fonction d'un changement d'état de la ligne. Ces instructions utilisent deux paramètres, le bit de stockage et le bit de sortie :

Le bit de stockage est l'adresse de bit qui se souvient de l'état de la ligne à la scrutation précédente ;

Le bit de sortie est l'adresse du bit qui est activé en cas de transition de ligne de faux à vrai (OSR) ou de vrai à faux (OSF). Le bit de sortie est activé pour une scrutation de programme.

L'instruction OSR est utilisée lorsqu'un événement doit intervenir en cas de changement d'état de la ligne de faux à vrai (front montant). Pour réactiver l'instruction OSR, la ligne doit redevenir fausse



L'instruction OSF est utilisée lorsqu'un événement doit intervenir en cas de changement d'état de la ligne de vrai à faux (front descendant). Pour réactiver l'instruction OSF, la ligne doit redevenir vraie.

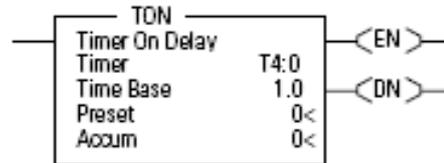


1.2.3.2. Instructions de temporisation et de comptage :

(La base de temps de tous les temporisateurs est de 1 ms)

- Temporisation au travail: TON (Timer On Delay) mesure le temps pendant lequel un temporisateur est actif. Il est utilisé pour retarder l'activation d'une sortie. L'instruction TON commence à compter les intervalles de base de temps quand les conditions de la ligne deviennent vraies. Tant que les conditions de la ligne restent vraies, le temporisateur incrémente sa valeur cumulée jusqu'à ce que la valeur de présélection soit atteinte. Lorsque la valeur cumulée est égale à la valeur de présélection, la temporisation s'arrête. La valeur du totalisateur est remise à 0 lorsque les conditions de la ligne deviennent fausses même si la

temporisation n'est pas finie. Les temporisateurs TON sont remis à 0 lors d'un changement de mode ou d'une remise sous tension.



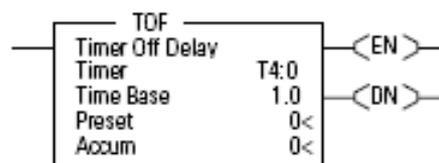
Les instructions de temporisation utilisent les bits de contrôle et d'état suivants :

Bit		Est activé quand :	Et reste activé jusqu'à ce que :
Bit 13- T4:0/DN	DN - bit de fin Type BOOL	valeur cumulée \geq valeur de présélection	l'état de la ligne devienne faux
Bit 14- T4:0/TT	TT -temporisation en Cours Type BOOL	l'état de la ligne est vrai et la valeur cumulée $<$ valeur de présélection	<ul style="list-style-type: none"> l'état de la ligne devienne faux le bit DN soit activé
Bit 15- T4:0/EN	EN - activation du temporisateur	l'état de la ligne est vrai	l'état de la ligne devienne faux

Tableau1 : bits de contrôle et d'état de la temporisation au travail (TON)

Le bit « .ACC » est du type DINT et est utilisé comme accumulateur.

- Temporisation au déclenchement: TOF (Timer Of Delay) mesure le temps pendant lequel un temporisateur est inactif. Il est Utilisé pour retarder la désactivation d'une sortie. L'instruction TOF commence à compter les intervalles de base de temps quand les conditions de la ligne deviennent fausses. Tant que les conditions de la ligne restent fausses, le temporisateur incrémente sa valeur cumulée jusqu'à ce que la valeur de présélection soit atteinte. La valeur du totalisateur est remise à 0 lorsque les conditions de la ligne deviennent vraies même si la temporisation n'est pas finie. Les temporisateurs TOF sont remis à 0 lors d'un changement de mode ou d'une remise sous tension.



Les instructions de temporisation utilisent les bits de contrôle et d'état suivants :

Bit		Est activé quand :	Et reste activé jusqu'à ce que :
Bit 13- T4:0/DN	DN - bit de fin Type BOOL	les conditions de la ligne sont vraies	les conditions de la ligne deviennent fausses et que la valeur cumulée soit supérieure ou égale à la valeur de présélection
Bit 14- T4:0/TT	TT -temporisation en Cours Type BOOL	les conditions de la ligne sont fausses et la valeur cumulée est inférieure à la valeur de présélection	les conditions de la ligne deviennent vraies ou que le bit de fin soit remis à 0
Bit 15- T4:0/EN	EN - activation du temporisateur	les conditions de la ligne sont vraies	les conditions de la ligne deviennent fausses

Tableau2 : bits de contrôle et d'état de la temporisation au déclenchement (TOF)

Le bit « .ACC » est du type DINT et est utilisé comme accumulateur.

- Remise à zéro RES: remet à zéro les temporisateurs, les compteurs et les éléments de contrôle. Quand l'instruction RES est exécutée, elle remet à zéro les données définies par l'instruction RES. L'instruction RES n'a aucun effet lorsque l'état de la ligne est faux.

Le tableau suivant indique les éléments modifiés :

Lorsque l'instruction RES est utilisée avec un :		
temporisateur	compteur	élément de contrôle
L'automate remet à zéro : la valeur ACC le bit DN le bit TT le bit EN	L'automate remet à zéro : la valeur ACC le bit OV le bit UN le bit DN le bit CU le bit CD	L'automate remet à zéro : la valeur POS le bit EN le bit EU le bit DN le bit EM le bit ER le bit UL

Tableau 3: Eléments modifiée par l'instruction remise à zéro (RES)

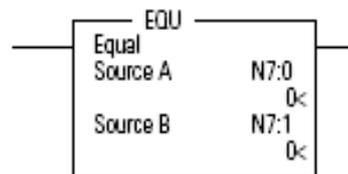
- Temporisation à mémoire ou Temporisateur rémanent RTO (Recovery Time Objective, durée maximale d'interruption admissible en français) constitue le temps maximal acceptable durant lequel une ressource (généralement informatique) peut ne pas être fonctionnelle après une interruption majeure de service. L'instruction RTO est utilisée pour retarder l'activation d'une sortie.

- Compteur CTU (Comptage progressif) : utilisé pour incrémenter un compteur à chaque transition de ligne faux-vrai. Lors d'une transition de ligne faux-vrai d'une ligne CTU, la valeur cumulée est incrémentée de 1.

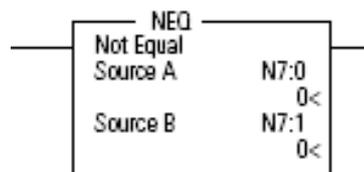
- Décompteur CTD : utilisé pour décrémenter un compteur à chaque transition de ligne faux-vrai.

1.2.3.3. Instructions de comparaison :

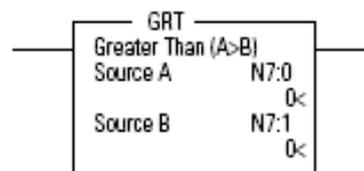
- Egalité EQU : est utilisée pour tester si une valeur est égale à une autre valeur.



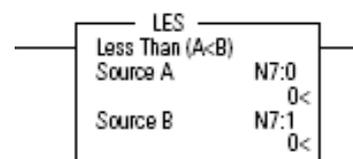
- Différence NEQ : est utilisée pour tester si une valeur est différente d'une autre valeur.



- Supériorité GRT : utilisée pour tester si une valeur est supérieure à une autre valeur.



- Infériorité LESS : est utilisée pour tester si une valeur est inférieure à une autre valeur.



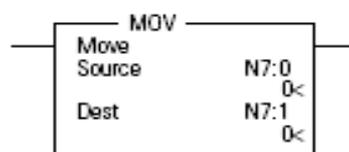
- Supériorité ou égalité GEQ : L'instruction GEQ est utilisée pour tester si une valeur est supérieure ou égale à une autre valeur.
- Infériorité ou égalité LEQ : est utilisée pour tester si une valeur est inférieure ou égale à une autre valeur.
- Egalité par comparaison masquée MEQ : utilise un masque pour tester si une valeur (source) est égale à une autre valeur (de comparaison).
- Test sur limites LIM : sert à tester les valeurs à l'intérieur ou à l'extérieur d'une plage spécifiée. L'instruction LIM est évaluée sur la base des valeurs de limite de basse, de test et de limite haute.

1.2.3.4. Instructions de calcul :

- Addition ADD : ajouter deux valeurs
- Soustraction SUB : soustraire une valeur à une autre
- Multiplication MUL : multiplier une valeur par une autre
- Division DIV : diviser une valeur par une autre
- Négation NEG : changer le signe de la valeur source et placer le résultat à la destination
- Valeur absolue ABS : déterminer la valeur absolue de la valeur source
- Effacement CLR : mettre tous les bits d'un mot à zéro
- Racine carrée SQR : déterminer la racine carrée d'une valeur
- Mise à l'échelle SCL : mettre une valeur à l'échelle

1.2.3.5. instructions de transfert :

- Transfert d'un mot MOV : transfert bit à bit. L'instruction MOV est utilisée pour transférer des données de la source à la destination. Tant que la ligne reste vraie, l'instruction transfère des données à chaque scrutation.



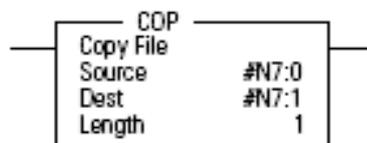
- Transfert masqué MVM : est utilisée pour transférer des données de la source à la destination, en masquant des parties de la destination.

1.2.3.6. Instructions sur fichier :

- Copie de mot CPW : copie des mots de données d'un emplacement à un autre
- Décalage binaire à gauche BSL : charge et décharge des données dans un tableau de bits, bit par bit.
- Décalage binaire à droite BSR
- Chargement FIFO (premier entré, premier sorti) FFL : charge des mots dans un fichier et les décharger dans le même ordre (premier entré, premier sorti)
- Déchargement FIFO (premier entré, premier sorti) FFU
- Chargement LIFO (dernier entré, premier sorti) LFL : charge des mots dans un fichier et les décharger dans l'ordre inverse (dernier entré, premier sorti)
- Déchargement LIFO (dernier entré, premier sorti) LFU
- Permutation (automates MicroLogix 1200 et 1500 série B et supérieure uniquement) SWP : permute un octet de poids faible avec un octet de poids fort dans un nombre spécifié de mots
- Copie de fichier COP : copie des blocs de données d'un fichier à un autre. La source et la destination doivent utiliser le même type de fichier, à l'exception des fichiers binaires (B) et de nombres entiers (N) qui sont interchangeables. C'est l'adresse qui détermine la longueur maximale du bloc à copier comme dans le tableau suivant :

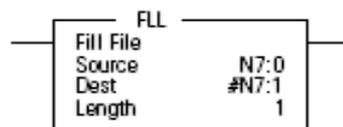
Type de données Source/Destination	Plage de longueurs de l'opérande
Eléments d'1 mot (mot)	1 à 128
Eléments de 2 mots (mot long)	1 à 64
Eléments de 3 mots (compteur)	1 à 42
Eléments de 42 mots (chaîne)	1 à 3

Tableau 4: Longueur maximale du bloc à copié par l'instruction de copie de fichier (COP)



- Remplissage de fichier FLL : charge une constante ou une adresse d'une longueur donnée dans les éléments d'un fichier. La figure suivante montre comment les données d'instruction du fichier sont traitées. L'instruction charge une valeur source dans les mots d'un fichier. Elle n'utilise pas de bits d'état. Si vous avez besoin d'un bit d'activation, programmez une sortie parallèle utilisant une adresse de stockage. Cette instruction utilise les opérandes suivants :

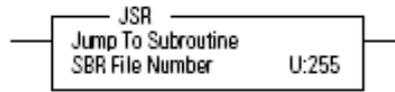
- Source : l'opérande source est l'adresse de la valeur ou de la constante utilisée pour remplir la destination. La plage de données de la source va de -32 768 à 32 767 (mot) ou de -2 147 483 648 à 2 147 483 647 (mot long) ou peut être n'importe quelle valeur de bit IEEE-754 32. On ne peut pas utiliser une constante comme source dans un fichier temporisateur (T), compteur (C) ou de contrôle (R).
- Destination : il s'agit de l'adresse de début d'écriture des données.
- Longueur : l'opérande de longueur contient le nombre d'éléments. La longueur peut varier entre 1 et 128 (mot), entre 1 et 64 (mot long) ou entre 1 et 42 (éléments de 3 mots tels qu'un compteur). Les opérandes de la source et de la destination doivent utiliser le même type de fichier, seuls les fichiers binaires (B) et de nombres entiers (N) sont interchangeables.



1.2.3.7. Instructions de contrôle de programme:

- Saut JMP : saut en avant jusqu'à une instruction d'étiquette correspondante
- Etiquette LBL : saut en arrière jusqu'à une instruction d'étiquette correspondante
- Fin temporaire TND : annule une scrutation de logique à relais en cours
- Interruption SUS : débogue ou diagnostique le programme utilisateur
- Fin de programme END : met fin à un programme ou à un sous-programme
- Relais de contrôle maître MCR : valide ou invalide une zone de contrôle maître dans le programme à relais
- Saut au sous-programme JSR : s'utilise quand l'automate doit exécuter un fichier sous-programme distinct dans le programme à relais. Elle déplace l'exécution du programme vers le sous-programme SBR désigné (SBR numéro de fichier). Une fois l'instruction SBR

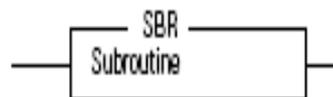
exécutée, l'automate retourne à l'instruction qui suit l'instruction JSR. La plage de données immédiates pour le fichier JSR va de 3 à 255.



- Retour RET : marque la fin de l'exécution du sous-programme ou la fin du fichier sous-programme. Elle amène l'automate à reprendre l'exécution du programme à l'instruction qui suit l'instruction JSR, l'interruption utilisateur ou le sous-programme d'erreurs utilisateur ayant entraîné l'exécution de ce sous-programme.



- Sous-programme SBR : c'est une étiquette non utilisée par le processeur. C'est la première instruction de la première ligne du sous-programme utilisateur qu'elle sert à identifier. Cette instruction est toujours évaluée comme vraie.



1.3. Le SLC 500¹ :



Figure 3 : Le SLC500

Le SLC 500 est un automate programmable, permettant de gérer le contrôle continu et le contrôle de procédés à grande vitesse, à partir d'une plate forme unique. Il est très utile pour des opérations à temps de cycle critique. Les processeurs SLC 500 prennent en charge aussi bien la communication Ethernet à 10 Mb/s, que la communication rapide Data Highway Plus™ (DH+) intégré. Tout au long du procédé, des diagnostics complets facilitent le dépannage, grâce au logiciel RS 500.

1.3.1. Caractéristiques principales

A travers les réseaux Ethernet, grâce à un module Ethernet, le SLC 500 peut transmettre des données de l'usine aux applications d'acquisition et de surveillance de

¹ Rockwell Automation "Documentations Générales", MARS 2004

données, de gestion de programme, de planification de la production et de suivi de matériaux. Il est doté de processeurs rapides et puissants ayant des tailles mémoire allant jusqu'à 64 Ko, de centaines de types et d'options d'Entrées/Sorties locales et décentralisées avec les modules d'E/S 1746, 1771, Block et Flex, d'une communication Ethernet intégrée.

Le SLC500 résiste aux conditions de température et d'humidité extrêmes et offre une résistance aux vibrations et aux chocs exceptionnels. Ses composants modulaires peuvent fonctionner dans un milieu ayant une température allant de 0°C à 60°C, et être stockés dans un milieu ayant une température allant de -40°C à +85°C. Ils peuvent évoluer dans un milieu d'une humidité de 5 à 95 % sans condensation.

Le SLC 500 comporte 5 types de processeurs : le processeur SLC 5/01, le processeur SLC 5/02, le processeur SLC 5/03, le processeur SLC 5/04 et le processeur SLC 5/05. Dans le cadre de notre étude nous sommes plutôt intéressés par les processeurs SLC 5/03 et SLC 5/04.

Les caractéristiques des SLC 5/03 et 5/04, sont dressées dans le tableau ci-dessous :

	Processeurs SLC 5/03	Processeurs SLC 5/04
Capacité totale de la mémoire	L531 : 8 K	L541 : 16 K
	L532 : 16 K	L542 : 32 K L543 : 64 K
Points d'entrée et de sortie possible de contrôler	4096 points	4096 points
Temps de scrutation typique (1)	1 ms/K	0,90 ms/K
Programmation (y compris édition en temps réel)	en ligne	en ligne
Voies	DH-485 intégrée	DH+ intégrée, prenant en charge les fonctions suivantes : *Communication rapide (57,6; 115,2 et 230,4 kilo bauds) *Messages possibles avec les processeurs SLC 500, PLC-2, PLC-5 et PLC-5/250
	RS-232 intégrée	RS-232 intégrée
Adressage	indirect	indirect
Module mémoire	EPROM	EPROM
Interrupteur	à clé -RUN, REMote, PROGram	à clé -RUN, REMote, PROGram effacement des défauts)
RAM	sauvegardée par pile	sauvegardée par pile

Tableau 5: caractéristiques des SLC 5/03 et 5/04

Le processeur SLC 5/03 permet de réduire le Temps de scrutation typique à 1ms, ceci améliore considérablement les performances système. Les applications de conditionnement rapide, de tri et de manutention sont moins coûteuses. La voie RS-232 intégrée permet la connexion à des équipements externes intelligents sans utiliser d'autres modules.

Le processeur SLC 5/04, en plus des fonctionnalités de base du SLC 5/03, offre des possibilités de communications DH+, ceux-ci étant 3 a 12 fois plus rapide que les communications DH-485 et donnant accès a des niveaux de performances supérieurs. Le processeur SLC 5/04 dispose donc d'une vitesse d'environ 15 % supérieure au SLC 5/03.

Le temps de maintien de la scrutation du programme, pour tous les cinq processeurs, après une perte d'alimentation, est de 20 ms à 3 s (suivant la consommation).

1.3.2. Jeu d'instructions de programmation SLC :

1.3.3.1. Instructions de bases

Instructions		Objet
Mnémonique	Nom	
XIC	Examine si fermé	Examiner si le contact est fermé (condition On)
XIO	Examine si ouvert	Examiner si le contact est ouvert (condition Off)
OTE	Activation de sortie	Activer la sortie (On /Off)
OTL et OTU	Verrouillage de sortie et déverrouillage de sortie	OTL active un bit quand la ligne est exécutée, et ce bit retient son état quand la ligne n'est pas exécutée ou en cas de mise hors et sous tension. OTU désactive un bit quand la ligne est exécutée et ce bit retient son état quand la ligne n'est pas exécutée ou en cas de mise hors et sous tension
OSR	Impulsion front montant	Déclencher un front montant

Tableau 6: Instructions de bases du SLC

1.3.3.2. Instructions des temporisateurs et compteurs :

Instructions		Objet
Mnémonique	Nom	
TON	Temporisateur à l'enclenchement	Compte les intervalles de base de temps lorsque l'instruction est vraie.
TOF	Temporisateur au déclenchement	Compte les intervalles de base de temps lorsque l'instruction est fausse
RTO	Temporisateur rémanent	Compte les intervalles de base de temps lorsque l'instruction est vraie et retient la valeur cumulée lorsque l'instruction devient fausse ou en cas de mise hors et sous tension.
CTU	Comptage progressif	Incrémente le compte à chaque transition faux vrai et retient la valeur cumulée lorsque l'instruction devient fausse ou en cas de mise hors et sous tension
CTD	Comptage dégressif	Décrémente le compte à chaque transition faux vrai retient la valeur cumulée lorsque l'instruction devient fausse ou en cas de mise hors et sous tension.
RES	Remise à zéro	Remet à zéro la valeur cumulée et les bits d'état d'un temporisateur ou d'un compteur. Ne pas utiliser avec des temporisateurs TOF

Tableau 7: Instructions des temporisateurs et compteurs du SLC

1.3.3.3. Autres instructions :

Fonction	Description
Comparaison	comparent des valeurs en utilisant une expression ou une instruction de comparaison spécifique. EQU, NEQ, LES, LEQ, GRT, GEQ, MEQ
Calcul	évaluent des opérations arithmétiques en utilisant une expression ou une instruction arithmétique spécifique. ADD, SUB, MUL, DIV, DDV, CLR, NEG, SQR, SCL
Logique	effectuent des opérations logiques sur les bits. AND, OR, XOR, NOT
Déplacement	modifient et déplacent des bits. MOV, MVM

Fichier	exécutent des opérations sur les données de fichiers. COP, FLL, BSL, BSR
Commande de programme	changent le déroulement de l'exécution du programme a relais. JMP, LBL, JSR, SBR, RET, MCR, TND, SUS, IIM, IOM, END
Communication	lisent ou écrivent des données sur un autre poste : MSG, SVC, BTR, BTW

Tableau 8: Autres instructions du SLC

1.4. Le module d'interface de communication Data Highway Plus (DH+)¹ :

Au niveau le plus élémentaire, le câble réseau Data Highway Plus est un fil ou un câble et un protocole qui relie des ordinateurs et des périphériques pour qu'ils puissent communiquer. Le fil réel utilisé pour un réseau est dénommé support réseau.

Une liaison DH+ transfère les données entre ControlLogix, SLC et autres dispositifs qui utilisent le réseau DH+. Ces dispositifs sont appelés stations. Un maximum de 32 stations peut être connecté à une seule liaison DH+. La longueur maximale d'un câble pour le DH+ dépend de la vitesse de transmission. Si la liaison d'entrée/sortie DH+ transmet à la vitesse de 57,6 kb/s, la longueur maximale du câble est de 3000m. Tous les dispositifs d'une liaison DH+ doivent être configurés pour communiquer à la même vitesse de transmission. Pour assurer un bon fonctionnement, des résistances de terminaison livrées avec l'automate programmable doivent être placées aux deux extrémités de la liaison DH+. Si la liaison d'entrée/sortie DH+ transmet à la vitesse de 57,6 kb/s, une résistance de 150 Ω est utilisée.

Le module Data Highway Plus permet d'envoyer des messages depuis et vers des dispositifs en réseau Data Highway Plus, à destination d'autres réseaux tels que Control Net et Ethernet. Ce module permet d'apporter des informations d'égal à égal dans le châssis, aux fins d'utilisation par le processeur ControlLogix lorsqu'il se trouve dans le châssis. Les modules DH+ utilisés aux Ciments du Sahel est le module 1756-DHRIO. Il n'accepte que des communications transmises à la vitesse de 57,6 kb/s.

L'illustration ci-dessous est donnée à titre d'exemple. Le système utilise deux passerelles ControlLogix reliant des réseaux Data Highway Plus existants. La communication entre automates programmables SLC500 sur des réseaux différents est accomplie de la même manière que celle utilisée pour la communication au sein d'un même réseau. Sur l'automate ControlLogix, le module DH+ peut être retiré et inséré sous tension sans interrompre l'alimentation des autres modules du châssis.

¹ Rockwell Automation "Documentations Générales", MARS 2004

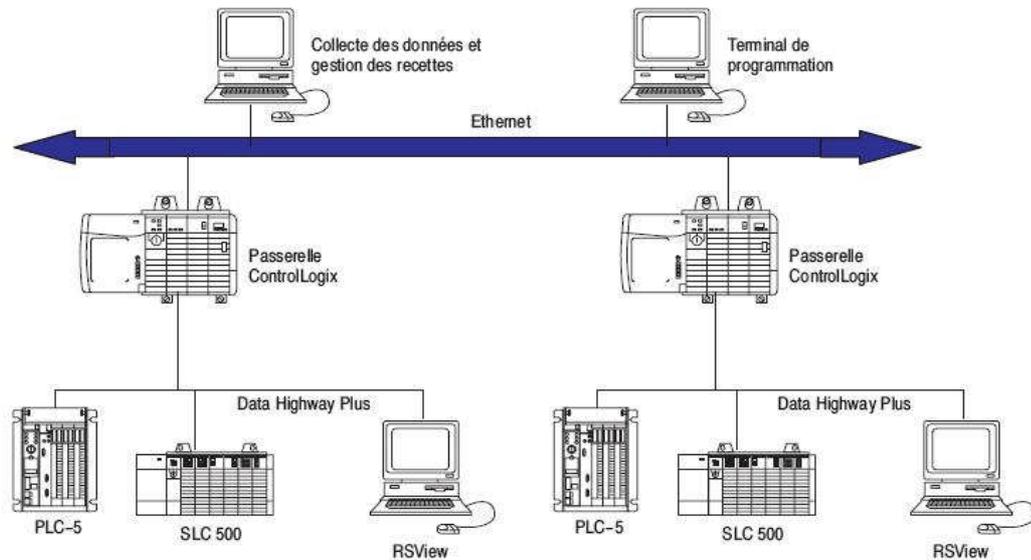


Figure 4: Réseau DH+

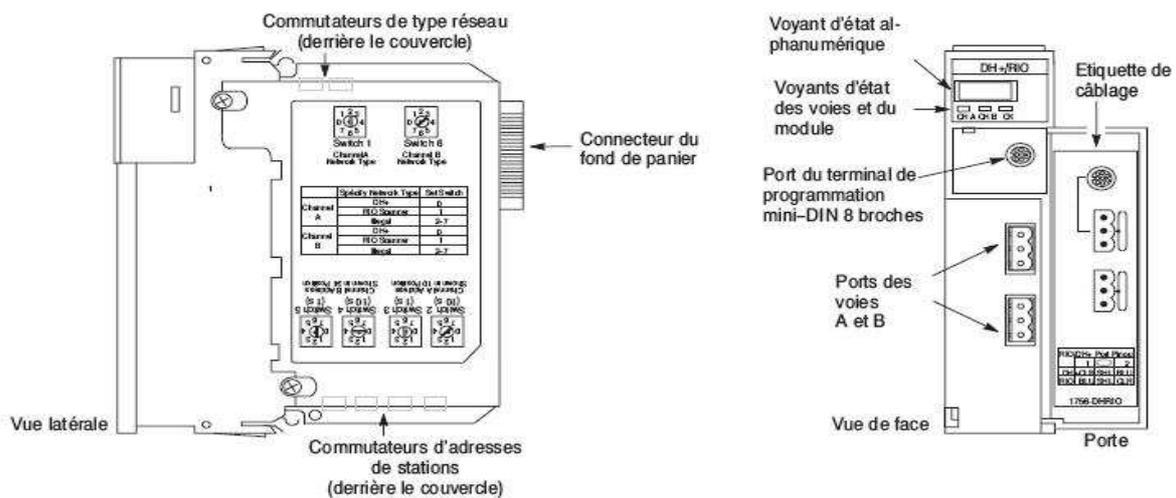


Figure 5: le module Data Highway Plus

Il existe deux méthodes de communication sur le DH+ : le Routage DH+ des messages PCCC (commandes de communication des automates programmables), et les messages CIP (protocole de contrôle et d'information).

Dans notre cas nous utiliserons la méthode messages CIP. Ce nouveau protocole et son acheminement sont acceptés par les dispositifs ControlLogix et les SLC 500 qui utilisent le réseau ControlNet. Il utilise un concept de « chemin relatif ». Du fait que le message même ou sa connexion de transmission contient toutes les informations nécessaires à son acheminement, les messages

CIP n'exigent aucune table de routage ou ID de liaison. Sur CIP, le port ControlBus du DHRIO est le port 01, la voie A du DH+ est le port 02, la voie B de DH+ est le port 03.

L'adresse de station du DHRIO sur le ControlBus est son numéro d'emplacement, l'adresse de station sur les voies A et B est son numéro de station DH+. Le module DHRIO accepte le passage des messages CIP sur une liaison DH+. Le dispositif n'accepte pas le passage de données CIP d'E/S à un module d'E/S. Voir le schéma ci-dessous.

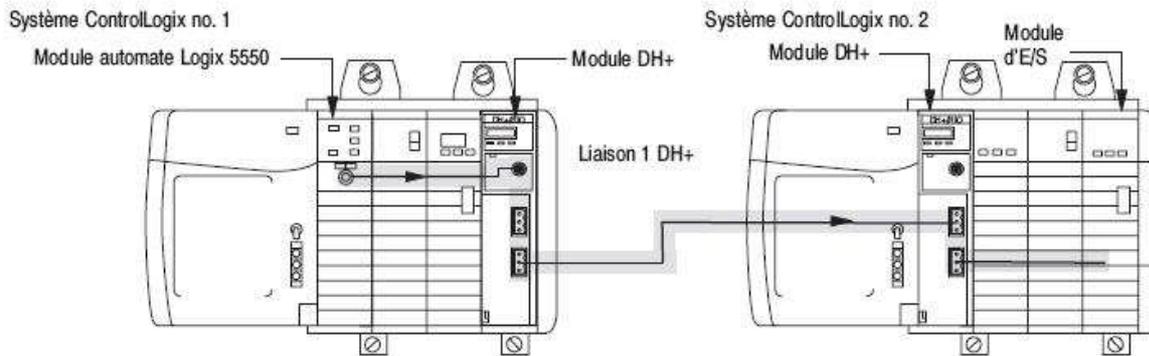


Figure 6 : Liaison DH+

Avant d'installer le module DH+, il faut définir le type de réseau et régler les commutateurs des adresses de stations. Pour chaque adresse de station des voies, il est possible de sélectionner une gamme comprise entre 00 et 77.

Pendant la configuration, l'emplacement du module et la position du rack sont sauvegardés avec les données de configuration. Ces données sont sauvegardées dans la mémoire non volatile du module. Le module RIO/DH+ doit être bien placé dans l'emplacement et dans le rack appropriés pour les mises sous tension futures. Le non-respect de cette recommandation entraînerait un défaut de configuration, indiqué par «CNFG FALT» sur l'afficheur alphanumérique. Le module n'utilise pas de pile pour sauvegarder les informations. La sauvegarde est effectuée en EEPROM. Il est possible de configurer chaque voie DH+ du module RIO/DH+ avec un emplacement d'automate. Si un message local est envoyé sur le réseau Data Highway Plus, aucune ID de liaison n'est incluse dans le message et ce dernier est automatiquement envoyé à l'emplacement de l'automate.

L'installation type d'un automate s'effectue dans l'emplacement de l'automate. Cette information doit être configurée ou définie selon la configuration par défaut, que les messages DH+ locaux soient utilisés ou non. Si cette procédure n'est pas respectée, un défaut de configuration se produira.

Il est possible d'utiliser la configuration par défaut du module RIO DH+ au lieu d'écrire une configuration spécifique. La configuration par défaut ne contient pas de tables de

routage et les emplacements d'automates des deux voies DH+ sont définis à l'emplacement 0. La position du rack et le numéro d'emplacement stockés avec les données de configuration sont à une valeur non définie. Cette configuration évite les défauts de configuration mais empêche également l'acheminement de messages de toutes les trames, sauf les trames locales du DH+ aux emplacements 0, et limite les applications dans lesquelles le module peut être utilisé.

🔧 Diagnostic et dépannage

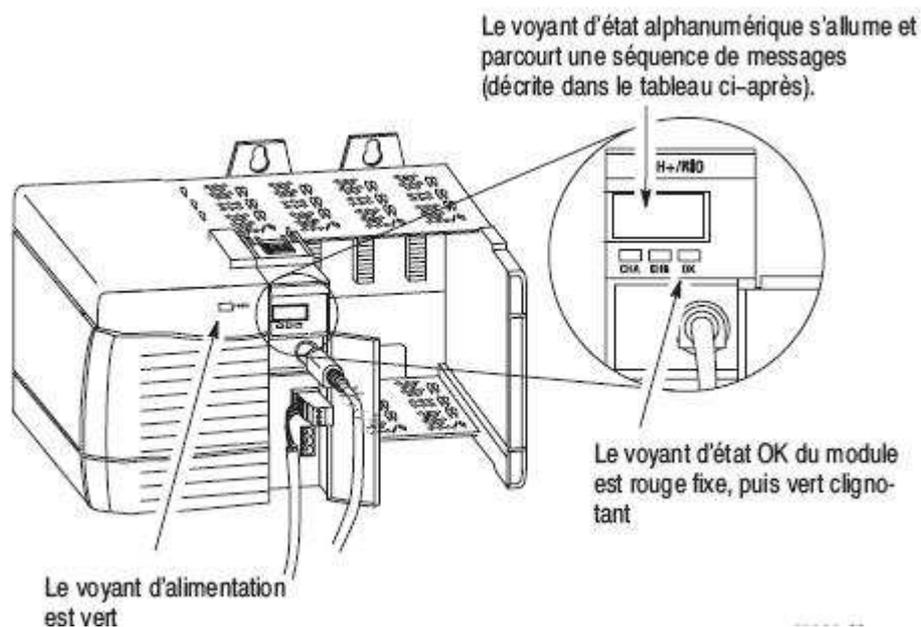


Figure 7 : Module DH+ dans le back plane.

➤ Dépannage de l'alimentation

Voyant d'alimentation	Alimentation	Procédure
Eteint	Ne fonctionne pas	Actionner le commutateur d'alimentation Vérifier les connexions Vérifier le fusible
Allumé	Fonctionne	Rien, fonctionnement normal

Tableau 9: Dépannage de l'alimentation

➤ **Dépannage du module**

Message d'état affiché	Etat du réseau	Procédure
OFF LINE	La liaison DH+ est à l'arrêt	Corriger la configuration
DUPL NODE	Adresse de station en double	Choisir une autre adresse de station et régler de nouveau les commutateurs
ONLY NODE	Seule station sur la liaison DH+	Vérifier les câbles
CNFG FALT	Configuration incorrecte de l'objet DH+	Vérifier que le module est inséré dans l'emplacement correct
OOAB	Les commutateurs de type de réseau sont mal réglés	Régler les commutateurs pour DH+
4 chiffres sont figés	Erreur fatale	Noter le code Retirer et remettre le module en place ou le mettre hors tension
OK	Fonctionnement normal de cette voie.	

Tableau 10: Dépannage du module

➤ **Etat du module**

Voyant OK	Etat du module	Procédure
Eteint	Ne fonctionne pas	Mettre le châssis sous tension Vérifier si le module est complètement inséré dans le châssis et le fond de panier
Vert clignotant	Fonctionne mais n'achemine pas les messages	Rien, aucun message n'est acheminé par le module. Pour acheminer les messages, utiliser la configuration par défaut du module, ou le configurer.
Rouge puis éteint	Auto-test en cours	Rien, fonctionnement normal
Vert	Fonctionne et achemine les messages	Vérifier la configuration du module
Rouge	En défaut majeur	Relancer le module. Si le rouge réapparaît,

		remplacer le module
Rouge clignotant	En défaut majeur ou défaut de configuration	Vérifier le voyant alphanumérique et procéder comme indiqué dans le tableau des messages d'état

Tableau 11: Etat du module

➤ **Etat des voies**

Voyant de la voie A ou de la voie B	Etat de la voie	Procédure
Eteint	Pas en ligne	Placer la voie en ligne
Vert	Fonctionne	Rien, fonctionnement normal
Vert clignotant	Une ou plusieurs stations défectueuses ou en panne. Aucune autre station sur le réseau	Vérifier l'alimentation des autres racks Vérifier les câbles
Rouge	Défaut matériel	Relancer le module. Si le rouge réapparaît, remplacer le module
Rouge clignotant	Détaction de station en double	Vérifier l'adresse de station

Tableau 12: Etat des voies

1.5. Les logiciels de programmation et de communication¹ :

1.5.1. RSLinx

RSLinx est un logiciel de communication fournissant une connectivité périphérique pour une grande variété d'applications Rockwell Software. Il permet aux automates programmables Allen-Bradley d'accéder à de nombreuses applications Rockwell Software. Il peut supporter simultanément plusieurs applications par l'intermédiaire d'interfaces de communication telles que RSLogix 500 et RSLogix 5000. RSLinx offre une interface graphique conviviale permettant de naviguer à travers tout le réseau par le biais d'un réseau Ethernet.

Afin de répondre à toute une série de contraintes techniques et budgétaires des applications, cinq versions de RSLinx sont disponibles : RSLinx Lite, RSLinx OEM, RSLinx, RSLinx Gateway et RSLinx C SDK.

¹ Rockwell Automation "Documentations Générales", MARS 2004

RSLinx Lite, qui est utilisé aux ciments du Sahel, est associé aux produits nécessitant l'accès direct aux drivers de réseau RSLinx, RSLogix500 et RSLogix5000. Il fournit les fonctions minimales utiles au support des applications logicielles de Rockwell Software et Allen-Bradley telles que : une facilité de migration vers de nouveaux processeurs ou réseaux, une compatibilité des produits pour Rockwell Software et Allen-Bradley, une exécution simultanée de plusieurs dispositifs de communication, une connectivité aux réseaux anciens gérés par un acheminement distant via six dispositifs passerelles différents, une investigation de système intuitive gérée par une fonction de contrôle d'arborescence RSWho graphique et des diagnostics complets, une interface utilisateur intuitive testée dans le laboratoire d'essais Rockwell Software, et une assistance utilisateur accessible par simple clic avec l'aide contextuelle.

RSLinx est muni de drivers qui sont des interfaces logicielles d'équipements permettant d'assurer la communication entre RSLinx et le processeur. Lorsqu'un driver est configuré, son nom apparaît dans la liste des drivers configurés.

Un contrôleur virtuel SOFTLOGIX est utilisé pour remplacer un contrôleur «ControlLogix» réel. Ce contrôleur pourra communiquer avec des cartes d'entrées, de sorties ou toutes autres composantes monter en réseau avec l'ordinateur.

RSWho est une interface de RSLinx, permettant d'afficher, à partir d'un seul écran, tous les pilotes configurés du réseau. Sur sa partie droite se trouvent la liste des membres d'un groupe (réseau ou dispositif servant de passerelle), et sur sa gauche une structure arborescente montrant les réseaux et dispositifs.

Si à coté d'un dispositif est placée une coche X rouge, cela signifie que RSWho ne le reconnaît plus. Ce signe signal une erreur de communication, par exemple le débranchement disfonctionnement d'un dispositif.

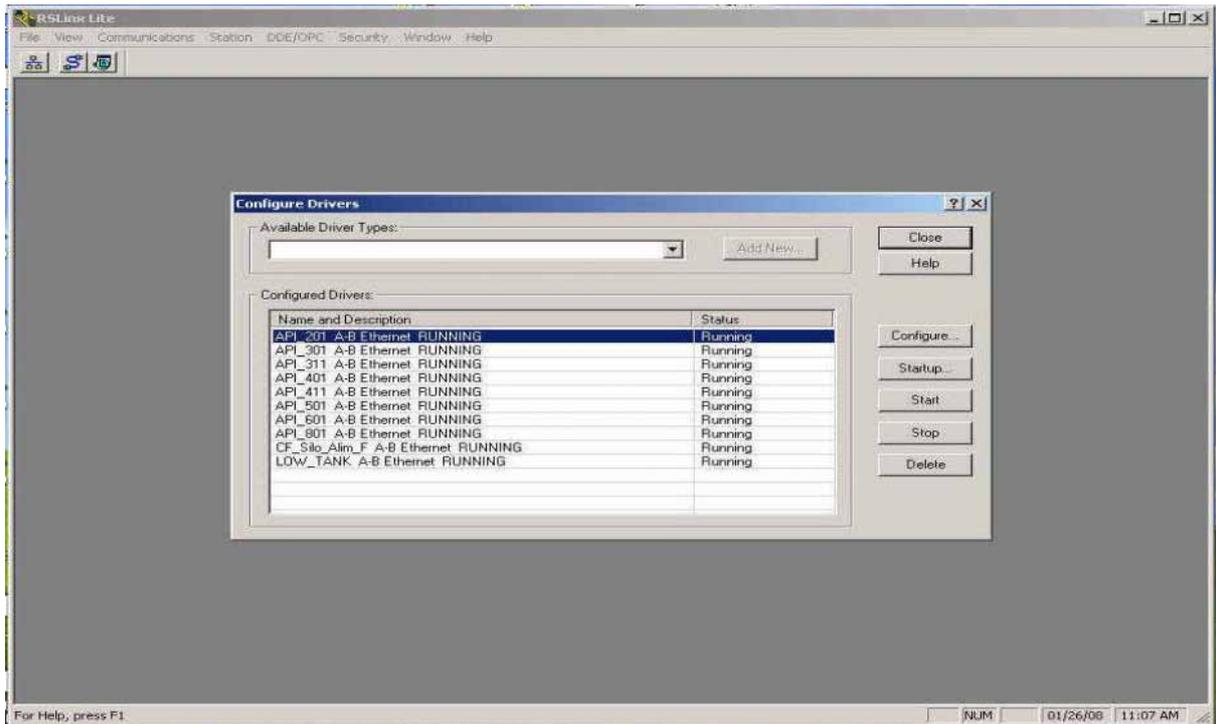


Figure 8 : Ouverture de RSLinx

1.5.2. RS LOGIX 5000



1.5.2.1. Définitions

Le logiciel de programmation RSLogix 5000 est conçu pour fonctionner avec les plates-formes Logix et les automates Logix5000 de Rockwell Automation. Le logiciel RSLogix 5000 comprend une fenêtre d'organisation graphique de l'automate, des boîtes de dialogue pour la configuration des E/S, un outil de configuration du mouvement et des méthodes de configuration par pointer cliquer. Il utilise des tableaux et des structures définies par l'utilisateur, dans le but de fournir la flexibilité nécessaire à l'application plutôt que de la forcer à se conformer à une structure de mémoire particulière telle que définie par la table de données mémoire de l'automate. Les méthodes d'adressage des E/S faciles à utiliser. Le logiciel est doté d'un éditeur de logique à relais adaptable pour vous permettre de modifier plusieurs lignes de logique simultanément et d'entrer une logique par pointer cliquer ou via une invite ASCII. Son Jeu d'instructions comprend des instructions de logique à relais et de bloc fonction. Sa fonction de supervision de diagnostics comprend un affichage de l'état de

l'automate, une fonction de vérification du programme et une surveillance efficace des données.

La programmation de l'automate se fait via la réalisation de plusieurs tâches. La tâche principale contient le programme à exécuter. Les autres tâches sont relatives à des missions auxiliaires. La tâche principale de l'automate peut être décomposée en plusieurs programmes qui tournent de manière concurrente. Chaque programme contient lui-même plusieurs routines. Pour chaque programme, c'est la routine «Main program » qui est le noeud maître. De cette routine, on appellera toutes les autres suivant une arborescence plus ou moins compliquée.

1.5.2.2. Définition et introduction d'une variable :

Les variables portent le nom de « tags ». Les tags sont soit des variables du système (entrées/sorties directes ou déportées) soit des variables internes (pointeur d'étape, etc.).

En ce qui concerne les variables du système, leur définition, basée sur l'architecture matérielle est assez difficile d'utilisation dans la programmation. Pour éviter cette difficulté, on peut recourir à ce qu'on appelle des « tags » c'est-à-dire des étiquettes qui pointent vers les adresses physiques. On remplace alors toutes les occurrences de la variable par le tag sélectionné. Cette opération se fait dans le même tableau que la définition des variables. Une Colonne est spécialement réservée à cet effet.

Les tags sont définis par le nom de la variable, son type (BOOL, INT, TIMER,...) et sa valeur initiale lors des démarrages à chaud ou à froid. L'introduction d'une nouvelle variable est réalisée en ouvrant l'onglet « Edit tags » dans les répertoires « Controller tags » et « ProgramTags ». Les variables définies dans « Controller tags » sont définies de manière globale pour tous les programmes. C'est là également que sont définies les variables qui seront visibles par l'extérieur (OPC ou superviseur). Les variables définies dans « Program task » ont une portée limitée au cadre restreint du programme (variables locales).

Le RSlogix5000 utilise un langage Ladder.

1.5.3. RSLogix 500

La mise en œuvre d'une plate-forme de simulation sur ROCKWELL nécessite l'utilisation d'un poste possédant RSLinx, afin de pouvoir communiquer avec les automates. Cependant tout automate à son propre logiciel de programmation. Dans le cas du SLC le logiciel utilisé est le RSLogix 500.

Le logiciel de programmation en logique a relais RSLogix 500 permet d'optimiser les performances, d'économiser du temps sur le développement des projets et d'améliorer la productivité.

La façon dont se fera la communication avec un processeur lorsqu'aucun projet n'est ouvert peut être fournie à RSLogix 500 en configurant les communications du système. Ceci permet d'attribuer le numéro de station du processeur avec lequel se fera la communication ainsi que le driver de communication. Cette procédure doit être effectuée avant de commencer un nouveau projet car les paramètres sont gardées en mémoire et s'appliqueront lorsqu'une tentative de transfert d'un programme de logique se fera.

Dans le logiciel il est possible de créer un nouveau projet en précisant le type de processeur utilisé dans la configuration du matériel du système.

Le châssis et les modules devront être définis. Il est possible de changer de module, d'examiner la consommation électrique, d'ajouter de nouveaux fichiers programme, de créer des tables de données (il est possible, avec les automates SLC et Micrologix 1200 et 1500, de créer jusqu'à 256 fichiers de données, de 0 à 255. Les huit premiers fichiers de données sont définis par défaut, les autres sont définis par l'utilisateur), de supprimer les fichiers de table de données, de configurer les voies de communication du processeur, de changer de processeur. Dans la barre en ligne située juste en dessous de la barre d'icône, en haut de la fenêtre d'application de RSLogix 500, est visible l'état du driver et de la station. Sans avoir à accéder aux boîtes de dialogue dans l'application, il est possible d'avoir un aperçu rapide de la configuration des voies. Cette étape est importante avant de se mettre en ligne avec le programme de logique, car elle permet de définir les paramètres de communication du processeur tels que les méthodes de contrôle du système et la vitesse de transmission.

Il est possible de forcer un bit d'E/S (être prudent car toutes fonction de forçage peut entraîner un mouvement soudain de machine, et éventuellement blesser le personnel ou endommager l'équipement. Il est possible d'activer un forçage grâce aux tables de forçages. L'entrée, l'activation ou la désactivation du forçage peut se faire lors de la surveillance du fichier hors ligne ou dans n'importe quel mode processeur lors de la surveillance du fichier en ligne), de modifier des valeurs de données, de surveiller un fichier de données, de rechercher des instructions, de remplacer des instructions, d'utiliser les diagnostics évolués, de visualiser le fichier d'état (afin de déterminer la cause d'un défaut de processeur), d'imprimer des rapports, de vérifier l'état du SLC principal, l'état du SLC processeur, l'état du programme/processeur, l'état du système SLC.

CHAPITRE II : ETUDE DE L'UNITE DE LUBRIFICATION DES PALIERS DU BROYEUR (HLPC)

Le High Low Pressure Control (HLPC)¹ a pour rôle principal de graisser les paliers à sabots de glissement du broyeur ciment. La conception et le fonctionnement des unités de lubrification pour l'entrée et la sortie du broyeur sont identiques, c'est pourquoi nous ne décrivons que le fonctionnement de l'entrée HLPC.

2.1. Composants du HLPC

Le HLPC se compose :

- d'un réservoir d'huile
- de trois pompes jumelées. Une pour le système de conditionnement et pour la circulation, une pour le graissage à basse pression et une pour le graissage à haute pression
- un refroidisseur d'huile à eau
- un élément de chauffe
- des pressostats, des détecteurs de position et des capteurs de débit
- des transmetteurs de températures
- diverses soupapes

2.2. Fonctionnement du HLPC

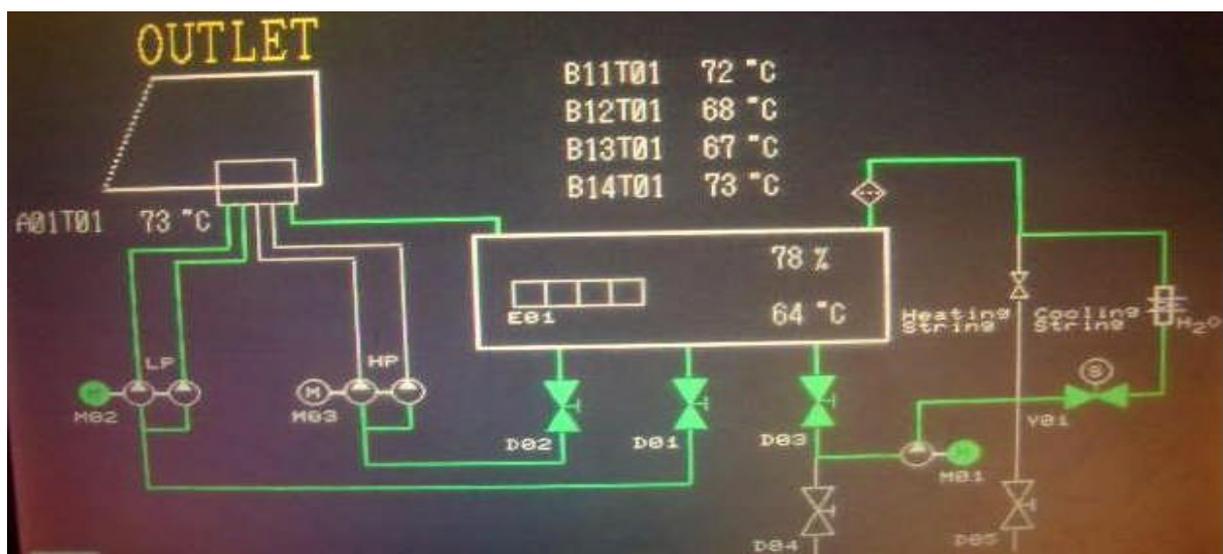


Figure 9 : le circuit du HLPC

¹ Rockwell Automation "Documentations Générales", MARS 2004

Le graissage commence lorsque l'ordre de démarrage est donné et qu'il n'y a pas d'alarme dans le système. L'opération est contrôlée à partir de la température d'huile dans le réservoir.

Lorsque la température du réservoir est supérieure à 25°C, la pompe de conditionnement est mise en route, permettant la circulation de l'huile à travers le cordon de chauffage. Si la température du réservoir tombe en dessous de 20°C ou si le niveau d'huile dans le réservoir tombe en dessous de 30%, la pompe de conditionnement s'arrête.

Lorsque la température du réservoir dépasse 60°C, les pompes basses pression, et les pompes hautes pression sont mises en routes et s'arrêtent lorsque la température du réservoir tombe en dessous de 35°C.

Dans chaque cordon basse pression est installé un contacteur de débit. Ce dernier s'ouvre lorsque le débit d'huile est inférieur à 15l/min. Au démarrage, si après 60s (réglable de 30 à 120s) ce débit n'atteint pas 15l/min, les pompes basse pression et haute pression s'arrêtent. Les deux pompes haute pression sont entraînées par le même moteur.

Dans chaque cordon haute pression est installé un double contacteur de pression, qui indique la pression maximale, et la pression minimale dans le cordon. Si la pression dépasse P.maxi, une alarme se déclenche, avec un retard d'une à dix secondes, et les pompes basse pression et haute pression s'arrêtent.

Au démarrage des pompes, si après 10s la pression est toujours en dessous de P.min, une alarme se déclenche et les pompes basse pression et haute pression s'arrêtent.

Lorsque la température d'huile est entre 35°C et 90°C, et que toutes les pompes basse et haute pression sont en services, le broyeur peut démarrer.

Après 180s de fonctionnement du broyeur, les pompes haute pression sont arrêtées, une pression est alors produite dans les paliers. Cette pression est contrôlée par le pressostat dans les cordons haute pression. Si la pression dépasse la pression maxi ou est en dessous de la pression mini, le broyeur s'arrête.

Si la température du réservoir est au dessus de 63°C, l'élément de chauffe dans le réservoir est désactivé, et lorsqu'elle tombe en dessous de 62°C, l'élément de chauffe est de nouveau activé.

Si la température du réservoir est au dessus de 65°C, une vanne solénoïde Y01 s'ouvre, permettant à l'huile de circuler dans le cordon de circulation, où il sera refroidi. Le refroidissement se fait par eau. Il est contrôlé par thermostat. Lorsque la température tombe en

dessous de 64°C, la vanne Y01 se ferme et l'huile se met de nouveau en circulation à travers le cordon de chauffage.

Si la température du palier du broyeur dépasse 90°C pendant son fonctionnement, le broyeur s'arrête.

Actions entreprises selon les températures du réservoir :

Max 5 (90°C)	↑	Arrêt du moteur du broyeur
Max 4 (85°C)	↑	Avertissement préliminaire
Max 3 (65°C)	↑	Mise en circulation de l'huile à travers le cordon refroidi à eau
Max 2 (64°C)	↑	Mise en circulation de l'huile à travers le cordon de chauffage
Max 1 (63°C)	↑	Désactivation de l'élément de chauffe
Min 1 (62°C)	↑	Activation de l'élément de chauffe
Min 2 (60°C)	↑	Démarrage des pompes basse pression et haute pression
Min 3 (35°C)	↑	Arrêt des pompes basse pression et haute pression
Min 4 (25°C)	↑	Démarrage de la pompe de conditionnement
Min 5 (20°C)	↑	Arrêt de la pompe de conditionnement

Pour un bon fonctionnement du broyeur, ces actions se doivent d'être très précises, c'est pourquoi elles sont gérées par un automate, le SLC 500.

2.3. Système de contrôle local écran à touche (proface)

Comme son nom l'indique l'écran à touche est une interface locale, permettant de contrôler le fonctionnement du HLPC. Il est directement relié à l'automate SLC 500, et permet d'agir sur ce dernier. Il a donc pour but de :

- Contrôler le fonctionnement des 2 HLPC pour les paliers du broyeur ;
- Traiter et visualiser les différents points de mesure ;
- Effectuer les essais et réglages pendant la maintenance ;
- Donner l'alarme dans les conditions anormales ;
- Communiquer avec le système de contrôle central (SCC) le SLC 500.

L'écran à touche se trouve dans l'atelier broyeur ciment. Ainsi, si une alarme signal au niveau de la supervision qu'il y a un problème au HLPC, les roudiers et les automaticiens sont obligés d'aller jusqu'à l'atelier, afin de connaître, au niveau de l'écran, la nature du problème. C'est dans ce sens que notre étude porte sur le transfert des données essentielles, du SLC 500 à la salle de commande, en passant par un automate ControlLogix.

CHAPITRE III : ACQUISITION DE DONNEES SUPPLEMENTAIRES DU HLPC

3.1. Procédure de communication entre automate¹.

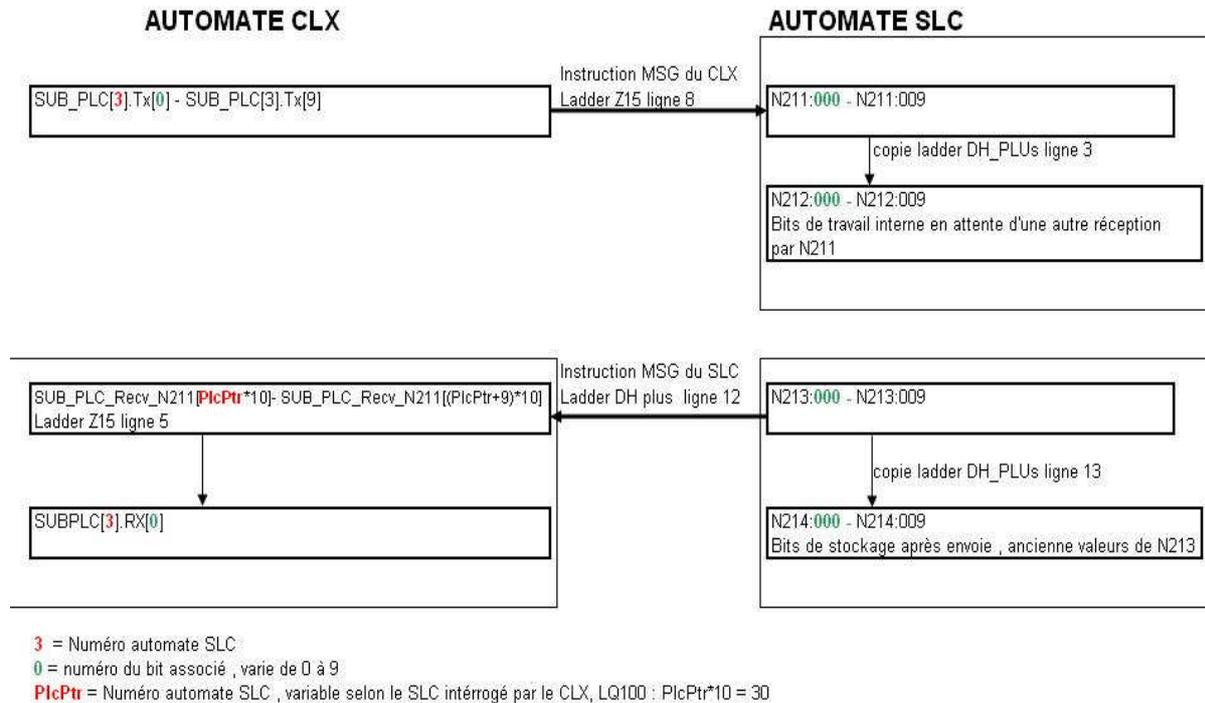


Figure 10 : Procédure de communication entre le ControlLogix et le SLC500

La figure ci-dessous donne un aperçu global de la procédure de communication entre l'automate ControlLogix et l'automate SLC500. L'idée générale c'est que lorsque le ControlLogix a besoin de données du SLC500, ce dernier écrit ces données dans le ControlLogix, à la zone réservée pour cela. De même si le SLC500 a besoin de données du ControlLogix, ce dernier écrit ces données dans le SLC500, à la zone réservée à cet effet. Ceci pour dire que la communication entre les automates est une fonction d'écriture.

C'est une sous routine nommée Z15 qui permet au SLC 500 d'écrire ses données dans le ControlLogix, grâce au logiciel RSLogix5000. L'appelle de cette sous routine se fait à partir d'une autre sous routine, B00, avec un paramètre d'entrée qui permet d'identifier le numéro du SLC500, ce numéro est défini par PlcPtr.

¹ Rockwell Automation "Documentations Générales", MARS 2004

Les données à transférer du SLC500 au ControlLogix sont stockées dans une mémoire du SLC500 de N213:000 - N213:009. Une fois envoyées ces données sont copiées dans une autre zone mémoire du SLC500, de N214:000 à N214:009, afin de pouvoir les comparer avec les prochaines valeurs à transférer. Lorsque le SLC500 écrit des données dans le ControlLogix, ces données sont reçues dans la zone mémoire de SUB_PLC_Recv_N211 [PlcPtr*10] à SUB_PLC_Recv_N211 [(PlcPtr+9)*10]. Ces données sont ensuite copiées dans la zone mémoire de SUBPLC [PlcPtr].RX [0] à SUBPLC [PlcPtr].RX [9] qui correspond à la zone de travail dans le ControlLogix. Si aucune donnée n'est reçue pendant 20 secondes, les données de cette zone seront effacées.

Les données à transférer du ControlLogix au SLC500 sont stockées dans une mémoire du ControlLogix de SUB_PLC [3].Tx [0] à SUB_PLC [3].Tx [9], et acheminées vers la zone mémoire de N211:000 à N211:009 du SLC500. Ces données sont copiées vers la zone mémoire, de N212:000 à N212:009, qui correspond à la zone de travail dans le SLC500.

Une interface de structure de donnée, appelé PLCtoSUB a été définie pour cette communication.

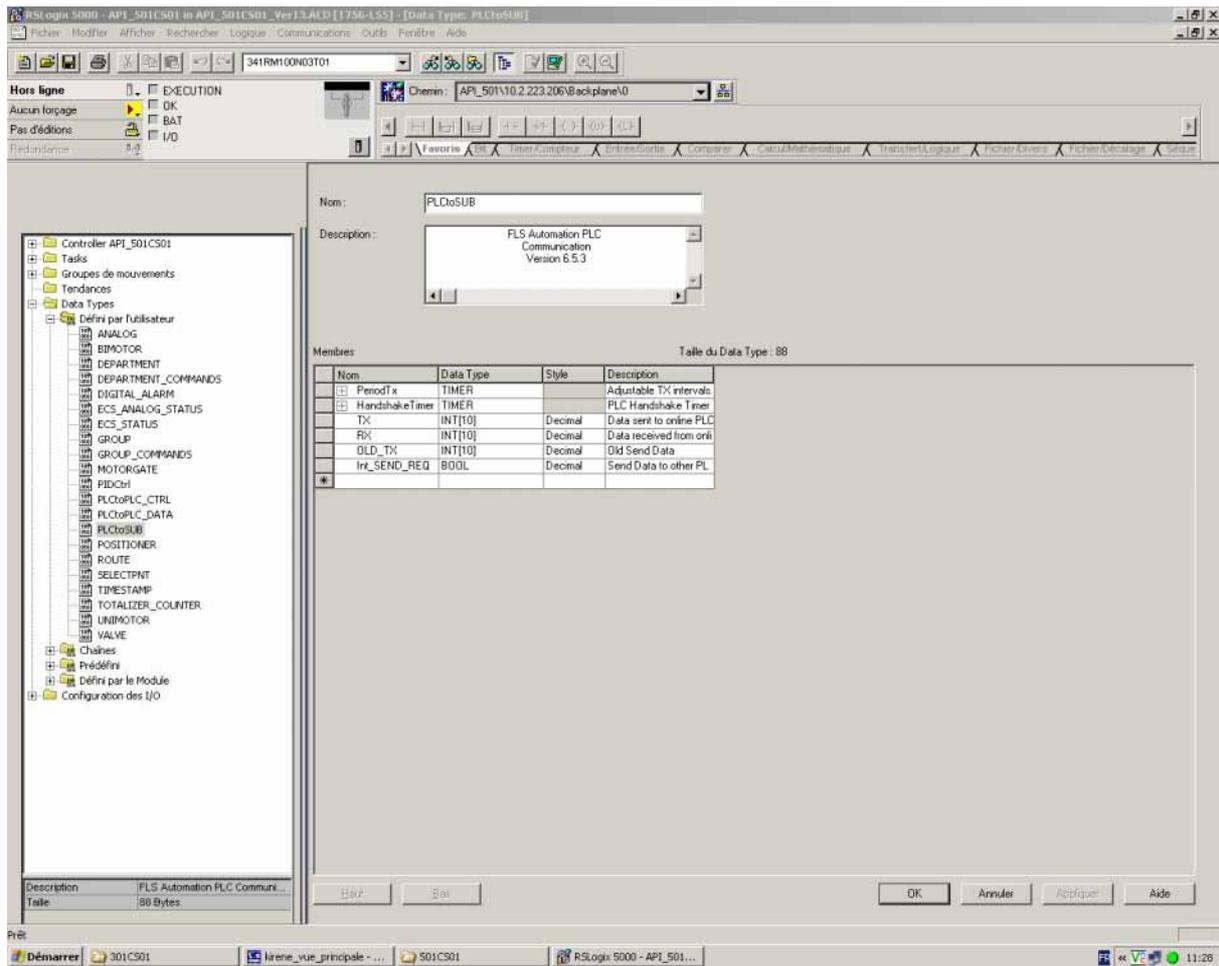


Figure 11 : Interface de structure de donnée PLCtoSUB

PériodTx Timer est un temporisateur qui indique la fréquence à la quelle les données vous être transférées. Par défaut la période est de 5s.

HandshakeTimer est un temporisateur qui permet de savoir si le SLC500 communique. Si la durée de temporisation est atteinte, cela veut dire qu'il n'y a pas de communication et le programme va effacer les données du SLC500 stockées dans le ControlLogix. La période par défaut est de 20s.

TX INT [10] array et RX INT [10] array : Pour chaque SLC500, 10 mots entiers (SUBPLC [n°].RX) sont destinés à la réception des données, et 10 autres (SUBPLC [n°].TX) à l'envoi. Les deux premiers de chaque block ont été prédéfinis pour l'envoi d'information de type digital (32 bits). Les huit autres envoient des informations binaires.

OLD_TX INT [10] array est utilisé par la sous routine pour comparer les anciennes données envoyées et les nouvelles.

Int_Send_REQ Bit est un bit interne utilisé pour la sous routine.

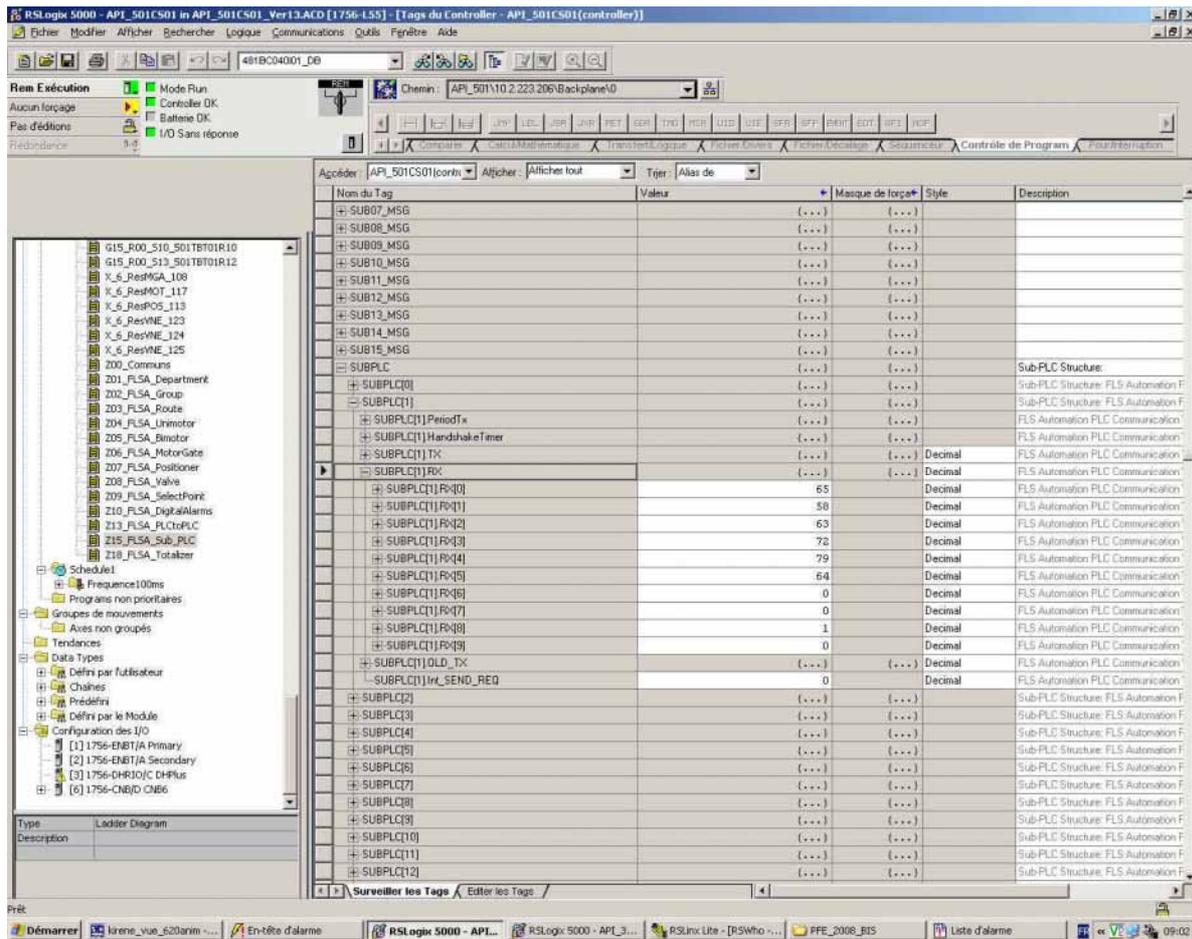


Figure 12 : 10 mots utilisés pour la réception des données du SLC500/1 (SUBPLC [1].RX)

3.1.1. La sous routine B00

La sous routine B00 est un sous programme de RSLogix 5000, écrit avec un langage ladder. Il permet de sélectionner le SLC qui doit transférer ses données au controlLogix. Ce choix se fait grâce à une instruction JSR (Jump to Sub Routine), ayant comme paramètre d'entrée le numéro du SLC en question. C'est ce numéro qui est envoyé à la sous routine Z15 et reçu grâce à l'instruction BSR qui détecte le paramètre d'entrée, permettant ainsi au ControlLogix de savoir avec quel SLC il communique. A chaque fois que la sous routine Z15 est exécutée, il est prévu un retour vers la sous routine B00 afin de passer à la communication avec le SLC suivant. (Pour le programme du ladder DH+ voir Annexe 1)

3.1.2. La sous routine Z15

La sous routine Z15 est le sous programme qui permet de transférer les données du SLC500 au ControlLogix. Elle est activée grâce au JSR de la sous routine B00.

A la ligne 0, de la sous routine Z15, l'instruction SBR indique le paramètre d'entrée qui est noté PlcPtr (c'est le numéro du sous automate SLC500 qui est en communication). Ce paramètre est enregistré afin de faciliter son utilisation au cours de l'exécution.

A la ligne 1 le paramètre d'entrée est envoyé à des instructions de comparaison (LES et GRT). Si ce paramètre est inférieur à 1 ou s'il est supérieur à 15, l'instruction RET permet de quitter la sous routine Z15 et de retourner à la sous routine B00. Cela permet d'être sûr qu'il y a bel et bien un SLC500 qui communique, car les numéros 1 à 15 correspondent à 15 SLC500.

A la ligne 2, une fois la zone de réception des données des systèmes autonomes est activée, le temporisateur time on (TON) commence le comptage avec une durée de présélection de 20s et le TON est à EN (actif).

La ligne 3 n'a pas d'instruction d'entrée, donc reste toujours vrai et l'instruction Latch (L) qui est associée à la zone de réception des données des systèmes autonomes est activée, ceci permet de maintenir la ligne 2 vrai jusqu'à ce qu'une instruction unlatch la désactive. Donc le temporisateur continuera son comptage.

L'instruction d'entrée de la ligne 4 est un XIC de TAG (identifiant): SUBPLC [PlcPtr].HandshakeTimer. DN. Cela signifie que lorsque le compteur TON aura fini de compter (20s), le bit .DN (fin de comptage) sera actif et la ligne 4 sera vrai, ce qui permet d'exécuter l'instruction FLL qui permet de remplir le fichier SUBPLC [PlcPtr].RX[0] à 0 (selon la source) pour réinitialiser la zone ControlLogix à laquelle doit être affectées les informations du SLC. Ceci signifie que si pendant 20s aucun SLC500 ne communique, la zone où sont stockées les données que le SLC500 envoie au ControlLogix est réinitialisé à zéro.

Si par contre le comptage n'est pas fini, la ligne 5 est active et l'instruction de copie s'exécute. Le fichier est transmis du SLC vers le ControlLogix à l'adresse SUBPLC[PlcPtr].RX[0]

La ligne 6 n'a pas d'instruction d'entrée, elle est toujours vraie. Le temporisateur de 5s qui lui est affecté (SUBPLC [PlcPtr].PeriodTx) est activé.

A la ligne 7 il y a 3 entrées dérivées en ou. La première est active si l'ancienne valeur enregistrée sur le SUBPLC [PlcPtr].TX[0] est différente de la nouvelle. La deuxième l'est si l'ancienne valeur enregistrée sur le SUBPLC [PlcPtr].TX [1] est différente de la nouvelle. La troisième l'est si le temporisateur fini de compter. Si l'une de ces trois conditions est remplie, l'instruction COP copie les fichiers du SUBPLC [PlcPtr].TX [0] vers le SUBPLC

[PlcPtr].OLD_TX [0], c'est-à-dire qu'elle remplace l'ancienne valeur par la nouvelle, puis remet à zéro le temporisateur précédent et active la fonction Latch (L) de TAG SUBPLC [PlcPtr].Int_SEND_REQ.

A la ligne 8, un message est envoyé vers le SLC dont le numéro correspond au PlcPtr puis l'instruction Unlatch est activée, désactivant le Latch précédent.

La dernière ligne, ligne 9, permet de retourner à la routine B00 et le circuit recommence. (Pour le programme de la sous routine Z15 voir Annexe 2)

3.1.3. La routine DH+

La routine DH+ est le programme qui permet de transférer les données du ControlLogix au SLC500. Elle est activée grâce au JSR de la sous routine B00.

La ligne 1 permet, grâce à l'activation de l'instruction d'entrée XIC S:1, de réinitialiser les valeurs du HLPC stockés dans le SLC500. Pour cela, l'activation de cette instruction active le transfert de la valeur de 30s vers la zone accumulateur (Val.cum.) du temporisateur T80:0, qui avait de présélection égal à 0. De ce fait, l'instruction d'entrée de la ligne 3 (T80:0.DN), devant s'activer si la temporisation est fini (présélection = Val.cum.), est vrai et, grâce à l'instruction FLL (remplissage de fichier), réinitialise les valeurs sur le SLC500 à 0.

En fonctionnement normal, la ligne 2 est toujours vrai et active l'instruction Latch (N211 :100) qui active l'entrée XIC de la ligne 1 et lance le temporisateur avec une présélection de 30S. Si pendant ces 30s toutes les étapes du sous programme HLPC ne sont pas scrutées et que le sous programme ait été quitté puis réactivé (ce qui désactiverait le temporisateur), l'instruction T80 :0.DN de la ligne 3 s'activera et les valeurs seront réinitialisée. Sinon (avant les 30s), l'instruction XIO T80 :00 de la ligne 4 restera active, ce qui permet de transférer des données de l'adresse N211 :100 vers l'adresse N212 :100 (de longueur 10 mots)

La ligne 5 étant toujours vrai, le temporisateur T80 :1 est actif (sa valeur de présélection est de 5s).

A la ligne 6, l'instruction Unlatch permet de désactiver l'envoi d'information vers le ControlLogix.

A la ligne 7, si l'instruction de réinitialisation est activée, ou si après que l'alarme indiquant un défaut au niveau du DH+ ait été activé et que l'instruction permettant le reset des alarmes soit activée, une nouvelle information est envoyée au ControlLogix.

A la ligne 8, les données des adresses N213 et N214 possèdent toutes les 2 des adresses de 10 mots, sont scrutées bit par bit. Si les valeurs du N213 sont différentes de celles du N214, une information est envoyée au ControlLogix remplaçant l'information qui y était.

A la ligne 9, si le temporisateur a fini de compter (.DN actif) ou si l'instruction de changement d'information du ControlLogix de la ligne 8 est active, ou si l'instruction d'envoi de la nouvelle information au ControlLogix de la ligne 7, ou si l'instruction de réinitialisation est activée, un message de type égal à égal de longueur 14 mots est envoyé au SLC500.

A la ligne 10, s'il y a échec de l'envoi du message, l'instruction d'entrée XIC s'active, puis se désactive grâce à l'instruction Unlatch de la même ligne.

A la ligne 11, lorsque le message est bien transmis, l'instruction XIC est vrai et active l'instruction OSR de stockage de bit, et les données de l'adresse N213 :100 du ControlLogix sont envoyées à l'adresse N214:100 du SLC500, de longueur 10 bits.

A la ligne 12, si l'instruction de réinitialisation est activée, ou si après que l'alarme indiquant un défaut au niveau du DH+ ait été activée et que l'instruction permettant le reset des alarmes soit activé, un Unlatch est activé pour désactiver le message de ligne 11. Un autre Unlatch est aussi activé simultanément pour désactiver l'instruction d'envoi de nouvelles informations vers le ControlLogix de la ligne 7. En même temps, un RES est activé pour mettre à zéro le temporisateur T80 :1.

A la ligne 13, si le message est bien envoyé, l'instruction XIC s'active et active une 2ème fois l'instruction [OSR] de stockage de bit, puis active les sorties citées plus haut pour la ligne 12.

A la ligne 14, si après que l'alarme indiquant un défaut au niveau du DH+ ait été activée et que l'instruction permettant le reset des alarmes soit activée, un Unlatch permet de désactiver le message de la ligne 11 et un autre Unlatch permet de désactiver le XIC des lignes 11 et 13, qui s'activaient lorsque le message est bien envoyé.

La dernière ligne, ligne 15, permet de quitter le sous programme de la routine DH+.

(Pour le programme de la routine DH+ voir Annexe 3).

3.2. Câblage et programmation pour l'échange des données

3.2.5. Choix des données à envoyer de l'atelier broyage ciment à la salle de commande

Selon les critères importants à la bonne marche du HLPC il a été retenu que les paramètres suivants devront être acheminés à la salle de commande :

Température maximale palier d'entrée
Niveau réservoir d'entrée
Température réservoir d'entrée
Température maximale palier de sortie
Niveau réservoir de sortie
Température réservoir de sortie
Filtre d'entrée bloqué
Pression minimale sur ligne haute pression d'entrée 1
Pression maximale sur ligne haute pression d'entrée 1
Pression minimale sur ligne haute pression d'entrée 2
Pression maximale sur ligne haute pression d'entrée 2
Débit minimale sur ligne basse pression d'entrée 1
Débit minimale sur ligne basse pression d'entrée 2
Filtre de sortie bloqué
Pression minimale sur ligne haute pression de sortie 1
Pression maximale sur ligne haute pression de sortie 1
Pression minimale sur ligne haute pression de sortie 2
Pression maximale sur ligne haute pression de sortie 2
Débit minimal sur ligne basse pression de sortie 1
Débit minimal sur ligne basse pression de sortie 2
Déplacement minimal du broyeur
Déplacement maximal du broyeur
Marche pompe de recirculation d'entrée
Marche pompe basse pression d'entrée
Marche pompe haute pression d'entrée
Retour de marche de résistance chauffante d'entrée
Etat de vanne Y01 d'entrée
Marche pompe de recirculation de sortie
Marche pompe basse pression de sortie
Marche pompe haute pression de sortie
Retour de marche de résistance chauffante de sortie

Etat de vanne Y01 de sortie

Etat du module DH+

3.2.6. Câblage du DH+

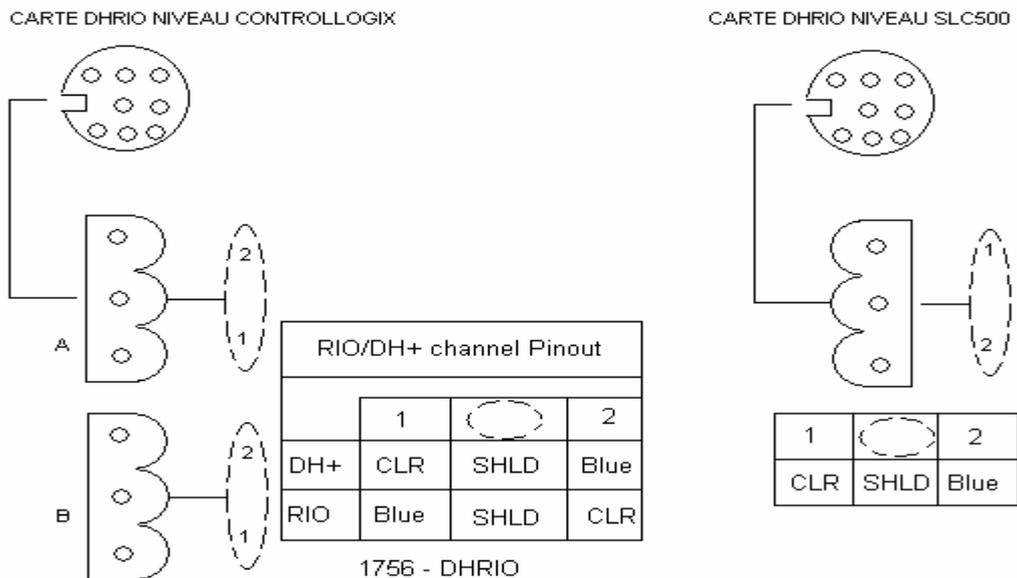


Figure 13: Câblage du module DHRIO

Le câble DHRIO est un câble permettant d'avoir une connexion DH+ et une connexion RIO, selon la façon dont il est branché. C'est un câble bleu constitué de trois fils : un de couleur bleu, un de couleur clair et un fil de masse (appelé tresse).

Pour une connexion DH+, le fil clair doit être branché à la borne 1, le fil bleu à la borne 2 et le fil de masse au milieu. La connexion se fait au canal A ou B.

La liaison DH+ doit être terminée en connectant à chaque extrémité une résistance de 150Ω (pour une communication à 57,6 kbauds) entre les bornes 1 et 2 du connecteur à trois broches.

3.2.7. Déblocage du module DH+ dans le ControlLogix

Au niveau du RSLogix5000, dans le programme de l'API 501, dans la zone configuration des I/O (input/output), faire click droit sur « 1756-DHRIO/C DH+ », puis cliquer sur propriété. Dans la fenêtre ainsi ouverte, cliquer sur l'onglet connexion puis désélectionner le bouton « bloquer module ».

(Pour les figures des étapes du déblocage du module DH+ voir Annexe 6).

3.2.8. Création d'instructions et de nouveaux TAGS et programmation

En premier lieu, nous avons relevé les entrées numériques (analogiques et digitales) existants des différents paramètres à transférer. Puis, au niveau du ladder DH+ du RSLogix500, nous avons affecté ces informations à des adresses du SLC500. Pour cela nous avons utilisé l'instruction MOV pour le transfert des mots (type INTEGER ou analogique), et les instructions XIC (entrées physiques) et OTE (Bit internes) pour le transfert des bits (type BOOL ou Digital).

Au niveau du RSLogix5000, nous avons d'abord affecté, grâce au même instruction que précédemment, les adresses des données reçues à de nouveaux TAG (identifiants), que nous avons créé pour chaque paramètre, puis nous avons défini et enregistré chaque TAG afin que l'automate puisse les reconnaître. Pour déclarer un TAG, il faut faire un clic droit sur lui et cliquer sur nouveau. Une fenêtre apparaîtra, permettant de saisir les informations relatives au TAG.

Description	Entrées	Adresse SLC	Adresse ControlLogix	Type	TAG
Température maximale palier d'entrée	N22:28	N213:100	SUBPLC[PlcPtr].RX[0]	INT	TMaxPalier-E
Niveau réservoir d'entrée	N22:27	N213:101	SUBPLC[PlcPtr].RX[1]	INT	NivRes-E
Température réservoir d'entrée	N22:26	N213:102	SUBPLC[PlcPtr].RX[2]	INT	TRes-E
Température maximale palier de sortie	N22:68	N213:103	SUBPLC[PlcPtr].RX[3]	INT	TMaxPalier-S
Niveau réservoir de sortie	N22:67	N213:104	SUBPLC[PlcPtr].RX[4]	INT	NivRes-S
Température réservoir de sortie	N22:66	N213:105	SUBPLC[PlcPtr].RX[5]	INT	TRes-S
Filtre d'entrée bloqué	B21:2/5	N213:106/5	SUBPLC[PlcPtr].RX[6].0	BOOL	Filtre-E.Bloc
Pression minimale ligne haute pression d'entrée 1	B21:2/6	N213:106/6	SUBPLC[PlcPtr].RX[6].1	BOOL	PMinHP-E.L1
Pression maximale sur ligne haute pression d'entrée 1	B21:2/7	N213:106/7	SUBPLC[PlcPtr].RX[6].2	BOOL	PMaxHP-E.L1
Pression minimale sur ligne haute pression d'entrée 2	B21:2/8	N213:106/8	SUBPLC[PlcPtr].RX[6].3	BOOL	PMinHP-E.L2
Pression maximale sur ligne haute pression d'entrée 2	B21:2/9	N213:106/9	SUBPLC[PlcPtr].RX[6].4	BOOL	PMaxHP-E.L2
Débit minimale sur ligne basse pression d'entrée 1	B21:2/10	N213:106/10	SUBPLC[PlcPtr].RX[6].5	BOOL	DMinBP-E.L1
Débit minimale sur ligne basse pression d'entrée 2	B21:2/11	N213:106/11	SUBPLC[PlcPtr].RX[6].6	BOOL	DMinBP-E.L2
Filtre de sortie bloqué	B21:4/13	N213:107/0	SUBPLC[PlcPtr].RX[7].0	BOOL	Filtre-S.Bloc

Pression minimale sur ligne haute pression de sortie 1	B21:4/14	N213:107/1	SUBPLC[PlcPtr].RX[7].1	BOOL	PMinHP-S.L1
Pression maximale sur ligne haute pression de sortie 1	B21:4/15	N213:107/2	SUBPLC[PlcPtr].RX[7].2	BOOL	PMaxHP-S.L1
Pression minimale sur ligne haute pression de sortie 2	B21:5/0	N213:107/3	SUBPLC[PlcPtr].RX[7].3	BOOL	PMinHP-S.L2
Pression maximale sur ligne haute pression de sortie 2	B21:5/1	N213:107/4	SUBPLC[PlcPtr].RX[7].4	BOOL	PMaxHP-S.L2
Débit minimal sur ligne basse pression de sortie 1	B21:5/2	N213:107/5	SUBPLC[PlcPtr].RX[7].5	BOOL	QMinBP-S.L1
Débit minimal sur ligne basse pression de sortie 2	B21:5/3	N213:107/6	SUBPLC[PlcPtr].RX[7].6	BOOL	QMinBP-S.L2
Déplacement maximal du broyeur	B21:6/7	N213:107/7	SUBPLC[PlcPtr].RX[7].7	BOOL	DplMin
Déplacement minimal du broyeur	B21:6/8	N213:107/8	SUBPLC[PlcPtr].RX[7].8	BOOL	DplMax
Marche pompe de recirculation d'entrée	I:1.1	N213:108/0	SUBPLC[PlcPtr].RX[8].0	BOOL	MPR-E
Marche pompe basse pression d'entrée	I:1.5	N213:108/1	SUBPLC[PlcPtr].RX[8].1	BOOL	MPBP-E
Marche pompe haute pression d'entrée	I:1.9	N213:108/2	SUBPLC[PlcPtr].RX[8].2	BOOL	MPHP-E
retour de marche de résistance chauffante d'entrée	I:1.13	N213:108/3	SUBPLC[PlcPtr].RX[8].3	BOOL	RMRC-E
Etat de vanne Y01 d'entrée	B21:12/8	N213:108/4	SUBPLC[PlcPtr].RX[8].4	BOOL	Y01-E
Marche pompe de recirculation de sortie	I:5.1	N213:108/5	SUBPLC[PlcPtr].RX[8].5	BOOL	MPR-S
Marche pompe basse pression de sortie	I:5.5	N213:108/6	SUBPLC[PlcPtr].RX[8].6	BOOL	MPBP-S
Marche pompe haute pression de sortie	I:5.9	N213:108/7	SUBPLC[PlcPtr].RX[8].7	BOOL	MPHP-S
retour de marche de résistance chauffante de sortie	I:5.13	N213:108/8	SUBPLC[PlcPtr].RX[8].8	BOOL	RMRC-S
Etat de vanne Y01 de sortie	B21:15/0	N213:108/9	SUBPLC[PlcPtr].RX[8].9	BOOL	Y01-S
Etat DH+	B21:1/5	N213:109/0	SUBPLC[PlcPtr].RX[9].0	BOOL	EtatDH+

Tableau 13: Affectations des adresses et des TAG

Pour l'adressage des données du HLPC dans RSLogix500 voir annexe 4

Pour l'adressage et la configuration des TAG dans RSLogix5000 voir annexe 5

3.3. Création de points et de synoptiques au niveau de la supervision

3.3.1. Le Logiciel de supervision ECS (Engineering Control System)

Le logiciel ECS est un logiciel de supervision qui peut travailler sous l'environnement windows. Ce logiciel offre une interface permettant, à partir de vues graphiques couleur, de contrôler et surveiller toute la ligne de la production de l'entreprise, d'effectuer des réglages ou de passer des commandes par action directe sur les vues graphiques.

Le système permet de personnaliser les vues de façon à afficher les informations et les fonctions qui sont nécessaires à un utilisateur donné selon son niveau de compétences et ses responsabilités. Il est doté d'une base de données (SDR) permettant de stocker les données provenant des automates. Dans notre cas, les données proviendront du ControlLogix.

Arbre	Rechercher	Krene	720 objets	Nom	Textes	Valeur	Libellé de l'état	Alg. de conversion	Système E/S	Numéro
				6_ResMOT_120	Réserve Moteur	Verrouillé.	Pas d'algorithme	Pas d'algorithme	CLX	-180
				6_ResMOT_121	Réserve Moteur	Verrouillé.	Pas d'algorithme	Pas d'algorithme	CLX	-181
				6_ResMOT_122	Réserve Moteur	Verrouillé.	Pas d'algorithme	Pas d'algorithme	CLX	-182
				6_ResPID_10_MODE	Réserve PID Mode	Non MâJ	Non mis à jour	Régulateur	CLX	-666
				6_ResPID_11_MODE	Réserve PID Mode	Non MâJ	Non mis à jour	Régulateur	CLX	-667
				6_ResPID_12_MODE	Réserve PID Mode	Non MâJ	Non mis à jour	Régulateur	CLX	-668
				6_ResPID_13_MODE	Réserve PID Mode	Non MâJ	Non mis à jour	Régulateur	CLX	-669
				6_ResPID_14_MODE	Réserve PID Mode	Non MâJ	Non mis à jour	Régulateur	CLX	-670
				6_ResPID_15_MODE	Réserve PID Mode	Non MâJ	Non mis à jour	Régulateur	CLX	-671
				6_ResPOS_113	Réserve Positionneur	Non MâJ	Non mis à jour	Positionneur Ouv.Ferm.	CLX	-173
				6_ResPOS_114	Réserve Positionneur	Non MâJ	Non mis à jour	Positionneur Ouv.Ferm.	CLX	-174
				6_ResPOS_115	Réserve Positionneur	Non MâJ	Non mis à jour	Positionneur Ouv.Ferm.	CLX	-175
				6_ResPOS_116	Réserve Positionneur	Non MâJ	Non mis à jour	Positionneur Ouv.Ferm.	CLX	-176
				6_ResSEL_42	Réserve Sélection	Non MâJ	Non mis à jour	Sélection	CLX	-57
				6_ResSEL_43	Réserve Sélection	Non MâJ	Non mis à jour	Sélection	CLX	-58
				6_ResSEL_44	Réserve Sélection	Non MâJ	Non mis à jour	Sélection	CLX	-59
				6_ResSEL_45	Réserve Sélection	Non MâJ	Non mis à jour	Sélection	CLX	-60
				6_ResSPA_10	Réserve PID Cons. Auto	-	Valeur non définie	Consigne contr. PID	CLX	119
				6_ResSPA_11	Réserve PID Cons. Auto	-	Valeur non définie	Consigne contr. PID	CLX	121
				6_ResSPA_12	Réserve PID Cons. Auto	-	Valeur non définie	Consigne contr. PID	CLX	123
				6_ResSPA_13	Réserve PID Cons. Auto	-	Valeur non définie	Consigne contr. PID	CLX	125
				6_ResSPA_14	Réserve PID Cons. Auto	-	Valeur non définie	Consigne contr. PID	CLX	127
				6_ResSPA_15	Réserve PID Cons. Auto	-	Valeur non définie	Consigne contr. PID	CLX	129
				6_ResSPM_10	Réserve PID Cons. Manu	-	Valeur non définie	Sortie manuelle PID	CLX	120
				6_ResSPM_11	Réserve PID Cons. Manu	-	Valeur non définie	Sortie manuelle PID	CLX	122
				6_ResSPM_12	Réserve PID Cons. Manu	-	Valeur non définie	Sortie manuelle PID	CLX	124
				6_ResSPM_13	Réserve PID Cons. Manu	-	Valeur non définie	Sortie manuelle PID	CLX	126
				6_ResSPM_14	Réserve PID Cons. Manu	-	Valeur non définie	Sortie manuelle PID	CLX	128
				6_ResSPM_15	Réserve PID Cons. Manu	-	Valeur non définie	Sortie manuelle PID	CLX	130
				6_ResVNE_123	Réserve Vanne	Non MâJ	Non mis à jour	Vanne ouverte/fermée	CLX	-183
				6_ResVNE_124	Réserve Vanne	Non MâJ	Non mis à jour	Vanne ouverte/fermée	CLX	-184
				6_ResVNE_125	Réserve Vanne	Non MâJ	Non mis à jour	Vanne ouverte/fermée	CLX	-185
				762W810L01U41	Alarme niveau bas eau cons	Normal	Normal	Alarme digitale	CLX	-205
				762W810U01C31	Cde refroidisseur	Actif	Normal	Sélection	CLX	-55
				762W810U01C32	Cde circuit	Actif	Normal	Sélection	CLX	-56
				762W810U01F41	Press diff Eau Refroid		0.2 Normal	Saisie par opérateur	SDRI	146
				762W810U01U41	Pré Alarme eau process	Normal	Normal	Alarme digitale	CLX	-193
				762W810U01U42	Alarme générale	Normal	Normal	Alarme digitale	CLX	-194
				762W810U01U61	retour marche refroidiss	Marche	Normal	Marche/arrêt	CLX	-636
				762W810U01U62	retour marche circuit	Marche	Normal	Marche/arrêt	CLX	-637
				Animation	Réserve Indication	Verrouillé.	Pas d'algorithme	Pas d'algorithme	CLX	-655
				Animation_Moteurs	Animation	Verrouillé.	Pas d'algorithme	Pas d'algorithme	CLX	-656
				Animation_Moteurs0	Animation	Verrouillé.	Pas d'algorithme	Pas d'algorithme	CLX	-673
				MFR_E	Pompe recirculation entrée	Marche	Normal	Marche/arrêt	CLX	-3641
				Niveau_silo4		*****	A-Haute	Conversion linéaire	SDRI	276
				reducteur1_AL	Défaut réducteur EV_L1	Normal	Normal	Alarme digitale	CLX	-3643
				reducteur2_AL	Défaut réducteur EV_L2	Normal	Normal	Alarme digitale	CLX	-3645
				Sondage_Silo4		-	Valeur non définie	Saisie par opérateur	SDRI	275
				TMaxpalier-E	Temp Maxi paliers entrées HLPC		61.0 Normal	Sortie manuelle PID	CLX	1241

Figure 14 : Base de données de l'ECS

3.3.2. Création des points et du synoptique

Afin d'acquérir les données provenant du ControlLogix, il faut ouvrir le système de configuration de l'outil d'administration de l'ECS disponible dans les programmes du fichier Démarrage de Windows. C'est à partir de la fenêtre qui s'ouvre que SDR va chercher les adresses à transférer. Pour cela, cliquer sur le bouton gauche de la barre de tâche, nommé Arbre, puis dans la liste déroulante qui s'affiche, cliquer sur nouveau A si c'est une donnée analogique qui doit être récupérée, ou sur nouveau B si c'est une donnée binaire. La liste déroulante se ferme alors et une fenêtre à onglet s'ouvre. Dans le premier onglet (Général) se trouve des options avec des cases à cocher. Pour notre cas nous allons cocher les cases « activé » et « liaison redondante », car nous avons deux liaisons, suivant le canal A et suivant le canal B. Ces deux liaisons sont du type TCP/IP à cause de la connexion Ethernet. La fréquence d'interrogation est fixée à 1500 millisecondes. Ce qui veut dire qu'à chaque 1,5s des informations seront recueillies au niveau de l'automate. Cependant, le chien de garde est fixé à 60s, c'est-à-dire que si après 60s aucune information n'est recueillie, le système émet un signal. D'autre part, à chacune de liaisons (canal A ou canal B), le temps de communication est de 10s. A chaque 10s la liaison bascule d'un canal à un autre. Donc après 3 tentatives de communication, d'un canal ou de l'autre, sans succès, le système signal. Si par contre il est marqué « Interrogation OK », donc l'automate communique.

Dans l'onglet conversion se trouve des options avec liste déroulante. L'option « Type d'interface » désigne la source de la donnée à utiliser. Il y a deux choix SDRI et CLX. Si la donnée à utiliser est déjà dans la base de données c'est la source SDRI qui doit être sélectionnée. Si c'est une nouvelle donnée venant du ControlLogix (comme dans notre cas), c'est la source CLX qui doit être sélectionnée. Puis appliquer et acquitter pour quitter le système de configuration.

(Les images du Système de configuration ControlLogix sont à l'annexe 7)

Pour créer virtuellement les points des TAG créés, dans la base de données, faire double clique sur le TAG. Une fenêtre de configuration s'ouvre où il faut indiquer les différents attributs du TAG, comme dans les figures ci-dessous :

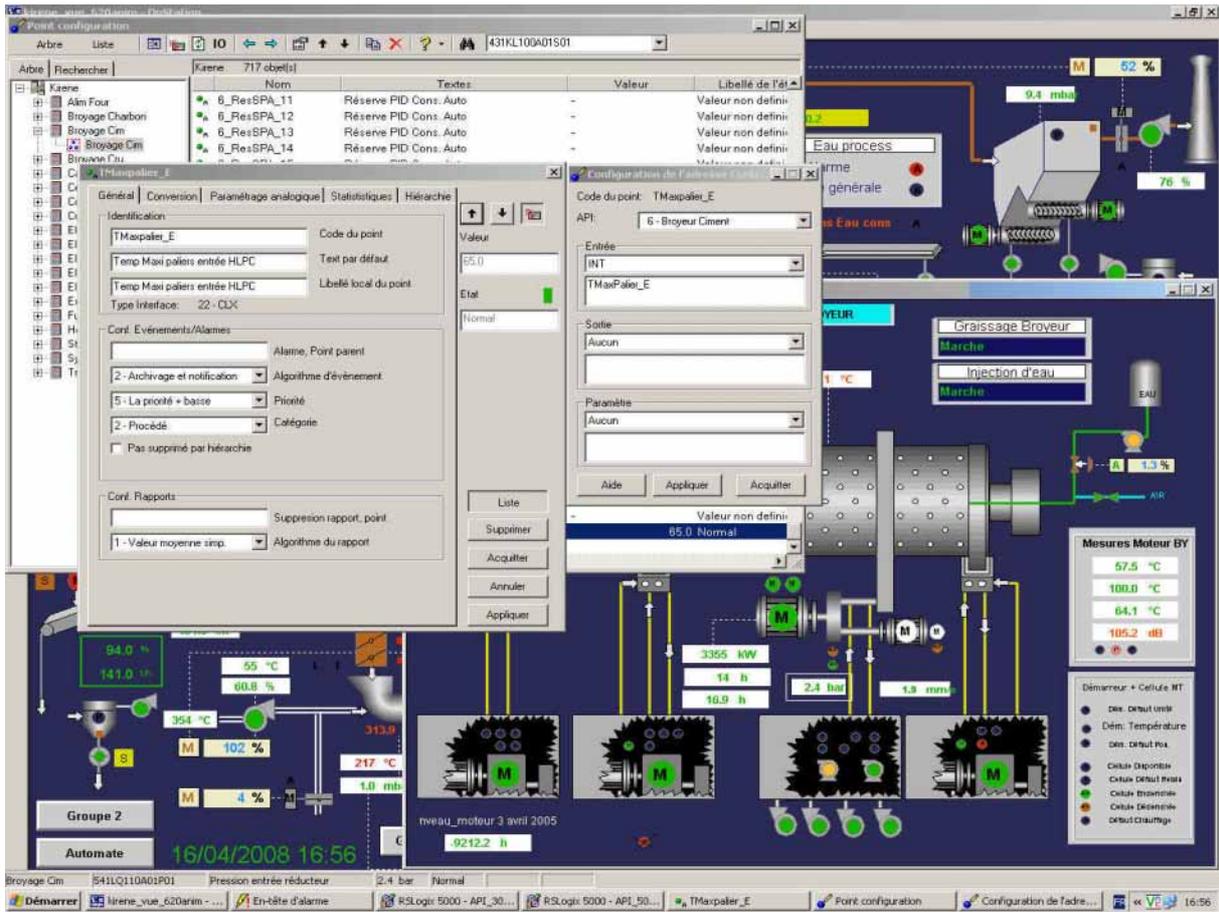


Figure 15: Création des points virtuels (1)

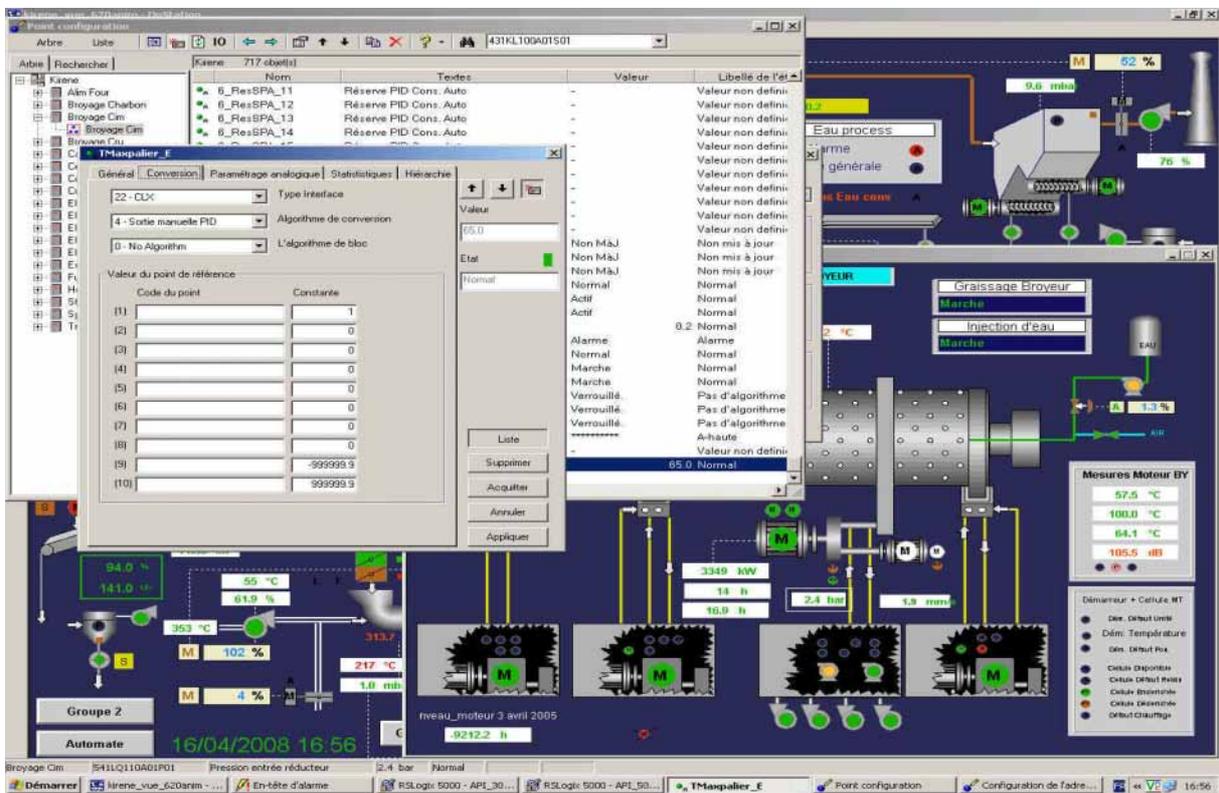


Figure 16: Création des points virtuels (2)

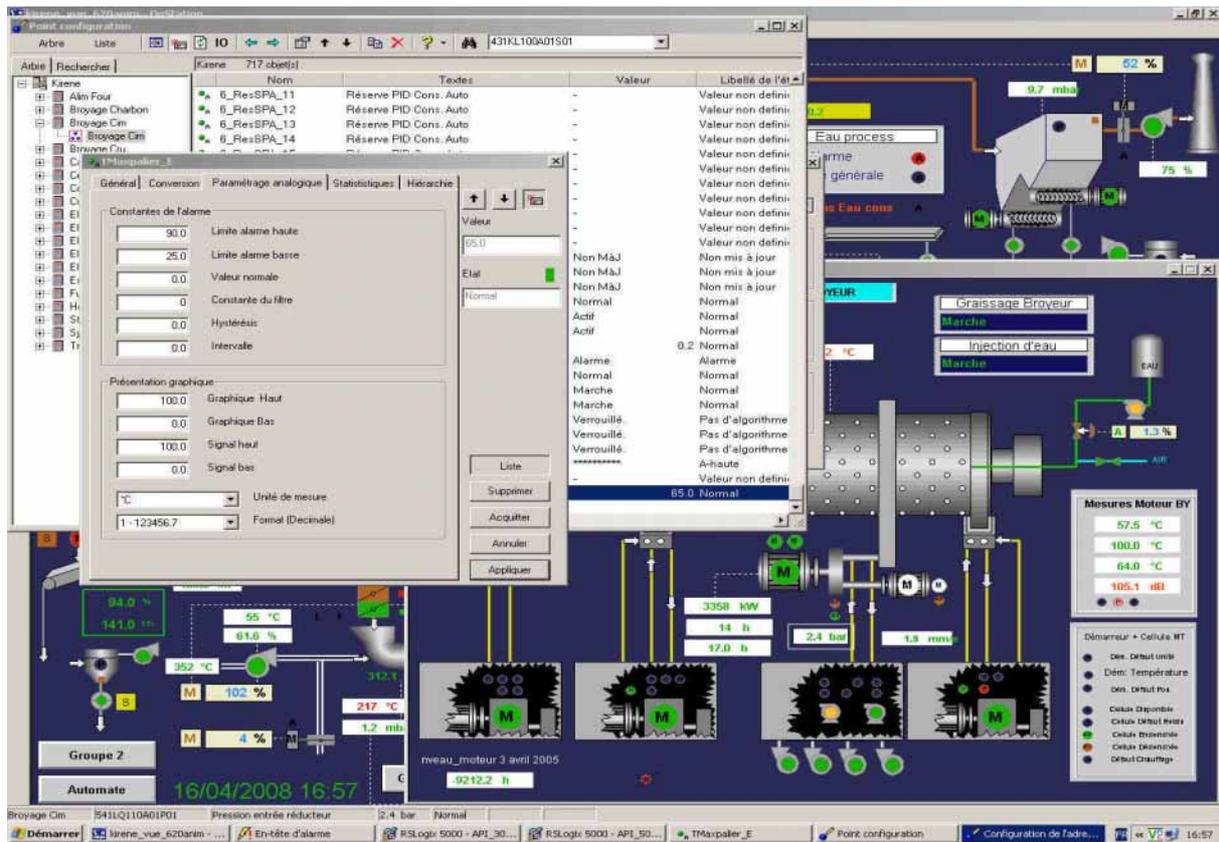


Figure 17: Création des points virtuels (3)

Une fois le point créé dans la base de donnée, il faut l'afficher à la supervision ECS, c'est-à-dire créer son synoptique. En cliquant dans Démarrer/Tous les programmes/ECS/outils d'administration/Editeur de ECS opstation, une fenêtre s'ouvre permettant de créer une interface où les synoptiques seront visibles. Cette zone permet uniquement de dessiner, ces dessins n'ont rien de particulier. Afin de voir l'évolution de ces dessins, c'est-à-dire les synoptiques, nous devons ouvrir l'explorateur ECS lui-même, où nous retrouverons les figures dessinées précédemment. En cliquant sur la figure qui nous intéresse, puis sur paramètre, dans la fenêtre qui s'ouvre nous devons insérer le nom du point (même nom que celui dans la base de donnée SDR), ainsi que son état, ses limites de fonctionnement, puis valider. La figure nous donne l'état de la donnée recueilli. Répéter les mêmes actions pour tous les points.

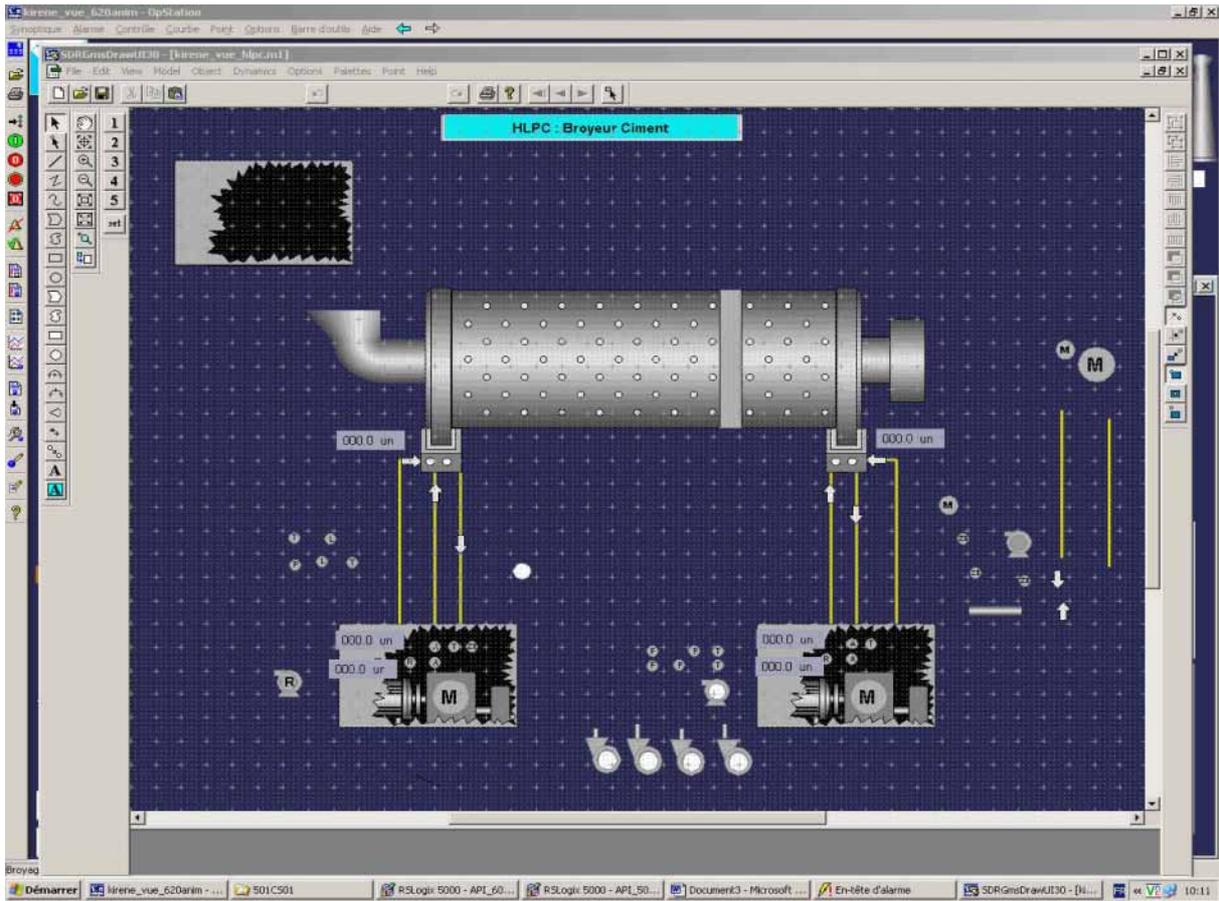


Figure 18 : Interface de dessin des différents points

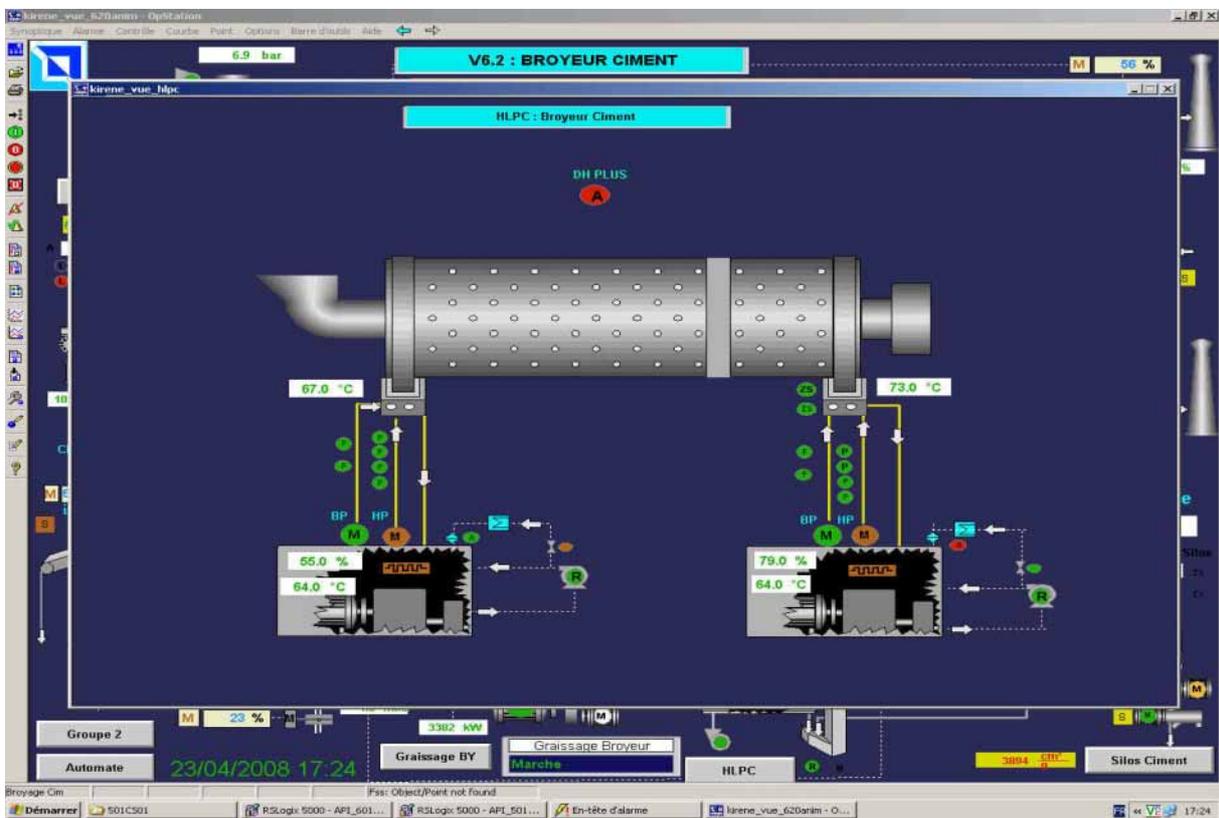


Figure 19 : Synoptique 1 de l'atelier broyage ciment

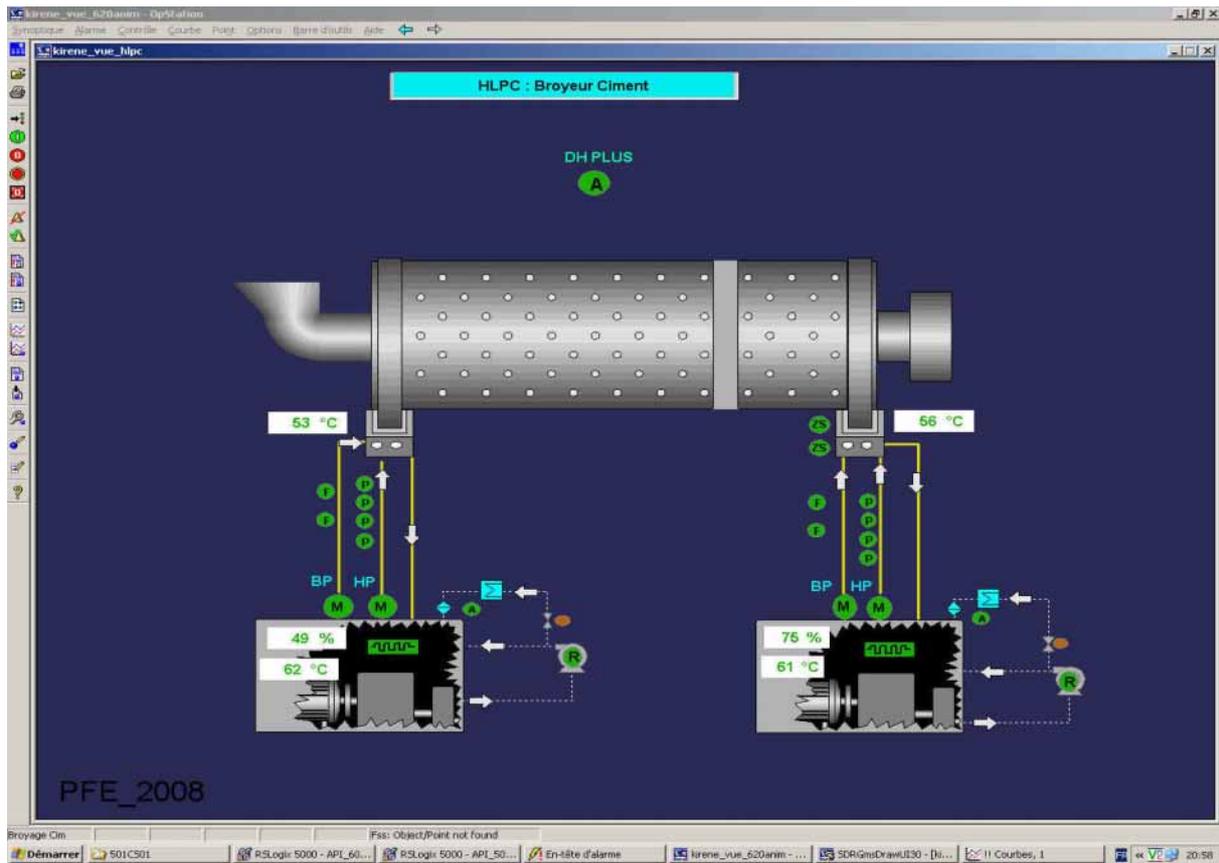


Figure 20 : Synoptique 2 de l'atelier broyage ciment

3.3.3. Test et vérification

Après la réalisation du programme, une phase de test a été réalisée afin de vérifier si les automates communiquaient parfaitement, et si les synoptiques indiquaient ce qui se passait exactement dans l'atelier. La phase de test consistait à simuler un défaut au niveau de l'atelier broyage ciment et voir si le défaut sera détecté au niveau de salle de commande. Sinon, il faut vérifier que les adresses sont bien affectées, ainsi que les TAG.

Après test et vérification il s'est avéré que tout parvenait parfaitement à la salle de commande.

CONCLUSION

L'étude et la réalisation du transfert de données ont été faites à partir d'automates Hallen Bradley (ControlLogix et SLC500) et de logiciels de Rockwell Automation (RSLogix500, RSLogix5000, RSLinx). Maintenant dans la salle de commande, grâce à un logiciel de supervision (ECS) et des synoptiques que nous avons créés, il est possible de suivre le fonctionnement et l'évolution de l'atelier broyage ciment et ainsi de prévoir les éventuels problèmes. Pour l'acquisition de données supplémentaires du HLPC, seul le câble DH+ a généré une dépense pour l'entreprise. Tous les autres matériels existaient déjà et étaient en utilisation. Ce coût s'est élevé à 1492 € = 980244 FCFA (voir fiche de réception du câble à la partie annexe). C'est un investissement nécessaire car il permettra d'éviter certains arrêts du broyeur et d'alléger le travail des opérateurs.

TROISIEME PARTIE
AUTOMATISATION DE LA POMPE A ADJUVANT DE MOUTURE

INTRODUCTION

La pompe à adjuvant de mouture est utilisée pour injecter de l'adjuvant qui est un composant chimique utilisé pour faciliter le broyage des matières entrant dans le broyeur. La pompe est entraînée par un moteur électrique.

Lorsque le broyeur s'arrête accidentellement, la pompe continue à tourner, et ne peut être arrêtée que sur site. Ceci entraîne une perte en énergie et en adjuvant. L'objectif est d'automatiser le fonctionnement de cette pompe, afin qu'il soit possible de la commander aussi à distance à partir de la salle de commande.

Aussi, l'adjuvant pompé est stocké dans des réservoirs de 1m^3 . Lorsque le réservoir n'est pas remué, il se crée un dépôt au fond du réservoir. Pour y remédier, il a été prévu de placer un malaxeur, qui tournerait en continu si la pompe fonctionne.

CHAPITRE I : ETUDE DE LA POMPE A ADJUVANT DE MOUTURE

1.1. Caractéristiques

La pompe est du type MILTON_ROY model GA-45P4T3. Elle fournit un débit maximum de 50l/h (833ml/min) avec une pression maximale de 10bars. Elle est entraînée par un petit moteur triphasé de caractéristiques :

- Pour $f = 50\text{hz}$; Δ / Y ; 230V/400V ; 0,12kW
- Pour $f = 60\text{hz}$; Δ / Y ; 265V/460V ; 0,14Kw

Si la vitesse de rotation $N = 2710$ RPM (rotations par minute), $\cos \varphi = 0,70$

Si la vitesse de rotation $N = 3250$ RPM (rotations par minute), $\cos \varphi = 0,69$

Câblage existant

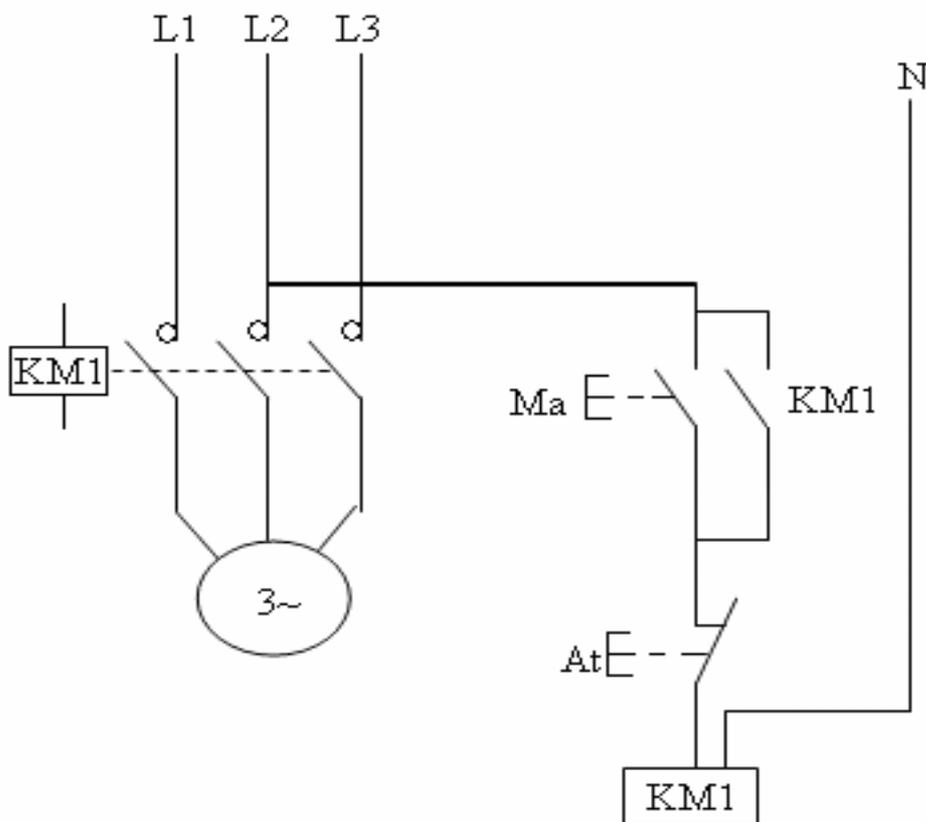


Figure 21 : Schéma de câblage existant du moteur de la pompe à adjuvant

1.2. Présentation de la solution retenue :

Le nouveau système sera constitué :

- De la pompe automatisée
- D'un fut de capacité 2 m^3 , qui sera alimenté directement par gravité à partir des réservoirs, par l'intermédiaire d'un raccord flexible ;
- Du malaxeur défini précédemment ;
- D'un capteur de niveau tout ou rien permettant à partir de salle de commande de savoir si le niveau de l'adjuvant est bas ;
- D'un reniflard afin d'éviter une variation de pression dans le fût ;
- D'un palan permettant de monter les fûts qui alimenteront le réservoir.

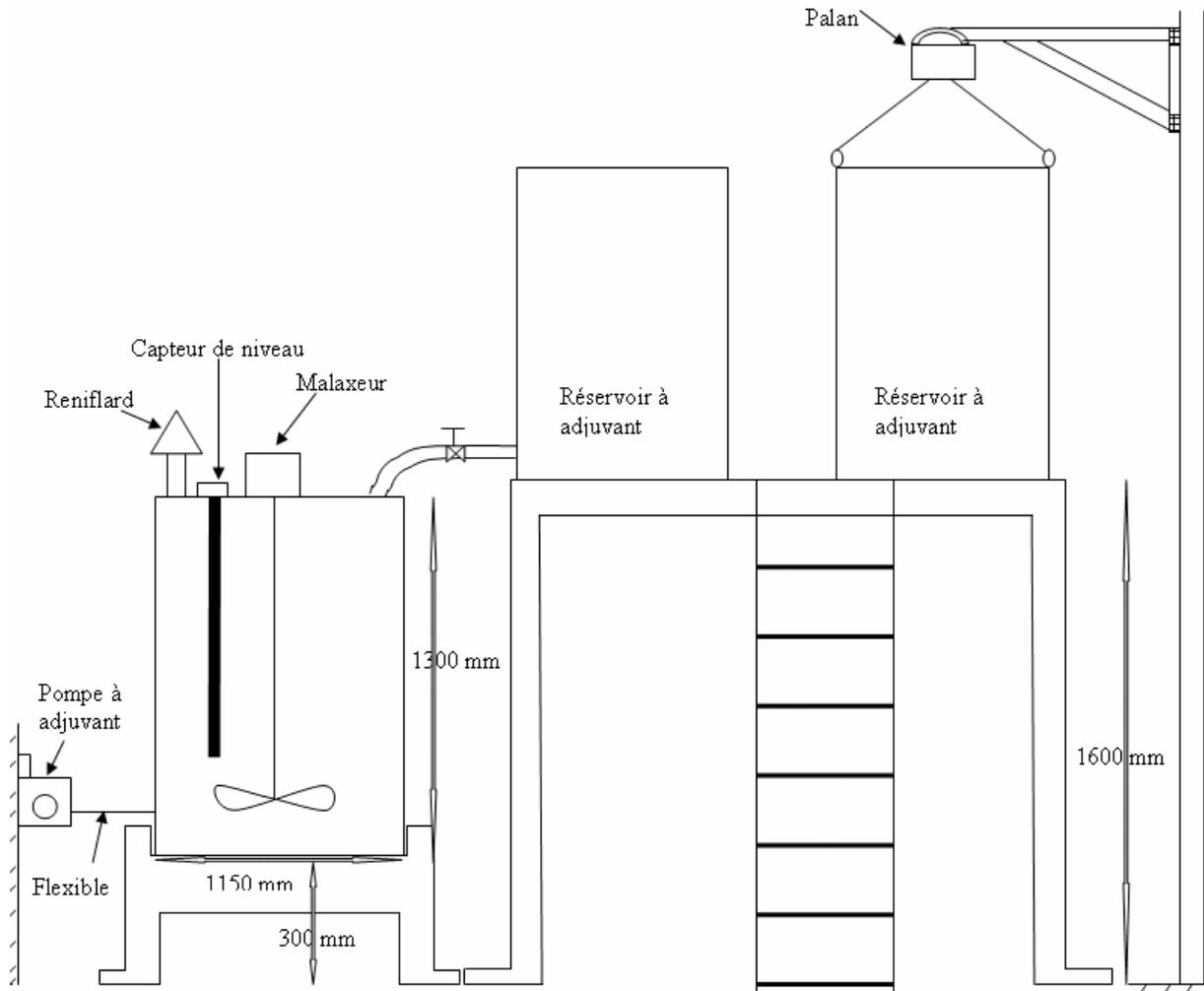
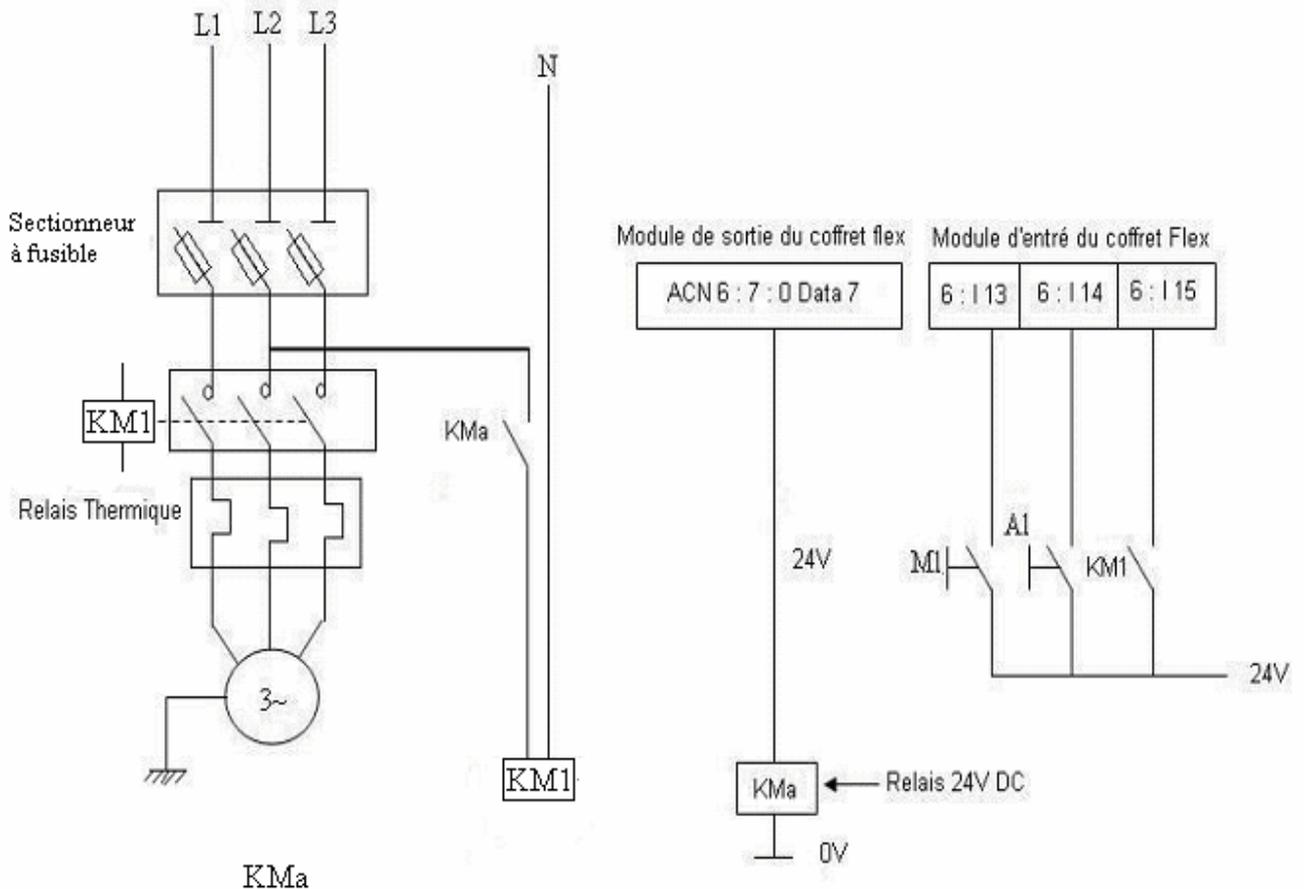


Figure 22 : Nouveau dispositif pour la pompe à adjuvant

1.2.1. Câblage électrique du moteur de la pompe :

Le KM1 câblé au module des entrées du coffret Flex est un retour de marche. Il permet de connaître l'état de la commande automatique KM1 (fermé ou ouvert). La marche et l'arrêt local sont aussi connectés au module du Flex, afin que toute personne qui veut agir sur la pompe puisse demander l'aval de la salle de commande. Le sectionneur à fusible sera utilisé en cas d'urgence si la salle de commande rencontre un problème et qu'il faille arrêter la pompe. Les fusibles montés dessus permettront de protéger le moteur contre les courts-circuits. Le relais thermique est utilisé pour protéger le moteur contre les surcharges.



K1 = relais ; M1 = marche locale ; A1 = arrêt local

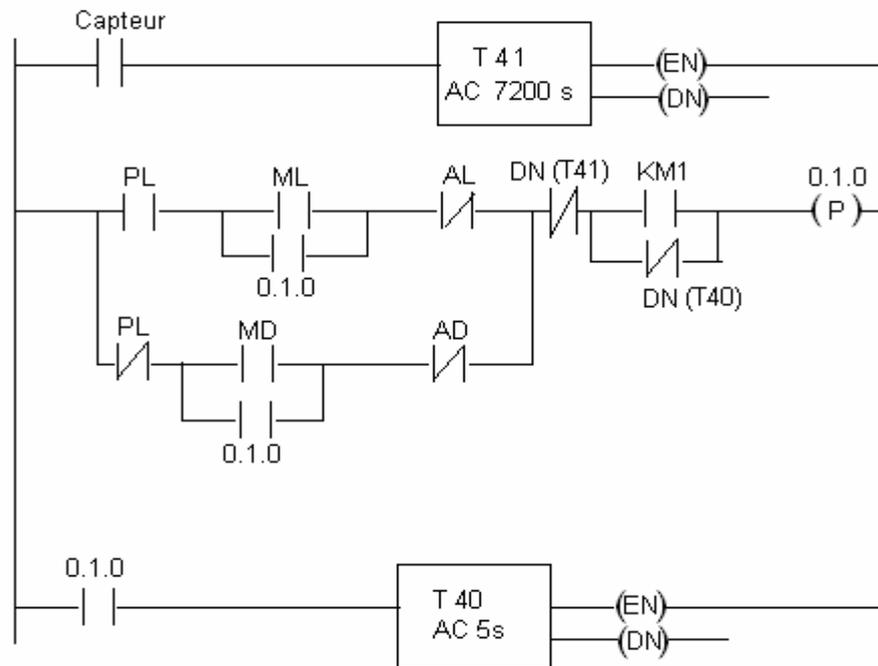
Figure 23 : Nouveau Schéma de câblage électrique pompe à adjuvant

1.2.2. Programme automatisé du fonctionnement de la pompe :

Si aucune permission n'est donnée pour le fonctionnement en mode local, et qu'au niveau de la salle de commande l'ordre de marche est donnée, la pompe se met à fonctionner. Si la pompe fonctionne, donc la sortie 0.1.0 passe à 1, assure l'auto maintien et active le temporisateur. En principe le retour de marche KM1 devrait passer à 1 pour montrer que la pompe fonctionne vraiment. Si après 5s nous n'avons pas le retour de marche, l'entrée DN passe à 0 et la liaison est interrompue, ce qui arrête le moteur. Si par contre nous avons le retour de marche, l'arrêt se fera si la salle de commande en donne l'ordre.

Si la permission est donnée pour le fonctionnement en mode local, la salle de commande ne pourra agir sur la pompe que si elle retire cette permission. Mais le fonctionnement reste le même que précédemment sauf que les commandes se font localement.

Cependant quelque soit le fonctionnement, si le capteur détecte que le fluide est en niveau bas, il déclenche le temporisateur T41. Si après 2h le réservoir n'est pas rempli l'entrée normalement fermée DN (T41) devient fausse (s'ouvre) et arrête le fonctionnement du moteur.



AD = ordre d'arrêt à partir de la salle de commande
MD = ordre de marche à partir de la salle de commande
PL = Permission pour fonctionnement Local

Figure 24 : Programmation Ladder du fonctionnement de la pompe

1.2.3. Câblage électrique du moteur du malaxeur :

Les appareils de protection du moteur du malaxeur sont les même que ceux de la pompe et jouent les mêmes fonctions.

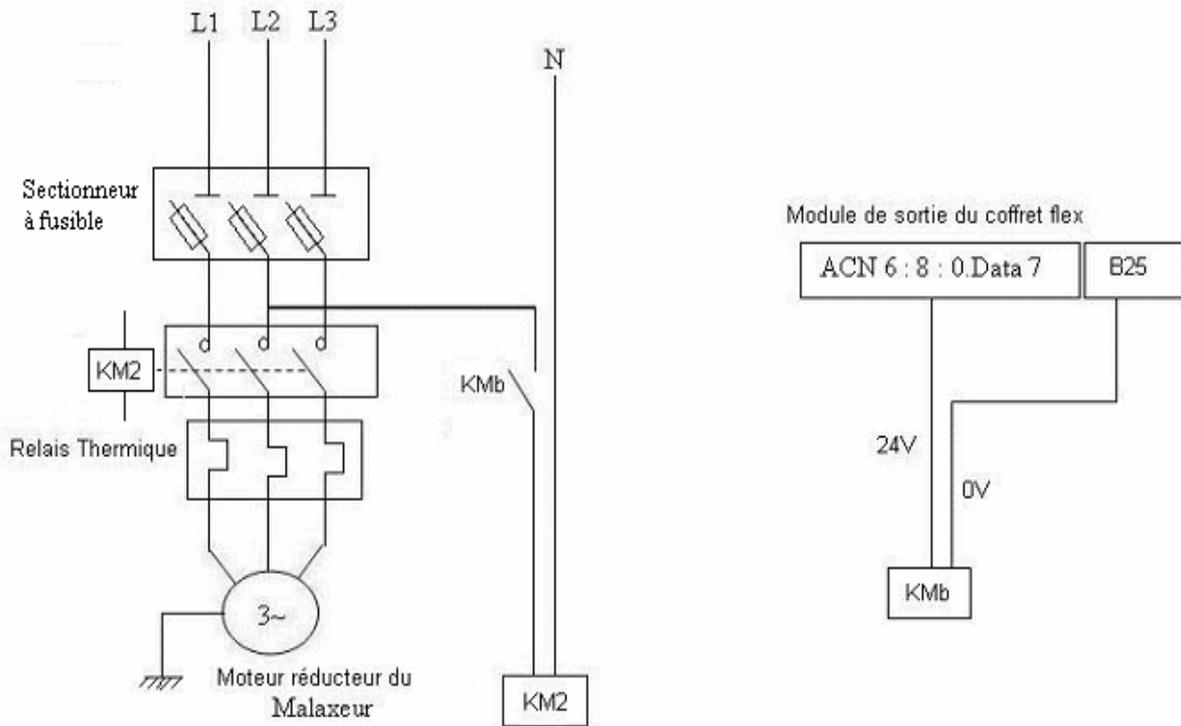


Figure 25: Schéma câblage électrique malaxeur

1.2.4. Programme automatisé du fonctionnement du malaxeur

Si la pompe fonctionne, l'entrée 0.1.0 s'active et active la sortie 0.1.1 qui met en marche le malaxeur.

Etant donné que le malaxeur tourne si la pompe tourne son programme sera lié au retour de marche de la pompe.

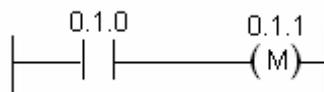


Figure 26 : Programme Ladder du fonctionnement du malaxeur

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES EQUIPEMENTS

2.1. Fût à adjuvant et réservoir :

Dimensions :

- Fût

Longueur = 1150mm ;

Largeur (vue de face dessin) = 2000 mm ;

Hauteur : 1300 mm

- Réservoir à adjuvant

Longueur = 1230 mm ;

Largeur = 1000 mm ;

Hauteur = 1150 mm

Diamètre de l'orifice de vidange du réservoir = 50 mm

Longueur du câble reliant la pompe au coffret Flex = 30m. Câble de section $1,75\text{mm}^2$.

2.2. Détecteur de niveau capacitif (tout ou rien)

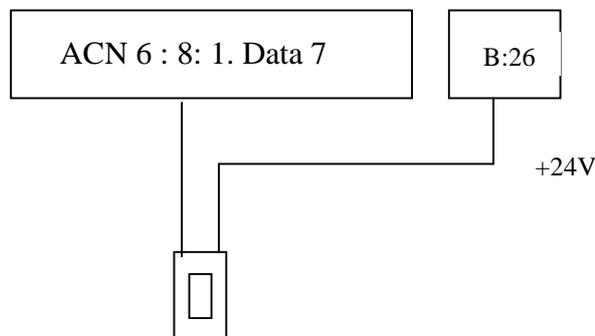


Figure 27 : Schéma de câblage du détecteur de niveau capacitif (tout ou rien)

La pompe a un débit maximum de 50l/h. Le flexible connectant le fût à la pompe est à une distance de 50mm du fond du fût. Si nous voulons laisser une marge 2h de temps à l'équipe chargée de remplacer les réservoirs, le capteur de niveau doit être à une distance $D1$ dans le fût.

2.2.1. Calcul de la longueur du capteur (D1) :

Marge au dessus du flexible = $100 \cdot 10^{-3} / (1,15 \times 1,15) = 0,076 \text{ m} = 76 \text{ mm}$

Le diamètre du flexible est de 25mm.

La hauteur du fût est de 1300

$$DI = 1300 - (76 + 50 + 25) = 1149\text{mm} \approx 1,15\text{m}$$

Type de capteur : Détecteur de niveau capacitif nivotester FTC 422¹

2.2.2. Principe de fonctionnement

La sonde et le réservoir constituent un condensateur dont la capacité dépend du niveau. La pré-amplification qui est montée dans la tête de mesure convertit les variations de capacité en un signal de tension et transmet celui-ci au Nivotester pour l'exploitation. Le relais de sortie commute lorsque le niveau pré-réglé est dépassé ou n'est pas atteint. Le signal qui en résulte peut commuter un dispositif d'alarme, un organe de réglage ou un relais de commande. Grâce à un pont sur le bornier, le relais de sortie peut être utilisé en commutation de sécurité minimum ou de sécurité maximum. L'état de commutation du relais est visualisé par une DEL rouge située sur la plaque frontale, l'état de disponibilité de l'appareil est visualisé par la DEL verte. En cas de coupure de courant, les deux DEL s'éteignent et le relais de sortie retombe.

2.3.Moteur du malaxeur :

L'adjuvant a une densité $d = 1,16$. Donc au fond du réservoir il régnera une pression

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot d \cdot g \cdot h$$

$$p = 1000 \times 1,16 \times 9,81 \times 1,3 = 14793,48 \text{ Pa}$$

La section des pales qui agit sur l'adjuvant pour le malaxer est environ égale à $0,01375\text{m}^2$

La Force exercée par les pales est de : $F = p \cdot S = 14793,48 \times 0,01375 = 212,6 \text{ N}$

Soit C_{\min} le couple moteur minimal utile pour faire tourner les pales

$$C_{\min} = F \times 1,150/4 = 61,1225 \text{ N.m}$$

Le malaxeur doit tourner à une vitesse de rotation $N = 30$ tours/min.

Soit P la puissance du motoréducteur.

$$P = C \times \omega = C \cdot \pi \cdot N/30 = 61,1225 \times \pi \times 30/30 = 192 \text{ W}$$

En prenant un coefficient de sécurité de 20%

$$P' = P \times 1,2 = 230 \text{ W}$$

Les caractéristiques du moteur qui entraînera le malaxeur sont :

¹Instrumentation Endress+Hauser (capteurs et détecteurs)

$P' = 230W$; $N = 30 \text{ tr/min}$; $C = 61, 12 \text{ N.m}$

Nous utiliserons un motoréducteur **SEW R17¹**. Ce motoréducteur à engrenages cylindriques, grâce aux multiples tailles et puissances disponibles, apporte une solution à chaque besoin. Avec son carter en aluminium coulé sous pression, il est très léger, idéal comme entraînement satellite ou dans la construction mécanique légère. Ce motoréducteur est également proposé en exécution à jeu réduit pour un maximum de précision. Il a une vitesse d'entrée (N_e) de 1400 tr/min et une vitesse de sortie (N_a) de 30 tr/min, ce qui lui donne un rapport de réduction (i) de 47. Son couple maximum (C_{max}) est de 85 N.m.

Pour les caractéristiques du Motoréducteur SEW R17 voir Annexe 11

¹ <http://www.be.sew-eurodrive.com>

CONCLUSION

En ce qui concerne l'automatisation de la pompe à adjuvant, seule l'étude théorique a été faite. La réalisation se fera ultérieurement selon le planning de l'entreprise et la disponibilité de son personnel. Nos recommandations permettront d'améliorer cette étude.

QUATRIEME PARTIE :
CONCEPTION D'UN MOTEUR DE CALCUL AUTOMATISE ET DE
SYNOPTIQUES POUR LA LIGNE DE CUISSON

INTRODUCTION

La salle de commande de la société Les Ciments Du Sahel permet un bon suivi des activités de production du ciment, ainsi, pour être sûr d'obtenir la qualité de ciment désirée, certains paramètres sont nécessaires. Certains sont directement obtenus par des capteurs, des détecteurs, par analyse au niveau du Labo, mais les plus importants sont souvent obtenus par calcul en utilisant les paramètres pré-cités.

Ces calculs nécessitent beaucoup de temps et beaucoup d'attention, car la moindre erreur pourrait se répercuter sur les résultats finaux et donc sur le diagnostic de l'état du procédé.

Pour remédier à cette situation, il nous a été confié la tâche de concevoir un outil de calcul, permettant, aux personnes habilitées à le faire, de pouvoir obtenir rapidement les paramètres désirés rien qu'en entrant les données de bases et en cliquant sur un bouton de calcul. Une fois les calculs effectués, les résultats devront s'afficher dans des synoptiques, placés dans des fichiers séparés selon le type de paramètres désirés. Après cela, une copie du fichier doit être sauvegardée sous le nom de la date et l'heure en cours, par simple clic sur un bouton, tout en laissant ouvert le fichier original. Le fichier enregistré ne doit être ouvert également que par les personnes autorisées. Lors de sa consultation, aucune saisie ni aucun paramètre ne devrait pouvoir être modifié. Les fichiers sauvegardés sont destinés uniquement à la consultation.

Afin de réaliser ce projet, nous avons eu recours à l'environnement Visual Basic sous Excel (VBA).

Ce travail sera accompli en trois étapes. D'abord nous allons recenser les données de bases et les relations entre ces données et les paramètres à calculer, puis nous allons établir le programme sous Visual Basic. Enfin nous allons créer les synoptiques où les résultats vont s'afficher.

CHAPITRE I : PARAMETRES INTRINSEQUES ET CONCEPTION

DU MOTEUR DE CALCUL AUTOMATISE ET SYNOPTIQUES

1.1. Introduction de Visual basic sous Excel

Visual Basic pour Applications (VBA) est le langage de programmation des applications de Microsoft Office. VBA permet d'automatiser les tâches, de créer des applications complètes, de sécuriser les saisies et les documents, de créer de nouveaux menus et de nouvelles fonctions pour booster efficacement votre logiciel.

VBA utilise le même langage que Microsoft Visual Basic. La différence entre VB et VBA est que VB est un ensemble complet qui permet de développer des applications indépendantes et librement distribuables alors qu'une application réalisée en VBA est complètement liée au logiciel sous lequel elle a été créée (une application VBA créée sous Excel ne pourra pas se lancer sur un poste si Excel n'est pas installé).

Avant qu'Excel n'utilise ce langage de programmation, le logiciel utilisait son propre langage de programmation et une application était appelée « macro ». Ce terme est resté, mais une macro Excel réalisée en VBA n'est rien d'autre qu'une procédure telle qu'elles sont réalisées sous VB. Un programmeur sous VBA n'a aucun problème pour passer à VB et vice-versa.

Le langage VBA est accessible à tous. Cependant, une bonne connaissance d'Excel est nécessaire avant de se lancer dans la création d'application. En effet, il est important de bien maîtriser les principaux objets que manipule VBA, comme les objets Workbook (classeur), Worksheet (Feuille de calcul), Range (plage de cellule), etc.

VBA, langage puissant, souple et facile à utiliser permet de réaliser très rapidement des applications qui feront économiser du temps et de l'argent.

VBA Excel est un langage de programmation orienté objet, même s'il ne dispose pas de toutes les fonctionnalités des langages de ce type. La plupart des éléments manipulés dans Excel sont des objets : les classeurs, les feuilles de calcul, les plages de cellules, les cellules... Les objets sont organisés selon un modèle hiérarchique : certains objets contiennent d'autres objets qui peuvent eux-mêmes en contenir d'autres ...

Ces objets sont appelés conteneurs ou objets parent. Par exemple l'objet **Application** est le conteneur des objets **Workbook** (classeur ouverts dans Excel), qui sont eux-mêmes les conteneurs des objets **Worksheet** (feuilles de calcul d'un classeur). Le conteneur le plus vaste est l'objet **Application**.

Un ensemble d'objet de même nature constitue une collection (collection Workbook : ensemble de classeurs ouverts dans Excel, collection Worksheet : ensemble des feuilles de calcul d'un classeur).

Un objet dispose d'un ensemble de caractéristiques appelés propriétés (par exemple pour l'objet Application : la propriété UserName représente le nom de l'utilisateur, la propriété Version renvoie le numéro de version de Microsoft Excel) et de comportements ou actions appelés méthodes (par exemple, toujours pour l'objet Application, la méthode Findfile affiche la boîte de dialogue Ouvrir, la méthode Quit quitte Excel...).

Un objet répond à des événements provoqués par l'utilisateur (ex : ouverture d'un classeur, clic sur un bouton de commande, changement de cellule active...) ou par le système.

Niveau	Objet s	Classe
Excel	Application	Application
Classeur	Workbooks (« nom ») ThisWorkbook ActiveWorkbook	Workbook
Feuille	Sheets ActiveSheet	Sheet
Feuille de calcul	Worksheets	WorkSheet
Ligne	Rows (numéro de ligne) Rows	Range
Colonne	Columns (numéro de colonne) Columns	Range
Plage de cellules	Range (référence en mode sélection A1) Cells	Range
Cellule	Cells (numéro de ligne, numéro de colonne) ActiveCell	Range
Boite de dialogue	UserForms	UserForm
Zone boite de dialogue	Controls	Control

Tableau 14: Tableau relationnel Visual Basic et Excel¹

¹ Microsoft Visual Basic 6.0 "Etape par Etape" Edition Professionnelle

1.2. Moteur de calcul automatisé et synoptiques

1.2.1. Détermination de l'impulsion de l'air primaire (brûleur)¹

Les brûleurs sont conçus pour bien mélanger le combustible et l'air de combustion (air primaire et air secondaire) et, lorsque les combustibles sont liquides (comme le fioul), les pulvériser pour l'allumage. Un bon mélange de combustible et d'air s'obtient en créant de la turbulence à la sortie du brûleur. Il faut pour cela contrôler la vitesse de l'air à la sortie du brûleur et son débit.

Au niveau des Ciments du Sahel, il existe deux types de brûleurs :

- ✓ un brûleur principal pour la combustion au niveau du four ;
- ✓ les brûleurs secondaires pour la combustion au niveau du précalcinateur.

Dans le cas particulier d'un four moderne de cimenterie, l'air primaire représente 8 à 12% de l'air total. Il permet une combustion immédiate mais partielle du combustible et l'accrochage de la flamme. En faisant varier le débit et la pression d'injection on modifie la forme de la flamme. La détermination de l'impulsion de l'air primaire est nécessaire pour une bonne clinkérisation.

Sources de paramètres liés à l'impulsion de l'air primaire

Désignation	Symbole	Unité	Source
Pression ambiante	P_{amb}	mbar	mesure
Pression d'air primaire sur le Nozzle	P_n	mbar	mesure
Température de l'air primaire	T_{pr}	°C	mesure
Température ambiante	T_{amb}	°C	mesure
Débit charbon	F_{fuel}	kg _{fuel} / h	mesure
Pression statique à l'admission de l'air primaire	P_s	mbar	mesure
Vitesse de l'air primaire à l'admission	V_{ar}	m/s	mesure
Section d'admission de l'air primaire	S_{ad}	m ²	mesure
Dilatation du Bruleur	D_B	mm	mesure
Position du Nozzle	P_{NZ}	mm	lecture directe
Altitude	altitude	m	donnée
Pourcentage de Carbone	C	%	donnée

¹ FLSMidth "Les Ciments Du Sahel -Cimenterie de Kirène Cours de production" Volume 3 ; Edition 2005

Pourcentage d'hydrogène	H	%	donnée
Pourcentage d'oxygène	O	%	donnée
Pourcentage de Soufre	S	%	donnée
coefficient isentropique de l'air	K	constante	constante
constante des gaz	R	J/kg K	constante
Densité air dans les CNTP	ρ_o	kg/Nm ³	abaque
pression atmosphérique à 0 m d'altitude	b_o	mbar	abaque
Impulsion d'air primaire	G_{pr}	% m/s	Calcul
Débit d'air stœchiométrique	$L_{min Flow}$	kg /h	Calcul
Pourcentage air primaire dans l'air stœchiométrique	L_p	%	Calcul
Vitesse au niveau du nozzle	C_{pr}	m/s	Calcul
Débit d'air stœchiométrique	$L_{min fuel}$	kg _{air} /kg _{fuel}	Calcul
Densité air primaire à la température tpr	ρ_{tpr}	kg/m ³	Calcul
Débit volumique de l'air primaire	Q_{pr}	m ³ /s	Calcul
Débit massique de l'air primaire	m_{pr}	kg/s	Calcul
Pression atmosphérique	b	mbar	Calcul
Position réelle du Nozzle	P_{NZR}	mm	Calcul
Section du Nozzle	S_{NZ}	mm ²	Calcul

Tableau15: Paramètres de l'impulsion de l'air primaire

Sources de paramètres liés à l'impulsion de l'air primaire

Désignation	Symbole	Unité	Source
Température de l'air primaire	T_{pr}	°C	mesure
Pression statique à l'admission de l'air primaire	P_s	mbar	mesure
Vitesse de l'air primaire à l'admission	V_{ar}	m/s	mesure
Section d'admission de l'air primaire	S_{ad}	m ²	mesure
Altitude	altitude	m	donnée
Densité air dans le CNTP	ρ_o	kg/Nm ³	abaque
pression atmosphérique à 0 m d'altitude	b_o	mbar	abaque
Débit volumique de l'air primaire	Q_{pr}	Nm ³ /s	Calcul
Densité air primaire au niveau du Nozzle	ρ_N	kg/m ³	Calcul

Densité air primaire à la température t_{pr}	ρ_{tpr}	kg/m ³	Calcul
Débit volumique de l'air primaire	Q_{pr}	m ³ /s	Calcul
Pression atmosphérique	b	mbar	Calcul

Tableau 16: Paramètres du débit de l'air primaire

$$1) \quad L_p = \frac{m_{pr}}{L_{min\ flow}} \cdot 100 [\%]$$

$$2) \quad C_{Pr} = \sqrt{\frac{2K}{K-1} \cdot R \cdot (t_{Pr} + 273.15) \cdot \left[1 - \left(\frac{P_{amb}}{P_{amb} + P_N} \right)^{\frac{K+1}{K}} \right]} \quad \text{en m/s}$$

$$C_{Pr} = \sqrt{2008,23 \times (t_{Pr} + 273.15) \cdot \left[1 - \left(\frac{P_{amb}}{P_{amb} + P_N} \right)^{0,286} \right]}$$

$$3) \quad L_{min\ fuel} = \frac{1.285}{21} \times [1,8641 C + 5,5531 H - 0,6997 O + 0,692 S] \quad \text{kg air / kg fuel}$$

$$4) \quad L_{min\ Flow} = L_{min\ fuel} \cdot F_{fuel} \quad [\text{kg / h}]$$

$$5) \quad m_{pr} = \rho_{tpr} \cdot Q_{Pr}$$

$$6) \quad \rho_{tpr} = \rho_0 \cdot \frac{273.15}{273.15 + t_{pr}} \cdot \frac{\left(\frac{b}{b_0} \cdot 1013 \right) + P_s}{1013} \quad [\text{kg / m}^3]$$

$$7) \quad b = b_0 \cdot e^{(-0.0001255 \cdot altitude)}$$

$$8) \quad Q_{pr} = V_{ar} \cdot S_{ad} \quad [\text{m}^3 / \text{s}]$$

$$9) \quad G_{pr} = [L_p \cdot C_{pr}] \% \text{ m/s}$$

$$10) \quad Q_{pr} \left[Nm^3 / S \right] = Q_{pr} \left[m^3 / S \right] \cdot \frac{\rho}{\rho_N} = V_{ar} \cdot S_{ad} \left[\frac{\rho_0 \cdot \frac{273.15}{273.15 + t_{pr}} \cdot \frac{(e^{(-0.0001255 \cdot altitude)} \cdot 1013) + P_s}{1013}}{\rho_N} \right]$$

$$11) \quad P_{NZR} = P_{NZ} + D_B$$

$$12) \quad S_{NZ} = \frac{Q_{pr}}{C_{pr}} \times 10^6$$

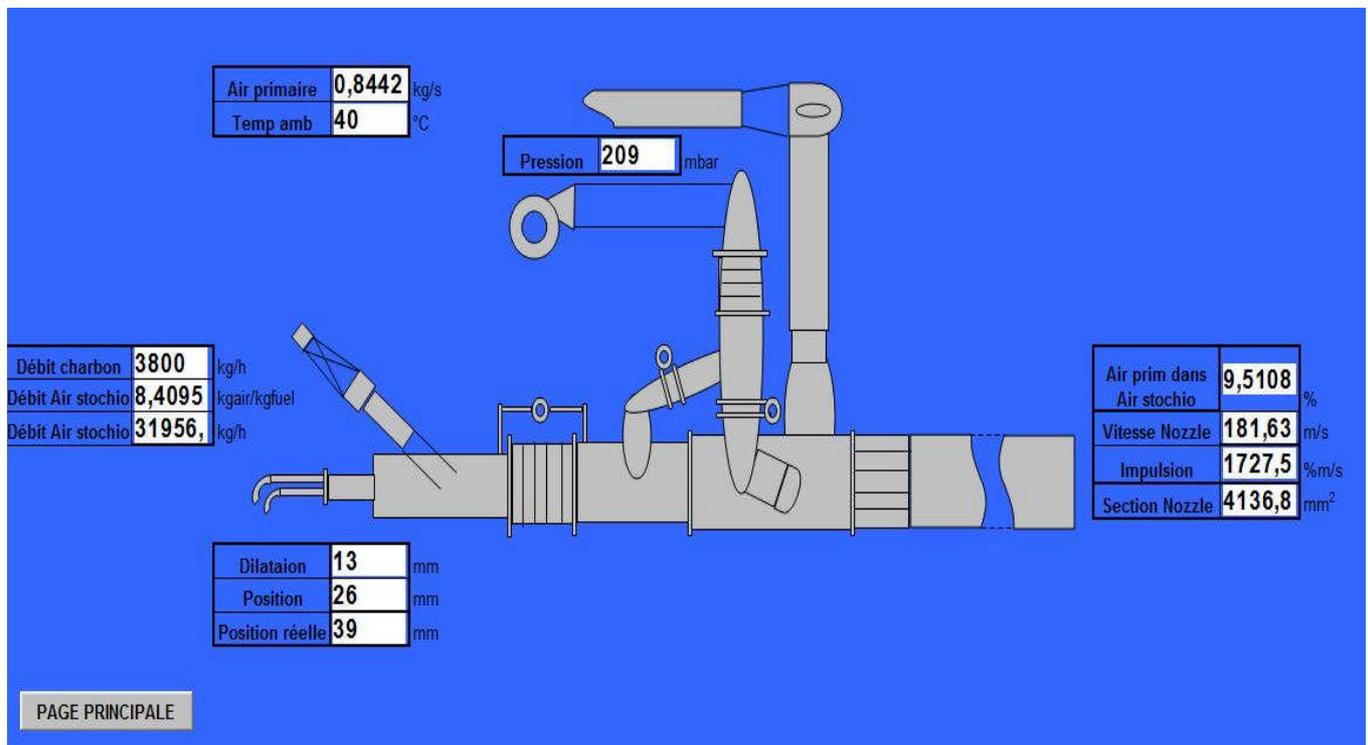
🚦 Synoptiques de saisie des paramètres de calcul de l'impulsion:

BRULEUR

P. ambiante	1008	mbar
P. nozzle	209	mbar
Temp air primaire	40	°C
Débit charbon	3800	kgfuel/h
Pression statique	7,52	mbar
Vitesse air prim	23,93	m/s
Section air prim	0,0314	m ²
altitude	40	m
C	62,74	%
H ₂	3,82	%
O ₂	1,9	%
S	0,86	%
Coef isentropique	1,4	
R	286,89	
po	1,285	kg/Nm ³
bo	1813	mbar
Dilatation Bruleur	13	m
Position Nozzle	26	m
Temp ambiante	40	°C

CALCUL BRULEUR

🚦 Synoptique du bruleur four :



1.2.2. Détermination de la vitesse au niveau du rising pipe¹

Les gaz venant du four doivent être assez rapide pour pouvoir soulever les particules de farine crue afin de les acheminer au calcinateur. La rencontre des gaz et des particules du four venant des cyclones supérieure a lieu au niveau du Rising pipe.

✚ Sources des paramètres liés au calcul de la vitesse des gaz au niveau du rising pipe :

Désignation	Symbole	Unité	Source
Débit charbon	F_{fuel}	kg / h	mesure
Température au rising pipe	T_{rp}	°C	mesure
Pression statique au rising pipe	P_s	mbar	mesure
section au rising pipe	S_{rp}	m ²	mesure
Teneur en carbone	C	%	mesure
Teneur en hydrogène	H	%	mesure
Teneur en oxygène	O	%	mesure
Teneur en soufre	S	%	mesure
Teneur en O ₂	O ₂	%	mesure
Teneur en dioxyde de carbone	CO ₂	%	mesure
pression atmosphérique à 0 m d'altitude	b_o	mbar	constante
Densité air dans le CNTP	ρ_o	kg/m ³	constante
Débit d'air stœchiométrique	$L_{\text{min fuel}}$	kg _{air} /kg _{fuel}	calcul
Débit air stœchiométrique	$L_{\text{min Flow}}$	kg /h	calcul
Débit air au rising pipe	L_{rp}	kg /h	calcul
Débit volumique au rising pipe	Q_v	m ³ /h	calcul
Pression atmosphérique	b	mbar	calcul
Densité au rising pipe	ρ_{rp}	kg/m ³	calcul
Vitesse au rising pipe	V_{rp}	m/s	calcul
Excès d'air	λ	%	calcul

Tableau 17: Paramètres de la Vitesse du Rising Pipe

¹FLSMidth "Les Ciments Du Sahel -Cimenterie de Kirène Cours de production" Volume 3 ; Edition 2005

$$1) \quad L_{\min \text{ fuel}} = \rho_0 \cdot \frac{1,8641C + 5,5531H + 0,692S - 0,6957O}{21} \text{ kg}_{\text{ air}} / \text{kg}_{\text{ fuel}}$$

$$2) \quad L_{\min \text{ Flow}} = L_{\min \text{ fuel}} \cdot F_{\text{fuel}} \text{ [kg / h]}$$

$$3) \quad L_{rp} = L_{\min \text{ flow}} \cdot \lambda \text{ [kg / h]}$$

$$4) \quad Q_v = \frac{L_{rp}}{\rho_{rp}} \text{ [m}^3 \text{ / s]}$$

$$5) \quad \rho_{rp} = \rho_0 \cdot \frac{273,15}{273,15 + t_{rp}} \cdot \frac{\left(\frac{b}{b_0} \cdot 1013 \right) + P_s}{1013} \text{ [kg / m}^3 \text{]}$$

$$6) \quad b = b_0 \cdot e^{(-0.0001255 \cdot \text{altitude})}$$

$$7) \quad \lambda = \frac{1}{1 - \left(\frac{79}{21} \times \frac{O_2}{100 - CO_2 - O_2} \right)}$$

$$8) \quad V_{rp} = \frac{Q_v}{S_{rp}} \text{ [m / s]}$$

$$V_{rp} = \frac{L_{rp}}{S_{rp} \times \rho_{rp}} \text{ [m / s]}$$

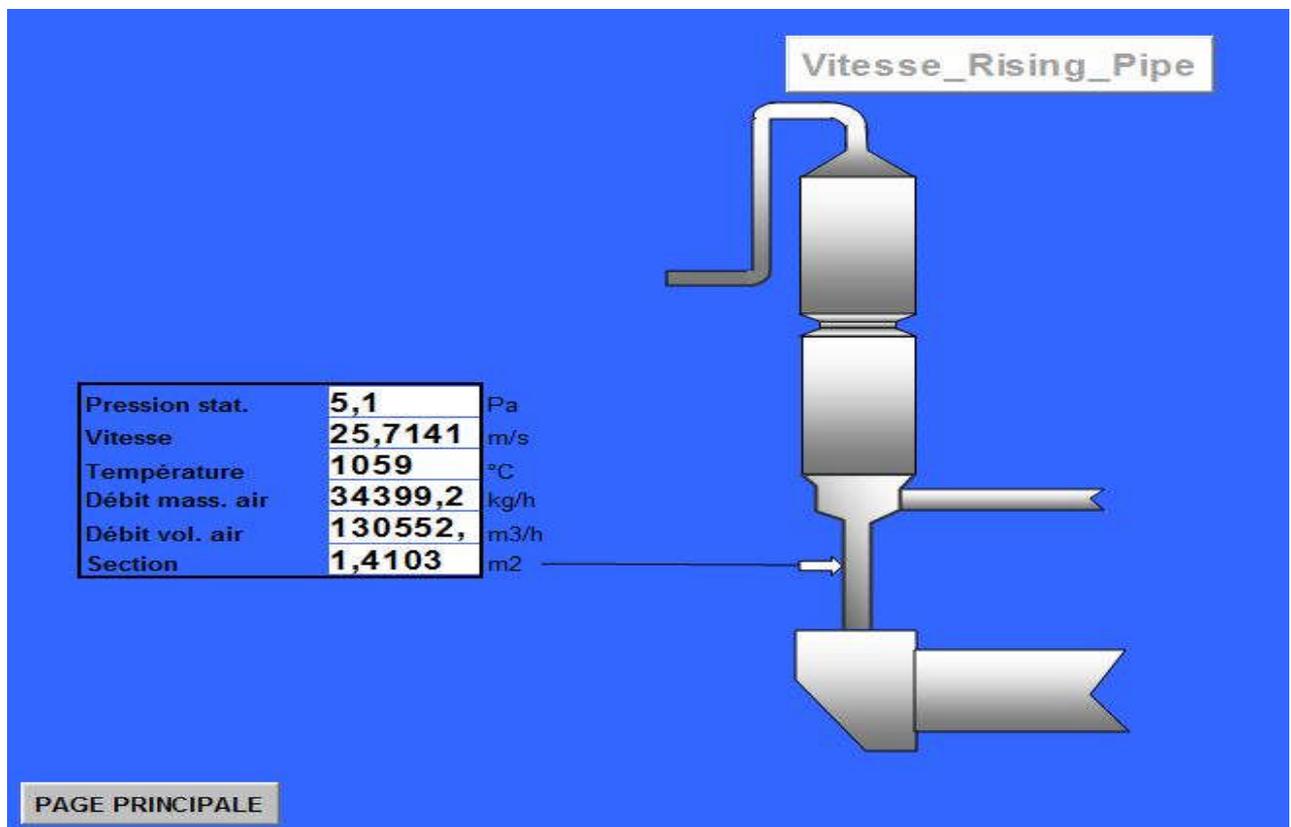
✚ Synoptiques de saisie des paramètres de calcul de la vitesse du Rising Pipe

RISING PIPE

Débit charbon	3813	kg / h
Temp Rising Pipe	1059	°C
Pression statique	5,1	mbar
Section R_P	1,4103	m ²
b ₀	1013	mbar
ρ ₀	1,285	kg/m ³
Carbone	62,74	%
Hydrogène	3,82	%
Oxygène	9,09	%
Soufre	0,86	%
O ₂ Boite à fumée	1,9	%
C ₀₂ Boite à fumée	28	%
Altitude	40	m

CALCUL RISING PIPE

✚ Synoptique du Rising Pipe



1.2.3. Environnement¹

Les émissions à la cheminée des cimenteries potentiellement préjudiciable à l'environnement sont sujettes à des normes internationales et nationales. Elles sont exprimées pour certaines à 10% d'oxygène.

Mesures directes à la cheminée

Poussières = mg/m³

SO₂ en ppm

CO₂ en %

CO en %

O₂ en %

t en °C

Mesures directes au cyclone 1

NO_{C1} = NO en ppm

Conversion du NO à 10% O₂ à la cheminée :

$$\text{mg/Nm}^3 [\text{NO}_x] = \text{ppm NO}_{C1} \cdot 2,05 \cdot \frac{20,95 - 10}{20,95 - \% O_2}$$

Conversion du SO₂ à 10% O₂ à la cheminée

$$\text{mg/Nm}^3 [\text{SO}_2] = \text{ppm SO}_2 \cdot 2,86 \cdot \frac{2,86 - 10}{2,86 - \% O_2}$$

Tableau des paramètres liés à la conversion à 10% O₂

Désignation	Symbole	Unité	Source
Oxygène	O ₂	%	Mesure
Oxyde de Sodium du cyclone 1	NO _{C1}	ppm	Mesure
Dioxyde de Soufre	SO ₂	ppm	Mesure
Conversion de l'Oxyde de Sodium cyclone 1	mg/Nm ³ [NO _x]	mg/Nm ³	Calcule
Conversion de l'Oxyde de Soufre	mg/Nm ³ [SO ₂]	mg/Nm ³	calcule

Tableau 18: Paramètres de l'environnement

¹FLSMidth "Les Ciments Du Sahel -Cimenterie de Kirène Cours de production" Volume 3 ; Edition 2005

🌈 Synoptique de saisie pour les conversions à 10% O₂:

ENVIRONNEMENT

CHEMINEE

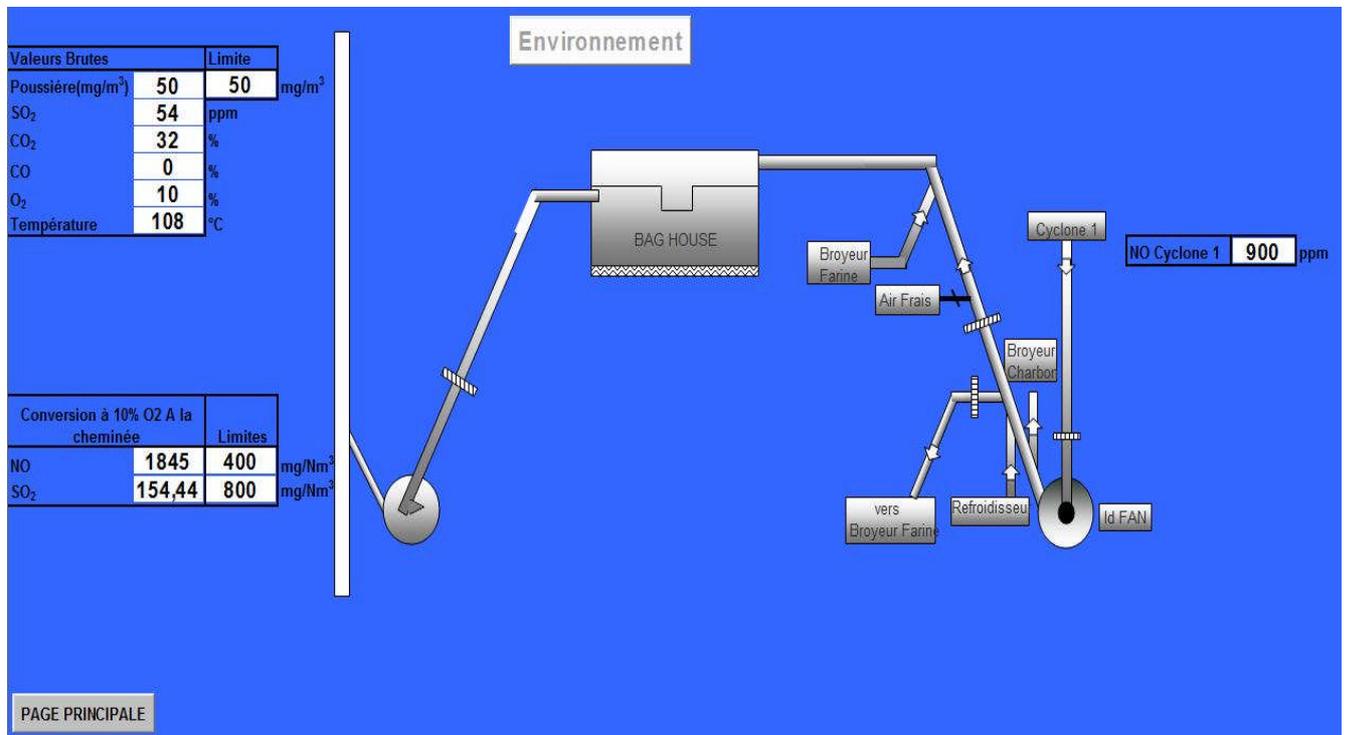
Poussière	50	mg/m ³
SO ₂	54	ppm
CO ₂	32	%
CO	0	%
O ₂	10	%
Température	108	°C

CYCLONE 1

NO	900	ppm
----	-----	-----

CALCUL ENVIRONNEMENT

🌈 Synoptique de l'Environnement



1.2.4. Détermination du rendement du refroidisseur¹

Le refroidisseur à clinker fait partie de la ligne cuisson. Elle a une influence déterminante sur les performances énergétiques.

Sa fonction est double :

- récupérer le maximum de chaleur dans le clinker chaud (1 450°C) pour la recycler dans le procédé ;
- abaisser la température du clinker à un niveau compatible avec le bon fonctionnement des équipements en aval.

Sources des paramètres liés au calcul du rendement du refroidisseur

Désignation	Symbole	Unité	Source
température du clinker à la sortie du refroidisseur	T_{KO}	°C	mesure
température excès d'air	T_{EX}	°C	mesure
débit volumique du ventilateur i	Q_{ni}	Nm^3/h	mesure
Puissance du ventilateur i	P_{ni}	kW	mesure
température de la virole du refroidisseur	T_v	Kelvin	mesure
Température ambiante	T_a	Kelvin	mesure
température air de refroidissement	T_{ca}	Kelvin	mesure
Débit massique de clinker	Q_{mclk}	$kg_{clinker}/h$	mesure
puissance réelle du refroidisseur 1	N_1	kW	donnée
vitesse réelle du refroidisseur 1	n_1	rpm	donnée
rendement réel du refroidisseur 1	η_1	%	donnée
puissance réelle du refroidisseur 2	N_2	kW	donnée
vitesse réelle du refroidisseur 2	n_2	rpm	donnée
rendement réel du refroidisseur 2	η_2	%	donnée
densité de référence du refroidisseur	ρ_{ref}	kg/Nm^3	donnée
débit de référence du refroidisseur	Q_{ref}	Nm^3/h	donnée
puissance de référence du refroidisseur	N_{ref}	kW	donnée
vitesse de référence au niveau du refroidisseur	n_{ref}	rpm	donnée
Pression de référence dans le refroidisseur	P_{tref}	Pa	donnée
surface Totale	S	m^2	donnée

¹ FLSSMidth "Les Ciments Du Sahel -Cimenterie de Kirène Cours de production" Volume 3 ; Edition 2005

densité de l'air dans les CNTP	ρ_N	kg/Nm ³	constante
Débit massique d'air de refroidissement	Q _{mca}	kg _{ca} /h	calcul
Débit massique total des ventilateurs de soufflage	Q _{mTotal}	kg/h	calcul
capacité thermique massique du clinker à la température T _{KO}	C _{pKTKO}	kcal/kg °C	calcul
débit massique de l'excès d'air	M _{EX}	kg/h	calcul
capacité thermique massique de l'excès d'air à la températu. T _{EX}	C _{pATEX}	kcal/kg °C	calcul
pertes par radiation	RA	k _{cal} /kg clinker	calcul
pertes par convection	CON	k _{cal} /kg clinker	calcul
débit massique d'air de refroidissement	M _{ca}	kg/h	calcul
capacité thermique massique de l'air de refroidissement à la température T _{CA}	C _{pATCA}	kcal/kg °C	calcul
débit massique	Q _m	kg/h	calcul
Rendement du refroidisseur	$\eta_{ref}\%$	%	calcul
Pertes dues au clinker	P _{clinker}	k _{cal} /kg clinker	calcul
pertes dues à l'excès d'air	P _{EX}	k _{air} /kg clinker	calcul
variation de température clinker	ΔT_{CLK}	°C	calcul
pertes au refroidisseur	P _R	k _{cal} /kg clinker	calcul
charge spécifique du refroidisseur	CSR	t/24h/m ²	calcul
charge spécifique du refroidisseur	CSR ₂	%	calcul
débit volumique d'air total	DATV	Nm ³ /h	calcul
débit massique d'air total	DATM	kg/h	calcul
débit spécifique d'air total	DATS	k _{air} /kg clinker	calcul
pertes électriques dues aux ventilateurs	Pelec	kW	calcul
pertes électriques spécifiques dues aux ventilateurs	Pelecs	kW/kg clinker	calcul

Tableau 19: Paramètres du rendement du refroidisseur

Pour le ventilateur 442 FN 030:

$\rho_{ref1} = 0,94 \text{ kg/m}^3$

$Q_{ref1} = 119160 \text{ m}^3/\text{h}$

$N_{ref1} = 135,72 \text{ kW}$

$n_{ref1} = 995 \text{ rpm}$

$P_{tref1} = 3450 \text{ Pa}$

Pour le ventilateur 541 FN 310:

$$\rho_{ref2} = 1,205 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{ref2} = 19440 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N_{ref2} = 7,03 \text{ kW}$$

$$n_{ref2} = 1054 \text{ rpm}$$

$$P_{tref2} = 1069 \text{ Pa}$$

$$\text{Référence} = 0^\circ\text{C}$$

$$1) \quad C_{p_{TK0}} = 0,186 + (54 \times T_{K0} \cdot 10^{-6})$$

$$C_{p_{1450}} = 0,186 + (54 \times 1450 \cdot 10^{-6}) = 0,2643 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$2) \quad C_{p_{ATEX}} = 0,237 + 23 \cdot 10^{-6} \cdot T_{EX}$$

$$3) \quad C_{p_{ATCA}} = 0,237 + (23 \times T_{CA} \cdot 10^{-6})$$

$$4) \quad Q_m = N \cdot \frac{1}{n^2} \cdot \eta \cdot \frac{n_{ref}^2 \cdot \rho_{ref}}{P_{tref}}$$

$$5) \quad Q_{m_{Totale}} = Q_{m_{442FN030}} + Q_{m_{541FN310}} = Q_{m1} + Q_{m2}$$

$$Q_{m_{Totale}} = N_1 \cdot \frac{1}{n_1^2} \cdot \eta_1 \cdot \frac{n_{ref1}^2 \cdot \rho_{ref1}}{P_{tref1}} + N_2 \cdot \frac{1}{n_2^2} \cdot \eta_2 \cdot \frac{n_{ref2}^2 \cdot \rho_{ref2}}{P_{tref2}}$$

$$6) \quad M_{EX} = \frac{Q_{m_{Totale}}}{kg_clinker/h}$$

$$M_{EX} = \frac{N_1 \cdot \frac{1}{n_1^2} \cdot \eta_1 \cdot \frac{n_{ref1}^2 \cdot \rho_{ref1}}{P_{tref1}} + N_2 \cdot \frac{1}{n_2^2} \cdot \eta_2 \cdot \frac{n_{ref2}^2 \cdot \rho_{ref2}}{P_{tref2}}}{kg_clinker/h}$$

$$7) \quad kgair_de_refroidissement / h = \rho_N (Q_{N1} + Q_{N2} + Q_{N3} + Q_{N4})$$

$$8) \quad M_{CA} = \frac{kgair_de_refroidissement / h}{kg_clinker/h}$$

$$M_{CA} = \frac{\rho_N (Q_{N1} + Q_{N2} + Q_{N3} + Q_{N4})}{kg_clinker/h}$$

$$9) \quad RA = \frac{4.10^{-8} \cdot (T_v^4 - T_a^4) \cdot S}{kg_clinker/h}$$

$$10) \quad CON = \frac{80,33 \cdot \left(\frac{T_v + T_a}{2}\right)^{-0,724}}{kg_clinker/h} \cdot (T_v - T_a)^{1,333} \cdot S$$

$$11) \quad Pertes_refroidisseur = T_{K0} \cdot Cp_{KTK0} + M_{EX} \cdot T_{EX} \cdot Cp_{ATEX} + RA + CON$$

$$Pertes_refroidisseur = 1450 \cdot Cp_{1450} + M_{EX} \cdot T_{EX} \cdot Cp_{ATEX} + RA + CON$$

$$12) \quad \eta\% = 100 - \frac{100 \cdot pertes_refroidisseur}{(1450 \cdot Cp_{K1450}) + (Mca \cdot Tca \cdot Cp_{ATCA})}$$

$$13) \quad \Delta T = T - 0^\circ C$$

$$14) \quad P_{clinker} = Cp_{KTK0} \times \Delta T_{K0}$$

$$15) \quad P_{EX} = Qm_{Total} \cdot \frac{Cp_{ATEX} \cdot \Delta T_{EX}}{Qm_{clk}}$$

$$16) \quad P_R = P_{clinker} + P_{EX}$$

$$17) \quad CSR = \frac{Qm_{clk} \times 24h}{37} (t / 24h / m^2)$$

$$CSR = \left(\frac{CSR}{47,3} - 1 \right) \times 100 (\%)$$

$$18) \quad DATV = Q_{N1} + Q_{N2} + Q_{N3} + Q_{N4}$$

$$19) \quad DATM = \rho_0 \cdot DATV$$

$$20) \quad DATS = \frac{DATM}{Qm_{clk}}$$

$$21) \quad Pelecs = \frac{P_{N1} + P_{N2} + P_{N3} + P_{N4}}{Qm_{clk}}$$

$$22) \quad Pelec = P_{N1} + P_{N2} + P_{N3} + P_{N4}$$

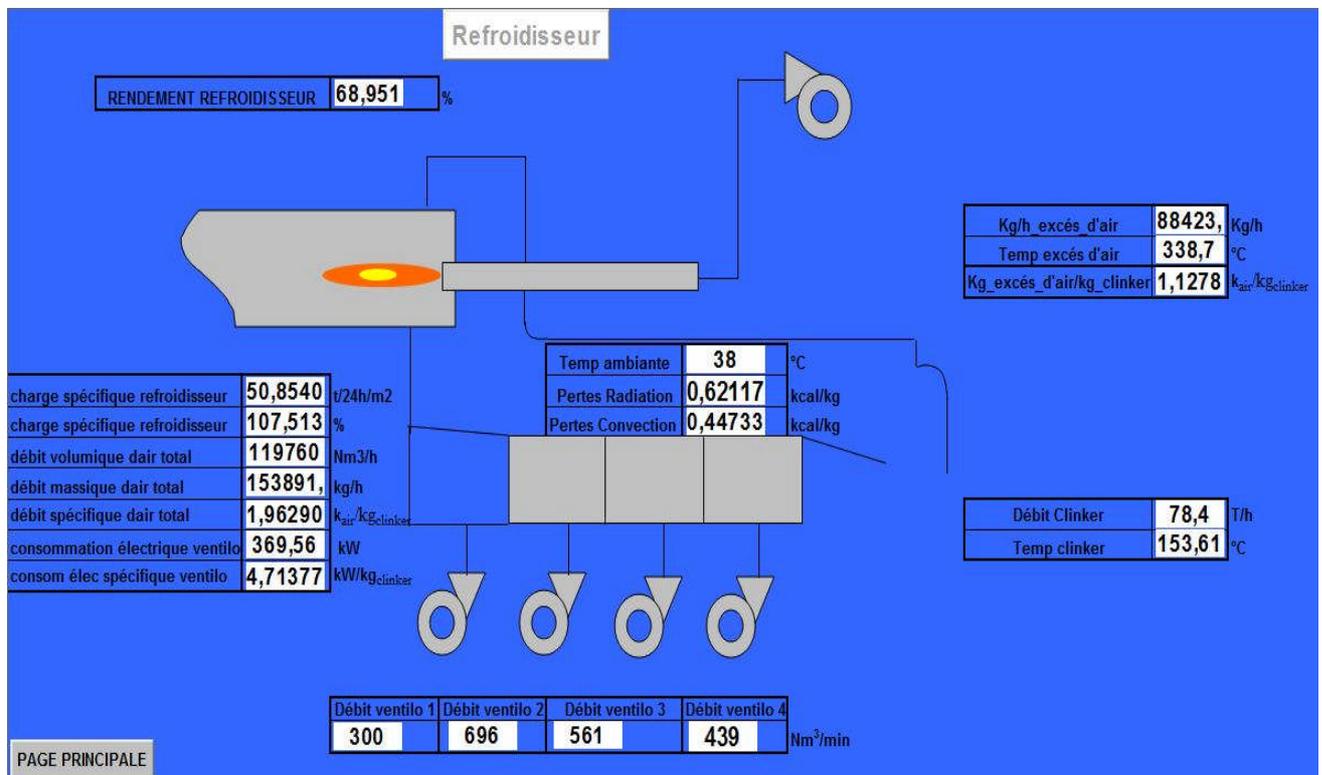
Synoptiques de saisie des paramètres de calcul du rendement du refroidisseur:

REFROIDISSEUR					
Temp Clinker	153,61	°C	Densité ref1	0,94	kg/Nm ³
Temp excès air	338,7	°C	Débit ref1	119160	Nm ³ /h
Débit ventilo1	300	Nm ³ /min	Puissance ref1	135,72	kW
Débit ventilo2	696	Nm ³ /min	Vitesse ref1	985	rpm
Débit ventilo3	561	Nm ³ /min	Pression ref1	3450	Pa
Débit ventilo4	439	Nm ³ /min	Densité ref2	1,205	kg/Nm ³
Puissance ventilo1	80	%	Débit ref2	19440	Nm ³ /h
Puissance ventilo2	83	%	Puissance ref2	7,03	kW
Puissance ventilo3	81	%	Vitesse ref2	1354	rpm
Puissance ventilo4	73	%	Pression ref2	1069	Pa
Puissance 1	20,91	kW	Débit mass. Clinker	78,4	T/h
Vitesse 1	48,96	%	Densité air	1,285	kg/Nm ³
Rendement1	0,85	%	Surface virole	123	m ²
Puissance 2	43,2	%	Temp virole	99,5	°C
Vitesse 2	92	%	Temp ambiante	38	°C
Rendement 2	0,85	%	Temp air refroi.	38	°C

indice "1" = ventilateur de soufflage 442 FN 030
 indice "2" = ventilateur de soufflage 541 FN 310

CALCUL REFROIDISSEUR

Synoptique du refroidisseur :



1.2.5. Vue d'ensemble des paramètres de la ligne cuisson¹

🔗 Sources des paramètres liés à la ligne cuisson

Désignation	Symbole	Unité	Source
Température boîte à fumée	T _{BF}	°C	mesure
Température rising pipe	Trp	°C	mesure
Température capot de chauffe	T _{CC}	°C	mesure
Oxyde de carbone boîte à fumée	CO _{2BF}	%	mesure
Oxyde de carbone cyclone 1	CO _{2C1}	%	mesure
temps de marche	t _{marche}	h	mesure
Période	période	h	mesure
Phase liquide	PL	%	Laboratoire
Aptitude à la cuisson	A _{PC}		Laboratoire
oxyde de soufre au cyclone 5	SO _{3C5}	%	Laboratoire
chlorure au cyclone 5	Cl _{C5}	%	Laboratoire
oxyde de soufre à la boîte à fumée	SO _{3BF}	%	Laboratoire
chlore à la boîte à fumée	Cl _{BF}	%	Laboratoire
Chaux libre	CaOl	%	Laboratoire
poids au litre	PLtr	kg/l	Laboratoire
Sulfure de carbone	C _{3S}	%	Laboratoire
Sulfate de carbone	C _{2S}	%	Laboratoire
aluminat tricalcique	C _{3A}	%	Laboratoire
Taux de décarbonatation du cyclone 5	TD _{C5}	%	Laboratoire
Rebus	Rebus	Tonne	Laboratoire
Température zone	Tz	°C	EC
Température au cône 1	T _{cone1}	°C	ECS
Température au cône 2	T _{cone2}	°C	ECS
Température à la gaine tertiaire	T _{GT}	°C	ECS
Température au cyclone 5	T _{c5}	°C	ECS
Température au cyclone 1	T _{c1}	°C	ECS
Température de l'excès d'air	T _{EX}	°C	ECS

¹FLSMidth "Les Ciments Du Sahel -Cimenterie de Kirène Cours de production" Volume 3 ; Edition 2005

Température du clinker à la sortie du refroidisseur	T_{K0}	°C	ECS
Oxygène boite à fumée	O_{2BF}	%	ECS
Oxygène cyclone 1	O_{2C1}	%	ECS
Débit d'alimentation du four	D_{ALFour}	T/h	ECS
Consommation spécifique du fuel	CSF	kcal/kg	ECS
Taux de remplissage	TR	%	ECS
Charge volumétrique	CV		ECS
Burning zone load	BZL		ECS
vitesse du four	Vf	rpm	ECS
courant du four	If	%	ECS
vitesse Id Fan en%	$V_{IDF\%}$	%	ECS
puissance Id Fan	P_{IDF}	kW	ECS
Débit clinker	D_{kk}	T/h	ECS
Excès d'air boite à fumée	λ_{BF}	%	ECS
Excès d'air cyclone 1	λ_{C1}	%	ECS
Vitesse Id Fan	V_{IDF}	rpm	calcul
Quantité produite	Q_{pdt}	Tonne	calcul
Consommation spécifique du fuel relatif à la consommation de référence	RCSF	%	calcul
Taux de rendement synthétique	TRS	%	calcul
Taux de qualité	D_Q	%	calcul
Taux de fonctionnement brut	D_0	%	calcul
Rendement vitesse	Rv	%	calcul
débit clinker relatif au débit maximal	RD_{kk}	%	calcul

Tableau 20: Paramètres de la vue d'ensemble

$$1) \quad RD_{kk} = \frac{D_{kk} \times 100}{80}$$

$$2) \quad RCSF = \frac{CSF \times 100}{720}$$

$$3) \quad Q_{pdt} = t_{marche} \times D_{kk}$$

$$4) \quad R_v = \frac{D_{KK}}{80} \times 100$$

$$5) \quad D_Q = \frac{Q_{pdt} - Rebus}{Q_{pdt}} \times 100$$

$$6) \quad D_0 = \frac{t_{marche}}{periode} \times 100$$

$$7) \quad TRS = \frac{D_Q \times D_0 \times R_v}{10000}$$

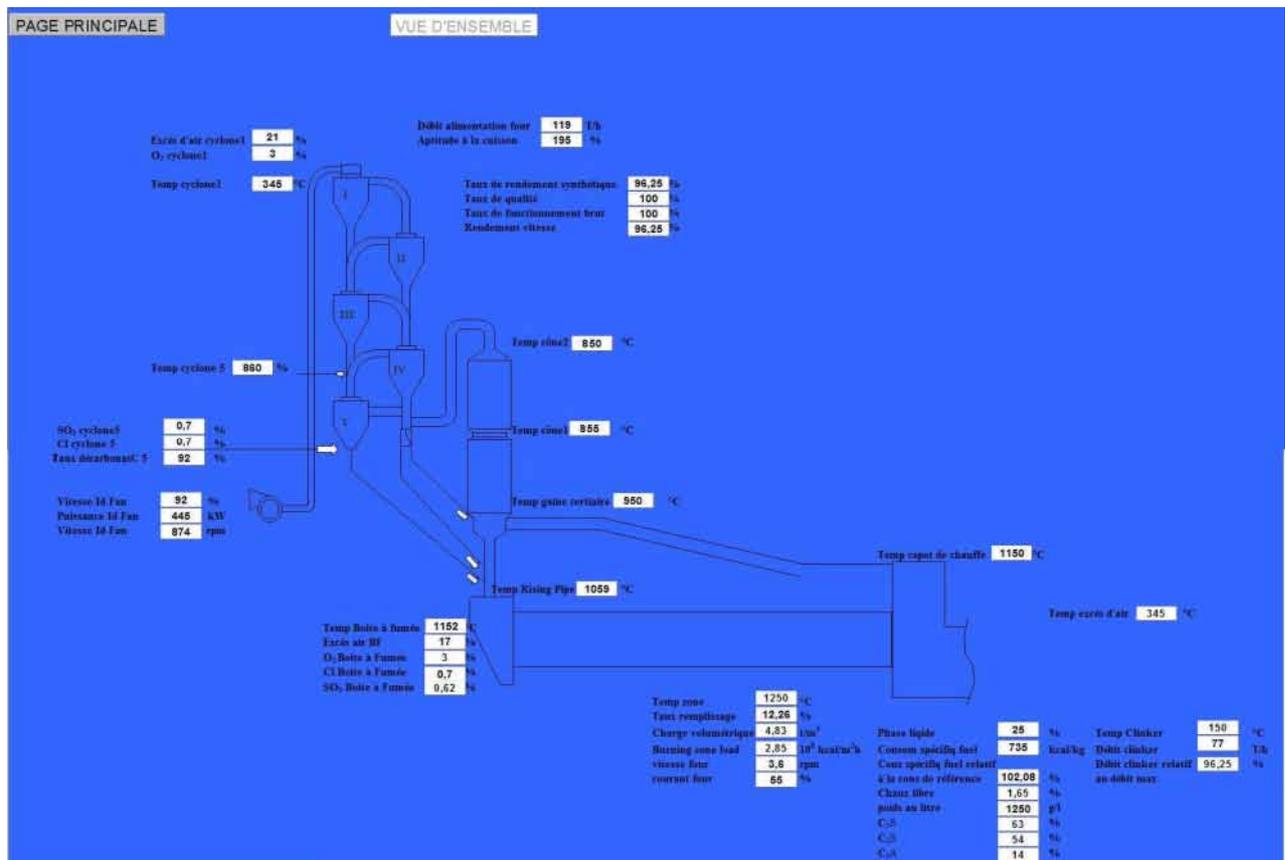
$$8) \quad V_{IDF} = \frac{V_{IDF(\%)} \times 950}{100}$$

Synoptique de saisie du calcul des paramètres de la ligne cuisson

VUE D'ENSEMBLE					
Temp zone	1250	°C	Débit alimentation	119	T/h
Temp Boite à Fumée	1152	°C	Consommation spécifique fuel	735	kcal/kg
Temp cone1	855	°C	Poids au litre	1250	kg/l
Temp cone2	850	°C	C ₃ S	63	%
Temp gaine ter	950	°C	C ₂ S	54	%
Temp Cyclone 5	860	°C	C ₃ A	14	%
Temp Cyclone 1	345	°C	Taux décarbonatation cycl5	92	%
Temp capo de Chauff	1150	°C	Taux de remplissage	12,26	%
O ₂ cyclone 1	3	%	Charge volumétrique	4,83	t/m ³
CO ₂ Boite à fumée	32	%	Burning zone load	2,85	10 ⁶ kcal/m ² h
CO ₂ Cyclone 1	32	%	Vitesse four	3,6	rpm
Phase liquide	25	%	Courant du four	55	%
Aptitude cuisson _(CaO 1450°C)	195	%	Vitesse Id Fan	92	%
SO ₃ Boite à fumée	0,62	%	puissance Id Fan	445	kW
Cl Boite à fumée	0,7	%	temps de marche	1	h
Chaux libre	1,65	%	periode	1	h
Excès air B. à Fumée	17	%	Rebus clinker	0	T/h
Excès air Cyclone 1	21	%	O ₂ boite à fumée	3	%
Temp Clinker	150	°C	Temp excès air refroidisseur	345	°C
Débit clinker	77	T/h	Cl cyclone 5	0,7	%
			SO ₃ cyclone 5	0,7	%

CALCUL VUE D'ENSEMBLE

Synoptique de la vue d'ensemble



1.2.6. Bilan thermique¹

Il s'agit d'établir le bilan thermique de la ligne de cuisson à partir du cyclone 1 jusqu'au refroidisseur de clinker.

La précision des résultats est estimée à environ (+/-) 2 %. Le but principal est de discrétiser le flux d'énergie à travers le système, ceci permettra de mener des actions correctives et des études pour réduire la consommation spécifique de combustible.

Un bilan thermique dépend des conditions suivantes :

- définir le système ;
- identifier l'entrée et la sortie du flux de matière ;
- définir la température de référence.

Pour réaliser un bilan thermique sûr, le système étudié doit avoir un rendement relativement constant durant une certaine période, quelques jours par exemple. Les résultats doivent refléter les valeurs moyennes d'une équipe de 8 heures par exemple.

Lorsqu'on établit un bilan thermique, on doit d'abord choisir la température de référence à partir de laquelle la teneur en chaleur doit être calculée.

La référence de température est de 0°C. Notons cependant que les pertes par rayonnement et convection ne seront pas déterminées.

Sources des paramètres liés au bilan thermique :

Désignation	Symbole	Unité	Source
Oxygène cyclone 1	O _{2C1}	%	mesure
Oxyde de carbone cyclone 1	CO _{2C1}	%	mesure
débit massique de clinker	Q _{mclinker}	kg/h	mesure
teneur totale en carbonate de calcium dans la farine crue	CaCO ₃	%	mesure
température cyclone 1	TC1	°C	mesure
teneur massique en eau libre à l'alimentation (farine crue)	H _{2OLb}	%	mesure
teneur massique en eau liée à l'alimentation (farine crue)	H _{2OL}	%	mesure
pourcentage massique d'oxyde de calcium dans le clinker	CaO	%	mesure
pourcentage massique d'oxyde de magnésium dans le clinker	MgO	%	mesure

¹FLSMidth "Les Ciments Du Sahel -Cimenterie de Kirène Cours de production" Volume 3 ; Edition 2005

pourcentage massique d'oxyde d'aluminium dans le clinker	Al_2O_3	%	mesure
pourcentage massique de dioxyde de silicium dans le clinker	SiO_2	%	mesure
pourcentage massique d'oxyde de fer dans le clinker	Fe_2O_3	%	mesure
pourcentage massique d'oxyde de potassium dans le clinker	K_2O	%	mesure
pourcentage massique d'oxyde de sodium dans le clinker	Na_2O	%	mesure
pourcentage massique eau liée dans la farine crue	H_2O	%	mesure
débit massique charbon (four + précalcinateur)	Q_{mchar}	kg/h	mesure
pouvoir calorifique inférieur du charbon	P_{Cchar}	kcal/kg	Laboratoire
perte au feu de la farine crue	LOI	%	laboratoire
Valeur abaques en fonction de λ	$Vab\lambda$	%	abaque
Enthalpie de l'eau libre	H_{H_2OLb}	kcal/kg	abaque
Consommations spécifiques du fuel	CSF_T	kcal/kg	ECS
débit massique des poussières en kg/h	$Q_{mpoussières}$	kg/h	données
Débit massique farine crue	B	kg/h	calcul
Excès d'air cyclone 1	λ_{C1}	%	calcul
Pertes en produits de combustion	P_{pc}	kcal/kgclinker	calcul
Variation de température	ΔT	°C	calcul
Débit massique de CO2 provenant de la farine crue	Q_{mCO_2}	kg/h	calcul
pertes dues au CO2	P_{CO_2}	kcal/kgclinker	calcul
capacité thermique massique du CO2	C_{pCO_2}	kcal/kg°C	calcul
débit massique eau libre à l'alimentation	Q_{mH_2OLb}	kg/h	calcul
pertes dues à l'eau libre	P_{H_2OLb}	kcal/kgclinker	calcul
débit massique eau liée à l'alimentation	Q_{mH_2OL}	kg/h	calcul
pertes dues à l'eau liée	P_{H_2OL}	kcal/kgclinker	calcul
capacité thermique massique de l'eau liée	C_{pH_2OL}	kcal/kg°C	calcul
pertes dues aux poussières	$P_{poussières}$	kcal/kgclinker	calcul
capacité thermique massique des poussières	$C_{ppoussières}$	kcal/kg°C	calcul
Pertes au cyclone 1	P_{C1}	kcal/kgclinker	calcul
pertes par réaction chimique	P_{RC}	$k_{cal}/kg_{clinker}$	calcul
entrée de chaleur de combustion	C_c	$k_{cal}/kg_{clinker}$	calcul

Tableau 21 : Paramètres du bilan thermique

$$1) P_{pc} = \frac{V_{ab}\lambda}{1000} \times CSF_T$$

$$2) \lambda = \frac{79O_2}{0,21(100 - CO_2) - O_2}$$

$$3) B = Qm_{clinker} \times \frac{100}{100 - LOI}$$

$$4) Qm_{CO_2} = B \cdot \frac{CaCO_{3T} \times 44}{10000}$$

$$5) P_{CO_2} = Qm_{CO_2} \cdot Cp_{CO_2} \cdot \Delta T \cdot \frac{1}{Qm_{clinker}}$$

$$6) \Delta T = T_{C1} - 0^\circ C$$

$$7) Cp_{CO_2} = 0,196 + 118 \cdot 10^{-6} \cdot TC1 - 43 \cdot 10^{-9} \cdot TC1^2$$

$$8) Qm_{H_2OLb} = B \cdot \frac{H_{2OLb}}{100 - H_{2OLb}}$$

$$9) P_{H_2OLb} = Qm_{H_2OLb} \cdot \frac{H_{H_2OLb}}{Qm_{clinker}}$$

$$10) Qm_{H_2OL} = B \cdot \frac{H_{2OL}}{100}$$

$$11) P_{H_2OL} = Qm_{H_2OL} \cdot \frac{Cp_{H_2OL} \cdot \Delta T}{Qm_{clinker}}$$

$$12) Cp_{H_2OL} = 0,443 + 39 \cdot 10^{-6} \cdot TC1 + 28 \cdot 10^{-9} \cdot TC1^2$$

$$13) Qm_{poussière} = 9000 \text{ kg/h si le broyeur est à l'arrêt}$$

$$14) Qm_{poussière} = 6000 \text{ kg/h si le broyeur est en marche}$$

$$15) P_{poussières} = Qm_{poussières} \cdot \frac{Cp_{poussiere} \cdot \Delta T}{Qm_{clinker}}$$

$$16) Cp_{poussières} = 0,206 + 101 \cdot 10^{-6} \cdot TC1 - 37 \cdot 10^{-9} \cdot TC1^2$$

$$17) \quad P_{C1} = P_{pc} + P_{CO_2} + P_{H_2O_L} + P_{H_2O_{Lb}} + P_{poussières}$$

$$18) \quad P_{RC} = 7,646CaO + 6,48MgO + 2,22Al_2O_3 + \frac{1160}{100 - LOI} H_2O - 5,116SiO_2 - 0,59Fe_2O_3 - 10(K_2O + Na_2O)$$

$$19) \quad Cc = P_{C1char} \cdot \frac{Qm_{char}}{Qm_{clk}}$$

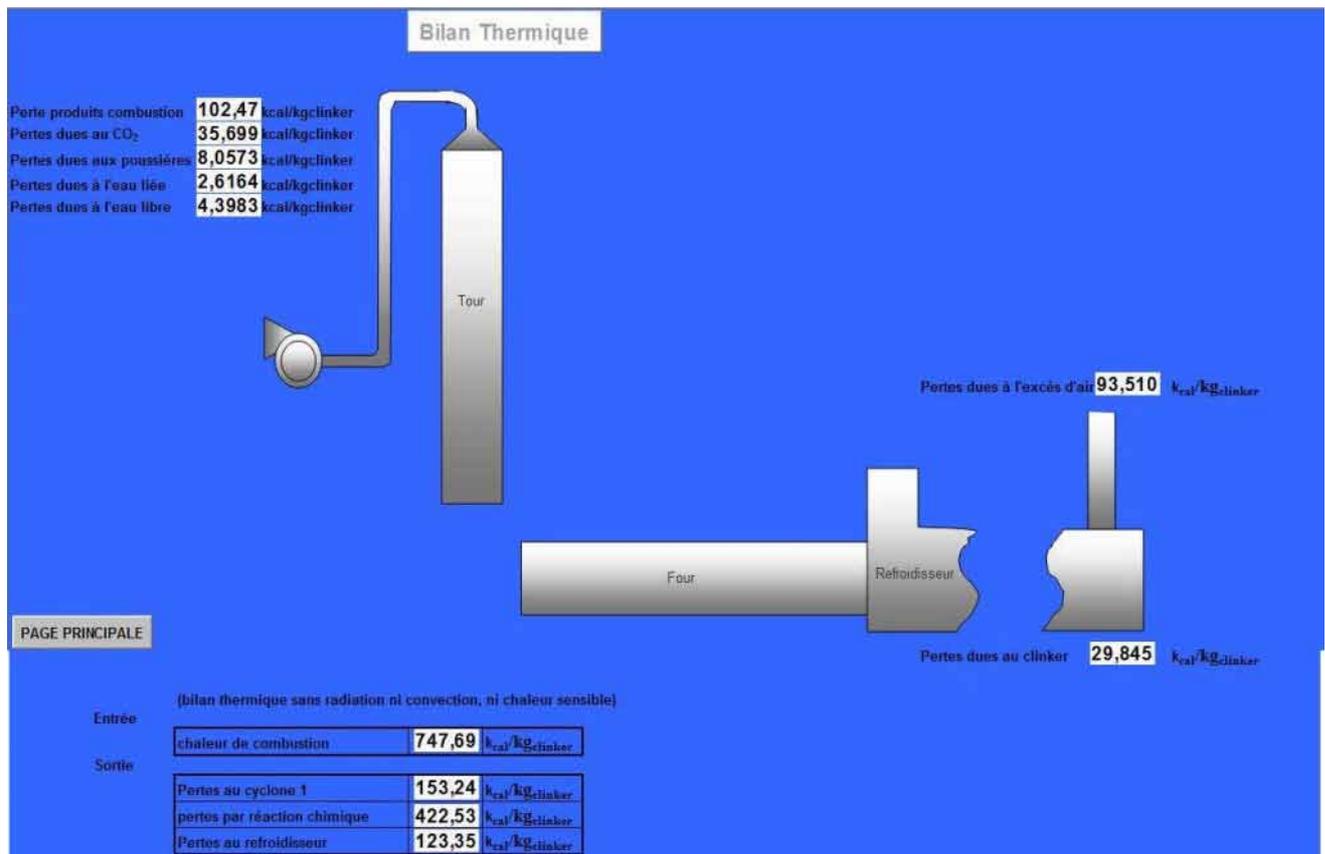
Synoptique de saisie des paramètres de calcul du bilan thermique:

BILAN THERMIQUE					
O ₂ cyclone 1	2,75	%	CaO	65,95	%
CO ₂ cyclone 1	32,85	%	MgO	0,71	%
calcul excès d'air Cyclone 1	19,138	%	Al ₂ O ₃	5,41	%
			SiO ₂	22,41	%
Valeur abaque f(λ)	137,28	kcal/kg	LOI	35,39	%
Q _m clinker	78,4	T/h	Fe ₂ O ₃	3,55	%
CaCO ₃	76,77	%	K ₂ O	0,37	%
Temp cyclone 1	300,1	°C	Na ₂ O	0	%
H ₂ O libre	0,38	%	H ₂ O	1,232	%
H ₂ O liée	1,232	%	Débit charbon total	6084	kg/h
LOI C1	35,39	%	PCI charbon	9635	kcal/kg
H H ₂ O libre(abaque)	745	kcal/kg			
Conso Spécifiq Fuel	746,44	kcal/kg			
Débit poussières	9,035	T/h			

Pour les pertes clinker, pertes excès air et et pertes refroidisseur saisir la zone refroidisseur

CALCUL BILAN THERMIQUE

Synoptique du bilan thermique



1.2.7. Les volatiles¹

Les principaux éléments volatiles sont :

- ✓ Na : sodium
- ✓ K : potassium
- ✓ Cl : chlorure
- ✓ SO₃ : sulfure

Na et K, dénommés Alkalis, proviennent de la matière tandis que le SO₃ provient en très grande partie du combustible. Les chlorures quant à eux augmentent la volatilité des produits dont ils sont combinés.

Les éléments volatils, alcalis et soufre, sont parfois piégés et évacués du four avec le clinker. Ils se condensent alors dans les minéraux du clinker, principalement dans l'aluminate tricalcique, et améliorent les propriétés et performances des ciments fabriqués dans une certaines limites. Dans les éléments mineurs, les alcalins sont très importants pour leur influence sur les propriétés du ciment. Ils augmentent les résistances initiales du ciment. En forte concentration, ils peuvent, par leurs réactions avec des granulats contenant une silice mal cristallisée, diminuer fortement la durabilité des ouvrages en béton. Les alcalis sont souvent exprimés sous la forme **alcalis équivalents ou Na₂O_{eq}** pour prendre en considération la différence de poids moléculaire du sodium et du potassium. Une forte concentration de volatiles peut entraîner des bouchons, des arrêts et des réductions de débit.

Sources des paramètres liés au cyclone 1

Désignation	Symbole	Unité	Source
Teneur en cendres du charbon dans 1kg de clinker	TCC _{char}	%	calcul
oxyde de sodium contenu dans la farine crue du cyclone 1, valeur avec LOI free	Na ₂ O _{vfl}	%	calcul
oxyde de sodium contenu dans la matière fraîche du cyclone1 et celle du charbon	Na ₂ O _{mflc}	%	calcul
oxyde de potassium contenu dans la farine crue du cyclone 1, valeur avec LOI free	K ₂ O _{vfl}	%	calcul
oxyde de potassium contenu dans la matière fraîche du cyclone1 et celle du charbon	K ₂ O _{mflc}	%	calcul

¹FLSMidth "Les Ciments Du Sahel -Cimenterie de Kirène Cours de production" Volume 3 ; Edition 2005

sulfure contenu dans la farine crue du cyclone 1, valeur avec LOI free	SO_{3vlf1}	%	calcul
sulfure contenue dans la matière fraîche du cyclone1 et celle du charbon	SO_{3mf1c}	%	calcul
chlore contenu dans la farine crue du cyclone 1, valeur avec LOI free	Cl_{vlf1}	%	calcul
Chlore contenue dans la matière fraîche du cyclone1 et celle du charbon	Cl_{mf1c}	%	calcul
Chaleur spécifique du charbon	C_{schar}	kcal/kg	ECS
Teneur en cendres du charbon	TC_{char}	%	Laboratoire
Pouvoir Calorifique Inférieur du charbon	PCI_{char}	kcal/kg	Laboratoire
pertes au feu de la farine crue dans le cyclone 1	LOI_{fcc1}	%	Laboratoire
Teneur en oxyde de sodium dans les cendres de charbon	Na_2O_{vc}	%	Laboratoire
valeur base clinker d'oxyde de sodium	Na_2O_{vbc}	%	Laboratoire
oxyde de sodium contenu dans la farine crue du cyclone 1	Na_2O_{fcc1}	%	Laboratoire
teneur en oxyde de potassium dans les cendres de charbon	K_2O_{vc}	%	Laboratoire
valeur base clinker d'oxyde de potassium	K_2O_{vbc}	%	Laboratoire
oxyde de potassium contenu dans la farine crue du cyclone 1	K_2O_{fcc1}	%	Laboratoire
teneur en sulfure dans les cendres de charbon	SO_{3vc}	%	Laboratoire
valeur base clinker de trioxyde de soufre	SO_{3vbc}	%	Laboratoire
sulfure contenu dans la farine crue du cyclone 1	SO_{3fcc1}	%	Laboratoire
teneur en chlore dans les cendres de charbon	Cl_{vc}	%	Laboratoire
valeur base clinker du chlore	Cl_{vbc}	%	Laboratoire
chlore contenu dans la farine crue du cyclone 1	Cl_{fcc1}	%	Laboratoire

Tableau 22: Paramètres des volatiles du cyclone1

Sources des paramètres liés au cyclone 5

Désignation	Symbole	Unité	Source
oxyde de sodium contenu dans la farine crue du cyclone 5, valeur avec LOI free	Na_2O_{vlf5}	%	calcul
oxyde de potassium contenu dans la farine crue du cyclone 5, valeur avec LOI free	K_2O_{vlf5}	%	calcul
sulfure contenu dans la farine crue du cyclone 5, valeur avec LOI free	SO_{3vlf5}	%	calcul
chlore contenu dans la farine crue du cyclone 5, valeur avec LOI free	Cl_{vlf5}	%	calcul
pertes au feu de la farine crue dans le cyclone 5	LOI_{fcc5}	%	Laboratoire

oxyde de sodium contenu dans la farine crue du cyclone 5	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{fcc5}}$	%	Laboratoire
oxyde de potassium contenu dans la farine crue du cyclone 5	$\text{K}_2\text{O}_{\text{fcc5}}$	%	Laboratoire
sulfure contenu dans la farine crue du cyclone 5	$\text{SO}_{3\text{fcc5}}$	%	Laboratoire
chlore contenu dans la farine crue du cyclone 5	Cl_{fcc5}	%	Laboratoire

Tableau 23: Paramètres des volatiles du cyclone5

 Sources des paramètres liés au clinker :

Désignation	Symbole	Unité	Source
oxyde de sodium contenu dans le clinker	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{clk}}$	%	Laboratoire
oxyde de potassium contenu dans le clinker	$\text{K}_2\text{O}_{\text{clk}}$	%	Laboratoire
sulfure contenu dans le clinker	$\text{SO}_{3\text{clk}}$	%	Laboratoire
chlore contenu dans le clinker	Cl_{clk}	%	Laboratoire
Débit clinker	D_{kk}	T/h	ECS
Somme de l'oxyde de sodium et de l'oxyde de potassium contenus dans le clinker	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq1clk}}$	%	calcul
Oxyde de sodium équivalent	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq2clk}}$	%	calcul

Tableau 24: Paramètres du clinker

 Sources des paramètres liés à la volatilité

Désignation	Symbole	Source
Volatilité de l'oxyde de Sodium	Volatilité Na_2O	calcul
Volatilité de l'oxyde de potassium	Volatilité K_2O	calcul
Volatilité du trioxyde de Soufre	Volatilité SO_3	calcul
Volatilité du chlore	Volatilité Cl	calcul

Tableau 25: Volatilités

 Sources des autres paramètres

Désignation	Symbole	Unité	Source
Oxygène boîte à fumée	$\text{O}_{2\text{BF}}$		ECS
Température au rising pipe	T_{rp}	°C	ECS
Test ringardage	Test ringardage		calcul
Soufre en excès	Soufre en excès		calcul
Ratio sulfate/ alkalis	Ratio sulfate/alkalis		calcul

Tableau 26 : Autres paramètres des volatiles

$$TCC_{\text{char}} = \frac{C_{s_{\text{char}}}}{PCI_{\text{char}}} \times \frac{TC_{\text{char}}}{100}$$

- Cyclone 1

- ✓ Calcul de l'oxyde de sodium total entrée matière + charbon (Na_2O_{mf1c})

$$Na_2O_{vbc} = Na_2O_{vc} \times TCC_{\text{char}} = \frac{Na_2O_{vc}}{100} \times \frac{C_{s_{\text{char}}}}{PCI_{\text{char}}} \times \frac{TC_{\text{char}}}{100}$$

$$Na_2O_{vfl1} = \frac{Na_2O_{fcc1}}{100 - LOI_{fcc1}}$$

$$Na_2O_{mf1c} = (Na_2O_{vbc} + Na_2O_{vfl1}) \times 100 = \left(\frac{Na_2O_{fcc1}}{100 - LOI_{fcc1}} + \frac{Na_2O_{vc}}{100} \times \frac{C_{s_{\text{char}}}}{PCI_{\text{char}}} \times \frac{TC_{\text{char}}}{100} \right) \times 100$$

- ✓ Calcul de l'oxyde de potassium total entrée matière + charbon (K_2O_{mf1c})

$$K_2O_{vbc} = K_2O_{vc} \times TCC_{\text{char}} = \frac{K_2O_{vc}}{100} \times \frac{C_{s_{\text{char}}}}{PCI_{\text{char}}} \times \frac{TC_{\text{char}}}{100}$$

$$K_2O_{vfl1} = \frac{K_2O_{fcc1}}{100 - LOI_{fcc1}}$$

$$K_2O_{mf1c} = (K_2O_{vbc} + K_2O_{vfl1}) \times 100 = \left(\frac{K_2O_{fcc1}}{100 - LOI_{fcc1}} + \frac{K_2O_{vc}}{100} \times \frac{C_{s_{\text{char}}}}{PCI_{\text{char}}} \times \frac{TC_{\text{char}}}{100} \right) \times 100$$

- ✓ Calcul de trioxyde de soufre total entrée matière + charbon (SO_3_{mf1c})

$$SO_3_{vbc} = SO_3_{vc} \times TCC_{\text{char}} = \frac{SO_3_{vc}}{100} \times \frac{C_{s_{\text{char}}}}{PCI_{\text{char}}} \times \frac{TC_{\text{char}}}{100}$$

$$SO_3_{vfl1} = \frac{SO_3_{fcc1}}{100 - LOI_{fcc1}}$$

$$SO_3_{mf1c} = (SO_3_{vbc} + SO_3_{vfl1}) \times 100 = \left(\frac{SO_3_{fcc1}}{100 - LOI_{fcc1}} + \frac{SO_3_{vc}}{100} \times \frac{C_{s_{\text{char}}}}{PCI_{\text{char}}} \times \frac{TC_{\text{char}}}{100} \right) \times 100$$

- ✓ Calcul du chlore total entrée matière + charbon (Cl_{mflc})

$$Cl_{vbc} = Cl_{vc} \times TCC_{char} = \frac{Cl_{vc}}{100} \times \frac{C_{S_{char}}}{PCI_{char}} \times \frac{TC_{char}}{100}$$

$$Cl_{vfl1} = \frac{Cl_{fcc1}}{100 - LOI_{fcc1}}$$

$$Cl_{mflc} = (Cl_{vbc} + Cl_{vfl1}) \times 100 = \left(\frac{Cl_{fcc1}}{100 - LOI_{fcc1}} + \frac{Cl_{vc}}{100} \times \frac{C_{S_{char}}}{PCI_{char}} \times \frac{TC_{char}}{100} \right) \times 100$$

- Cyclone 5

- ✓ Calcul de l'oxyde de sodium avec LOI free (Na₂O_{vlf5})

$$Na_2O_{vlf5} = \frac{Na_2O_{fcc5}}{100 - LOI_{fcc5}} \times 100$$

- ✓ Calcul de l'oxyde de potassium avec LOI free (K₂O_{vlf5})

$$K_2O_{vlf5} = \frac{K_2O_{fcc5}}{100 - LOI_{fcc5}} \times 100$$

- ✓ Calcul de trioxyde de soufre avec LOI free (SO₃vlf5)

$$SO_3_{vlf5} = \frac{SO_3_{fcc5}}{100 - LOI_{fcc5}} \times 100$$

- Calcul du chlore avec LOI free (Cl_{vlf5})

$$Cl_{vlf5} = \frac{Cl_{fcc5}}{100 - LOI_{fcc5}} \times 100$$

- Test ringardage

$$\text{Test ringardage} = 2Cl_{fcc5} + SO_{3fcc5}$$

- Soufre en excès

$$\text{Soufre en excès} = 1000 \times SO_{3nflc} - 850 \times K_2O_{nflc} - 650 \times Na_2O_{nflc}$$

- Ratio sulfate/alkalis

$$\text{sulfate/alkalis} = \frac{\left(\frac{\text{SO}_{3\text{mf1c}}}{80} \right)}{\left(\frac{\text{K}_2\text{O}_{\text{mf1c}}}{94} + \frac{0,5 \times \text{Na}_2\text{O}_{\text{mf1c}}}{62} \right)}$$

- Clinker

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq2clk}} = \text{Na}_2\text{O}_{\text{clk}} + 1,5\text{K}_2\text{O}_{\text{clk}}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq1clk}} = \text{Na}_2\text{O}_{\text{clk}} + 0,658\text{K}_2\text{O}_{\text{clk}}$$

- Volatilité

- ✓ Volatilité de Na₂O

$$\text{Volatilité de Na}_2\text{O} = 1 - \left(\frac{\text{Na}_2\text{O}_{\text{clk}}}{\text{Na}_2\text{O}_{\text{vlf5}}} \right)$$

- ✓ Volatilité de K₂O

$$\text{Volatilité de K}_2\text{O} = 1 - \left(\frac{\text{K}_2\text{O}_{\text{clk}}}{\text{K}_2\text{O}_{\text{vlf5}}} \right)$$

- ✓ Volatilité de SO₃

$$\text{Volatilité de SO}_3 = 1 - \left(\frac{\text{SO}_{3\text{clk}}}{\text{SO}_{3\text{vlf5}}} \right)$$

- ✓ Volatilité de Cl

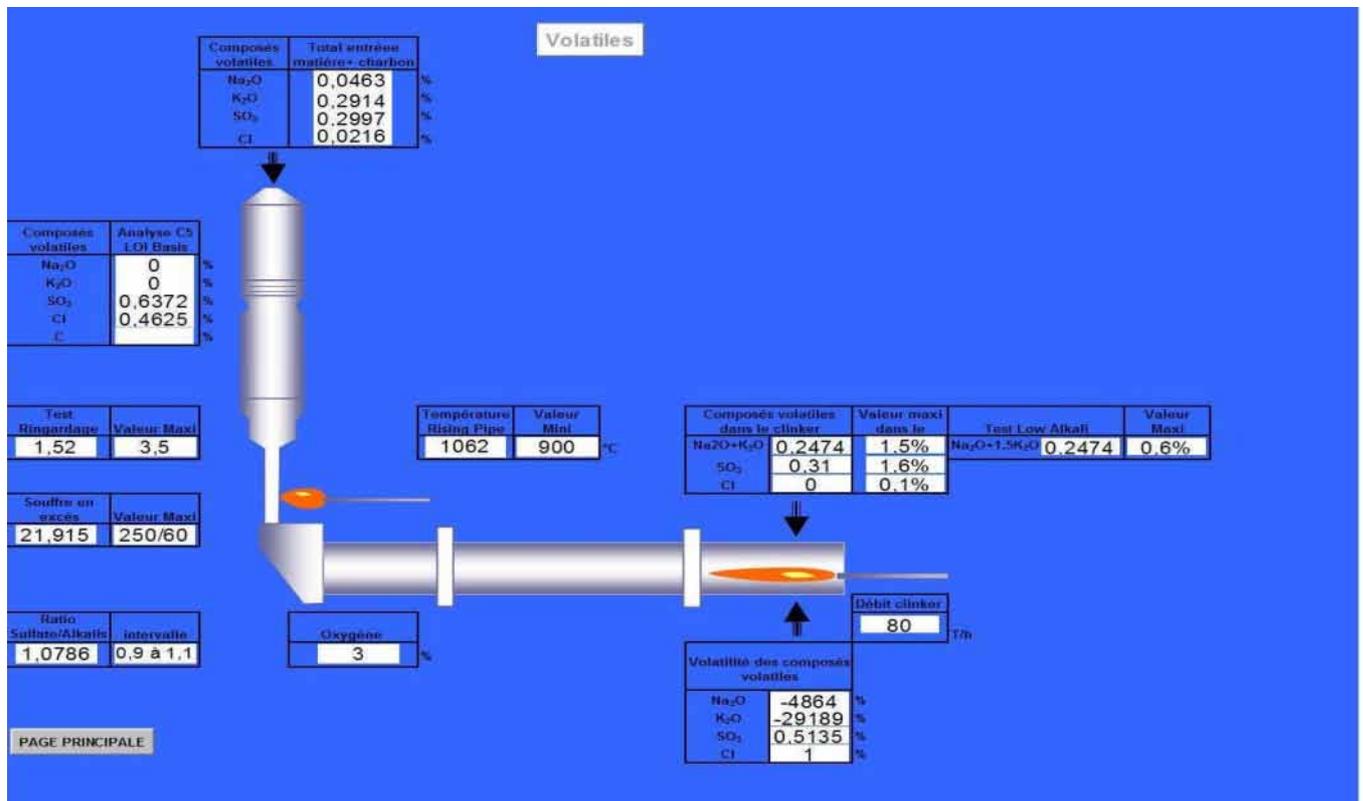
$$\text{Volatilité de Cl} = 1 - \left(\frac{\text{Cl}_{\text{clk}}}{\text{Cl}_{\text{vlf5}}} \right)$$

Synoptique de saisie des paramètres de calcul des volatiles :

VOLATILES			
FARINE CRUE Cyclone 1		ENTREES : CHARBON	
LOI	36	PCI charbon	6165 kcal/kg
Na ₂ O	0,03	Teneur en cendres	15,89 %
K ₂ O	0,18	Cscharbon	756 kcal/kg
SO ₃	0,098	Na ₂ O	0 %
Cl	0,0140	K ₂ O	0,70 %
		SO ₃	7,62 %
		Cl	0 %
FARINE CRUE Cyclone 5		SORTIE CLINKER	
LOI	2,7	Na ₂ O	0,05 %
Na ₂ O	0,00001	K ₂ O	0,3 %
K ₂ O	0,00001	SO ₃	0,31 %
SO ₃	0,62	Cl	0 %
Cl	0,45	Débit clinker	80 T/h
O ₂ boîte à fumée	3	Temp Rising Pipe	1062 °C

CALCUL VOLATILES

Synoptique des volatiles



CHAPITRE II : GUIDE D'UTILISATION DU MOTEUR DE CALCUL

Le progiciel est constitué de trois fichiers. Le premier est le programme principal, qui permet d'accéder au moteur de calcul et de synoptiques, et de consulter les fichiers déjà sauvegardés (archives). Le deuxième est le moteur de calcul proprement dit, qui nécessite un mot de passe et affiche une page principale à l'ouverture, permettant de naviguer à travers les différentes feuilles du fichier. Le troisième est constitué des fichiers consultations, qui s'ouvrent avec le même mot de passe que le moteur de calcul, mais dans lesquels aucun calcul ni modification ne peut être fait.



Figure 28 : programme principal du moteur de calcul

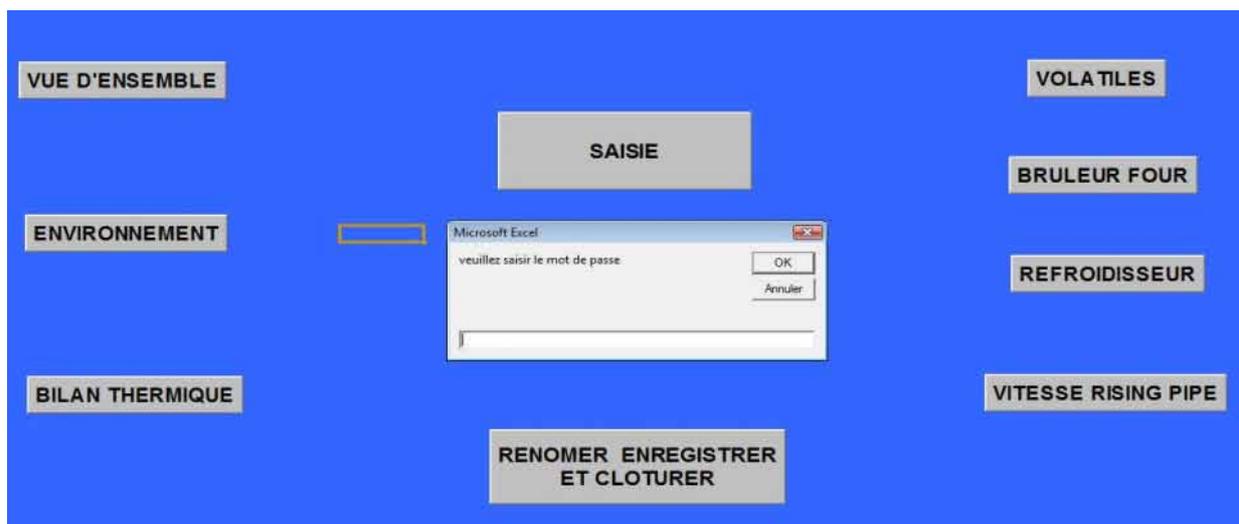


Figure 29 : Page principale de moteur de calcul automatisé et synoptique (avec demande de mot de passe)

Amélioration des opérations de conduite de l'atelier broyage ciment et conception d'un moteur de calcul automatisé et synoptiques pour la ligne cuisson

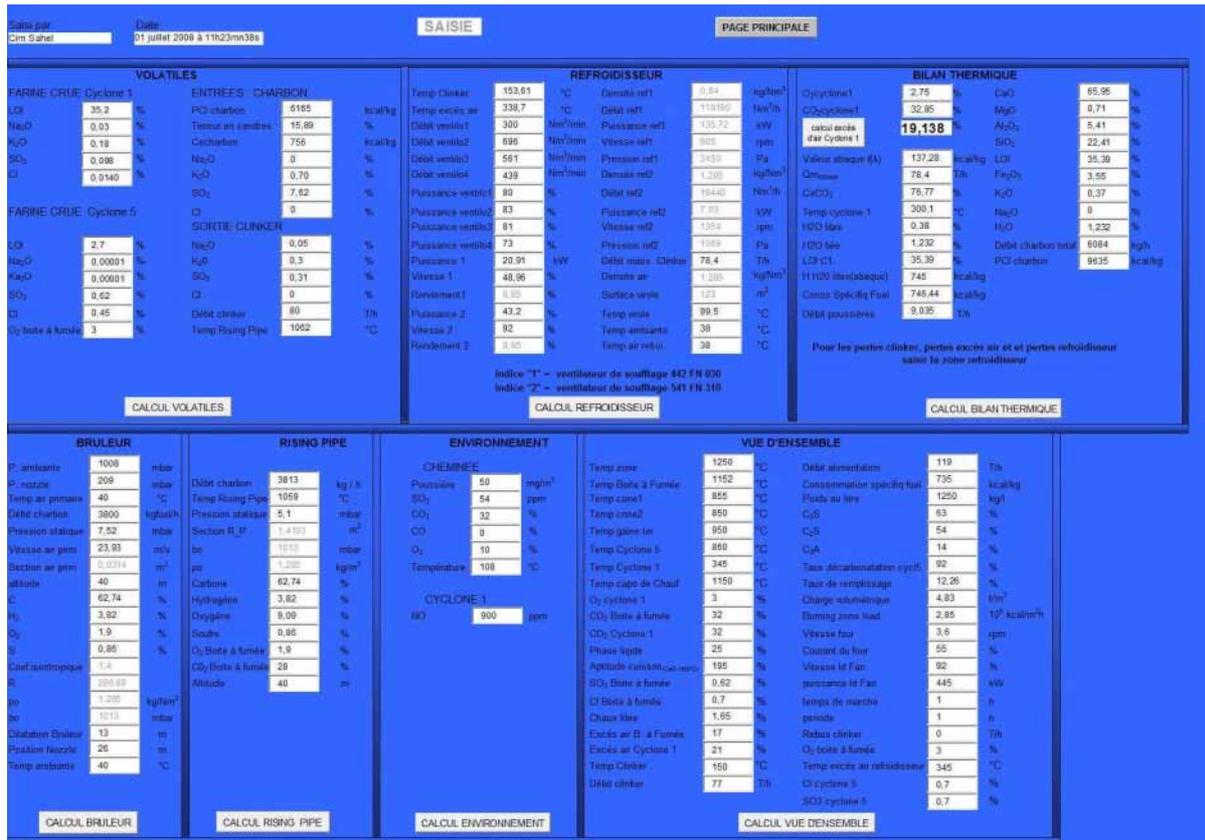


Figure 30 : Feuille saisie du moteur de calcul



Figure 31: Ouverture de fichier consultation (sans le bouton enregistrer)

Amélioration des opérations de conduite de l'atelier broyage ciment et conception d'un moteur de calcul automatisé et synoptiques pour la ligne cuisson

Saisie par		Date	SAISIE		PAGE PRINCIPALE									
Dim Sahel		01 juillet 2008 à 11h23mn36s												
VOLATILES			REFROIDISSEUR			BILAN THERMIQUE								
FARINE CRUE Cyclone 1 LOI 25.2 % H ₂ O 0.03 % K ₂ O 0.18 % SO ₂ 0.008 % Cl 0.0148 % FARINE CRUE Cyclone 5 LOI 2.7 % H ₂ O 0.0001 % K ₂ O 0.0001 % SO ₂ 0.02 % Cl 0.46 % O ₂ brûlé à fumée 0 %			ENTREES CHARBON PCI charbon 1100 kcal/kg Teneur en cendres 15.89 % Cacharbon 756 kcal/kg Na ₂ O 0 % K ₂ O 0.70 % SO ₂ 1.02 % Cl 0 % SORTIE CLINKER Na ₂ O 0.05 % K ₂ O 0.5 % SO ₂ 0.31 % Cl 0 % Débit clinker 80 t/h Temp Rising Pipe 1002 °C			Temp Clinker 1030.1 °C Temp excès air 396.7 °C Débit ventilo1 300 Nm³/min Débit ventilo2 695 Nm³/min Débit ventilo3 661 Nm³/min Débit ventilo4 439 Nm³/min Puissance ventilo1 80 % Puissance ventilo2 82 % Puissance ventilo3 81 % Puissance ventilo4 79 % Puissance 1 320.31 kW Vitesse 1 40.36 % Rendement1 0.85 % Puissance 2 43.2 % Vitesse 2 92 % Rendement 2 0.85 %			Demote ref1 0.34 kg/hm³ Débit ref1 119.86 Nm³/h Puissance ref1 135.72 kW Vitesse ref1 860 rpm Pression ref1 3480 Pa Demote ref2 1.305 kg/hm³ Débit ref2 38440 Nm³/h Puissance ref2 7.86 kW Vitesse ref2 1354 rpm Pression ref2 1068 Pa Débit excès Clinker 79.4 t/h Demote air 1.230 kg/hm³ Surface grille 123 m² Temp grille 98.9 °C Temp ambience 38 °C Temp air refuit 38 °C			O ₂ cyclone1 2.72 % CO ₂ cyclone1 32.45 % Débit excès air à fumée 19,138 t/h Valeur atique (KJ) 117.28 kcal/kg Débit excès air 78.4 t/h CaCO ₃ 70.77 % Temp cyclone 1 386.1 °C H ₂ O libéré 6.38 % H ₂ O lié 1.232 % LOI Cl 35.35 % H ₂ O 1.232 % H ₂ O lié 1.232 % Débit clinker total 3084 kg/h PCI charbon 1076 kcal/kg Consom spécifique Fuel 7.06 kcal/kg Débit puissance 6.372 t/h Pour les pertes clinker, pertes excès air et pertes refroidisseur saisir la zone refroidisseur		
BRULEUR			RISING PIPE			ENVIRONNEMENT			VUE D'ENSEMBLE					
P. ambience 1100 mbar P. nozzle 308 mbar Temp air primaire 48 °C Débit clinker 3800 kg/h Pression statique 7.62 mbar Vitesse air prim 73.93 m/s Section air prim 0.0314 m² altitude 40 m C 92.74 % H 7.82 % O ₂ 1.9 % S 0.85 % Coef isentropique 1.4 R 208.69 p0 1.205 kg/m³ h0 1012 mbar Diamètre Nozzle 13 m Position Nozzle 26 m Temp ambience 43 °C			Débit charbon 3845 kg/h Temp Rising Pipe 1052 °C Pression statique 5.9 mbar Section R ₁ 1.4303 m² h ₁ 1010 mbar p ₁ 1.205 kg/m³ Carbone 62.74 % Hydrogène 0.82 % Oxygène 8.98 % Soufre 0.86 % O ₂ brûlé à fumée 1.9 % CO ₂ brûlé à fumée 29 % Altitude 40 m			CHEMINEE Puissance 50 mg/m³ SO ₂ 54 ppm CO ₂ 32 % CO 0 % O ₂ 10 % Température 109 °C CYCLONE 1 NO 300 ppm			Temp zone 1250 °C Temp Boite à Fumée 1152 °C Temp zone1 855 °C Temp zone2 850 °C Temp zone tar 950 °C Temp Cyclone 5 880 °C Temp Cyclone 1 540 °C Temp capo de Chauff 1150 °C O ₂ cyclone 1 3 % CO ₂ Boite à fumée 32 % CO ₂ Cyclone 1 32 % Phase liqde 22 % Aptitude à la décarbonatation 195 % SO ₂ Boite à fumée 0.62 % Cl Boite à fumée 0.7 % Chaux libre 1.85 % Excès air B. à Fumée 17 % Excès air Cyclone 1 21 % Temp Clinker 150 °C Débit clinker 77 t/h			Débit décarbonatation 1.19 t/h Concentration spécifique fuel 735 kcal/kg Poids au lit 1250 kgf C ₂ S 83 % C ₃ S 94 % C ₄ A 74 % Taux décarbonatation cyclé 82 % Taux de remplissage 12.26 % Charge volumétrique 4.23 m³ Burning zone load 2.89 10 ⁶ kcal/h Vitesse feu 3.50 rpm Courant du feu 55 % Vitesse Id Fan 62 % puissance Id Fan 845 kW temps de marche 1 h période 1 h Retard clinker 9 t/h O ₂ brûlé à fumée 3 % Temp excès air refroidisseur 348 °C Cl cyclone 5 0.7 % SO ₂ cyclone 5 0.7 %		

Figure 32 : Feuille saisie du moteur du fichier sauvegardé (sans possibilité de modification)

CONCLUSION

Pour une bonne marche de la ligne de cuisson, nous avons créé un moteur de calcul automatisé et une banque de données et de synoptique. Il a été réalisé dans l'environnement Visual Basic sous Excel (VBA). Ce progiciel permet d'obtenir en moins de 15min, là où il nécessitait plusieurs heures de calcul, des paramètres intrinsèques de la ligne pour une bonne qualité du ciment et le suivi du procédé. Il permet également d'enregistrer et de stocker ces paramètres afin de pouvoir les consulter ultérieurement et par la même de suivre leurs évolutions. Afin de vérifier l'exactitude des valeurs obtenues à partir du moteur de calcul, nous les avons comparées avec celles des anciennes feuilles de calcul qui étaient utilisés.

Cependant, comme tout outil informatique, ce progiciel peut être amélioré selon les besoins de l'utilisateur et l'époque de l'utilisation.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Ce projet, grâce au gain de temps qu'il a apporté par l'acquisition de données supplémentaires, tant à la ligne cuisson qu'à l'atelier broyage ciment, va contribuer à l'amélioration de l'exploitation. Maintenant, des activités et des supervisions supplémentaires peuvent être menées à la salle de commande, pour un coût de réalisation peut élevé vu ses avantages.

Entre autre, ce projet nous a permis de nous familiariser au dialogue entre automates, à l'environnement Visual Basic sous Excel, à des logiciels de supervision et de programmation des unités de production.

Malgré les efforts consentis il n'en demeure pas moins que ce travail présente certaines limites, plus particulièrement en ce qui concerne la pompe à adjuvant de mouture.

C'est dans cette optique que nous recommandons :

- 1- De faire l'étude des structures sur lesquels reposent les réservoirs du système de la pompe à adjuvant et l'encombrement de tout son dispositif.
- 2- De relever les valeurs limites des paramètres intrinsèques de la ligne cuisson et de créer une indication visuelle (changement de couleur) des valeurs, affichée sur les synoptiques, qui sont en dehors des limites ;
- 3- De créer un accès à distance, sécurisé (internet ou intranet) du progiciel et de ses archives ;
- 4- D'insérer dans le programme des élèves ingénieurs, dans le cours d'automatisme, la communication entre automates ;
- 5- D'insérer dans le programme des élèves ingénieurs, dans le cours d'informatique, le langage Visual Basic.

REFERENCES

✓ Bibliographie :

Rockwell Automation. - Documentations Générales. - MARS 2004.

Endress+Hauser. - Instrumentation (capteurs et détecteurs). - 2003

FLSMidth. - Les Ciments Du Sahel ; Cimenterie de Kirène Cours de production.-
Volume 3 ; Edition 2005.

Microsoft Visual Basic 6.0 . - Etape par Etape. - Edition Professionnelle

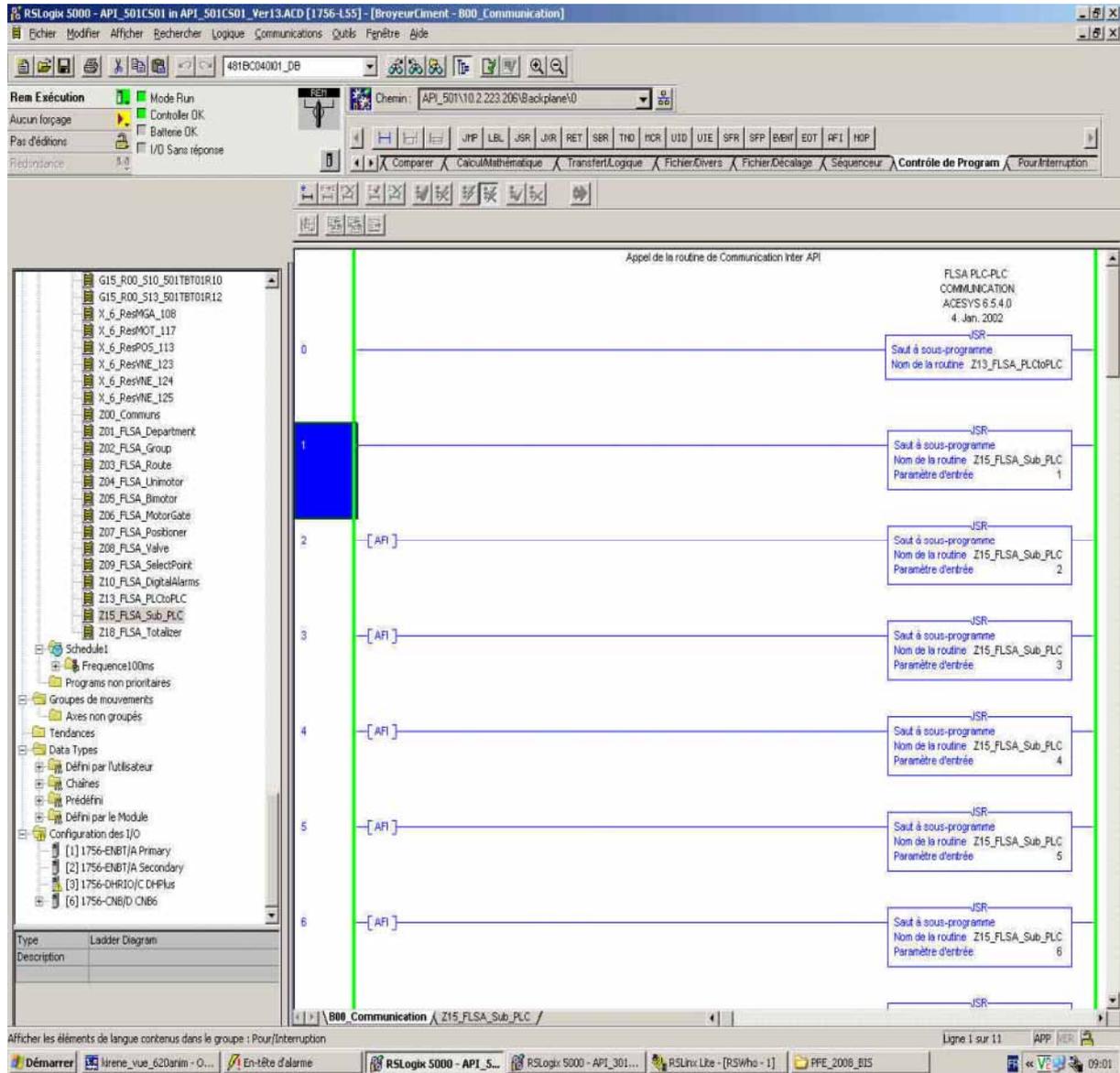
✓ Webographie :

<http://www.wikipedia.com>

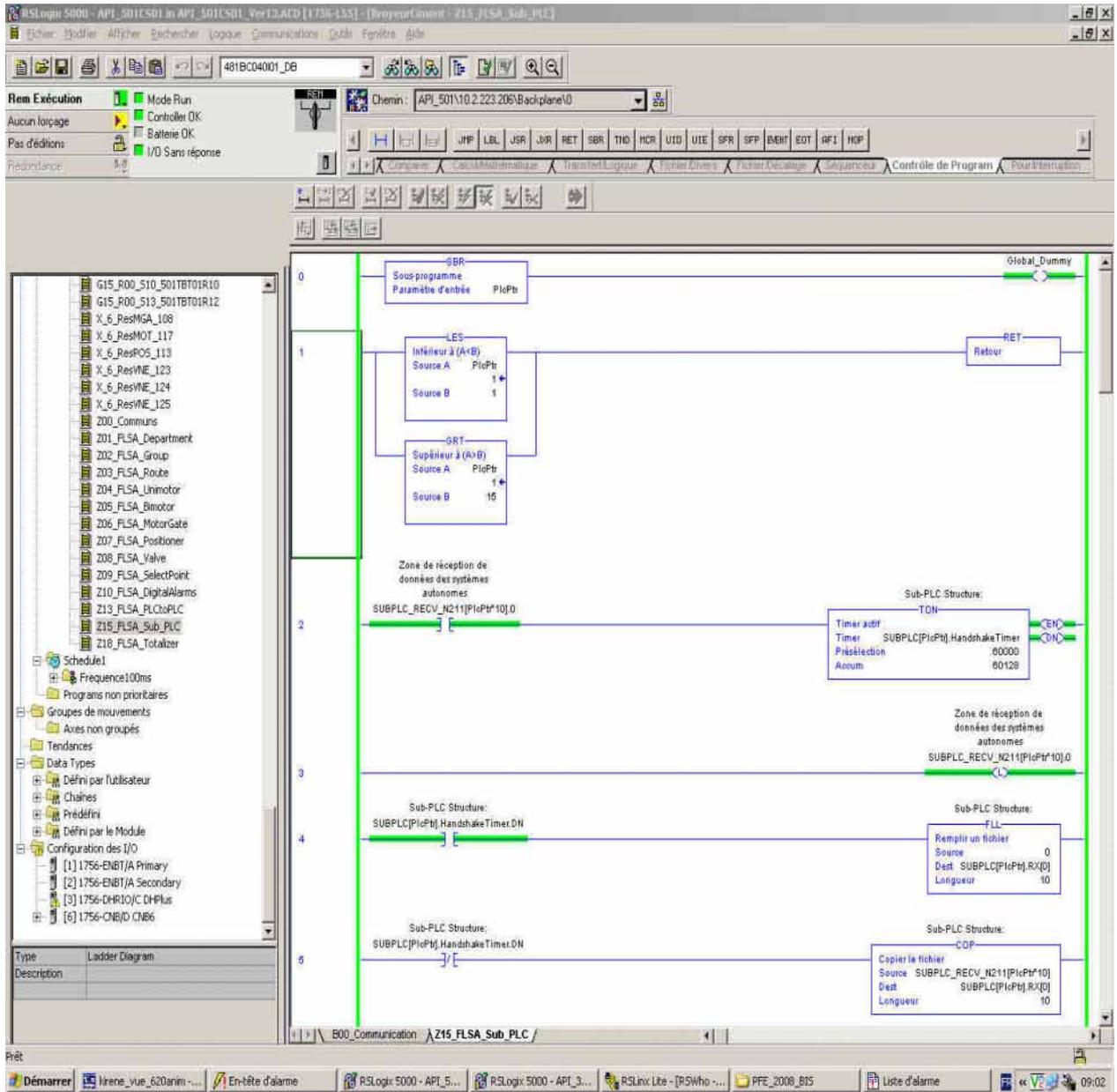
<http://www.be.sew-eurodrive.com>

ANNEXES

ANNEXE 1 : Programme de la sous routine B00



ANNEXE 2 : Programme de la sous routine Z15



Amélioration des opérations de conduite de l'atelier broyage ciment et conception d'un moteur de calcul automatisé pour la ligne cuisson

The screenshot displays the RSLogix 5000 software interface. The main window shows a ladder logic diagram for a Sub-PLC structure. The diagram consists of several rungs:

- Rung 6:** A TON (Timer On-Delay) instruction with the following parameters:
 - Timer actif: SUBPLC[PicPtr].PeriodTx
 - Présélection: 5000
 - Accum: 0
- Rung 7:** A network of instructions:
 - Sub-PLC Structure: NEG:** A network with two sources:
 - Source A: SUBPLC[PicPtr].TX[0] (value 0)
 - Source B: SUBPLC[PicPtr].OLD_TX[0] (value 0)
 - Sub-PLC Structure: NEG:** A network with two sources:
 - Source A: SUBPLC[PicPtr].TX[1] (value 0)
 - Source B: SUBPLC[PicPtr].OLD_TX[1] (value 0)
 - Sub-PLC Structure: SUBPLC[PicPtr].PeriodTx.DN:** A network with a value of 0.
 - Sub-PLC Structure: COP:** A network with the following parameters:
 - Copier le fichier: Copier le fichier
 - Source: SUBPLC[PicPtr].TX[0]
 - Dest: SUBPLC[PicPtr].OLD_TX[0]
 - Longueur: 10
 - Sub-PLC Structure: SUBPLC[PicPtr].Int_SEND_REQ:** A network with a value of 0.
 - Sub-PLC Structure: SUBPLC[PicPtr].PeriodTx:** A network with a value of 0.

Amélioration des opérations de conduite de l'atelier broyage ciment et conception d'un moteur de calcul automatisé pour la ligne cuisson

The screenshot displays the RSLogix 5000 software interface. The main window shows a ladder logic diagram for the 'Z15_FLSA_Sub_PLC' project. A dialog box titled 'Configuration du Message - SUB01_MSG' is open, showing the following configuration:

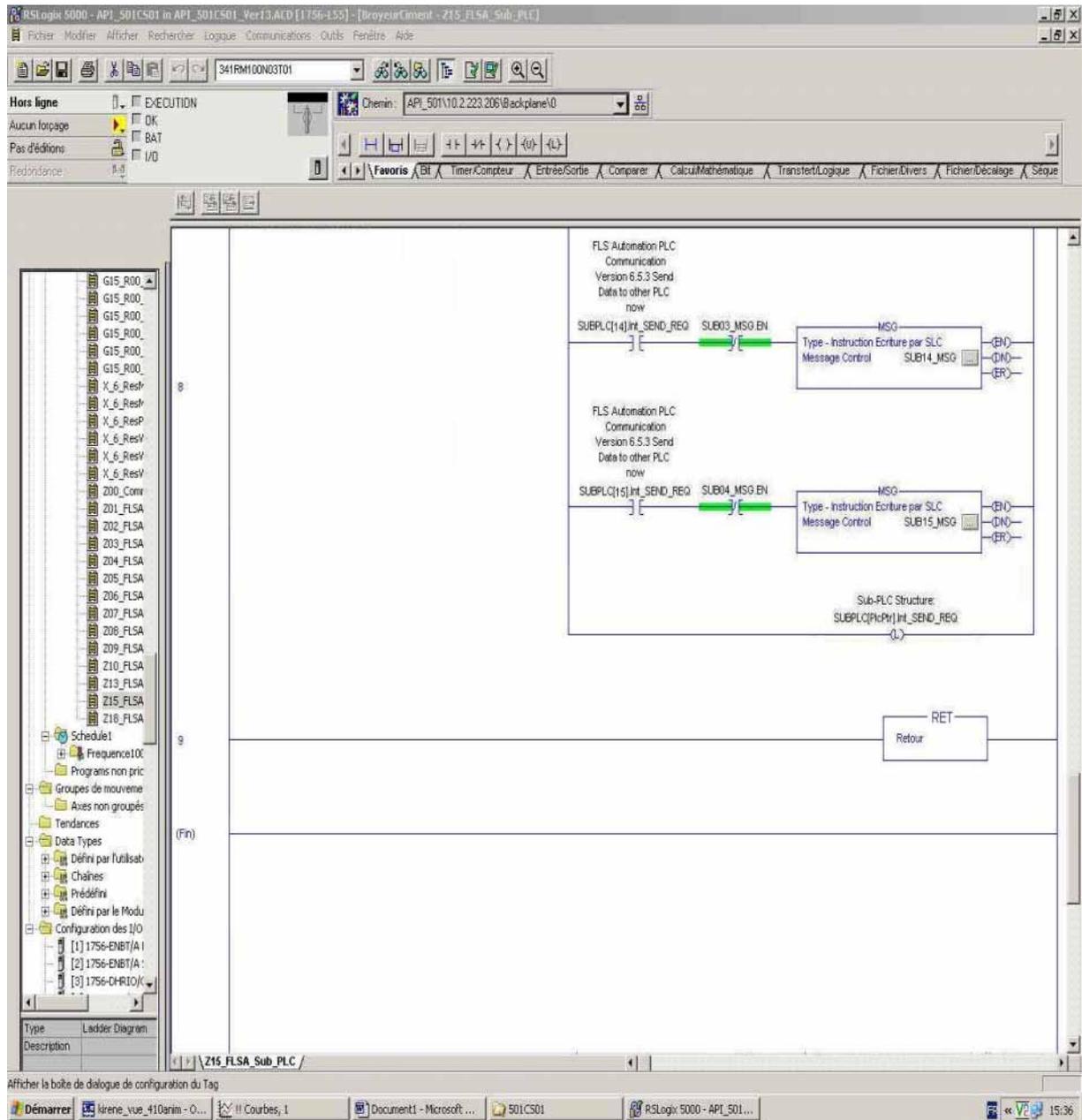
- Configuration: Communication
- Tag: SUB01_MSG
- Type de message: Instruction Ecriture par SLC
- Élément source: SUBPLC[1]TX[0]
- Nombre d'éléments: 10
- Élément destinataire: N211:0
- Options: Activer, Activer attente, Démarrer, Terminé, Longueur accomplie: 0
- Code d'erreur: Code d'erreur étendu, Temps dépassé
- Chemin de l'erreur: Texte de l'erreur

The ladder logic diagram consists of five parallel branches, each representing a message send instruction:

- Branch 1: SUBPLC[1]Int_SEND_REQ (NO contact) in series with SUB01_MSG EN (COIL) and a MSG block (Type - Instruction Ecriture par SLC, Message Control, SUB01_MSG).
- Branch 2: SUBPLC[2]Int_SEND_REQ (NO contact) in series with SUB02_MSG EN (COIL) and a MSG block (Type - Instruction Ecriture par SLC, Message Control, SUB02_MSG).
- Branch 3: SUBPLC[3]Int_SEND_REQ (NO contact) in series with SUB03_MSG EN (COIL) and a MSG block (Type - Instruction Ecriture par SLC, Message Control, SUB03_MSG).
- Branch 4: SUBPLC[4]Int_SEND_REQ (NO contact) in series with SUB04_MSG EN (COIL) and a MSG block (Type - Instruction Ecriture par SLC, Message Control, SUB04_MSG).
- Branch 5: SUBPLC[5]Int_SEND_REQ (NO contact) in series with SUB05_MSG EN (COIL) and a MSG block (Type - Instruction Ecriture par SLC).

The software interface includes a menu bar (Fichier, Modifier, Afficher, Rechercher, Logique, Communications, Outils, Fenêtre, Aide), a toolbar, and a project tree on the left. The status bar at the bottom shows the current project and the time 15:35.

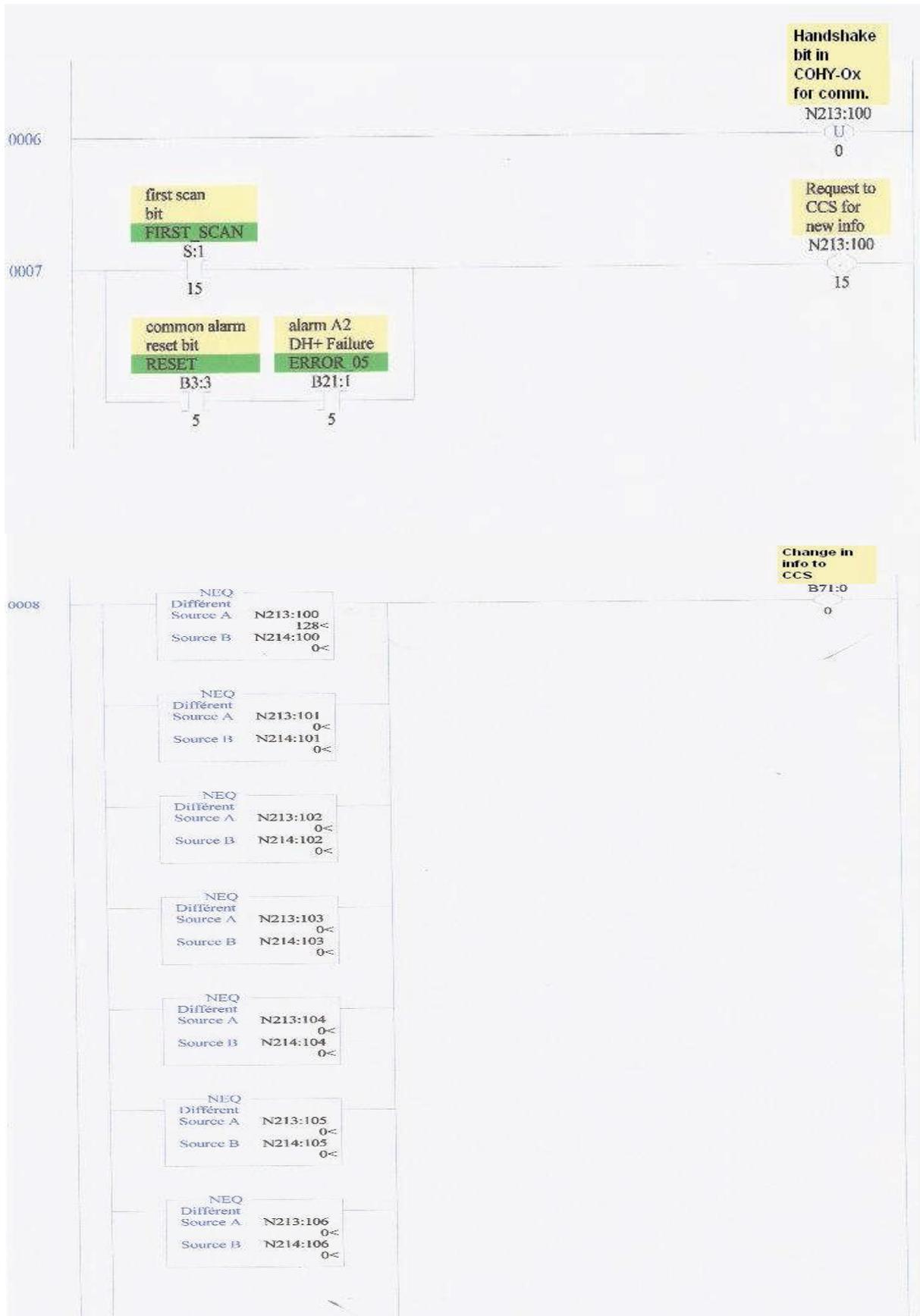
Amélioration des opérations de conduite de l'atelier broyage ciment et conception d'un moteur de calcul automatisé pour la ligne cuisson



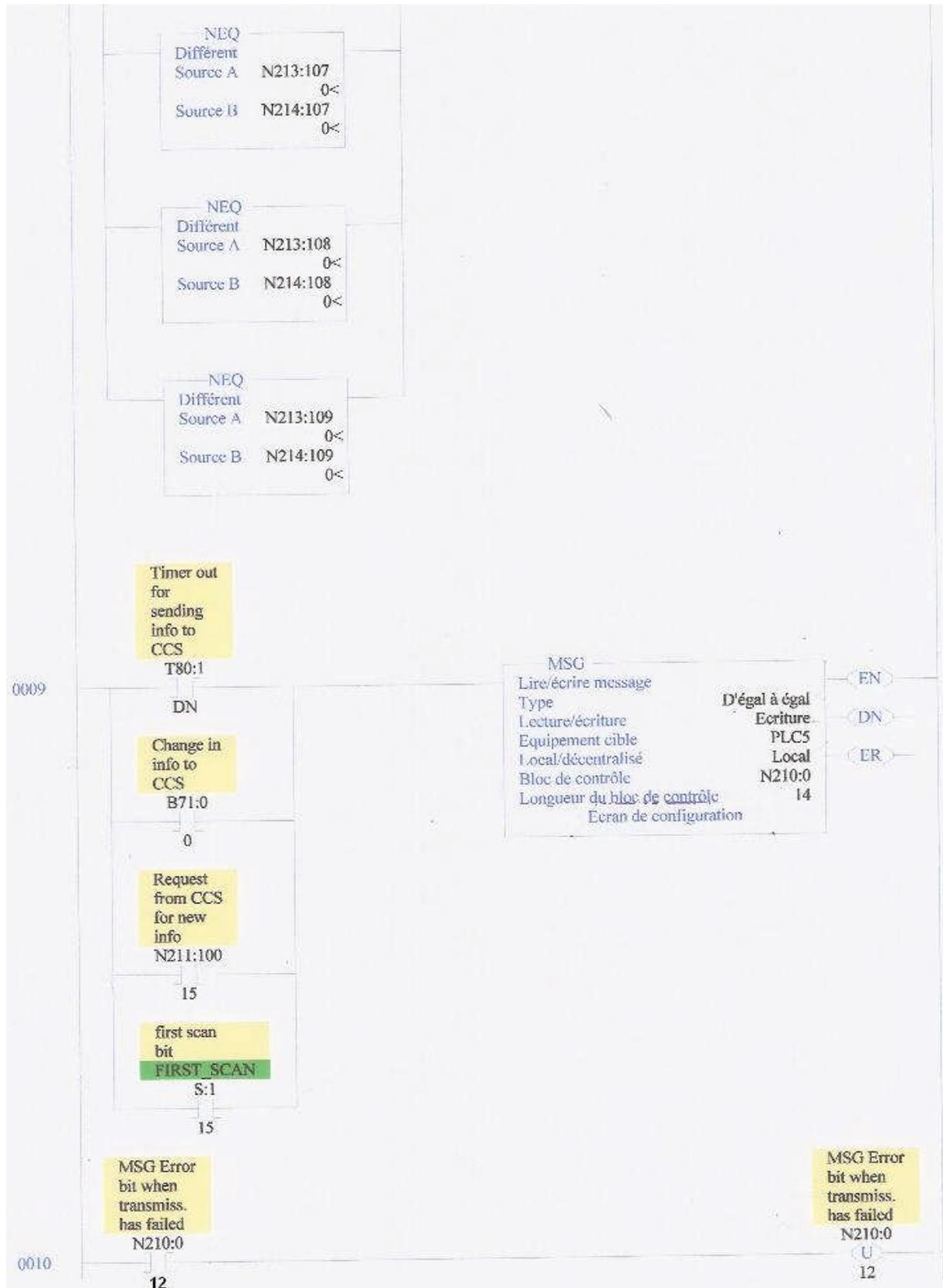
ANNEXE 3 : Programme de la routine DH+



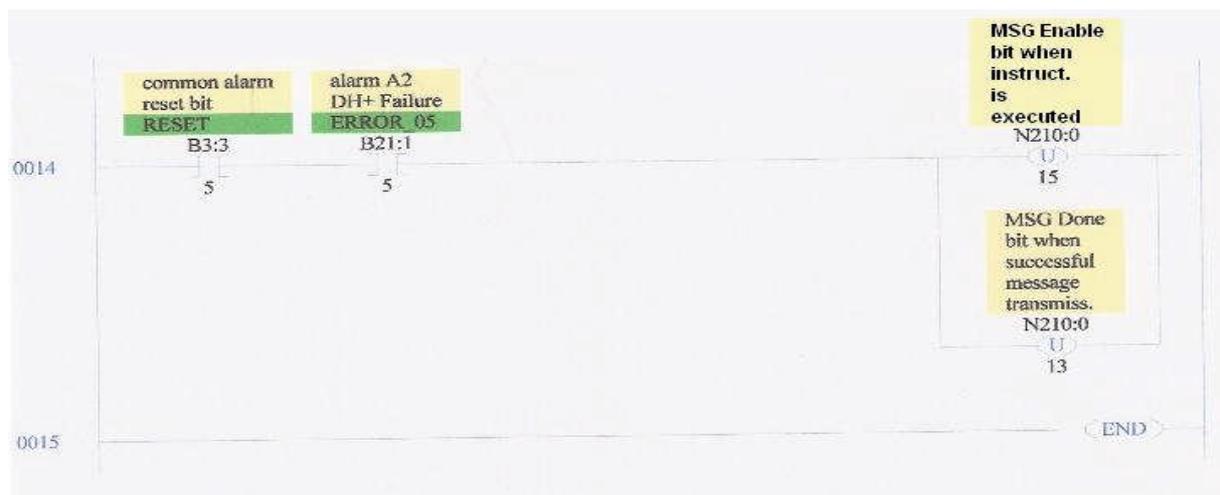
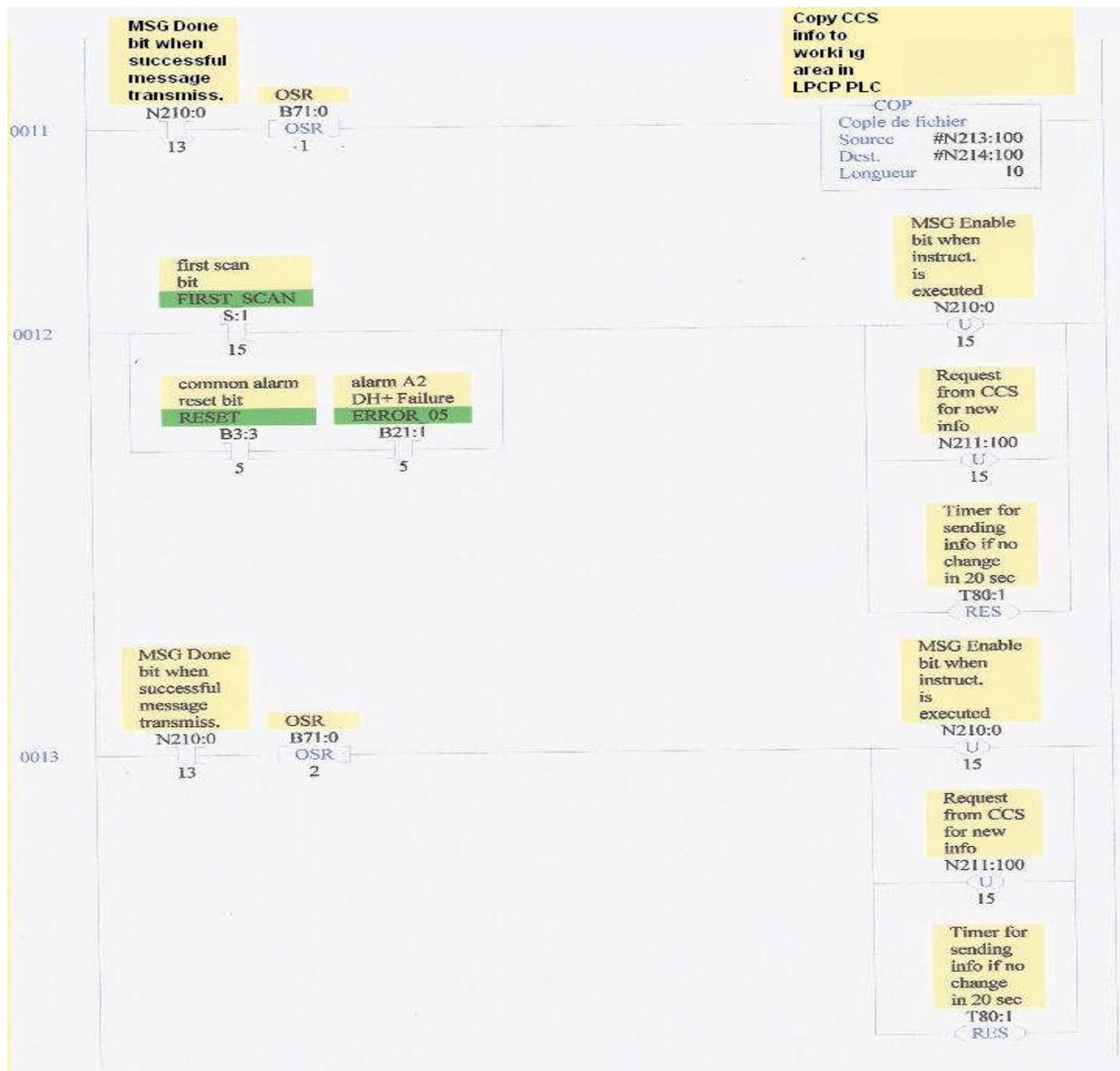
Amélioration des opérations de conduite de l'atelier broyage ciment et conception d'un moteur de calcul automatisé pour la ligne cuisson



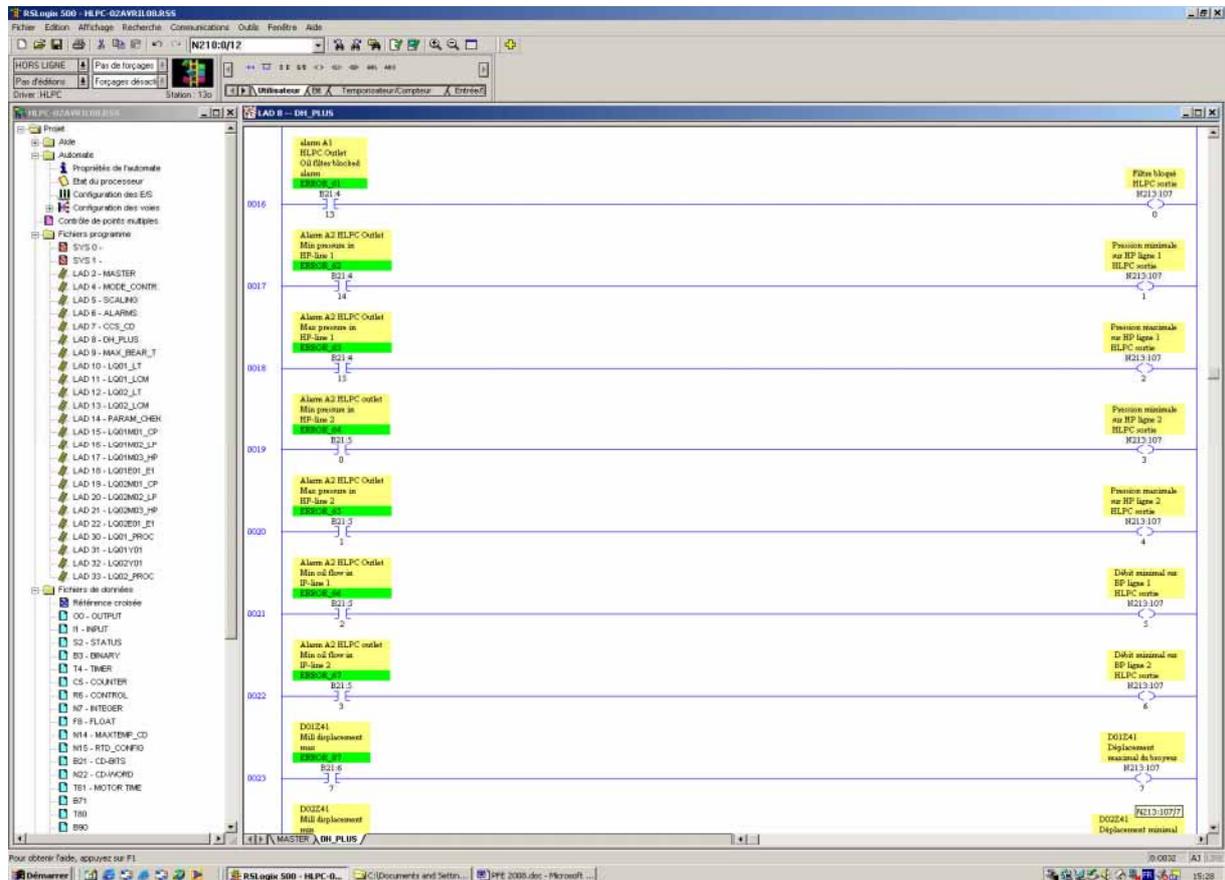
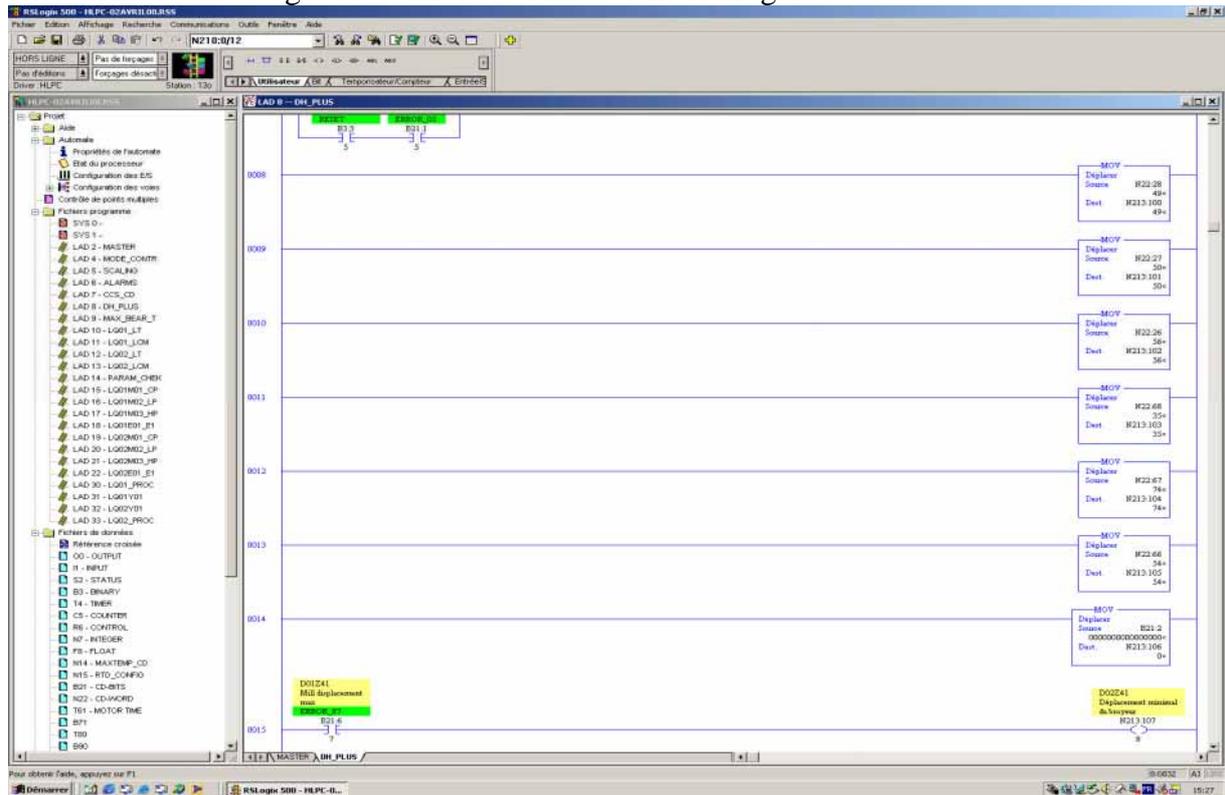
Amélioration des opérations de conduite de l'atelier broyage ciment et conception d'un moteur de calcul automatisé pour la ligne cuisson



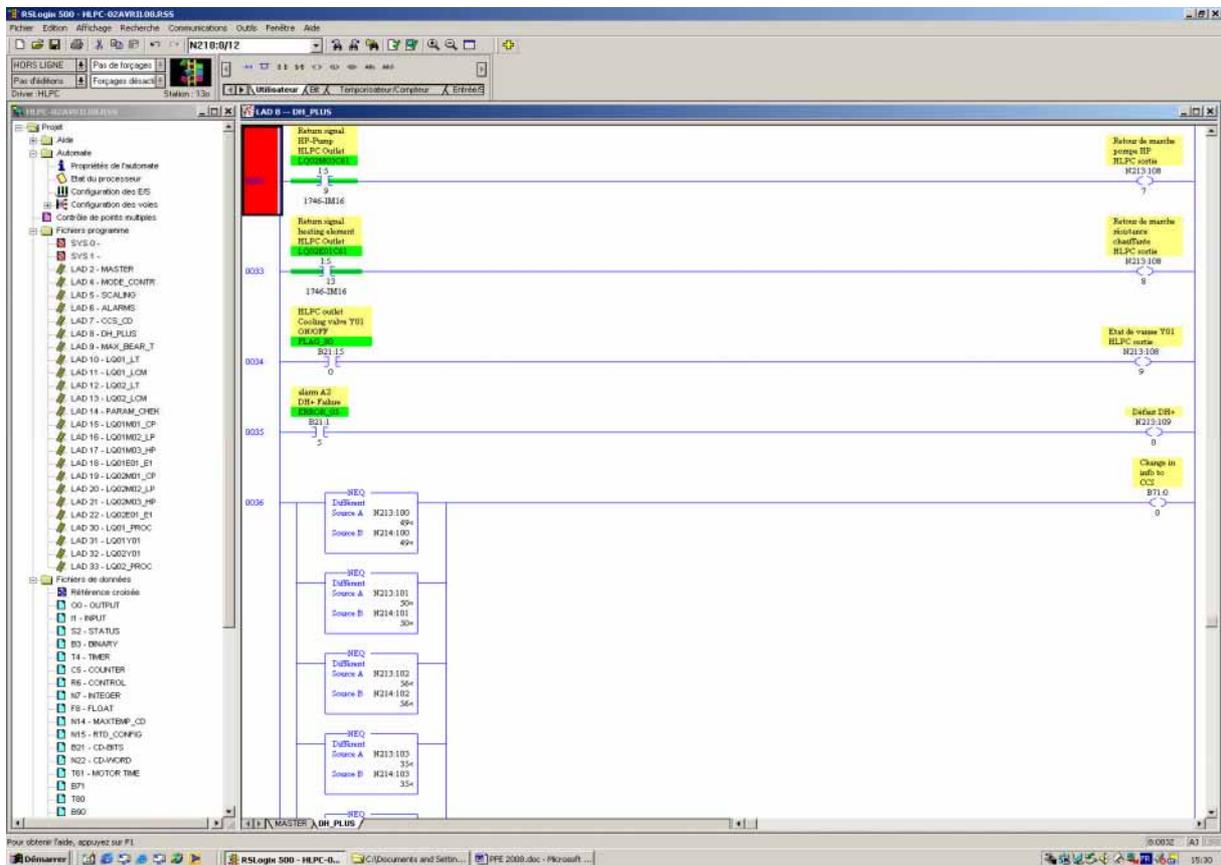
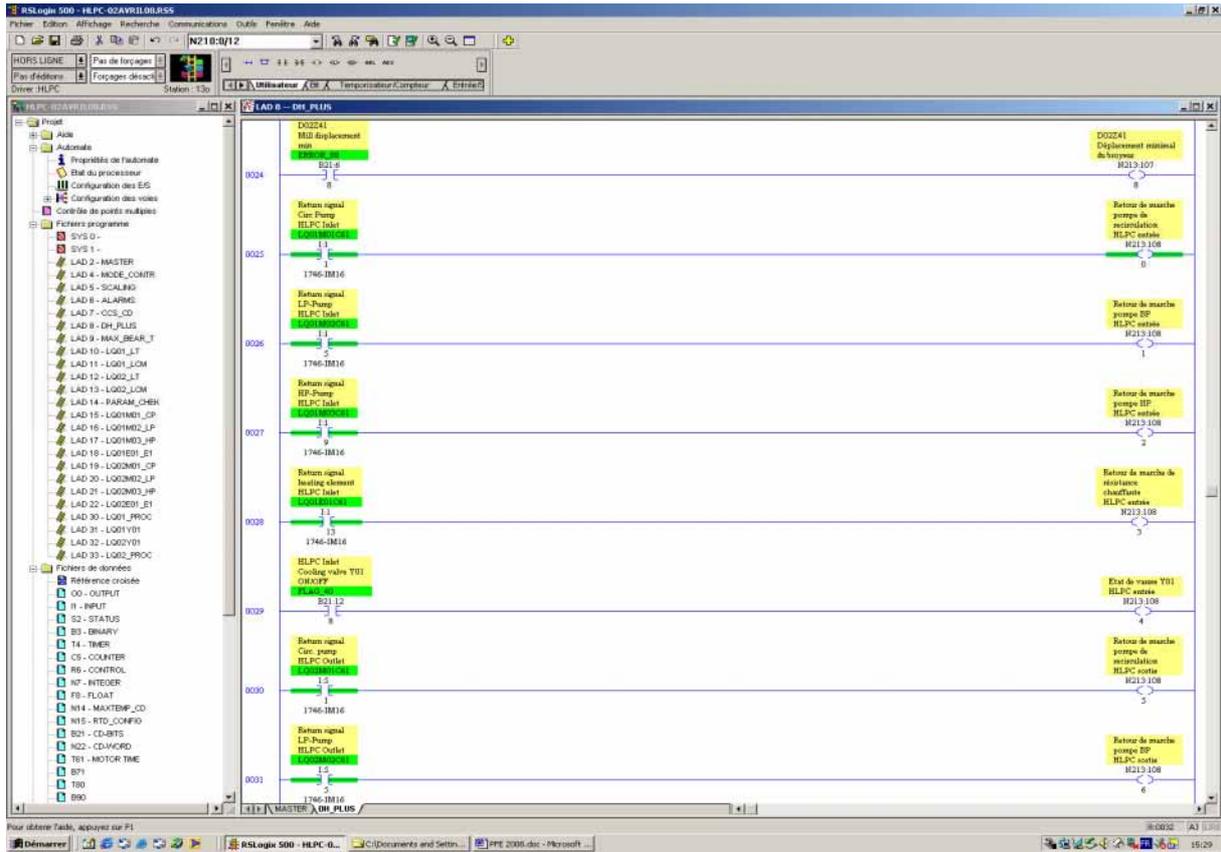
Amélioration des opérations de conduite de l'atelier broyage ciment et conception d'un moteur de calcul automatisé pour la ligne cuisson



ANNEXE 4 : adressage des données du HLPC dans RSLogix500



Amélioration des opérations de conduite de l'atelier broyage ciment et conception d'un moteur de calcul automatisé pour la ligne cuisson



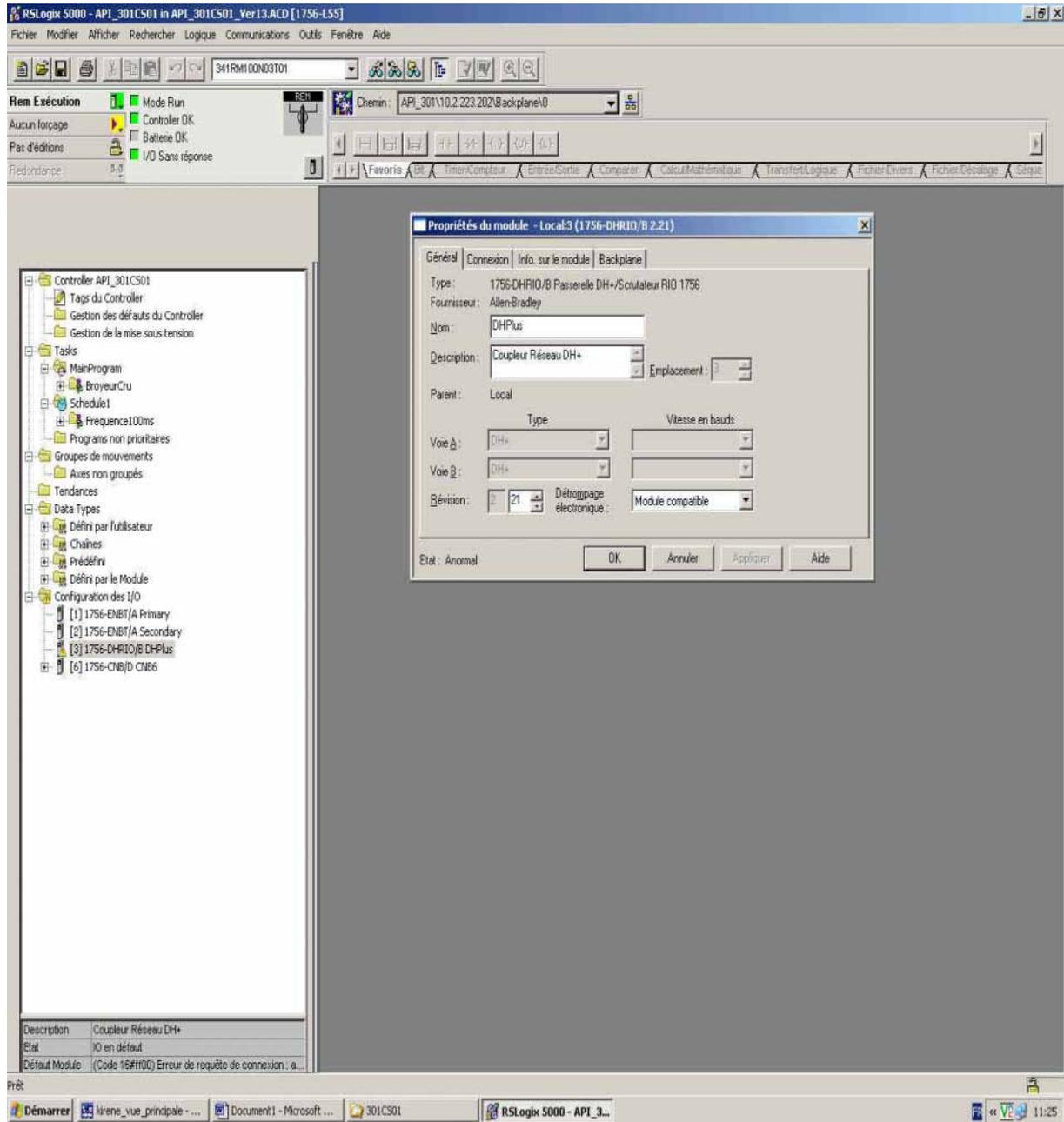
ANNEXE 5 : Adressage et configuration des TAG dans RSLogix5000

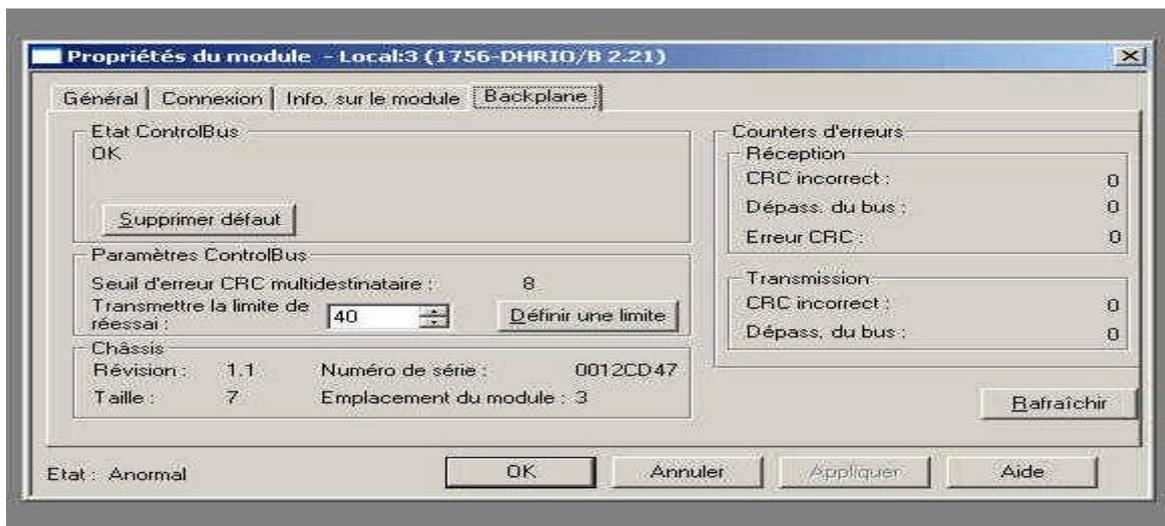
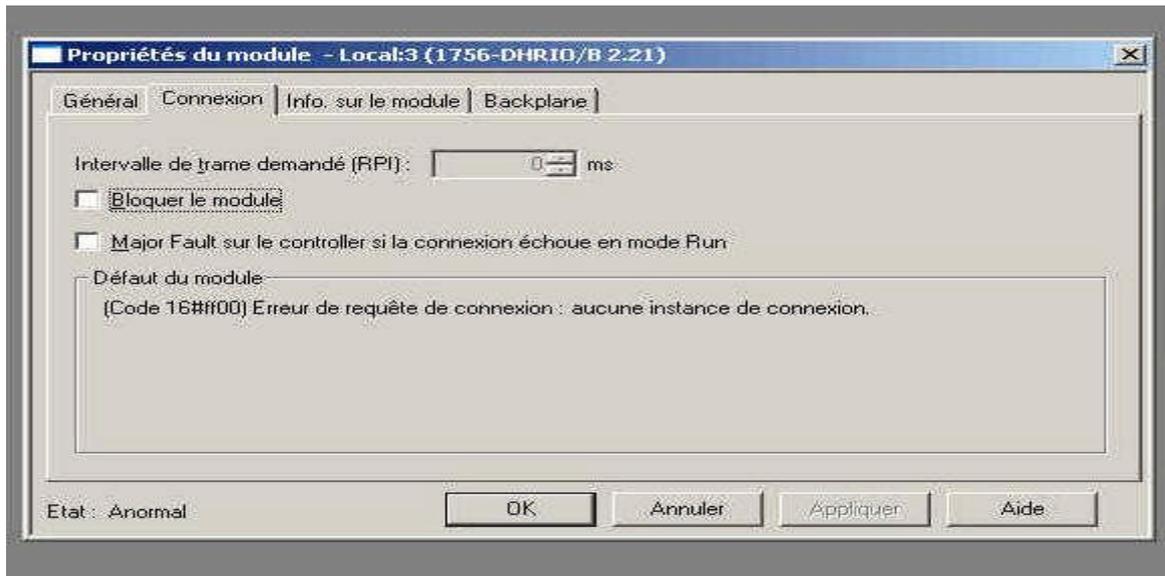
The screenshot displays the RSLogix 5000 software interface. On the left, the project tree shows the hierarchy: Controller API_501CS01, Tasks, MainProgram, and BroyeurCiment. The main workspace shows a ladder logic diagram titled 'Appel de la routine de Communication Inter API'. A dialog box titled 'Propriétés du Tag - TMaxPalier' is open, showing the following configuration:

- Nom: TMaxPalier
- Description: Température Maxi palier Entrée
- Type de Tag: Base
- Data Type: INT
- Etendue: API_501CS01
- Style: Decimal

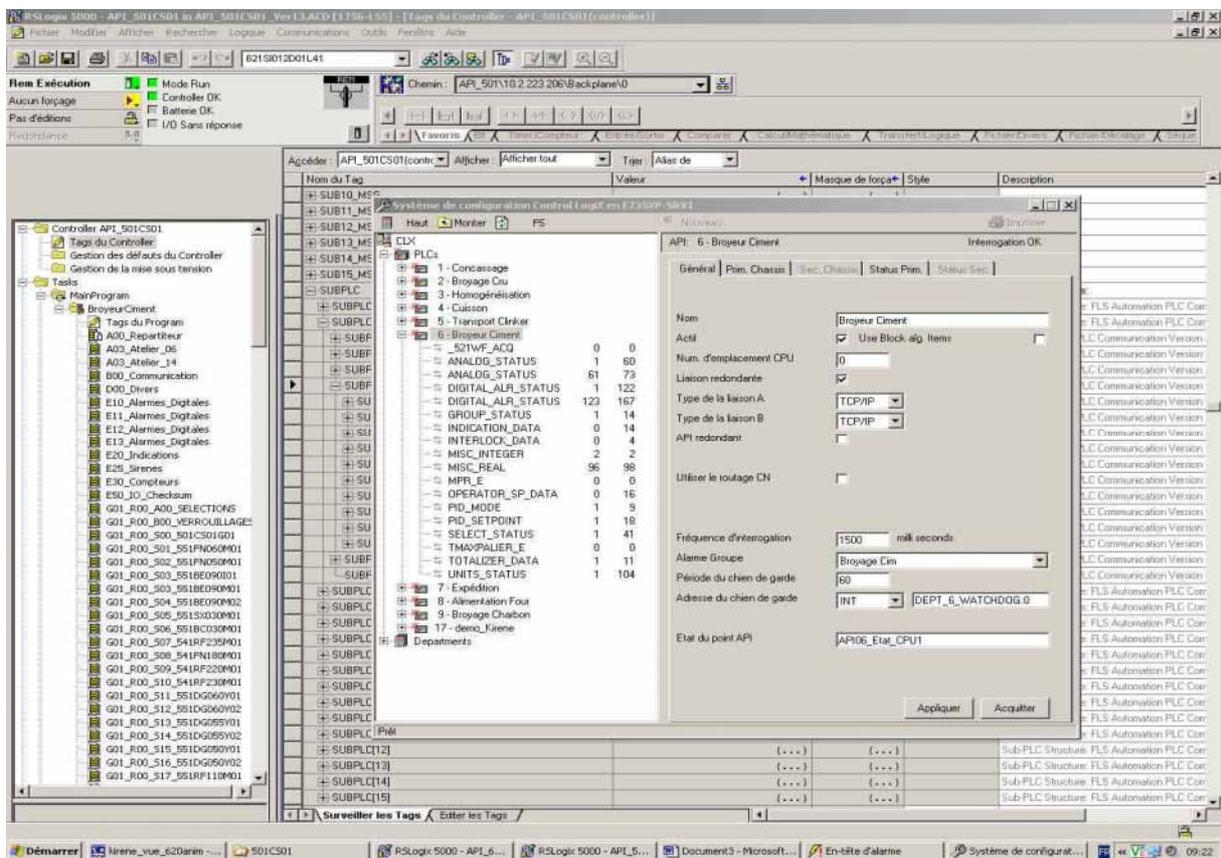
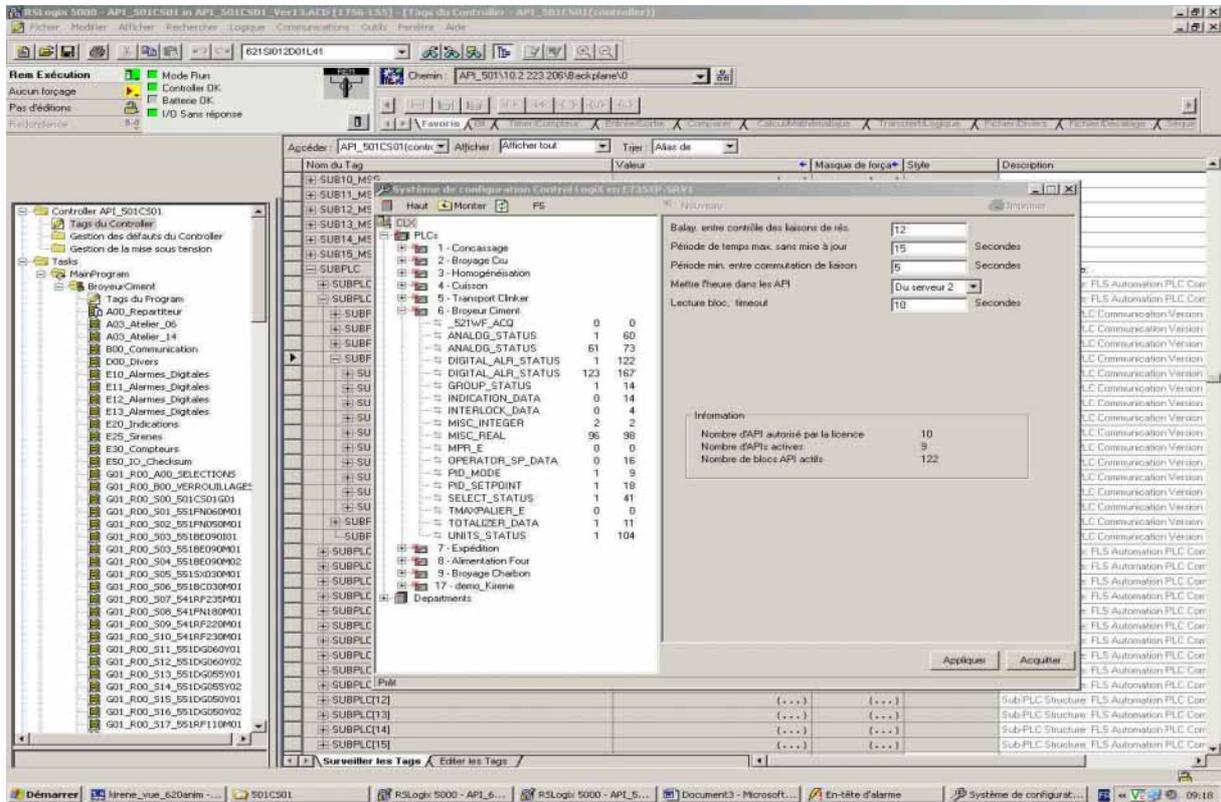
The ladder logic diagram consists of six steps (0-6) connected by a vertical line. Step 0 has a JSR instruction to 'Saut à sous-programme' with routine name 'Z15_FLSA_PLCtoPLC'. Step 1 has a JSR instruction to 'Saut à sous-programme' with routine name 'Z15_FLSA_Sub_PLC' and parameter '1'. Step 2 has a MOV instruction: 'Déplacer' with source 'SUBPLC[1]RX[0]' (value 43) and destination 'TMaxPalier' (value 0). Step 3 has a JSR instruction to 'Saut à sous-programme' with routine name 'Z15_FLSA_Sub_PLC' and parameter '2'. Step 4 has a JSR instruction to 'Saut à sous-programme' with routine name 'Z15_FLSA_Sub_PLC' and parameter '3'. Step 5 has a JSR instruction to 'Saut à sous-programme' with routine name 'Z15_FLSA_Sub_PLC' and parameter '4'. Step 6 has a JSR instruction to 'Saut à sous-programme' with routine name 'Z15_FLSA_Sub_PLC' and parameter '5'. Each JSR instruction is preceded by a '[API]' label.

ANNEXE 6 : Etapes du déblocage du module DH+





ANNEXE 7 : Système de configuration ControlLogix



Amélioration des opérations de conduite de l'atelier broyage ciment et conception d'un moteur de calcul automatisé pour la ligne cuisson

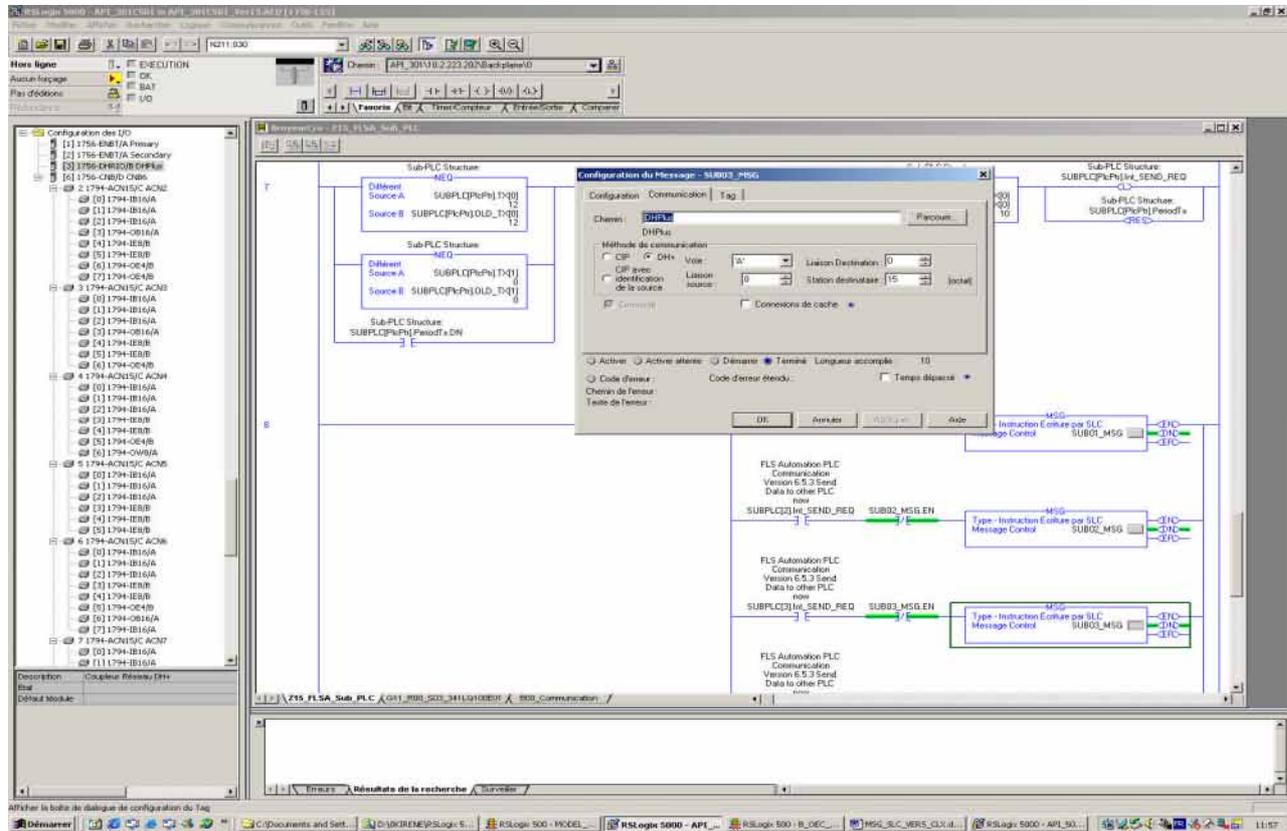
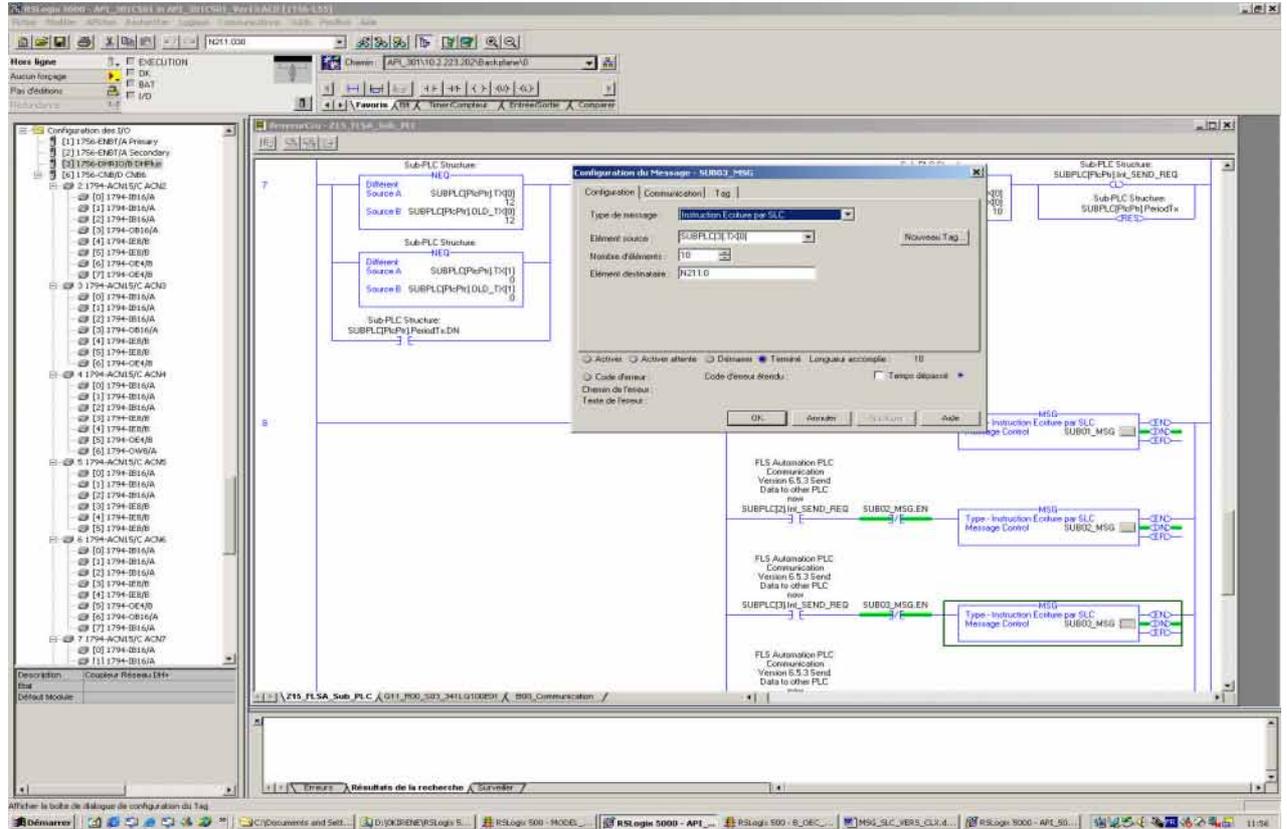
The screenshot shows the RSLogix 5000 software interface. The main window displays a tree view of the project structure, including tags and programs. A dialog box titled "API: 6 - Broyeur Ciment" is open, showing the "Général" tab with various parameters for the API connection.

Paramètre	Valeur
Type de liaison A	CLX TCP/IP
Adresse IP / Nom du noeud	10.2.223.106
Temps dépassé (millisecondes)	1000
Requêtes max. en attente	10
Point d'état de la liaison A	API06_ReseauA
Type de liaison B	CLX TCP/IP
Adresse IP / Nom du noeud	10.2.223.206
Temps dépassé (millisecondes)	1000
Requêtes max. en attente	10
Point d'état de la liaison B	API06_ReseauB

The screenshot shows the RSLogix 5000 software interface. The main window displays a tree view of the project structure, including tags and programs. A dialog box titled "API: 6 - Broyeur Ciment" is open, showing the "Général" tab with various parameters for the API connection.

Paramètre	Valeur
Mode API	Marche
Mot d'état API	0011 0001 0110 0000
Active link	Liaison A
État	Vers le haut
Transmis DK	6400327
Reçu OK	6400316
Erreurs de réception	0
Temps dépassés	1
Données invalides	0
Erreurs de session ID	0
Câble eved ID	0
Reque avec longueur incorrecte	1
Commande non traitée	0
Dernier temps d'interrogation	125
Temps d'interrogation moyen	77
Période d'interrogation max.	8484
Période d'interrogation min.	11
Interog/Expit blocs dans API	18 34 1

ANNEXE 9 : Configuration des messages du ControlLogix vers le SLC 500



ANNEXE 10 : Commande et Réception du câble DH+



LES CIMENTS DU SAHEL S.A ®
 Société anonyme avec C.A au Capital de 13.500.000.000 FCFA
 Siège Social : Kéréne, Communauté Rurale de DIASS – BP : 553 Rufisque Sénégal
 Tél : (221) 939.54.54 – Fax : (221) 957.79.76
 E-mail : cimsahel@scntoo.sn RC : SN THS 2003 B 0879 NINEA 0325995 2E3

CONFIRMATION DE COMMANDE

N° 03 – DAP 6404 - 2BD(cuisson)-2008

DEPARTEMENT : _____ **PRODUCTION** _____

DAP N° 6404

FOURNISSEUR : **Rockwell Automation**

DESCRIPTION DU MATERIEL DEMANDE :

Câble pour réseau DH+ , Belden V9463 Blue Hose(MT) P-MSHA SC-7K-1820006-1
 1PR20 SHIELDED(UL) E34972 CM OR CL2 OR AWM2464 OR C (UL)
 Allen Bradley CAT # 1770-CD-40C 1805
 300 mètres en une seule longueur.

DESCRIPTION DU MATERIEL A FOURNIR :

Cable biaxial datahighway/RIO 305 m 1770-CD10

AVIS DU DEMANDEUR :
 Veuillez faire le bon de commande
 Veuillez annuler la commande
 Veuillez mettre la commande en attente
 Veuillez rectifier suivant note ci-jointe

DEMANDEUR : _____	APPROS : _____
VISA : _____	VISA : _____
DATE : _____	DATE : _____

	Enregistré au Magasin Bوردureau d'entrée n° 6688 Date : 13/02/2008 Le Magasinier : <i>[Signature]</i>	LES CIMENTS DU SAHEL CIMENTERIE DE KIRENE MAGASIN CDS	DAP- P001- E REV: 00
FICHE DE RECEPTION			FR N° 5729 Du 19/02/2008 Feuille 1/1
EQUIPEMEN <input type="checkbox"/> PIECES DE RECHANGE <input checked="" type="checkbox"/> SACS <input type="checkbox"/> MATIERES <input type="checkbox"/> AUTRES <input type="checkbox"/>			
REF DOCUMENTS		BC N° 44-CDS-01-08-716-000-072-01/25D	
du 30/01/2008			
FOURNISSEUR	N° B. LIVRAISON	TRANSITAIRE D'ARRIVEE	N° B. DE LIVRAISON
ROCKWELL	FCT. N° RA01251354	TRANS FRET	1284 DU 18/02/2008
AUTOMATION	DU 11/02/2008		6404
			7526
N° DEMANDE D'APPRO		N° DEMANDE D'ACHAT	
TRANSPORTEUR			
HEURE		CONTENEUR	
arrivée	départ	N°	n° plomb
			TYPE
Nom & Prénom du Chauffeur			
N° d'ordre			
DESIGNATION		REFERENCES	
1	CABLE BIAxIAL DATAHIGHWAY /RIO 305m	1770-CD10	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
RECEPTIONNE PAR :		DEPARTEMENT APPROs	DEMANDEUR
NOM: O DIOP			
VISA <i>[Signature]</i>			<i>[Signature]</i>
DATE: 19/02/2008			20/02/08
		RESPONSABLE MANAGEMENT DE LA QUALITE	LE RESPONSABLE MAGASIN
COPIE A : DEX CONCERNANT LIVRAISON SACS VIDES CHEF DEPARTEMENT CONCERNE MAGASIN		ORIGINAL E A : CHEF DEPARTEMENT APPRO.	

ANNEXE 11: Caractéristiques du Moto-réducteur SEW R17

R..DR/DT/DV
R.. → DR/DT/DV



3

R17, n _e = 1400 1/min					85 Nm	
n _a [1/min]	M _{amax} [Nm]	F _{Ra} [N]	φ (°R) [']	i	DR63 DT71	DT80
 3						
17	85	1770	-	81.64		
20	85	1770	-	70.39		
21	85	1770	-	65.61		
24	85	1770	-	57.35		
26	85	1770	-	53.76		
30	85	1770	-	47.44		
32	85	1770	-	44.18		
36	85	1770	-	38.61		
39	85	1770	-	36.20		
44	85	1770	-	31.94		
49	85	1770	-	28.32		
58	85	1650	-	24.07		
 2						
55	85	1690	-	25.23		
60	85	1620	-	23.15		
71	85	1500	-	19.71		
82	85	1400	-	16.99		
88	85	1350	-	15.84		