



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Réseau électrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
BOUKHADRA Zouaoui

Le : **samedi 6 juillet 2019**

Etude et programmation d'une sonde de
prélèvement de gaz d'échappement à l'aide
d'un automate programmable S7-300

Jury :

Mme MIHI Assia	MAA	Université d'appartenance	Président
Mme NEBBAR Hanane	MAA	Université d'appartenance	Examineur
Mme. MECHGOUG Raihane	MCA	Université d'appartenance	Rapporteur

Année universitaire : **2018 - 2019**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseau électrique

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Thème

Etude et programmation d'une sonde de
prélèvement de gaz d'échappement à l'aide d'un
automate programmable S7-300

Présenté par :

BOUKHADRA Zouaoui

Avis favorable de l'encadreur :

MCA. MECHGOUG Raihane

Avis favorable du Président du Jury :

Mme.MIHI Assia

Cachet et signature



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseau électrique

Thème :

Etude et programmation d'une sonde de prélèvement de gaz d'échappement à l'aide d'un automate programmable S7-300

Proposé et Dirigé par : MCA. MECHGOUG Raihane

RESUMES (Français et Arabe)

Ce travail réalisé au niveau de la cimenterie SPA BISKRIA de Biskra présente l'étude d'une sonde de prélèvement de gaz d'échappement à l'entrée de four rotatif. L'objectif de ce travail est de faire l'automatisation de ce système pour qu'il puisse contrôler et commander ce four.

On a utilisé l'automate programmable industriel S7-300, programmé avec le logiciel STEP7 et testé le programme par le simulateur PLCsim pour permettre à l'opérateur de visualiser et analyser le comportement du système en temps réel.

Mots-clés : Automatisation, simulateur PLCsim, Le logiciel STEP7, PI S7300.

هذا العمل الذي تم إنجازه في مصنع الإسمنت البسكرية ببسكرة يقدم دراسة نظام إنقاط الغازات المنبعثة جراء تذيب المادة و الهدف من هذا العمل هو القيام بالتحكم الآلي له وجعله تحت المراقبة. و لأجل ذلك تم استخدام جهاز التحكم الصناعي الآلي S7-300, المبرمج بواسطة برنامج STEP 7 و إختباره بواسطة برنامج المحاكات PLCsim. للسماح للمتحكم بمتابعة و تحليل النظام في الوقت الحقيقي.

Année Universitaire : 2018 - 2019

Remerciement

Je tiens à remercier

Toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier,

Ma directrice de mémoire M.MECHGUOUGUE, professeur d'automatique à l'université de Mohamed Khider Biskra, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université de Biskra et les intervenants professionnels responsables de ma formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

Messieurs MAAMAR Boubakeur, ABDELAZIZ Addelali et HAFIDHI Mohamed Saleh, pour m'avoir accordé des entretiens et avoir répondu à mes questions sur la Chaîne de production du ciment au sein d'usine, ainsi que leur expérience personnelle. Ils ont été d'un grand soutien dans l'élaboration de ce mémoire.

Madame MECHGUOUGUE Rihane, pour avoir relu et corrigé mon mémoire. Ses conseils de rédaction ont été très précieux.

Mes parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Dédicace

Je dédie ce mémoire aux personnes les plus chères à mon cœur

A mon tendre et chaleureux père Aissa

A ma très douce mère

ABDENNEBI Messauda

*Qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, qui ont
sacrifié toute leur vie afin de me voir devenir ce que je suis*

Je leur dire Merci beaucoup mes parents

A tous mes oncles et mes tantes que je les considère

Comme mes deuxièmes parents.

A mes sœurs et tous les membres de ma famille pour leurs sacrifices

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de

Et a le grand fils de ma sœur ZAMMIT Salah Al-Din

A tous mes amis

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Liste des figures

Les Figures de Chapitre I

Figure I.1 : Organigramme de SPA Biskria Ciment	Page 5
Figure I.2 : Les étapes générales de la fabrication de ciment	Page 11-12
Figure I.3 : Abattage et transport du calcaire	Page 13
Figure I.4 : La trémie de concasseur	Page 13
Figure I.5 : Le concasseur	Page 13
Figure I.6: Tapis roulant vers la polaire	Page 14
Figure I.7 : Rectangulaire de stockage	Page 14
Figure I.8 : Polaire de stockage	Page 14
Figure I.9 : L'intérieure de polaire (Stockeur, Hertz, Gratteur)	Page 15
Figure I.10 : Doseur	Page 16
Figure I.11 : Broyeur	Page 16
Figure I.12 : Silos homo, élévateur a gaude	Page 17
Figure I.13 : Tour de préchauffage	Page 17
Figure I.14 : Four rotatif	Page 18
Figure I.15 : Le Refroidisseur	Page 18
Figure I.16 : Silo de clinker	Page 19
Figure I.17 : Cuisson du clinker	Page 19
Figure I.18 : Silo stockage de ciment	Page 20
Figure I.19 : L'ensachage	Page 21
Figure I.20 : L'expédition en sacs	Page 21
Figure I.21 : Livraisons en VRAC	Page 21
Figure I.22 : La salle de contrôle	Page 21

Les Figures de Chapitre II

Figure II.1: L'emplacement de système d'analyse de gaz	Page 24
Figure II.2 : Canne de prélèvement des gaz	Page 27
Figure II.3 : Schéma simplifié du système de refroidissement par l'huile	Page 28
Figure II.4 : Analyseurs Advance Optima ABB	Page 30
Figure III.5 : Principe de mesure de l'oxygène	Page 30
Figure II.6 : Analyseurs de gaz (NO/CO et SO ₂) par absorption IR	Page 31-32
Figure II.7 : L'échangeur de chaleur	Page 35
Figure II.8 : Cabinet de commande	Page 35
Figure II.9 : Dispositif de purge sur le dispositif télescopique	Page 36
Figure II.10 : Vanne combinée	Page 37
Figure II.11 : Illustration similaire d'une unité de contrôle de PLC équipé de Simatic S7	Page 38
Figure II.12 : Filtre à poussière à chauffage électrique	Page 39

Figure II.13 : Les équipements constituant le système d'analyse de gaz	Page 41-42
Figure II.14 : Représentation de besoin en système d'analyse de gaz	Page 43
Figure II.15 : Bouteilles séparatrices	Page 44

Les Figures de Chapitre II

Figure III.1 : Structure d'un système automatisé	Page 50
Figure III.2 : Automate compact (Allen-Bradley)	Page 52
Figure III.3 : Automate Modulaire (Modicon)	Page 52
Figure III.4 : Automate modulaire (Siemens)	Page 52
Figure III.5 : Structure interne d'un API	Page 53
Figure III.6 : Cycle d'un API	Page 55
Figure III.7 : Constitution d'un API S7-300	Page 56
Figure III.8: CPU 315-2DP S7-300	Page 57
Figure III. 9 : présentation d'un schéma logique (LOG)	Page 60
Figure III.10 : Présentation d'un schéma CONT	Page 60
Figure III.11 : Présentation du langage LIST	Page 60
Figure III.12 : Blocs de programme	Page 61
Figure III.13 : Assistant nouveau projet	Page 63
Figure III.14 : Choix de la CPU et du bloc d'organisation	Page 64
Figure III.15 : Nom et création du projet	Page 64
Figure III.16: Station SIMATIC S7-300	Page 65
Figure III.17 : Configuration matériels	Page 66
Figure III.18 : Une partie de la table des mnémoniques d'un projet	Page 67

Les Figures de Chapitre IV

Figure IV.1 : Table des mnémoniques	Page 74-75
Figure IV.2 : Les blocs de programme dans SIMATIC Manager	Page 76
Figure IV.3 : Configuration du S7-PLCSIM	Page 85
Figure IV.4 : Lancement de la simulation	Page 86
Figure IV.5 : Appel contrôle actionneurs à la simulation	Page 87

Liste des Tableaux

Les Tableaux de Chapitre I

Tableau I.1 : les produits de ciment Page 6

Les Tableaux de Chapitre II

Tableau II.1 : Objectif de mesure des gaz Page 25

Les Tableaux de Chapitre III

Tableau III.1 : Différents types de variables contenues dans le STEP7 Page 63

Liste des acronymes

O₂: Oxygène

CO: Monoxyde de carbone

NO: monoxyde d'azote

SO₂: dioxyde de soufre

LD: Ladder.

GRAFCET: GRAPhe Fonctionnel de Commande Etape/Transition.

API: Automate Programmable Industriel.

PLC: Programmable Logic Controller.

CPU: Central Processing Unit (Unité Centrale de Traitement).

DI: Digital Input.

DO: Digital Output.

AI: Analog Input.

AO: Analog Output.

Ppm: Particules par million

PID: Proportionnelle, Intégrale et Dérivée

IR: Infra-rouge

TOR: tout ou rien

BP: Bouton Poussoir

EV: Electrovanne

PO: Partie Opérative

PR: Partie Relation

TOR: Tout Ou Rien

N/A: Numérique /Analogique

MPI: Multi Point Interface

CC: Courant Continu

IHM: Interface Homme-Machine

GRAFCET: GRAF de Commande Etapes-Transitions

PG: Console de programmation

CONT: Schéma à contact

LIST: Liste d'instruction

LOG: Logic gramme

PC: Personnally Computer

PROFIBUS: Protocole de communication

STEP7: Logiciel de programmation et de simulation

OB: Bloc d'Organisation

E/S: Entrées/Sorties

Sommaire

Avant Propos Page 1-2

Chapitre I : Description d'usine

.....
..... **Page 3**

I.1 Introduction Page 4

I.2 La définition du SPA Biskria Ciment Page 5

I.2.1 Les services Page 5

I.2.2 Organigramme de SPA Biskria Ciment Page 5

I.2.3 Les produits Page 5

I.3 Fabrication du ciment Page 6

I.3.1 Définition Page 6

I.3.2 Ajouts cimentaires Page 6

I.3.3 Composition chimique et minéralogique du ciment Page 7

I.3.4 Classification et domaine d'application des ciments Page 8

I.3.5 Types du ciment Page 8

I.3.6 Classe de résistance du ciment Page 9

I.3.7 Domaine d'utilisation des différents ciments Page 10

I.3.8 Conservation et stockage du ciment Page 10

I.4 Processus de fabrication du ciment Page 11

I.5 Les étapes de fabrication du ciment Page 12

1- Zone carrière Page 12

Étape 1 : L'extraction des matières premières Page 12

Étape 2 : Concassage Page 13

2- Zone cru Page 15

Étape 1: Stockage de la matière Page 15

Étape 2 : Dosage Page 15

Étape 3 : Broyage Page 16

3- Zone cuisson Page 17

Étape 1 : Pré homogénéisation Page 17

Étape 2 : Préchauffage Page 17

Étape 3 : Four rotatif Page 17

Étape 4: Refroidisseur à clinker Page 18

Étape 5: Stockage de clinker Page 19

4- Zone Ciment	Page 19
Étape 1: Stockage du ciment	Page 20
5- Zone expédition	Page 20
Étape 1: L'expédition	Page 20
I.6 La salle de contrôle	Page 21
I.7 Conclusion	Page 22

Chapitre II : Système d'analyse de gaz

.....	
.....	
.....	Page 23
II.1 Introduction	Page 24
II.2 L'emplacement de système d'analyse de gaz	Page 24
II.3 Rôle de prélèvement de gaz d'échappement	Page 25
II.3.1 Pyro-contrôle du four	Page 26
II.3.2 Prévention de l'arrêt du four	Page 26
II.3.3 Consommation optimale du combustible	Page 26
II.3.4 Réduction des émissions	Page 26
II.3.5 Contrôle de la qualité du Clinker	Page 26
II.3.6 Contrôle des volatiles	Page 26
II.4 Processus de prélèvement des gaz	Page 27
II.4.1 La canne de prélèvement	Page 27
II.4.2 Système de refroidissement	Page 28
II.4.3 Unité de conditionnement	Page 29
II.5 Description des éléments de base de la cabine d'analyse de gaz	Page 29
II.5.1 Analyseurs du gaz échantillon (AO2000)	Page 29
II.5.1.1 Module d'analyse O ₂	Page 29
II.5.1.2 Module d'Analyse CO/NO ET SO ₂	Page 31
II.6 Les équipements de système d'analyse de gaz	Page 32
II.6.1 Sonde de prélèvement à refroidissement liquide	Page 33
II.6.1.1 Installation dans la salle d'entrée du four	Page 33
II.6.1.2 Installation dans le four de pré décomposition	Page 33
II.6.1.3 Champs d'application	Page 34
II.6.2 L'échangeur de chaleur	Page 34
II.6.3 Cabinet de commande	Page 35
II.6.4 Dispositif télescopique.....	Page 35
II.6.5 Air comprimé / vanne combinée	Page 37
II.6.6 Contrôleur logique programmable et unité de détection	Page 38
II.6.7 Filtre à poussière à chauffage électrique	Page 39

II.7	Analyse fonctionnelle de la cabine d'analyse	Page 40
II.7.1	Décomposition fonctionnelle du système	Page 40
II.7.2	La représentation de besoin (La bête à cornes)	Page 42
II.8	Problématique et cahier de charge	Page 43
II.8.1	Cahier de charge	Page 43
II.8.2	Problématique	Page 43
	1- Démarrage de système	Page 44
	2- Blocage de la canne de prélèvement	Page 44
	3- Humidité	Page 44
	4- Bouchage de la canne de prélèvement	Page 45
	5- Bouchage du cornet de la boîte à fumer	Page 45
	6- Blocage des troue de filtre	Page 45
	7- Température de fonction du système de refroidissement ajustable	Page 45
	8- Abîme de la sonde de prélèvement.....	Page 45
	9- Test de basse pression	Page 46
II.9	Etat marche de la sonde de prélèvement	Page 46
II.10	Conclusion	Page 47

Chapitre III : Système automatisé

.....		
.....		Page 48
III.1	Introduction	Page 49
III.2	Systèmes automatisés	Page 49
III.2.1	Structure des systèmes automatisés	Page 49
III.3	Généralités sur les API	Page 50
III.3.1	Définition d'un automate programmable industriel (API)	Page 50
III.3.2	Architecteur des automates	Page 51
III.3.3	Aspect extérieur des API	Page 51
III.3.4	Structure interne d'un automate	Page 53
III.3.5	Description des éléments d'un API	Page 53
	A- L'alimentation	Page 53
	B- Unité centrale ou CPU	Page 53
	C- Modules entrées/sorties	Page 54
III.3.6	Cycle d'un API	Page 55
III.3.7	Critères de choix d'un API	Page 55
III.3.8	Présentation de l'automate utilisé S7-300	Page 56
III.4	Programmation via STEP 7	Page 59
III.4.1	Définition du logiciel STEP7	Page 59

III.4.2	Langages de programmation sous STEP7.....	Page 59
	A- Programmation à schéma logique (LOG)	Page 59
	B- Programmation à schéma contact (CONT)	Page 60
	C- Programmation à liste (LIST)	Page 60
III.4.3	Structure du programme STEP7	Page 60
III.4.4	Blocs	Page 61
	A- Bloc d'organisation	Page 61
	B- Fonction	Page 61
	C- Bloc fonctionnel	Page 61
	D- Blocs fonctionnels système (SFB)	Page 61
	E- Blocs de données	Page 62
III.4.5	Mémentos	Page 62
III.4.6	Mnémoniques	Page 62
III.4.7	Les différents types de variables	Page 62
III.5	Développement du programme pour la station pilote	Page 63
III.5.1	Démarrage du logiciel STEP7	Page 63
III.5.2	Création d'un projet STEP7	Page 64
III.5.3	Configuration matériel	Page 65
III.5.4	Table des mnémoniques	Page 66
III.6	Le GRAFCET	Page 67
III.6.1	Définition	Page 67
III.6.2	Règles d'évolution	Page 67
IV.7	Conclusion	Page 68

Chapitre IV : La création et la simulation du programme élaboré pour le Système d'analyse de gaz

.....		Page 69
IV.1	Introduction	Page 70
IV.2	Élaboration de la Sonde de prélèvement de gaz	Page 70
IV.2.1	Présentation de Grafcet	Page 70
IV.2.2	GRAFCET de processus automatisé	Page 70
IV.2.3	GRAFCET de niveau 1 (Principe de fonctionnement)	Page 71
IV.2.4	GRAFCET de niveau 2 (Principe de refroidissement)	Page 72
IV.2.5	GRAFCET de niveau 3 (Etat d'urgence)	Page 72
	1- Les Conditions	Page 72
	2- Les Actions	Page 73
IV.3	Réalisation du programme de la Sonde	Page 73
IV.3.1	Création de projet S7	Page 73
IV.3.1.1	Table des mnémoniques	Page 74

IV.3.1.2	Élaboration du programme	Page 76
1-	Bloc d'organisation OB1	Page 76-81
2-	Bloc d'organisation FC 10	Page 81
3-	Bloc d'organisation FC 11	Page 81-83
4-	Bloc d'organisation FC 12	Page 83-85
IV.4	Simulation du projet	Page 85
IV.4.1	Simulation sous STEP7	Page 85
IV.4.1.1	Ouverture et configuration du S7-PLCSIM	Page 85
IV.4.1.2	Chargement du programme et la mise en ligne	Page 86
IV.4.1.3	Le lancement de la simulation	Page 86
IV.4.1.4	Visualisation du programme de Système d'analyse de gaz	Page 86
IV.5.	Conclusion	Page 87
	Conclusion générale	Page 89
	Références bibliographiques	Page 91

Introduction Générale

L'industrie connaît aujourd'hui, un développement spectaculaire grâce aux nouvelles technologies de plus en plus utilisées pour faire face à un contexte marqué par une concurrence farouche, une libéralisation des marchés et une clientèle très exigeante. Dans ce cadre, les automatismes sont devenus indispensables car ils permettent d'effectuer quotidiennement les tâches les plus ingrates, répétitives et dangereuses. Parfois, ces automatismes sont d'une telle rapidité et d'une telle précision, ils réalisent des actions impossibles pour un être humain.

L'automatisme est donc synonyme de productivité et de sécurité. Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire d'optimiser en permanence tous les processus et de moderniser et développer les systèmes et les installations. L'automatisation des chaînes de production constitue un levier important dans cette démarche. L'amélioration continue et la recherche des nouvelles technologies fiables et efficaces sont devenues également un souci permanent dans les industries. L'application de l'automatisme dans les fours rotatif nous aide de : évaluer définitivement le processus de combustion, optimiser le système de contrôle du four de combustion et la consommation de combustible et assurer la qualité du produit. Aussi constater et éviter les pannes d'opération au début au moyen des mesures appropriées. En plus, la gestion stable du four peut réduire l'émission des substances nocives et servir d'une mesure de protection de l'environnement, Dans ce cadre, nous avons étudié un système utilisant l'automatisme et plus précisément qui ont utilisé dans la cimenterie, celle la qui a été dans notre stage. Ce système qui dépend de faire l'analyse continue de gaz à l'usine de ciment et dans les équipements du four rotatif sera utilisé pour assurer la satisfaction aux exigences de la qualité, de l'économie d'énergie et de la protection de l'environnement.

C'est dans ce cadre que SPA BISKRIA CIMENT a décidé de mettre en place un programme d'automatisme qui permet de contrôler ce système à l'entrée du four. Pour une meilleure présentation de notre travail, le mémoire a été organisé en quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise avec un bref aperçu sur le processus de fabrication de ciment. Le second chapitre est consacré à une description complète de système d'analyse de

gaz d'échappement et ses différents éléments, à la présentation de la problématique et la définition du cahier de charge. Le troisième chapitre donne un bref aperçu sur la structure des systèmes automatisés ainsi que les automates, en particulier l'automate S7-300. La deuxième partie est consacrée aux différents aspects de la programmation. Le dernier chapitre est consacré à l'élaboration d'un programme d'automatisme qui répond au cahier de, puis on a utilisé l'application **S7-PLCSIM** qui nous a permis de tester et exécuter ce programme aussi de détecter les erreurs logiques de configurations ou de programmation, avant de passer à l'implantation du programme dans l'automate et le projet dans le panel. Enfin, une conclusion générale a été présentée.



SPA
BISKRIA CIMENT



Chapitre I

Description d'usine

I.1 Introduction

L'Algérie est un marché d'importance stratégique pour la société Biskria Ciment dans le Bassin méditerranéen. Le secteur de la construction en Algérie a reconnu une croissance importante depuis l'an 2000, ce qui a déclenché la nécessité en matériaux de construction et solutions constructives. Le ciment est le plus important matériau de construction de la société Biskria Ciment. C'est un produit « high-tech » issu de la nature, qui a bénéficié d'un développement s'étendant sur des siècles. Le ciment est plus précisément un liant. Le matériau de construction proprement dit, c'est le béton, qui base sur sa composition / qualité sur le ciment ce dernier est le composant le plus chère du béton. Le but de cette société est d'améliorer leur efficacité au niveau du développement socio-économique en Algérie, et conforter s'avantage concurrentiel au niveau national et international. Donc leur objectif :

- en premier lieux consiste à satisfaire le marché national d'un produit local tout en permettant un accès stable aux matériaux de construction en termes de qualité, de choix, de services à des prix abordables.
- en deuxième lieux d'ouvrir des marchés internationaux.

I.2 La définition du SPA Biskria Ciment [1]

La société BISKRIA CIMENT est une entreprise de fabrication et ventes des ciments au Capital social: 870.000.000,00 DA. Pour bien connecter leur siège

- Raison sociale: Société de BISKRIA CIMENT
- E-mail : contact@biskriaciment-dz.com E-mail : biskria.spa@gmail.com

I.2.1 Les services

La cimenterie possède trois (03) lignes de productions avec une capacité totale de 6 millions T/an, aussi La S.P.A BISKRIA CIMENT procède trois secteurs :

- Secteur administratif: contient de services administratifs pour gérer la société
- Secteur industriel: contient les trois lignes de production
- Secteur commerciale: contient le service de vente et d'expédition

I.2.2 Organigramme de SPA Biskria Ciment

Voici une vue générale de l'organigramme de l'entreprise SPA Biskria Ciment et ces différents services.

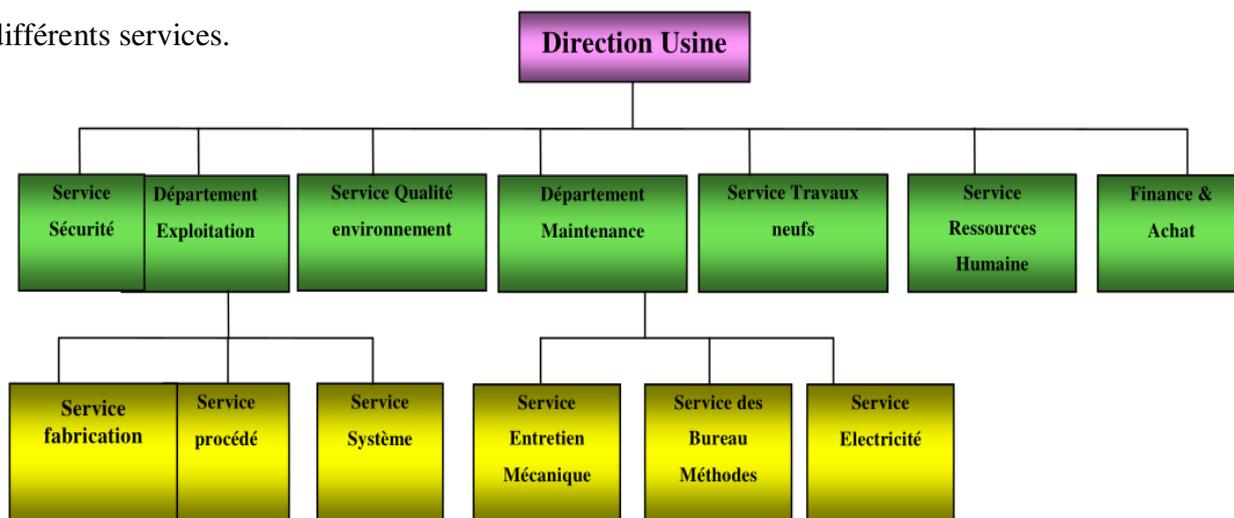


Figure I.1 : Organigramme de SPA Biskria Ciment.

I.2.3 Les produits

La S.P.A Biskria Ciment produit des ciments de qualité qui sont systématiquement contrôlés par le laboratoire de la cimenterie et périodiquement par le Centre d'Études et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction CETIM (selon le référentiel ISO 17025). Ces produits sont bien définis dans le tableau suivant :

Désignation	Types de ciment	Clinker %	Ajouts et Teneurs en %
CEM II/A 42, 5 NA 442 CEM II/B 32, 5 NA 442	Portland Portland composé	80% à 94% 65% à 79%	pouzzolane (Z), calcaire (L) Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise
CEM I 42, 5-ES NA 443	Résistant aux Sulfates	Au moins 95 %	la proportion de constitutions secondaires est limitée à 05%
CEM IV/A-SR 42.5 NA 443	puzzolanique	65% à 90%	Complément à 100% pouzzolane (Z) Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise
CEM III/B-SR 42.5 NA 443	De haut fourneau	20% à 34%	Complément à 100% laitier (S) Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise

Tableau I.1: les produits de ciment. [1]

I.3 Fabrication du ciment

I.3.1 Définition de ciment

Est un liant hydraulique obtenu par cuisson (à 1450°C) et broyage d'un mélange de calcaire et d'argile. Le ciment est fabriqué par un cimentier. [2]

I.3.2 Processus de fabrication du ciment

On comptabilise au total 15 étapes qui peuvent intervenir dans le processus de fabrication du ciment : **1. Carrières (calcaire, argile), 2. Extraction des matières premières, 3.**

Acheminement, 4. Concassage, 5. Pré-homogénéisation, 6. Broyage du cru, 7. Filtrage, 8.

Préchauffage, 9. Cuisson, 10. Refroidissement, 11. Stockage du clinker, 12. Ajouts, 13.

Broyage du ciment, 14. Stockage dans des silos à ciment, 15. Expédition, 16. Analyse des prélèvements.

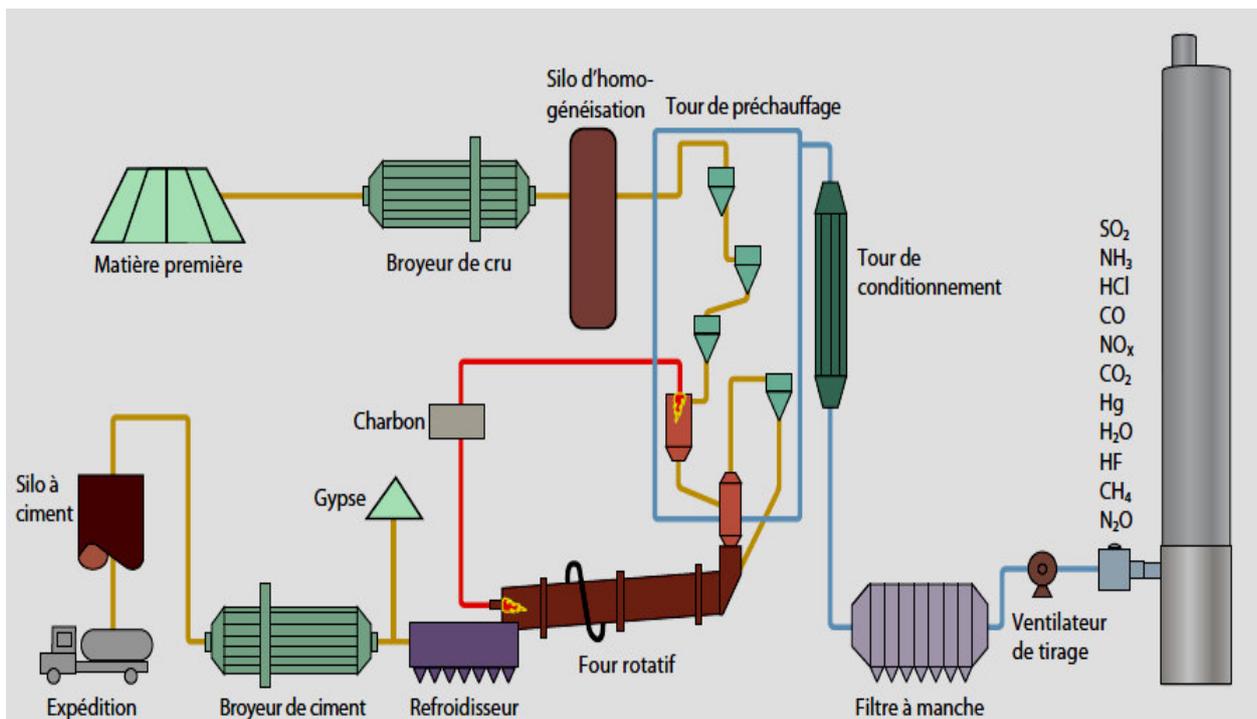


Figure I.2 : Les étapes générales de la fabrication de ciment. [5]

Le composant principal du ciment classique est le clinker. Il est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange de calcaire (environ 80 %) et d'argile (environ 20 %) appelé "cru".

I.3.3 Les étapes de fabrication du ciment

La fabrication du ciment repose sur les étapes principales suivantes :

Zone carrière

Étape 1 : L'extraction des matières premières

Les matières premières qui entrent dans la fabrication du ciment sont extraites de carrières (à ciel ouvert) située à proximité de l'usine pour réduire les coûts de transport, à partir de roche calcaire, de craie, de schiste ou d'argile. Ces minéraux naturels sont prélevés des parois rocheuses à la pelle mécanique, par ripage au bulldozer ou par abattage à l'explosif on des dimensions très élevées. Elles sont ensuite acheminées par dumper vers le hall de concassage à l'entrée de la cimenterie qui est construite à proximité. L'argile est extraite par ripage et creusement est chargé dans des dumpers au moyen de chargeuse sur pneus. Le minerai de fer et le sable, sont des matières de correction utilisées dans des faibles proportions. Ils sont exploités dans des carrières relativement éloignées de l'usine ou livrés par des fournisseurs



Figure I.3 : Abattage et transport du calcaire.



Figure I.4 : La trémie de concasseur.

Étape 2 : Concassage

Les matières première extraites des carrières peuvent atteindre des dimensions allant jusqu'à 1m, elles doivent être réduites jusqu'à 25mm-30mm à l'aide d'un concasseur à marteau.



Figure I.5 : Le concasseur.

Les matières premières concassées sont acheminées vers les halls de stockage par un transporteur à bande (tapis roulant) en caoutchouc. Six halls sont utilisés pour le stockage (deux rectangulaire et quatre polaires), les polaires consiste à stocker le calcaire et l'argile et les rectangulaire pour stockage de la minerai de fer, la calcaire pure pouzzolane et le gypse et le sable. Ce stockage la sera réalisé par le stockeur.



Figure I.6: Tapis roulant vers la polaire.



Figure I.7 : Rectangulaire de stockage.

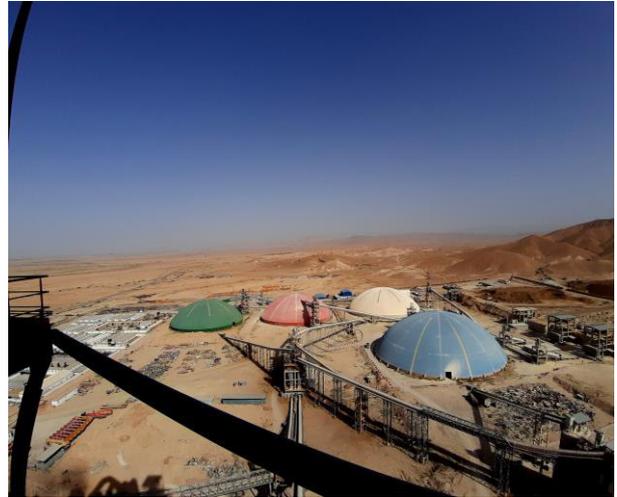


Figure I.8 : Polaire de stockage.

2- Zone cru

Étape 1: Stockage de la matière

Au sein de ces halls de stockage la matière va être grattée horizontalement par le herts, la matière va tomber et être gratté par le gratteur qui va être directionnel vers un trou qui va décharger la matière sous le tapis roulant vers le doseur.

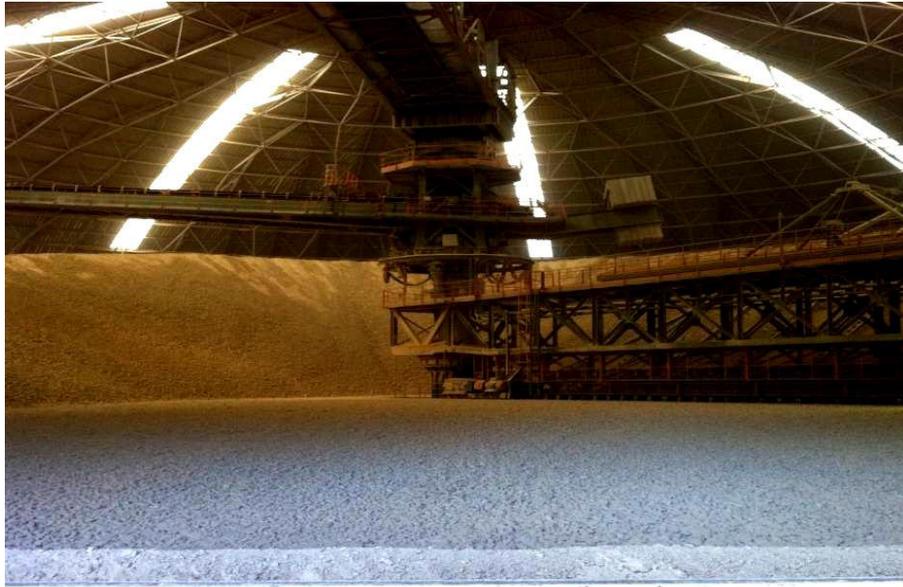


Figure I.9 : L'intérieure de polaire (Stockeur, Hertz, Grateur).

Étape 2 : Dosage

La matière (calcaire, minerai de fer, sable) va stocker dans les silos par contre l'argile sera stocké dans les trimais (pour éviter le bourrage), la matière va chuter par ouverture de chaque élément de leur stockage dans le doseur par deux paramètres (le poids et la vitesse de rotation de tapis) ensuite la matière va tomber dans le convoyeur qui va transporter vers le broyeur



Figure I.10 : Doseur.

Étape 3 : Broyage

Un broyeur va débrayer la matière qui a été dosé qui sera transformer vers une farine poudre (farine cru) qui va être stocké dans les silos d'homogénéisation.



Figure I.11 : Broyeur.

3- Zone cuisson

Étape 1 : Pré homogénéisation

Avec l'air généré par le suppresseur la farine sera mélangée pour ne pas être bourré les silos et pour assurer la même qualité de la farine.

Étape 2 : Préchauffage

Transporter la farine verticalement par l'élévateur à gaude vers la tour de préchauffage qui va être chauffé dans les cyclons. Le préchauffage permet essentiellement de préparer la farine du point de vue chimique et thermique. Cette préparation consiste à sécher la matière crue. Dans la tour de préchauffage, la farine crue avance du haut vers le bas et se mélange avec les gaz chauds du four circulant dans le sens inverse. Ce procédé permet de préchauffer la farine crue jusqu'à une température de près 800 °C.



Figure I.12 : Silos homo, élévateur a gaude.



Figure I.13 : Tour de préchauffage.

Étape 3 : Four rotatif

Les systèmes des fours sont conçus en cimenterie pour répondre aux exigences chimiques du procédé durant lequel la matière crue est transformée en clinker. Le four rotatif est un cylindre en acier reposant sur des stations de roulement, il est garni intérieurement par des produits réfractaires. Durant la cuisson, le four rotatif est animé d'un mouvement de rotation, la disposition en pente du four permet le mouvement de la matière première qui est injectée de l'autre extrémité par rapport à la flamme de chauffe. Durant ce déplacement, la matière se transforme par cuisson tout en avançant de son état initial jusqu'à ce qu'elle devienne "clinkérisée" à la température de 1450 °C. La farine crue se transforme en clinker.



Figure I.14 : Four rotatif.

Étape 4: Refroidisseur à clinker

Le clinker est mis en contact avec l'air pour être refroidi rapidement. A la sortie du four, le clinker est introduit dans un refroidisseur où il est refroidi jusqu'à une température de 120 °C. Le rôle des refroidisseurs consiste à garantir la trempe du clinker pour avoir une structure minéralogique et des dimensions de cristaux favorables. Les refroidisseurs permettent aussi de baisser la température du clinker pour faciliter la manutention jusqu'aux silos de stockage.



Figure I.15 : Le Refroidisseur.

Étape 5: Stockage de clinker

Le clinker issu du refroidisseur est stocké dans des silos qui d'une part, confèrent à l'atelier de broyage ciment (étape suivante) une autonomie de marche en cas d'arrêt intempestif du four et d'autre part, prémunissent le clinker d'une dégradation physicochimique que causerait un stockage prolongé à l'air libre.



Figure I.16 : Silo de clinker.

4- Zone ciment

Les types de ciment sera-t-il déférente d'après le dosage de quelle que soit le clinker ou bien les ajouts

Note : même étapes de la zone crue sera fait dans cette zone.

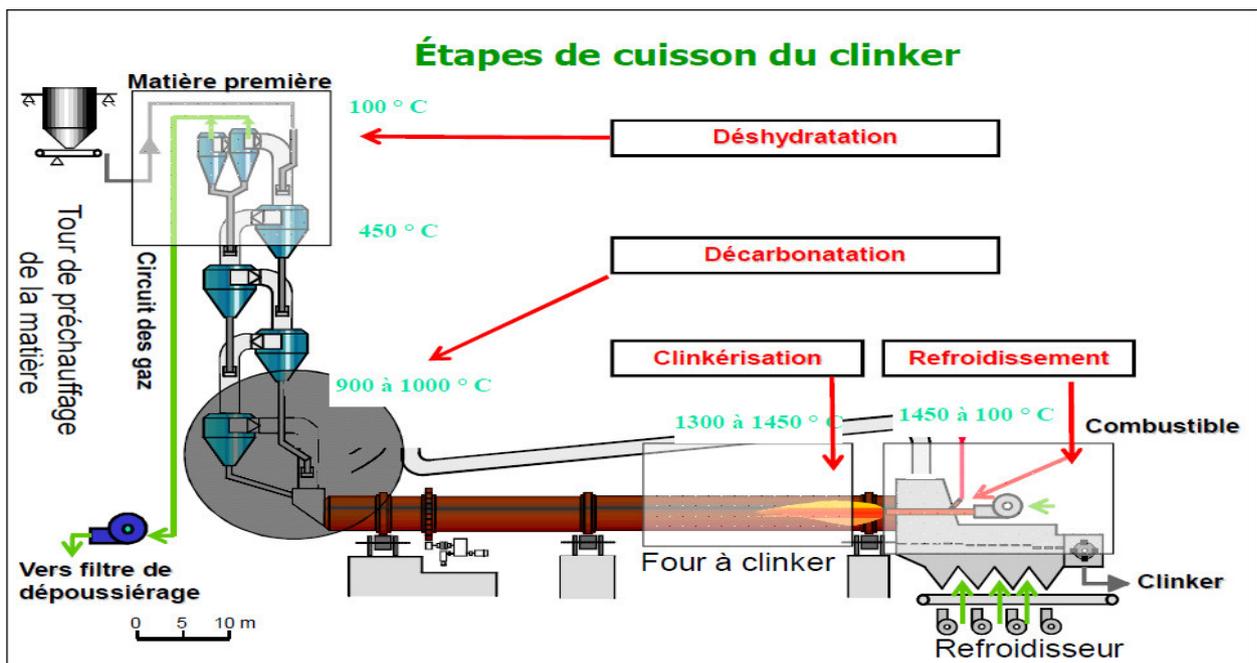


Figure I.17 : Cuisson du clinker. [6]

Le clinker est acheminé vers des trémies de stockage et les ajouts sont repris du stock par un gratteur portique du hall est acheminés par l'intermédiaire de transporteur à bande vers les trimés de stockage et d'alimentation des broyeurs pour Le dosage du clinker, du gypse et des ajouts se fait à l'entrée du broyeur par un système de dosage automatique chargé d'effectuer des tests dans le laboratoire tout au long du processus de production.

Étape 1: Stockage du ciment

Après sa fabrication, le ciment est acheminé par voies pneumatiques à l'aide des deux pompes à flux, ou voie ou mécaniques par un aéroglisser vers les cinq silos de capacité (5fois 8000t) dans chacun deux voies ferrées et trois routes.



Figure I.18 : Silo stockage de ciment.

5- Zone expédition

Étape 1: L'expédition

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de grands capacités qui alimentent par la suite les ateliers d'ensachage pour les l'expédition en sacs, ou les dispositifs de chargement et livraisons en VRAC. Donc les expéditions comprennent le stockage du ciment, son conditionnement (ensachage) en cas de livraison par sacs ou via un vrac et son chargement sur l'outil de transport (camion, train, bateau...). C'est l'interface de l'usine avec le client.



Figure I.19 : L'ensachage.



Figure I.20 : L'expédition en sacs.



Figure I.21 : Livraisons en VRAC.

I.3.4 La salle de contrôle

Les pilotes de la salle de contrôle conduisent l'usine depuis leurs écrans où s'affichent tous les informations.

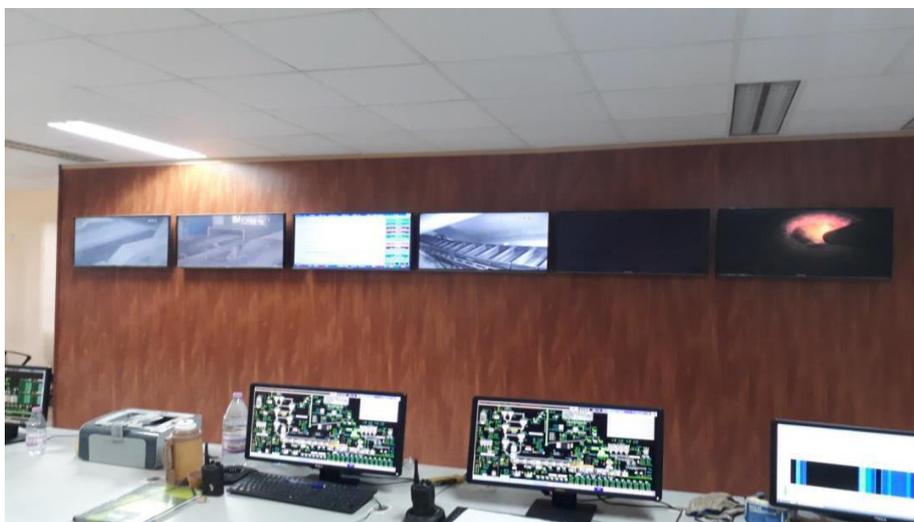


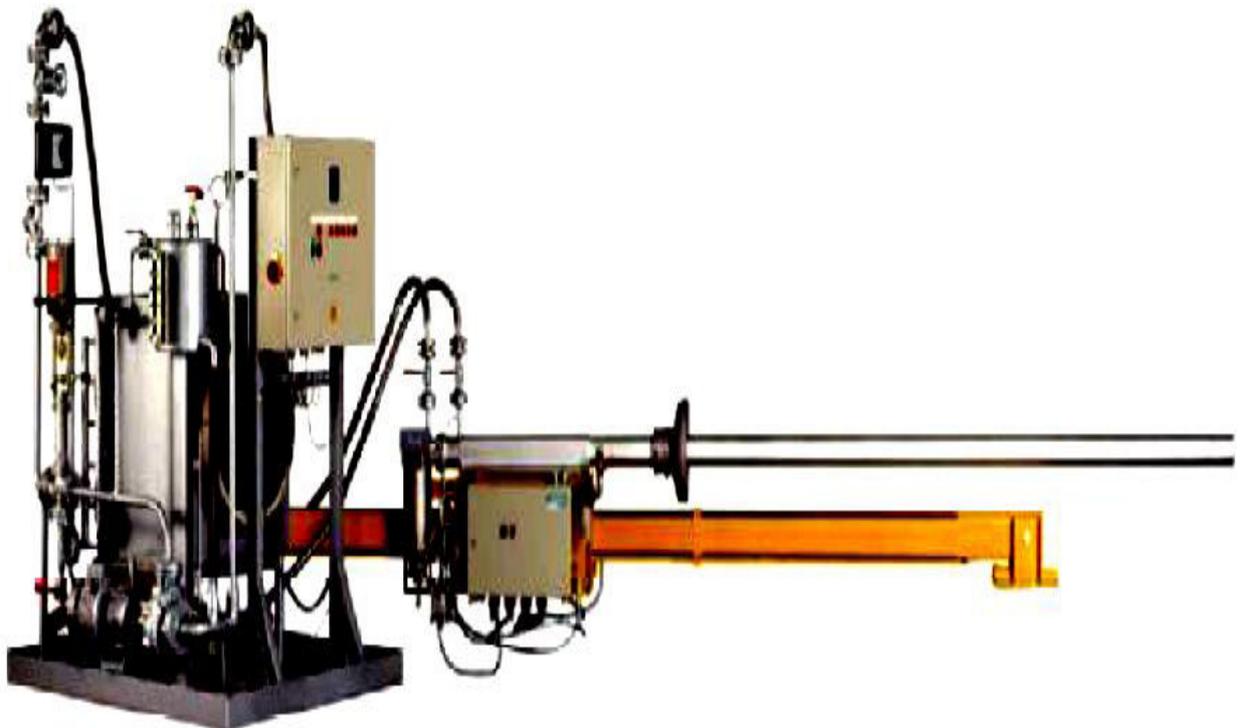
Figure I.22 : La salle de contrôle.

I.5 Conclusion

Ce stage nous a permis de comprendre la chaîne de production de clinker et ciment ainsi le fonctionnement du système automatique dans une usine, de voir comment travaillent les différents équipements dans les différents halls contribuant en se complétant à l'amélioration de la production de l'usine. Ce travail nous a permis d'avoir une idée sur la relation entre nos études théoriques et la pratique.

CHAPITRE II

SYSTEME D'ANALYSE DE GAZ



II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous procéderons à une présentation de système d'analyse de gaz d'échappement puis on cite ces différents composants en précisant leurs fonctionnements ensuite nous citerons une formulation du cahier des charges de l'une de ces composants qui sera la sonde de prélèvement.

II.2 Système d'analyse de gaz d'échappement

II.2.1 Zone d'emplacement dans l'usine

Les cimenteries sont besoin d'une analyse continu en ligne fiable des gaz d'échappement au niveau de position : l'entrée du four (concerne notre étude) et dans le four de pré-décomposition (ne concerne pas notre étude), si elles veulent pouvoir devancer la concurrence dans un marché très difficile. La figure suivante nous donne une vue bien précis capté au usine.



Figure II.1: L'emplacement de système d'analyse de gaz. [7]

II.2.2 Les avantages des mesures apportées par les analyseurs

Les mesures de la concentration de l'oxygène (O_2), du monoxyde de carbone (CO), du monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde de soufre (SO_2) apportées par les analyseurs depuis la cabine d'analyse est essentielle pour :

- Assurer la satisfaction aux exigences de la qualité, de l'économie d'énergie et de la protection de l'environnement

- Evaluer définitivement le processus de combustion pour optimiser le système de contrôle du four de combustion et la consommation de combustible et assurer la qualité du produit.
- Constater et éviter les pannes d'opération au début au moyen des mesures appropriées. En plus, la gestion stable du four peut réduire l'émission des substances nocives et servir d'une mesure de protection de l'environnement.

II.2.3 Rôle de prélèvement de gaz d'échappement

Globalement, l'analyse des gaz à l'entrée de four donne la possibilité de traiter les problèmes et les pannes qui provoquent le four rotatif d'un part et l'enjeu environnemental d'autre part. Voici ci-après quelques avantages qui peuvent tirer parti d'une analyse des gaz et redonner de la vigueur à l'entreprise pour défier la concurrence.

1. Pyro-contrôle du four

Le maintien de niveaux optimaux d'oxygène (O_2) durant le processus, non seulement supprime les risques d'explosion mais il permet également d'éviter l'accumulation de CO toxique (monoxyde de carbone).

2. Prévention de l'arrêt du four

Les coûts associés à l'indisponibilité sont importants. Alors si l' O_2 , le CO ou le SO_2 (acide sulfurique) s'accumulent dans le four, la production doit être interrompue pendant au moins trois heures. Donc il faut également réchauffer le processus, ce qui n'est pas toujours une opération stable et sans difficultés. La production diminuera et la qualité de clinker peut aussi être affectée.

3. Consommation optimale du combustible

L'analyse des gaz aide l'entreprise à contrôler le niveau d' O_2 ce qui fait que l'entreprise peut choisir entre une consommation plus lente et plus efficace du combustible pour avoir des frais de production moindres, ou bien de le consommer plus rapidement pour une production supérieure et une meilleure capacité.

4. Réduction des émissions

L'analyse des gaz permet de réguler la quantité d' O_2 et le CO produits par le processus à la

source pour que l'entreprise puisse optimiser la combustion et éviter d'utiliser un équipement anti-émission coûteux afin de supprimer les substances polluantes.

5. Contrôle de la qualité du Clinker

Normalement, la qualité du clinker est testée au laboratoire, deux heures après la fin du processus. L'analyse de gaz tel que le NO_x (oxyde nitrique) dans le four permet à l'entreprise de faire de petits ajustements tout en économisant du temps et en évitant de faire de simples erreurs comme par exemple trop cuire le clinker.

6. Contrôle des volatiles

L'accumulation de volatiles, tels que le SO₂ (acide sulfurique) dans le processus peut engendrer deux problèmes coûteux.

Le premier : le volatile qui se condense sur les matières premières brutes froides alors qu'elles sont alimentées dans le processus s'accumulera et entraînera des obstructions.

Le second : Les matières premières qui produisent des volatiles non vérifiés passeront à travers le revêtement des briques et attaqueront la structure en acier de four.

II.2.4 Les équipements de système d'analyse de gaz d'échappement

Le système de prélèvement du gaz est composé des sept pièces suivantes:

1. Sonde de prélèvement à refroidissement liquide.
2. Unité de l'échangeur de chauffeur (le système de refroidissement).
3. Cabinet de commande.
4. Dispositif télescopique équipé d'un drive électrique et d'un moteur en mouvement.
5. Air comprimé/vanne combinée.
6. Contrôleur logique programmable et unité de détection.
7. Filtre à poussière à chauffage électrique.

Ils ont dépend du paramètres techniques suivantes :

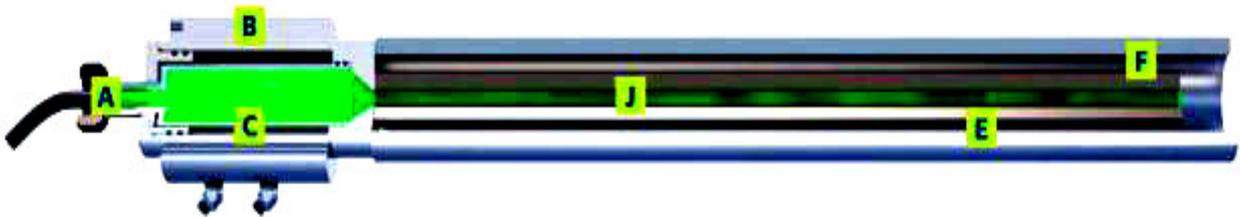
- Paramètre de la alimentation électrique: 3 / 380~460V, + 10%, -15%; 50...60 Hz
- Puissance nominale : 5.5 kVA 2 / 220~230V, + 10%, -15%; 50...60 Hz
- Puissance nominale : 1.5 kVA + 1.2kVA (tuyau de chauffage)

- Paramètres de l'alimentation de l'air comprimé : 6...8 bars
- Aire comprimé sans huile, poussière ni eau 4...6 m³ / h environ
- Système de connexion du gaz de mesure: Diamètre intérieur du tuyau flexible 8mm
- Puissance de la plus petite pompe demandée : pression négative environ 0.3bar 4 ... 6 l/min environ
- Puissance thermique de l'unité d'échangeur de chaleur : Puissance thermique environ 69 kW

Note : En vas parlé en détails de ces composants

II.2.4.1 La sonde de prélèvement de gaz d'échappement

La canne de prélèvement des gaz d'échappement se compose de six pièces comme montre la figure suivante :



- | | |
|---|---|
| A. Electrovanne d'isolation | B. Logement de filtre avec appareil de chauffage |
| C. Filtre céramique de la poussière | E. Chemise de refroidissement refroidie à l'huile |
| F. Fourreaux partie extérieur de la canne | J. Conduite de gaz échantillon |

Dans la chemise **E** sera circule l'huile froid pour le refroidissement, Le logement de filtre **B** et le filtre céramique seront chauffé pour que ne l'eau ni l'huile y'a condensé lors de circulation de gaz dans la conduite **J** vers la cabine d'analyse.

Figure II.2 : Sonde de prélèvement des gaz d'échappement. [7]

II.2.4.1.2 Zone d'installation de la Sonde de prélèvement

Il existe deux zones d'installation principales sur la ligne de production du ciment :

- *Entrée du four*
- *Zone de pré-décomposition (pré-calcinage).*

II.2.4.1.4 Installation dans la salle d'entrée du four

Il faut respecter les exigences suivantes relatives à l'analyse du gaz à l'entrée du four :

- Il convient d'installer la sonde sur un côté de la salle d'entrée du four.
- Il faut le mettre en inclinaison à l'axe du four.

- La sonde doit être installée en face du côté de l'entrée des matières premières.
- La sonde doit déborder la bague d'étanchéité rotative du four à 30 cm (distance horizontale)
- La sonde ne doit pas se situer trop proche du flux des matières sortant de la tour de préchauffage.
- Confirmez qu'aucune solidité lourde ne tombe du préchauffeur sur la sonde.
- La sonde doit se situer au moins à 20cm de la doublure du four rotatif. Quand une sonde est installée dans un nouveau four, la doublure et la salle d'expansion du four doivent être chauffées.
- Il est nécessaire de garder de l'espace convenable pour faciliter l'installation et le démontage de la sonde, ou de la conduite d'eau, par exemple, tuyau flexible refroidi, conduite d'alimentation de l'air comprimé et du gaz de mesure et câble électrique.
- Il faut donner l'entrée au travail d'installation de la sonde et au travail d'entretien.

II.2.4.1.5 Installation dans le four de pré décomposition

Pour l'analyse du gaz dans le four de pré décomposition, il faut répondre aux demandes suivantes :

- Il faut installer de son mieux la sonde à la zone sans poussière. Cette zone se situe normalement derrière le séparateur à cyclone ou bien au dessous de la chambre de diffusion.
- La sonde doit déborder au moins un tiers, mais il ne faut pas dépasser le milieu de la conduite d'alimentation de l'air.
- Il faut arranger à l'avance le site d'installation pour réduire autant que possible l'influence thermique pour les éléments comme vanne combiné et filtre à poussière.
- Il faut garder de l'espace convenable pour l'installation et le démontage de la sonde et la conduite d'alimentation comme le tuyau flexible de liquide de refroidissement, conduite d'alimentation de l'air comprimé et du gaz de mesure et câble électrique.
- Il faut également garder de l'espace pour l'installation et l'entretien de la sonde.

II.2.4.1.6 Champs d'application de la sonde

La sonde de prélèvement est utilisée dans le prélèvement continu du gaz chaud, corrosif, et du gaz avec de la poussière dans le conduit de fumée, du four rotatif, ou de la pièce de pré-décomposition, comme NO, CO, O₂ et SO₂, ainsi de suite. Cette sonde consiste une sonde sèche et résistante à la tension, et avec refroidissement au liquide. On peut choisir la longueur de la sonde selon la disposition d'installation.

II.2.4.2 L'échangeur de chaleur

L'unité d'échangeur de chaleur doit être installée tout près de la sonde, et il convient de rester à la même hauteur pour réduire le dommage du liquide de refroidissement au moindre lors d'une fuite. La conduite d'alimentation du liquide de refroidissement doit être le plus court possible pour éviter la température trop élevée ou trop basse.

Caution (Attention) : la température de fonction du système de refroidissement de l'échangeur de chaleur est entre (130 et 250) °C. Quand la quantité de chaleur arrive 60 kw, le radiateur commence à disperser la chaleur.

Note : Il faut conserver la ventilation de l'extérieur pour assurer la température de la sortie de gaz répondant à la demande (au maximum 250°C). Pendant l'installation, il faut confirmer qu'il n'existe pas d'accumulation de chaleur près du site d'installation. Pour empêcher l'influence sur la performance de dispersion de la chaleur, il faut assurer qu'il n'y a aucun barrage au canal d'admission d'air, ainsi qu'au canal d'échappement d'air du radiateur. La température la plus élevée de l'ambiance est de 45°C.



Figure II.7 : L'échangeur de chaleur. [7]

II.2.4.3 Cabinet de commande

L'armoire de commande peut être installée dans la chambre de commande résistant à la poussière normalement, dans la même chambre de commande avec le cabinet d'analyseur. Il faut offrir une multiprise à la disposition de l'entretien.



Figure II.8 : Cabinet de commande. [7]

II.2.4.4 Dispositif télescopique

Le dispositif télescopique est essentiellement composé d'une glissière et un support sur lequel sont installés : la sonde de prélèvement du gaz, le filtre à poussière et la vanne combinée de l'air comprimé.

La glissière est faite d'un tube d'acier carré. Au bas de la glissière, est installée une glissière de chaîne à rouleaux dont l'auto-nettoyage est protégé par la mécanique. Par cette glissière, le pignon à chaîne peut rouler sur le support. Lors de l'installation du galet de guidage, un support d'installation riveté sur le plancher doit être respectivement équipé à l'avant et à l'arrière du rail.

Le support dont l'enveloppe est composée des composants sous pression sera poussé en avant le long de la glissière et guidé par un rouleau conique étroitement combiné qui peut être utilisé dans un environnement de poussière grâce à un roulement sphérique enveloppé à l'intérieur.

Le support peut être propulsé par un moteur asynchrone équipé d'un drive de turbine auto verrouillé. Le moteur d'entraînement, enfermé complètement dans une enveloppe anti-poussière

et protégée par un tuyau flexible, est équipé des ailes de refroidissement sur la surface extérieure. Un drive auxiliaire pneumatique lié par un accouplement est installé à la deuxième extrémité de l'arbre de commande de moteur. Lors de panne d'alimentation, le drive permet à la sonde de retirer du four. La position de l'extrémité du support peut être contrôlée par un interrupteur réglable de fin de course. Le dispositif télescopique avec le drive électrique est un autre moyen d'augmenter la disponibilité et la fiabilité du système de prélèvement du gaz. Ce dispositif peut faciliter l'installation et le démontage de la sonde de prélèvement du gaz à l'entrée du four, et empêcher la surchauffe de la sonde lors de la panne du système de refroidissement.

Quand le dispositif télescopique s'allonge et se raccourcit au cas urgent avec le moteur à l'air comprimé, on doit examiner sa direction de tournoiement en ouvrant doucement la vanne d'arrêt principale de la vanne combinée. Quand une tension d'électricité n'est pas exécutée, le support déplaçable doit retirer du four. Le moteur à l'air comprimé doit s'arrêter à l'état raccourci à l'aide de l'interrupteur de fin de course de l'air comprimé.



Figure II.9 : Dispositif de purge sur le dispositif télescopique. [7]

II.2.4.5 Air comprimé / vanne combinée

La vanne combinée est destinée au nettoyage automatique des sondes HMS à prélever du gaz, les présentes sondes s'adaptent au prélèvement du gaz de mesure avec une haute concentration de poussières sous une température de 1200°C. En raison de la haute concentration de poussières dans le gaz du présent processus, il est inévitable de s'accumuler des poussières dans les sondes de prélèvement et dans le filtre chauffant. C'est pourquoi les sondes et le filtre

doivent effectuer la procédure de nettoyage automatique et circulaire et qu'il faut installer quelques pièces mécaniques dans la vanne combinée. Si le moteur de l'air comprimé est destiné au «retrait urgent» des sondes, il faut également installer dans la vanne combinée des soupapes de commande requises par le moteur. La vanne combinée est conçue comme une unité compacte (voir la figure II.10). Le filtre de l'air comprimé avec le dispositif automatique d'évacuation de l'eau condensée doit être connecté à l'avant du filtre des lignes d'alimentation de l'air comprimé. Il faut installer un robinet sphérique sans entretien pour maintenir le coupage de l'alimentation de l'air comprimé au cours du fonctionnement. Le filtre de l'air comprimé et le robinet sphérique doivent être montés à l'extérieur dans le dessein de permettre une manipulation et un nettoyage faciles. Les boutons de démarrage et d'arrêt de la procédure de nettoyage sont situés sur le panneau frontal. La disposition de la présente structure assure le démarrage de la vanne combinée lors des pannes ou des entretiens. Le récipient de l'eau condensée installé à l'avant de la soupape à quatre voies est destiné à collectionner de l'eau condensée produite après le chauffage électrique du filtre.

- 1- Vanne aérodynamique du moteur de l'air comprimé
- 2- Vanne électrique du moteur de l'air comprimé
- 3- Vannes électromagnétiques du rinçage de la sonde
- 4- Vannes électromagnétiques du nettoyage du filtre
- 5- Bornes des pièces électriques entre le câble



Figure II.10 : Vanne combinée. [7]

II.2.4.6 Contrôleur logique programmable et unité de détection

A l'aide du contrôleur programmable PLC, la vanne combinée de l'air comprimé destinée au système de prélèvement du gaz de rinçage est capable d'effectuer la procédure de nettoyage appropriée qui demandera de l'air comprimé sec, sans poussières ni de l'huile sous une pression de 6-8 bars. La consommation dépend de la durée de nettoyage et de la pression de l'air comprimé. L'air comprimé destiné au nettoyage passera par le filtre avec un séparateur automatique de l'eau condensée. La basse pression des lignes d'alimentation du gaz de mesure

entre l'entrée du gaz de mesure de la sonde et la pompe du gaz de mesure dans l'armoire d'analyse sera mesurée à travers les interrupteurs de pression. La présente basse pression est destinée à mesurer tous les polluants dans la sonde, le filtre dépoussiéreur, les lignes d'alimentation du gaz de mesure et la pompe du gaz de mesure où se produit du blocage, la pompe du gaz de mesure produira une pression négative. Si la pression négative dépasse la valeur de consigne, la procédure de nettoyage sera démarrée, indépendamment du fait s'il est heure de l'intervalle du temps de consigne.



Figure II.11 : Illustration similaire d'une unité de contrôle de PLC équipé de Simatic S7. [7]

Le contrôleur logique programmable PLC, servant à contrôler l'ensemble de la sonde HMS, est caractérisé des fonctions de permettre à la sonde de se retirer, de démarrer le cycle automatique et de faire afficher les informations de panne via le panneau de contrôle en état de cycle automatique ou en tout panne. Sur le panneau de contrôle, le minuteur et le compteur peuvent être réglés pour réaliser le contrôle de la sonde. La norme de PLC est S7-300.

II.2.4.7 Filtre à poussière à chauffage électrique

Le filtre à poussière destiné à prélever le mélange de gaz/poussière dans l'espace du processus de nettoyage est utilisé non seulement avec la sonde HMS mais aussi à d'autres endroits, il est particulièrement adapté au nettoyage du gaz sec, chaud et poussiéreux (la teneur en poussière de 2000g/m^3). Il doit être électriquement chauffé à une température d'environ 200°C , afin d'éviter que les trous du filtre s'ensavent ou s'encombrent par les poussières chaudes. Le présent filtre est de type dépoussiéreur et protégé par le tuyau flexible. Le filtre à poussière chauffe en intégrant les éléments chauffants dans sa carrosserie. A travers le thermostat avec un

dispositif de protection contre les surcharges installées dans la carrosserie du filtre, la température interne constante du filtre s'adaptera à la température de fonctionnement de la sonde. Le dispositif de chauffage, le thermostat et la vanne électromagnétique du filtre sont tous reliés à la boîte de jonction. La ligne d'alimentation du gaz de mesure et le dispositif de connexion de la sonde à prélever le gaz doivent être situés sur les éléments de la carrosserie du filtre. Les pièces de connexion de l'air comprimé destinées au nettoyage de la sonde doivent être situées sur le bas de la carrosserie du filtre. Le dispositif de connexion de l'air comprimé destiné au nettoyage du filtre peut être également situé dans la tête.

Il se compose principalement des éléments suivants:

1-Boîte de jonction électrique. 2-Carrosserie du filtre avec des performances du chauffage et de la préservation de la chaleur. 3-Dispositif de connexion de l'air comprimé destiné au nettoyage. 4-Clip de libération rapide avec des vis à tête d'intersection destinée au nettoyage manuel du filtre métallique. 5-Plaque d'étanchéité avec un ressort à boudin et des écrous. 6-Filtre-en métal fritté. 7-Tête avec une rondelle d'étanchéité du filtre et de sa carrosserie en métal fritté. 8-Pièces de connexion de l'air comprimé destiné à la purge du filtre. 9-Entrée du gaz de mesure. 10-Sortie du gaz de mesure.

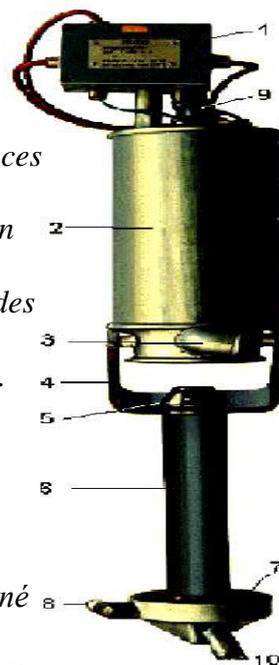


Figure II.12 : Filtre à poussière à chauffage électrique. [7]

Le gaz de mesure à nettoyer circule au delà de la partie supérieure dans l'espace entre le corps et la carrosserie du filtre, ensuite en fuit et entre à travers le corps du filtre dans son espace interne, finalement s'écoule de la tête du filtre par la sortie du gaz de mesure. Le design de l'équipement favorable à l'écoulement du gaz permet d'éviter la déviation du courant de gaz poussiéreux. Les particules de poussières sont séparées sur le côté extérieur du filtre et tombent à l'aide de la gravité au fond de la carrosserie du filtre. Le filtre peut être électriquement chauffé à environ 200°C, afin d'éviter que les trous du filtre s'ensavent ou s'encombrent par la précipitation de grillage. Le contact sans tension (normalement ouvert) peut être destiné à verrouiller le dispositif. Ce type de contact assure la libération du gaz de mesure lors de la

température de fonctionnement, qui évitera la formation de l'eau condensée quand le réchauffeur du filtre est en panne ou se met en fonctionnement. Pour les applications plus avancées, il faut débarrasser spécialement les poussières sur le filtre. Le nettoyage doit être effectué au moyen de l'air comprimé.

II.3 Processus de prélèvement de gaz d'échappement

La canne contient une chemise de refroidissement en acier qui fait qu'elle peut résister aux températures élevées de four qui peut atteindre des températures dépassant les 1200°C. De l'huile froide circule dans la chemise pour maintenir la température de la canne à 130°C ajustable. La conduite centrale où le gaz est prélevé ainsi que le logement de filtre sont chauffés par l'électricité jusqu'à 200°C pour que ni l'eau, ni l'acide ne puisse s'y condenser. Le fait de refroidir la canne en acier empêche sa déformation et qu'elle ne se plie sur sa longueur. Peu importe le média de refroidissement employé, la canne sera un point froid à l'intérieur de four. Le système de refroidissement : c'est l'huile qui circule dans un circuit fermé à l'aide d'une pompe et refroidie par un ventilateur commandé par un variateur de vitesse.

Le nettoyage du dispositif de prélèvement de gaz s'effectue à intervalles réguliers (30 min) avec de l'air comprimé pulsé (8 bars). Avant le démarrage du rinçage, le conduit de gaz vers l'appareil de mesure est isolé à l'aide deux vannes.

Le cycle de nettoyage se déroule en deux étapes :

- Nettoyage du tube : ouverture de la vanne, trois soufflages avec une pression de 8 bars.
- Nettoyage du corps du filtre céramique : ouverture de la vanne, trois soufflages avec une pression de 8 bars. Un capteur de pression de l'air comprimé assure la détection précoce des pressions (inférieurs à 6 ou supérieur à 8 bars) et déclenche un arrêt immédiat du système en affichant ce défaut dans l'écran de supervision.

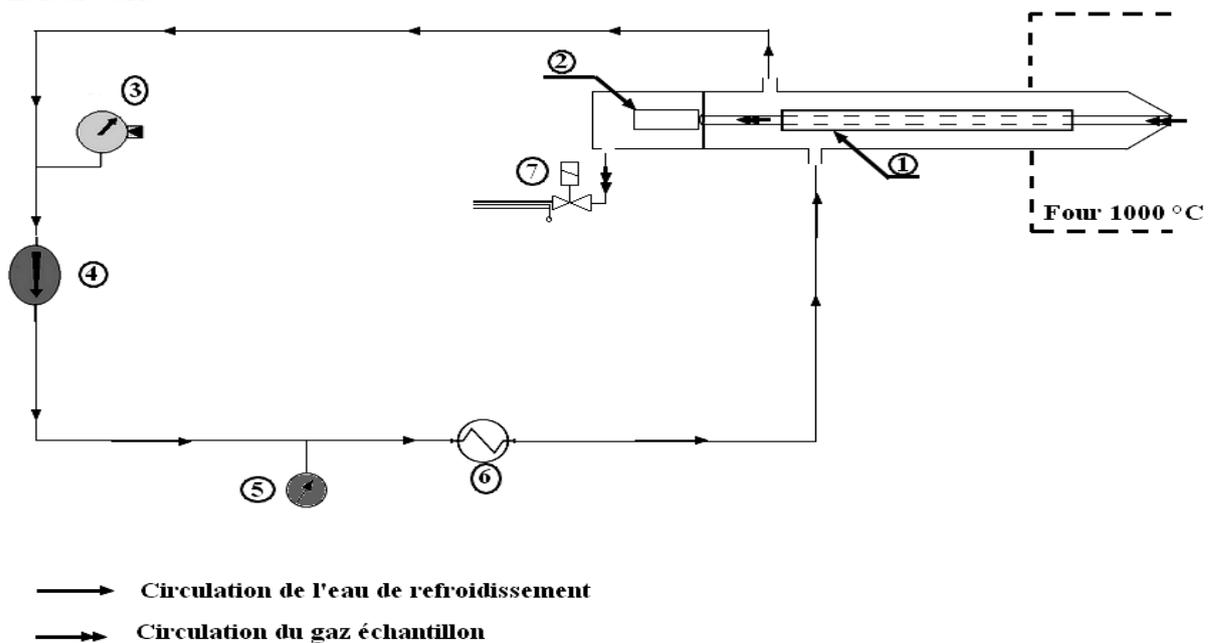
II.3.1 Système de refroidissement de la canne de prélèvement

En cours de prélèvement des gaz la canne est refroidie en continu à l'intérieur de four par l'huile pour deux raisons :

- Pour éviter la déformation de la canne.
- La température élevée de l'huile permet une augmentation de la pression qui peut faire exploser la canne.

Pour préparer l'échantillon prélevé de façon à éviter la déformation et l'explosion de la canne, on a besoin d'un système automatique qui assure un refroidissement continu de l'huile qui circule dans les tubes afin de mettre la température du gaz à une valeur plus ou moins constante et stable de 130 °C en utilisant un régulateur PID.

La température de l'huile dans la conduite est prélevée à l'aide d'un capteur de température (Pt100), lié à l'unité de commande qui sert à envoyer des signaux sous forme d'un courant électrique (4 – 20 mA) à un variateur de vitesse, la vitesse de rotation du moteur de l'échangeur de chaleur varie.



- 1 : Séparateur, son rôle est de faire passer l'huile dans toute la sonde.
 2 : Filtre céramique. 3 : Débitmètre. 4 : Pompe. 5 : capteur de température (PT100).
 6 : Echangeur de chaleur. 7 : Electrovanne d'isolation (vers l'unité de conditionnement).

Figure II.3 : Schéma simplifié du système de refroidissement par l'huile. [7]

II.3.2 Unité de conditionnement

Le gaz de processus à analyser est prélevé par la sonde de prélèvement, nettoyé dans le filtre dépoussiéreur à chauffage électrique, puis amené au dispositif d'analyse de gaz. Du fait du positionnement latéral de l'orifice de prélèvement de gaz, la sonde prélève un courant partiel

particulièrement pauvre en poussières. Le refroidisseur de gaz a pour fonction de préparer l'échantillon prélevé de façon adaptée à l'analyseur. Le gaz doit être introduit aux analyseurs sans poussières et avec une température et une sécheresse appropriées. L'utilisation de filtres papier intégrés au refroidisseur garantit l'obtention d'un échantillon pur. Lors de la préparation des échantillons, le flux d'échantillon requis est observé au moyen d'un détecteur de débit (20-60 l/h). Le cas échéant, une surveillance électrique du flux d'échantillon transmet un signal d'alarme à l'automate pour arrêter le processus et afficher le défaut.

L'échantillon une fois préparé est ensuite analysé dans les analyseurs de gaz Advance Optima AO2020 Module O₂ et Advance Optima AO2020 Module NO/CO et SO₂.

II.4 Description des éléments de base de la cabine d'analyse de gaz

La mesure, d'un grand nombre de composants gazeux différents dans des concentrations basses, peut nécessiter l'utilisation de nombreux analyseurs différents.

L'usine utilise des analyseurs de marque ABB pour la raison de la qualité de ses produits.

II.4.1 Analyseurs du gaz échantillon (AO2000)

II.4.1.1 Module d'analyse O₂

Parmi tous les gaz, seul l'oxygène a une forte sensibilité *paramagnétique*. Les autres ont une sensibilité *diamagnétique*. Le principe de mesure utilisé s'appuie sur les propriétés paramagnétiques de l'oxygène. L'échantillon de gaz à analyser circule à travers un système constitué de deux chambres (cylindriques) : *la chambre d'échantillonnage* et *la chambre de référence*. Ces deux chambres supportent les résistances annulaires dépendantes de la température et constituant une partie d'un pont de Wheatstone.

Les conditions thermodynamiques des deux chambres sont identiques. La chambre d'échantillonnage est située dans le champ d'un aimant permanent, contrairement à la chambre de référence. Le circuit du pont est raccordé à une source de tension constante. De ce fait, les résistances annulaires sont chauffées de manière définie (200 °C environ). Lorsqu'un gaz dépourvu d'oxygène traverse les chambres de mesure et de référence, des conditions thermiques identiques s'établissent dans les deux chambres par les courants circulatoires, Par contre, si le

gaz à analyser contient de l'oxygène, un courant circulaire amélioré proportionnel à la concentration d'oxygène est établi dans la chambre de mesure grâce au champ magnétique et aux forces résultantes agissant sur les molécules d'oxygène. Les courants différents dans les chambres de mesure et de référence provoquent un refroidissement différencié des deux résistances annulaires et modifient l'équilibre lié à la température du circuit de pont. La tension diagonale du pont qui en découle est traitée de manière numérique. Il en résulte en sortie un signal de courant continu indépendant de la charge et proportionnel à la concentration. Les résistances annulaires situées à l'intérieur du système à deux chambres sont protégées contre la corrosion et l'échauffement au moyen de tubes capillaires en verre à parois minces.

L'ensemble de la chambre de mesure avec son aimant permanent est installé dans un caisson thermostaté pour que la lecture soit le plus possible indépendante des variations de la température ambiante.

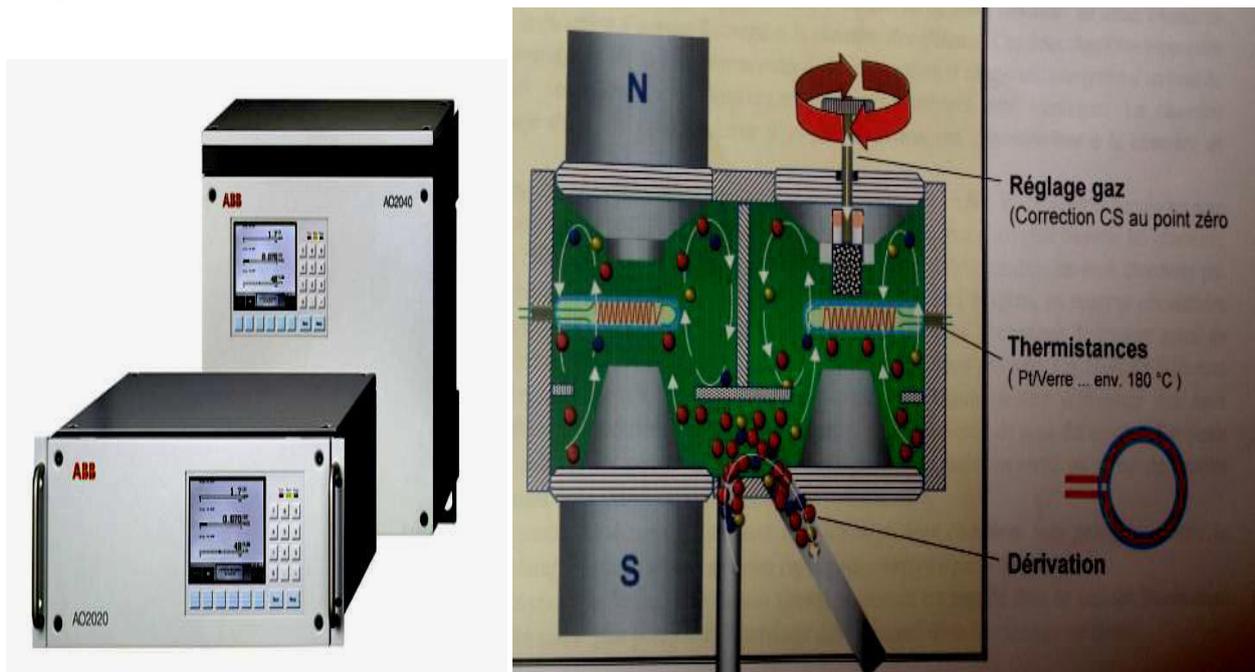


Figure II.4 : Analyseurs Advance Optima ABB. Figure III.5 : Principe de mesure de l'oxygène. [8]

II.4.1.2 Module d'Analyse CO/NO ET SO₂

Certaines molécules hétéro-atomiques (CO, NO, SO₂...) absorbent le rayonnement infrarouge à des longueurs d'ondes bien précises, en raison de la mise en rotation de la molécule autour de certains de ses axes interatomiques, ou de vibrations intramoléculaires. On travaille en général dans l'IR moyen où l'on modifie les états de rotation (vibrations des molécules).

L'analyse continue des gaz utilise l'absorption de l'IR, en se basant sur la loi de Beer-Lambert :

$$I1=I0*e^{-\zeta*C*L}$$

I1: Energie rayonnée

I0: Energie reçue

ζ : constante d'extinction

C: Concentration (%)

L: Longueur cellule (mm)

Le faisceau IR traverse deux cuves en parallèle, dont l'une est remplie par le mélange à analyser et l'autre remplie par un gaz de référence. Les deux faisceaux inégalement absorbés sont reçus dans un récepteur à deux compartiments, qui sont remplis du composé à doser et absorbent donc l'énergie IR résiduelle. Ceci se traduit par un échauffement différent du gaz de chaque compartiment, donc par une pression différentielle, qui est prise en compte par un amplificateur, et traduite en concentration.

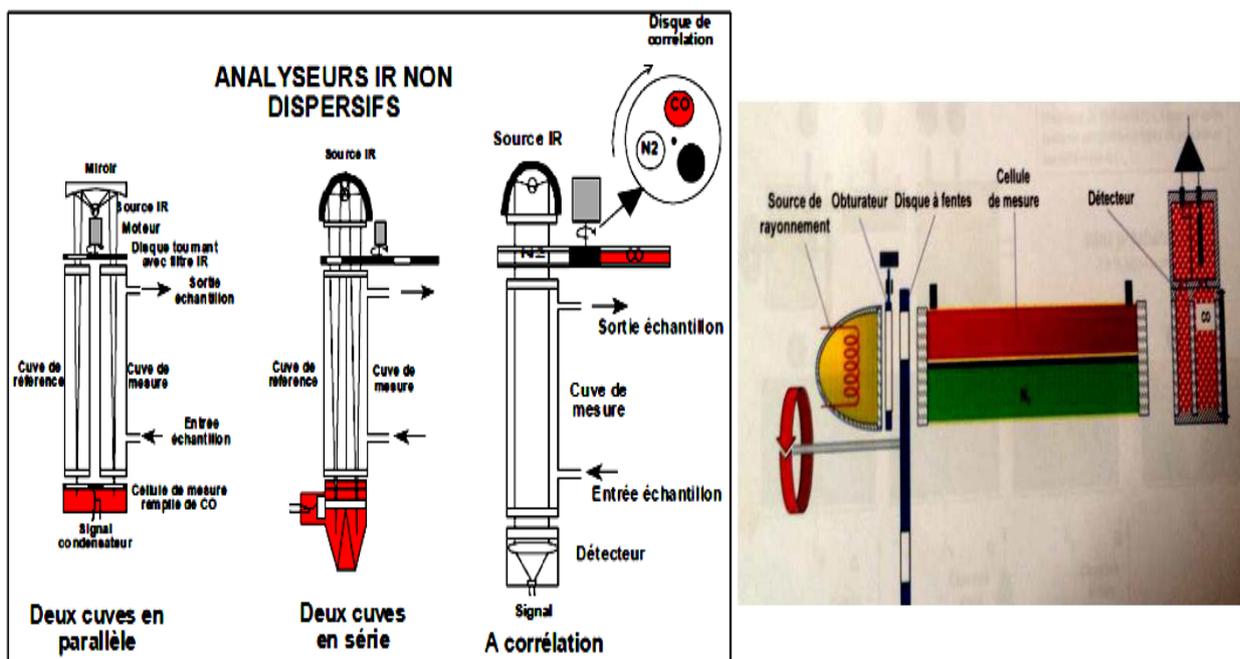


Figure II.6 : Analyseurs de gaz (NO/CO et SO₂) par absorption IR. [8]

II.3 Analyse fonctionnelle de système d'analyse de gaz d'échappement

Afin de décrire notre système et de déterminer le principe de fonctionnement et ses conditions d'utilisation, nous avons utilisé une analyse fonctionnelle qui va nous permettre de :

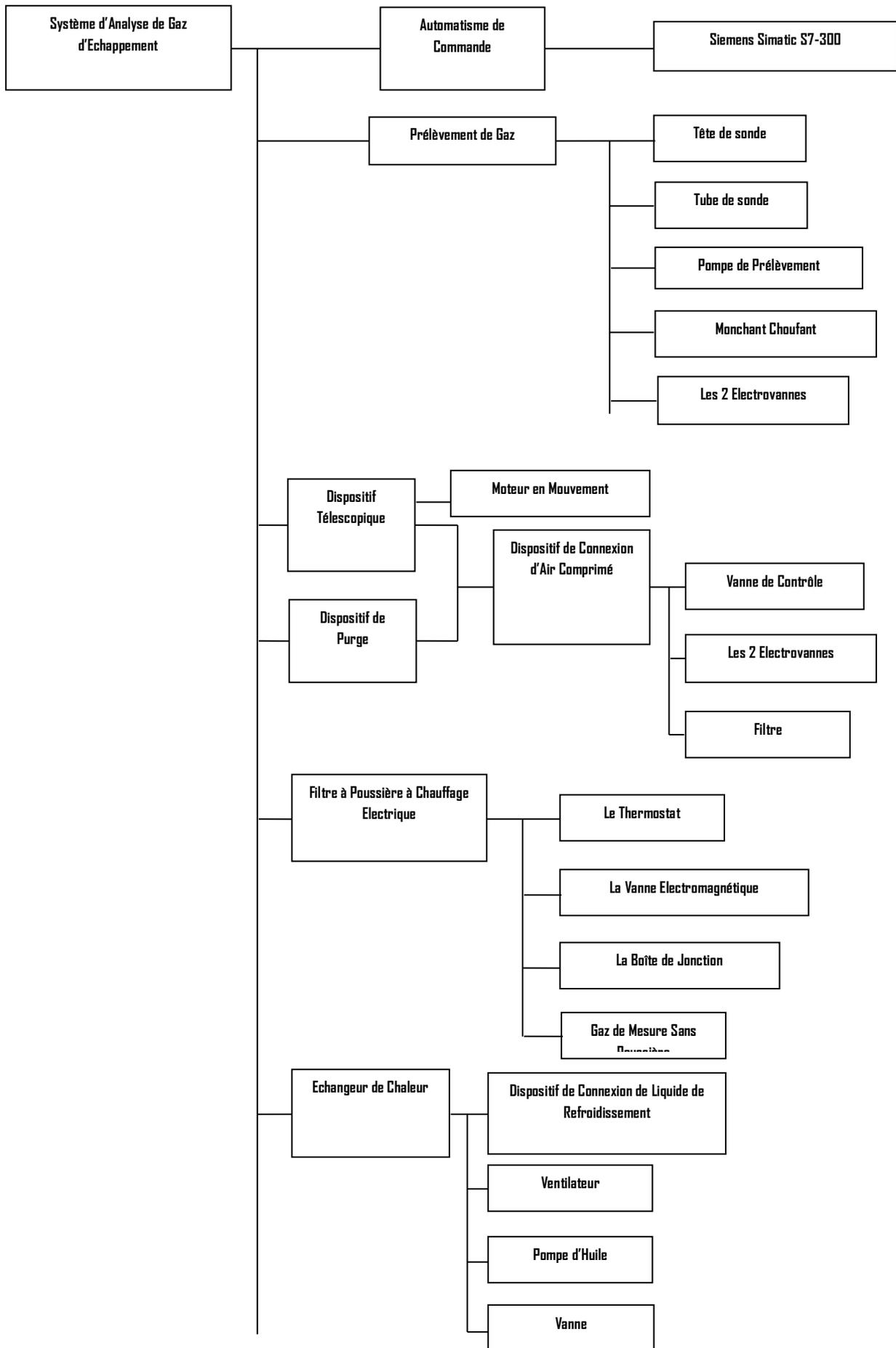
- Schématiser le système d'analyse de gaz afin de déterminer l'ensemble des fonctions de système.
- Mieux appréhender le système afin d'améliorer et de mettre en œuvre un programme d'automatisme de qualité qui répond au fonctionnement globale de système.
- Répondre au cahier de charge et d'identifier les degrés de liberté.
- Remettre en cause les solutions existantes et d'élargir les champs des possibilités.

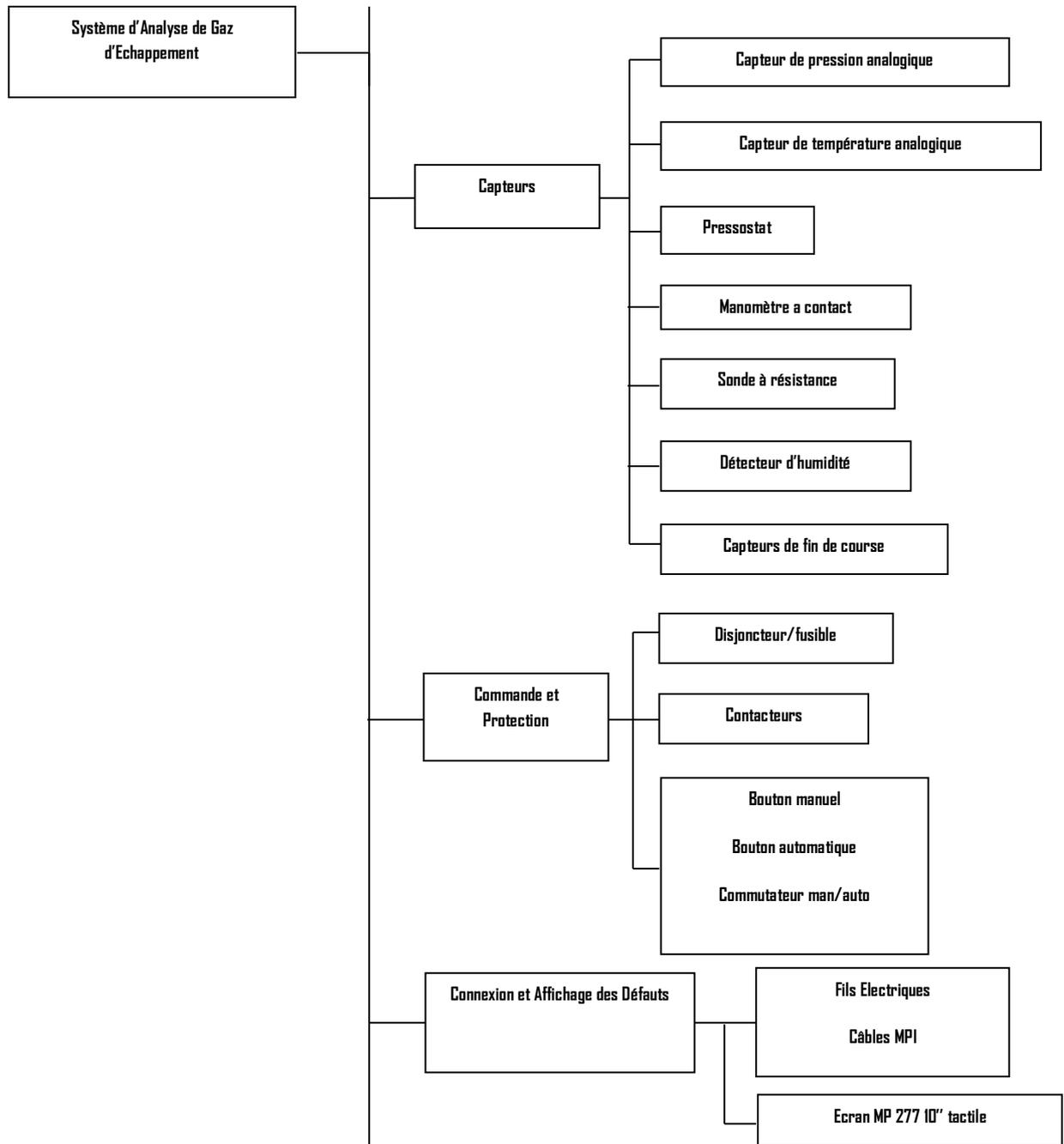
II.3.1 Décomposition fonctionnelle du système

Habituellement, un système d'analyse de gaz se décompose en deux groupes d'équipements :

- Les équipements complémentaires qui prélèvent le gaz échantillon du procédé et l'introduisent dans les analyseurs.
- L'analyseur de gaz qui mesure les concentrations des composants du gaz échantillon et les convertit en signal électrique.

Dans le plus part des cas, le gaz échantillon prélevé du procédé ne peut être traité par l'analyseur sans conditionnement. Une teneur en poussière, une température et un point de rosée trop hauts, aussi bien qu'une pression trop haute ou trop basse peut altérer la capacité opérationnelle de l'analyseur de gaz et fausser le résultat de la mesure. Des équipements nécessaires comme la sonde de prélèvement, la ligne d'échantillonnage, le refroidisseur de gaz échantillon, la pompe et les filtres de poussière assurent que les conditions d'entrée du gaz échantillon aux analyseurs connectés sont remplies et que des résultats de mesure parfaits sont obtenus indépendamment des séquences du procédé et des conditions locales. Ci-dessous une décomposition de matériels constituant le système d'analyse de gaz:





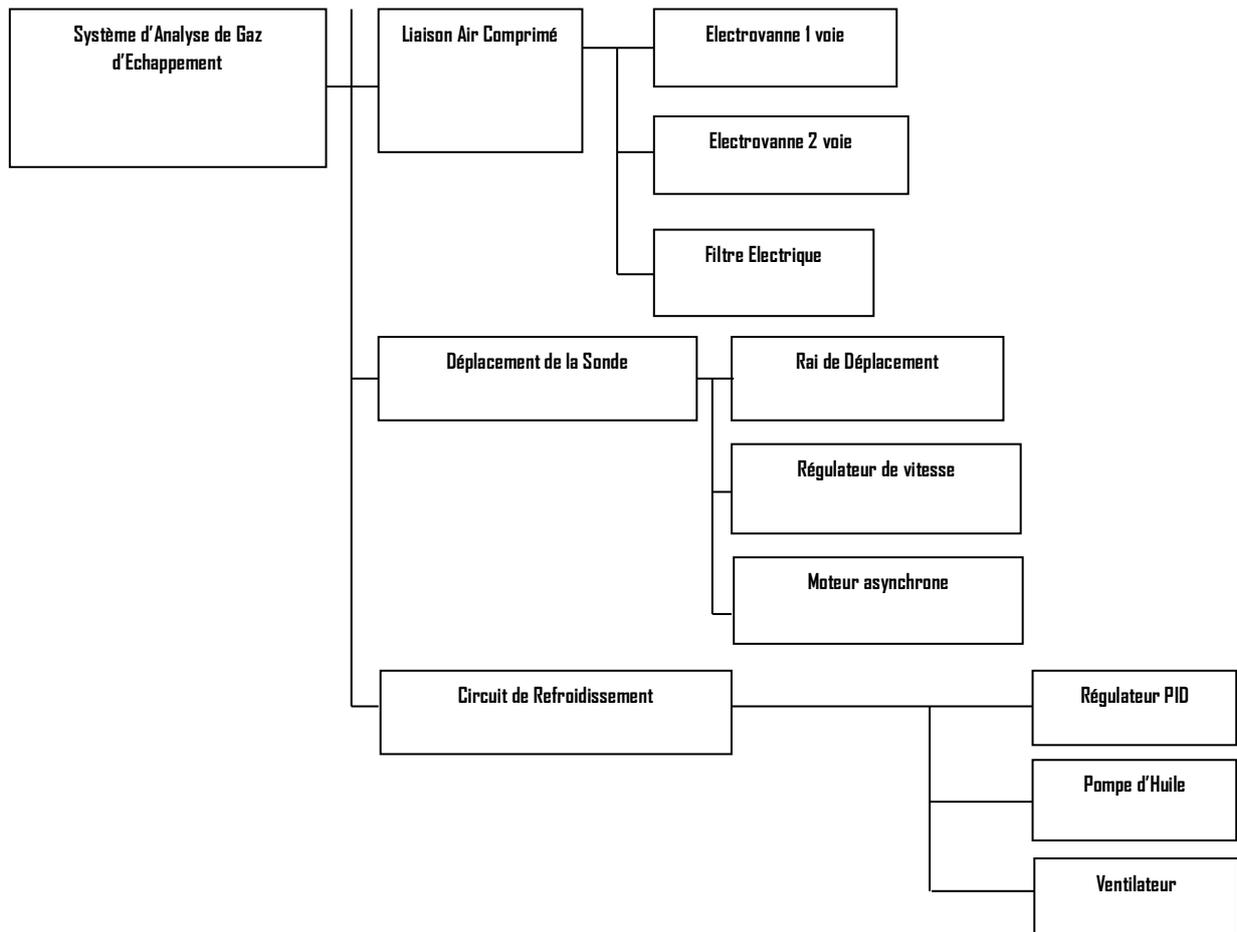


Figure II.13 : Les équipements constituant le système d'analyse de gaz.

II.3.2 La représentation de besoin (La bête à cornes)

Avant d'imposer une solution, il faut se tourner vers le demandeur, pour aboutir de manière structurée à la solution, car un projet n'a de sens que s'il satisfait le besoin. Il convient donc d'exprimer le besoin dès le lancement du projet. Il s'agit d'explicitier l'exigence fondamentale qui justifie la réalisation et la programmation d'un système d'analyse des gaz de four au sein de l'usine. Pour cela, il est essentiel de se poser les trois questions suivantes :

- A qui (quoi) rend-il service ?
- Sur qui (quoi) agit-il ?
- Dans quel but ?

La bête à cornes est un outil de représentation de ces questions fondamentales.

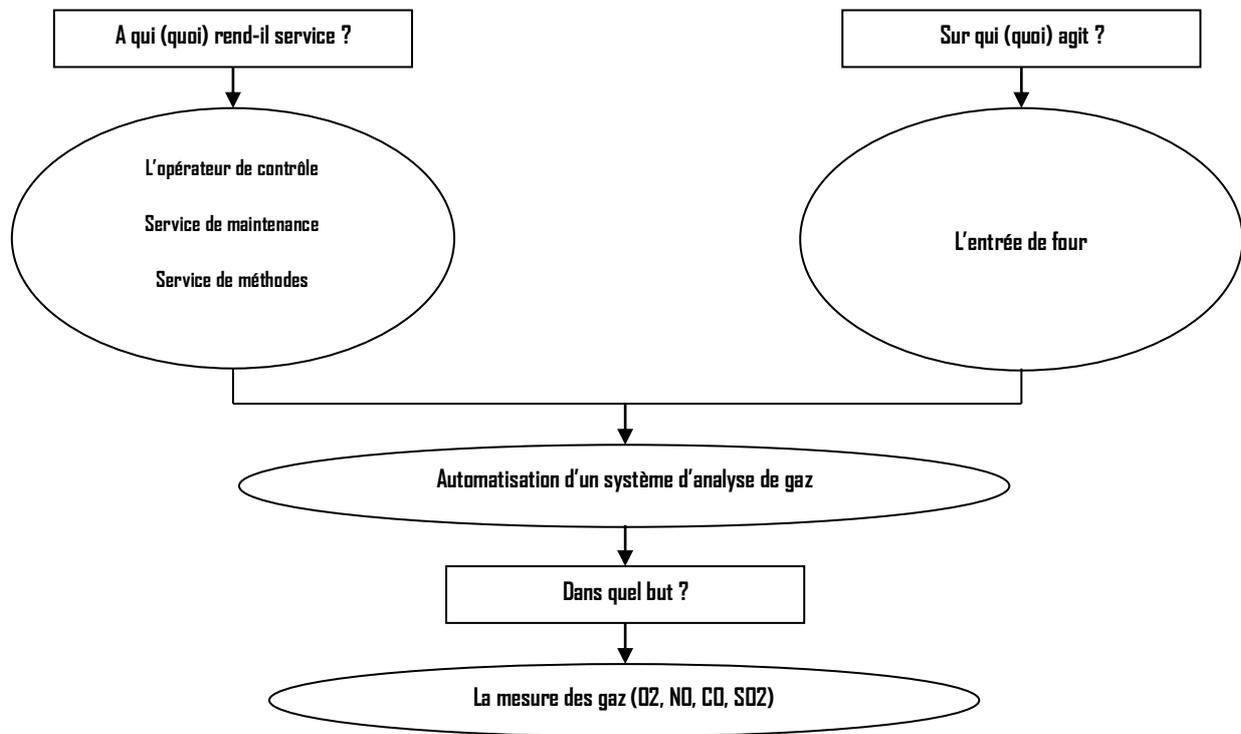


Figure II.14 : Représentation de besoin en système d'analyse de gaz.

II.4 Les équipements de système d'analyse de gaz d'échappement

1- Les électrovannes: Sont des dispositifs commandés électriquement permettant d'autoriser ou d'interrompre par une action mécanique la circulation du gaz dans le circuit. Toutes les électrovannes utilisées sont de type : « tout ou rien ».

2- Pompe péristaltique: Dans ce projet il existe deux pompe l'une permet de tirer et transporter le gaz échantillon depuis l'entrée du four vers les analyseurs de la cabine et l'autre permet de circuler l'huile de refroidissement. Le principe de fonctionnement de la pompe péristaltique est basé sur le déplacement du liquide à pomper à travers un tube souple soumis alternativement à une compression et à une décompression. La décompression du tube génère un vide quasi complet qui assure l'aspiration du fluide dans ce tuyau. Ces compressions et décompressions sont effectuées à l'aide de deux sabots montés sur un rotor. L'effet de rotation du rotor entraîne le déplacement du liquide à travers le tuyau selon un volume constant et sans pertes dues au reflux.

3- Pressostat (Pt100) : Ce pressostat est un dispositif détectant le dépassement d'une valeur prédéterminée (4bars) de la pression de l'air de nettoyage du groupe filtre

céramique - sonde de prélèvement. L'information rendue est une grandeur électrique, utilisée comme entrée pour le traitement automatique. Cet appareil est également appelé manostat.

4- Débitmètre à flotteur (FI210 et FI220) : C'est l'appareil destiné à mesurer le débit du flux gazeux, pour respecter les conditions d'analyse.

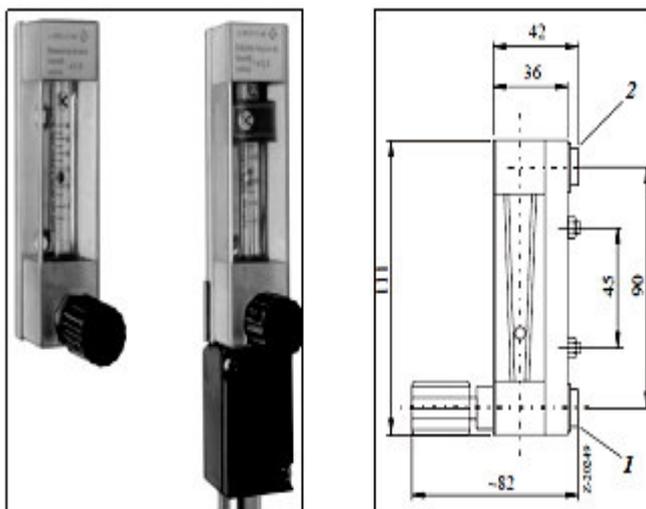


Figure II.16 : Vue externe et dimensions de débitmètre.

Il est constitué d'un tube conique à l'intérieur duquel une petite pièce appelée flotteur peut se déplacer. En l'absence d'écoulement il est donc naturellement en bas du tube ce qui donne l'information sur l'absence de débit de gaz par la fermeture d'un contact.

5- Détecteur d'humidité: Une sonde d'humidité est constituée d'un circuit relié à un condensateur qui constitue la cellule de mesure. Ce condensateur dont le diélectrique est constitué d'une substance hygroscopique de quelques millimètres constitue l'élément sensible de la cellule de mesure. Cette substance sensible, un film de polymère hygroscopique, absorbe les molécules d'eau du gaz ambiant jusqu'à atteindre l'équilibre avec la vapeur d'eau qu'il contient. On observe donc une variation de la constante diélectrique du polymère, et donc une variation de la capacité du condensateur. La capacité du condensateur varie donc en fonction de l'humidité relative contenue dans l'air ambiant. Le circuit oscillant lui, permet d'obtenir une fréquence précise, fonction de la capacité du condensateur. Cette fréquence est transformée par la partie pré conditionneur du capteur en un courant électrique (4

– 20 mA) ou en une tension (0 – 10 V) qui varie linéairement en fonction de l'humidité relative.

6- Variateur de vitesse: Le variateur de vitesse est un dispositif destiné à régler la vitesse de moteur asynchrone utilisé dans le système de refroidissement. Le variateur de vitesse est commandé par l'automate avec une boucle de régulation PID.

7- Capteur de température Pt_100 : Le capteur de température qui est utilisé pour mesurer la température de l'eau de refroidissement c'est un capteur Pt_100. Ce capteur est constitué d'une résistance en Platine. La valeur initiale du Pt100 est de 100 ohms correspondant à une température de 0°C la relation entre la température et la résistance est

$$R_T / R_0 = 1 + A.t + B.t^2 \text{ avec:}$$

R_T : résistance du thermomètre à la température T.

R_0 : résistance du thermomètre à 0°C.

t: la température en °C.

$$A = 3.9083 \cdot 10^{-3} \text{ et } B = -5.775 \cdot 10^{-7}$$

Pour le capteur Pt_100 à 3 fils utilisé, la résistance du circuit de mesure est compensée et n'entre pas dans le résultat de mesure. Pour avoir un résultat de mesure correct, tous les conducteurs doivent avoir la même résistance. Il faut assurer que tous les fils aient la même longueur et la même section. La sonde Pt100 est reliée à un transmetteur de température. Le transmetteur transforme la résistivité en intensité (signal normalisé 4-20mA). Il est essentiel, et va nous permettre de lire la température par l'automate.

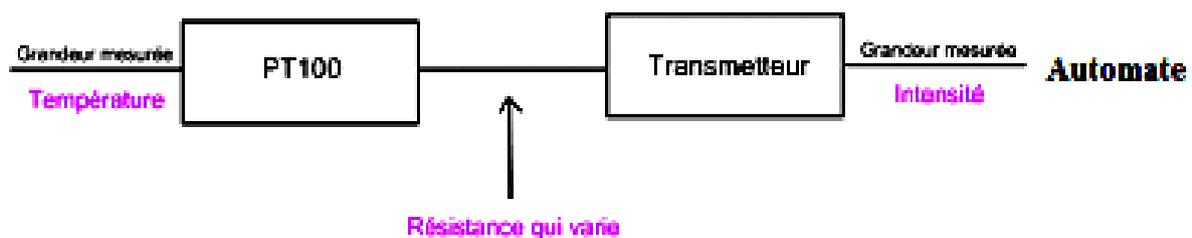


Figure II.17: Capteur de température Pt100.

II.4 Problématique et cahier de charge

II.4.1 Cahier de charge

L'objet principal de ce projet c'est l'étude d'une Sonde de prélèvement de gaz d'échappement placé à l'entrée de four, d'élaborer des séquences de fonctionnement en fonction de ces paramètres, de collecter et développer la documentation technique nécessaire pour l'établissement du programme d'automatisme et le simuler. Cette étude doit satisfaire à plusieurs exigences. Les spécifications suivantes doivent être prises en considération lors de l'élaboration du projet :

- La solution doit être flexible, optimisée de point de vue câblage et facilement maintenable.
- Le système doit être extensible et aisément modifiable par les techniciens de L'usine.

II.4.2 Problématique

Pendant l'analyse du gaz dans le conduit de fumée lors de la production du ciment, se présentera des conditions défavorables, il faut prendre des mesures particulières pour entretenir, réparer et contrôler toutes les pièces de l'équipement d'analyse du gaz. Ce système de prélèvement du gaz est considéré comme un système ayant une haute disponibilité et fiabilité, par conséquent, un système préventif d'entretien automatique est demandé.

Le système d'analyse de gaz présente des arrêts hors service suite à des anomalies répétitives, et qui nécessitent à chaque fois l'intervention des techniciens donc il faut gérer l'ensemble de ces anomalies par un programme d'automatisme pour augmenter la disponibilité de ce système. Parmi ces anomalies on cite :

1- Démarrage de système :

La machine ne peut être démarrée qu'après l'approvisionnement des matières premières.

2- Blocage de la canne de prélèvement :

Pendant le cycle entré sortie canne automatique, le croutage enveloppant s'accumule au bout extérieur du fourreau causant un blocage de mécanisme chariot. Pour résoudre ce problème ils

ont appliqué une électrovanne pour nettoyer la canne et le fourreau par impulsion d'air comprimée pendant chaque sortie cyclique de la canne.

3- Humidité :

L'humidité présente un grand challenge, car les analyseurs de gaz sont des instruments optiques ou paramagnétiques, donc il faut éliminer l'humidité le maximum possible avant l'injection des gaz aux analyseurs en deux tranches :

- .Ajouter des bouteilles séparatrices à l'entrée cabine qui chasse la majorité de l'humidité. Cette technique permet aussi de surveiller le filtre céramique et les accessoires, selon les saletés accumulées sur les parois des bouteilles.
- La condensation de l'humidité par le sécheur à 3°C.



Figure II.15 : Bouteilles séparatrices. [7]

4- Bouchage de la canne de prélèvement :

Le nettoyage du dispositif de prélèvement de gaz s'effectue par purge dans un intervalle régulier (28 min) par l'air comprimé pulsé (8 bars) pour éviter le bouchage de la canne de prélèvement pendant l'entre et sortie dans la boîte à fumer.

5- Bouchage du cornet de la boîte à fumer :

Le nettoyage s'effectue par purge quand le vérin ouvre la porte du cornet de la boîte à fumer. Ou bien (chaque entrée de la sonde de prélèvement) par l'air comprimé pulsé (8 bars) pendant 5 seconds pendant un intervalle régulier (2 min) par l'air comprimé pulsé (8 bars) pour éviter le

bouchage de la porte de la boîte à fumer et pour que le gaz prélevée ne s'accumule pas avec la poussière.

6- Blocage des trou de filtre :

Pour éviter l'écart de température entre la sonde et le filtre, il faut chauffer à le filtre avec l'électricité à 200°C; dans ce cas là, on peut éviter l'accumulation des matériels de chauffage dans l'espace du filtre et le blocage des trous de filtre.

7- Température de fonction du système de refroidissement ajustable :

La température de fonction du système de refroidissement de l'échangeur de chaleur est entre 130 et 250°C. Quand la quantité de chaleur arrive 60 kw, le radiateur commence à disperser la chaleur pour ajuster l'intervalle de température. Il faut limiter la température entre 135 et 215.

8- Abîme de la sonde de prélèvement :

Quand le liquide de refroidissement arrive la température la plus basse 130°C, et que le filtre du gaz de mesure arrive la température de fonction, la pompe du gaz de mesure peut fonctionner et la sonde se trouve à l'état d'insertion. Si de l'eau pénètre dans le liquide de refroidissement à cause de condensation ou pour d'autres raisons, le réchauffage du liquide de refroidissement peut formuler soudainement des bulles d'air, cela peut causer la coupure du flux et le retire de la sonde. Ce phénomène arrive le plus souvent à la température de 125°C. Si la température du liquide de refroidissement arrive instantanément 230°C, normalement pas beaucoup de bulles d'air se forment mais la sonde serait abîmée. Pour ne pas abîmer la sonde, il faut appuyer sur le bouton d'arrêt urgent le plus vite possible (bloquer). Au cas de panne de la source d'électricité, il faut faire retirer la sonde avec le moteur électrique à l'air comprimé, même le bouton d'arrêt urgent est appuyé.

9- Test de basse pression :

La basse pression doit rester quasi constante (la chute de pression maximale en 5 minutes est de 2 mbar). Il faut assurer la pression de 6-8 bars, la quantité et la qualité de l'air comprimé s'accordent avec les spécifications et les exigences.

II.4.3 Etat de fonctionnement de la sonde de prélèvement de gaz d'échappement

L'organigramme suivant nous permettra d'accéder au fonctionnement parfait de la sonde de prélèvement.

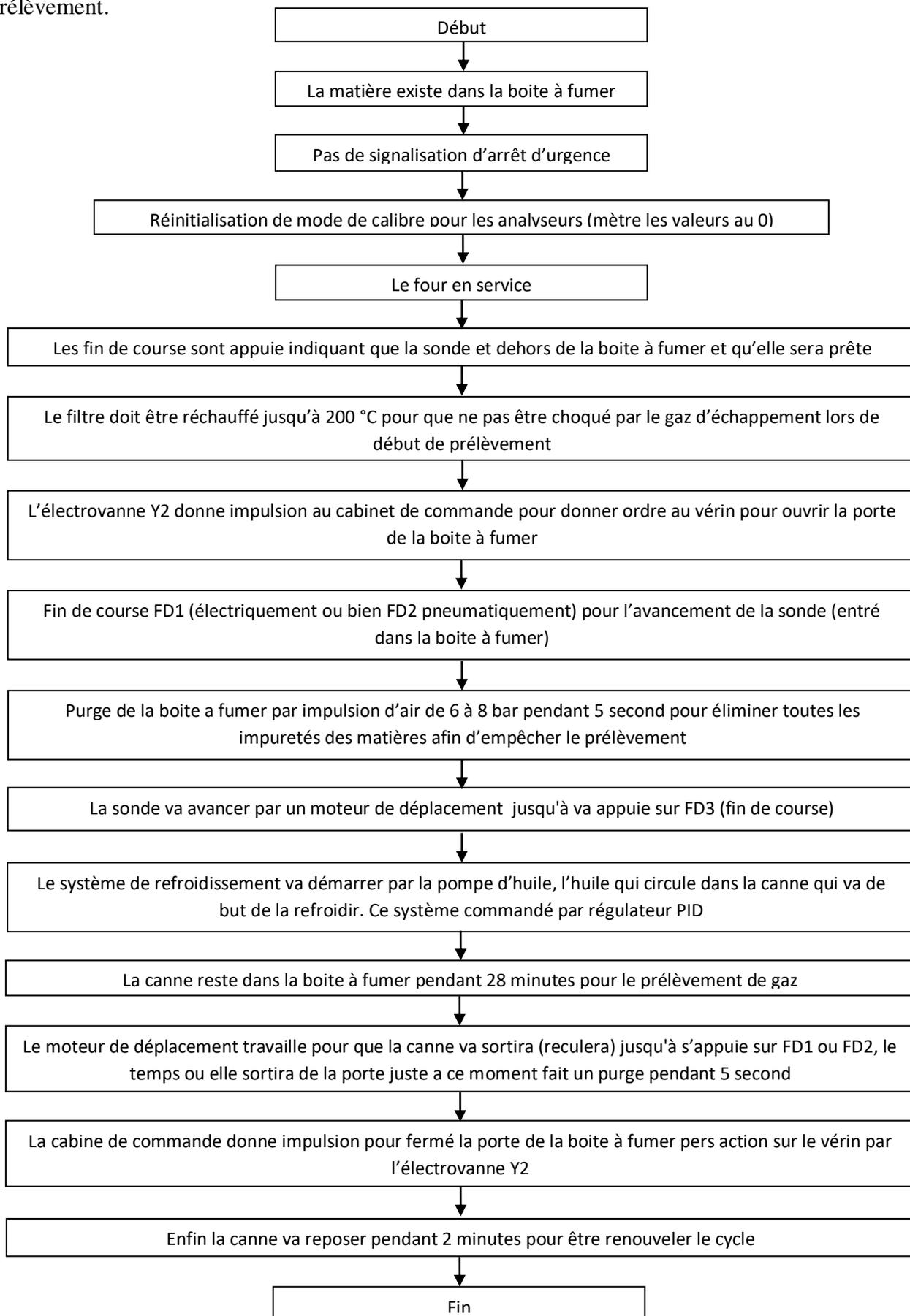


Figure II.15 : Organigramme de fonctionnement de la sonde de prélèvement.

II.4.3.1 Etat de refroidissement et les états d'urgence de la sonde de prélèvement

- Lorsque la température de la sonde de prélèvement de gaz et celle du gaz à prélever dépassent le point de rosée acide (environ 130°C), le présent échangeur de chaleur fonctionnera.
- Lorsque la température du liquide de refroidissement dépasse 180°C, le ventilateur de refroidissement se mettra à fonctionner pour refroidir obligatoirement le radiateur.
- Lorsqu'elle est au-dessous de 180°C, le ventilateur de refroidissement va s'éteindre.
- À l'aide de l'interrupteur du niveau de liquide, il est possible de contrôler «le minimum niveau» dans la boîte d'expansion. La pompe de circulation va s'éteindre lorsque le liquide de refroidissement est au-dessous du minimum niveau qui est entre 85 et 87 mm.

Le débitmètre peut contrôler le débit du liquide de refroidissement. Si le débit est inférieur à la valeur minimale pendant plus de 5 secondes, la pompe de circulation va s'arrêter et donner une alarme.

- Lorsque la température du liquide de refroidissement dépasse 220°C, la sonde va se rétracter du four pour assurer une protection contre les surcharges thermiques.

Le fanal sur l'armoire de commande peut donner des informations de panne. Dans le dessein de poursuivre son développement, le présent fanal peut être connecté au système de contrôle par la façon potentielle de non contact.

Température de l'interrupteur du démarrage de ventilateur sous l'ajustement du thermostat: 180°C

Température maximum sous l'ajustement du thermostat: 220°C

Température minimum sous l'ajustement du thermostat: 130°C

Débit minimum sous l'ajustement du débitmètre: 1.5m³/h

Niveau minimum de la boîte de rémunération au fond: 85 mm

Le niveau d'indication de la boîte d'expansion doit être ajusté à 87mm soit à la position du «niveau froid». Le point de communication de l'interrupteur du niveau doit être ajusté à 85mm, soit à la position du niveau le plus bas.

- La valeur de limite peut être ajustée à 130°C. La pompe de prélèvement fonctionnera à condition que la température dépasse la présente valeur de limite.
- La valeur de limite de la température est disposée à 220°C, La sonde se dégagera du four à condition que la température atteigne la présente valeur de limite.

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons atteint de connaître le principe de fonctionnement aussi le principe de refroidissement de notre système d'analyse de gaz ainsi son système de sécurité: c'est une brique qui nous permet de faire un bond en avant et un tapis de sol permettant à un automate de le contrôler et de savoir ce qu'il fait à tout moment tous ça pour aider l'être humain.

Chapitre III

SYSTEME AUTOMATISE

III.1 Introduction

Avec l'évolution de la technologie, les exigences attendues de l'automatisation sont tirées à la hausse. Elles devraient désormais assurer productivité, affinement qualitatif et diminution des coûts de production. Bien d'autres améliorations devraient parallèlement en découler: amélioration des conditions de travail, sécurité, sûreté fonctionnelle et suppression des tâches pénibles ou répétitives.

L'automate programmable industriel API (ou Programmable Logic Controller PLC) est l'un des appareils de commande des systèmes de production et d'automatisme les plus utilisés dans l'industrie. Son apparition pour la première fois fut aux Etats-Unis dans le secteur de l'industrie automobile. Après la description du fonctionnement de l'équipement avec ses éléments, nous allons procéder à son automatisation.

Dans ce chapitre, nous donnons un bref aperçu sur la structure des systèmes automatisés ainsi que les automates. La deuxième partie est consacrée à le placement de l'automate dans le système automatisé, ensuite à la description des automates programmables SIEMENS à structure modulaire essentiellement le S7-30 puis nous devrons définir les outils de programmation utilisés dans notre programme et de proposer une solution complète de commande par automate programmable de la sonde d'analyse des gaz de boîte à fumé.

III.2 Systèmes automatisés

L'automatisation d'un système consiste à transformer l'ensemble des tâches de commande et de surveillance, réalisées par des opérateurs humains, dans un ensemble d'objets techniques appelés partie commande. Cette dernière mémorise le savoir-faire des opérateurs, pour obtenir l'ensemble des actions à effectuer sur la matière d'œuvre, afin d'élaborer le produit final [9].

Parmi les objectifs de l'automatisation on peut citer :

- réalisation des tâches répétitives, sécurité, économie des matières premières et l'énergie.
- augmentation de la productivité et plus d'adaptation à des contextes particuliers (flexibilité).

III.2.1 Structure des systèmes automatisés

Un système automatisé est toujours composé d'une partie commande (PC) et une partie opérative (PO). Pour faire fonctionner ce système, l'opérateur va donner des consignes à la PC. Celle-ci va traduire ces consignes en ordres qui vont être exécutés par la PO. Une fois les ordres accomplis, la PO va le signaler à la PC, par un retour d'information, qui va à son tour le signaler à l'opérateur, ce dernier pourra donc dire que le travail a bien été réalisé. [10]

Partie commande :

C'est la partie qui gère le fonctionnement du système automatisé. Elle est, en général, composée d'un ordinateur qui contient dans sa mémoire un programme. Elle transmet les ordres aux actionneurs de la partie opérative à partir :

- Du programme qu'elle contient.
- Des informations reçues par les capteurs.
- Des consignes données par l'utilisateur ou par l'opérateur.

Partie opérative :

Elle consomme de l'énergie électrique, pneumatique ou hydraulique. Elle comporte, en général, un boîtier (appelé bâti) contenant :

- Des actionneurs (transforment l'énergie reçue en énergie utile : moteur, vérin, pompe).
- Des capteurs (transforment les variations des grandeurs physiques liées au fonctionnement de l'automatisme en signaux électriques : capteur de position, de température, bouton poussoir).

Interface :

Elle relie la partie opérative (PO) et la partie commande (PC). C'est un système de traduction d'informations entre la PC et la PO.

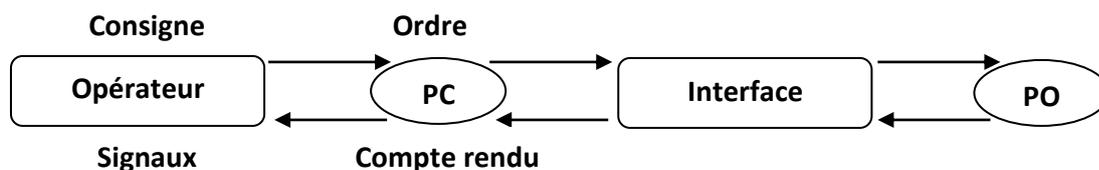


Figure III.1 : Structure d'un système automatisé.

III.3 Généralités sur les API

III.3.1 Définition d'un automate programmable industriel (API)

Un automate programmable est un système électronique fonctionnant de manière numérique, destiné à être utilisé dans un environnement industriel. Il utilise une mémoire programme pour le stockage interne des instructions utilisées aux fins de la mise en œuvre des fonctions spécifiques, telles que : des fonctions logique, de mise en séquence, de temporisation, de comptage et de calcul arithmétique, pour commander, au moyen des entrées/sorties (de type tout/rien ou analogiques), de divers types de machines ou de processus. L'automate programmable et ses périphériques associés sont conçus pour pouvoir facilement s'intégrer à un système d'automatisme industriel et être facilement utilisé dans toutes leurs fonctions prévues.

Un API a trois caractéristiques fondamentales :

- Il peut être directement connecté aux capteurs et pré-actionneurs grâce à ses E/S industrielles.
- Il est conçu pour fonctionner dans des ambiances industrielles sévères.
- Enfin, sa programmation à partir de langages spécialement développés pour le traitement de fonctions d'automatisme facilite son exploitation et sa mise en œuvre.

III.3.2 Architecteur des automates

L'architecture du processeur d'un automate programmable est fondamentalement la même que celle d'un ordinateur à usage général. Néanmoins, il existe certaines caractéristiques importantes qui les distinguent. Tout d'abord, contrairement aux ordinateurs, les automates programmables sont conçus pour résister aux conditions difficiles de l'environnement industriel. Un automate bien conçu peut être placé dans une zone avec d'importantes quantités: de bruit électrique, des interférences électromagnétiques, des vibrations et d'humidité sans condensation. Une deuxième distinction des automates est que leurs matériels et logiciels sont conçus pour une utilisation facile par les électriciens et les techniciens. Les interfaces matérielles pour la connexion d'appareils de terrain sont en réalité partie de l'automate lui-même et se connectent facilement. Les circuits d'interface modulaires et autodiagnostic sont en mesure d'identifier les dysfonctionnements et, d'ailleurs, ils sont facilement enlevés et remplacés. En outre, la

programmation du logiciel utilise des symboles traditionnels relais d'échelle, ou d'autres langues apprises facilement, qui sont familières au personnel de l'usine. Alors que les ordinateurs sont des machines informatiques complexes capables d'exécuter plusieurs programmes ou tâches simultanément et dans n'importe quel ordre. La norme PLC exécute un programme unique dans un mode séquentiel ordonné de la première à la dernière instruction.

III.3.3 Aspect extérieur des API

Les automates peuvent être de type compact ou modulaire.

- **De type compact** : on distinguera les modules de programmation (LOGO de Siemens, ZELIO de Schneider, MILLENIUM de Crouz,...) des micros automates. Il intègre le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, ajout d'entrées/sorties analogiques ...) et recevoir des extensions en nombre limité. Ces automates, de fonctionnement simple, sont généralement destinés à la commande de Petits automatismes.
- **De type modulaire** : le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées/sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le "Fond de panier" (bus plus connecteurs). Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes où puissants, où la capacité de traitement et flexibilité sont nécessaires.

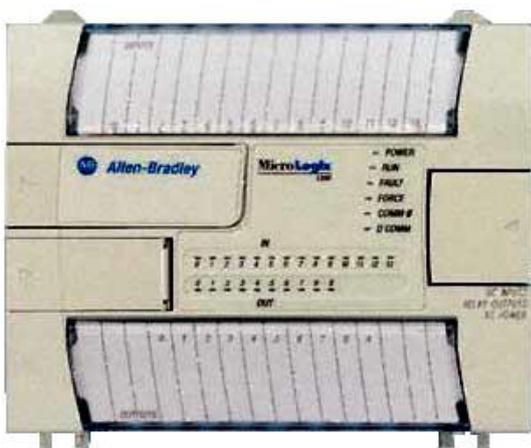
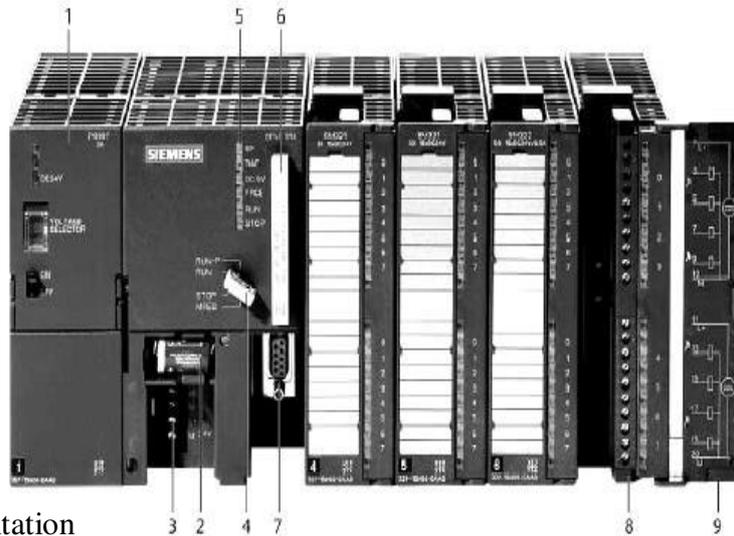


Figure III.2 : Automate compact (Allen-Bradley) **Figure III.3** : Automate Modulaire (Modicon).



1 Module d'alimentation

2 Pile de sauvegarde

3 Connexion au 24V cc

4 Commutateur de mode (à clé)

5 LED de signalisation d'état et de défauts

6 Carte mémoire

7 Interface multipoint (MPI)

8 Connecteur frontal

9 Volet en face avant

Figure III.4 : Automate modulaire (Siemens).

III.3.4 Structure interne d'un automate

Les API comportent quatre parties principales : une mémoire, un processeur, des interfaces d'entrées/sorties et d'une alimentation (240Vac, 24Vcc). Ces quatre parties sont reliées entre elles par des bus (ensemble de câbles autorisant le passage de l'information entre ces 4 secteurs de l'API) [11].

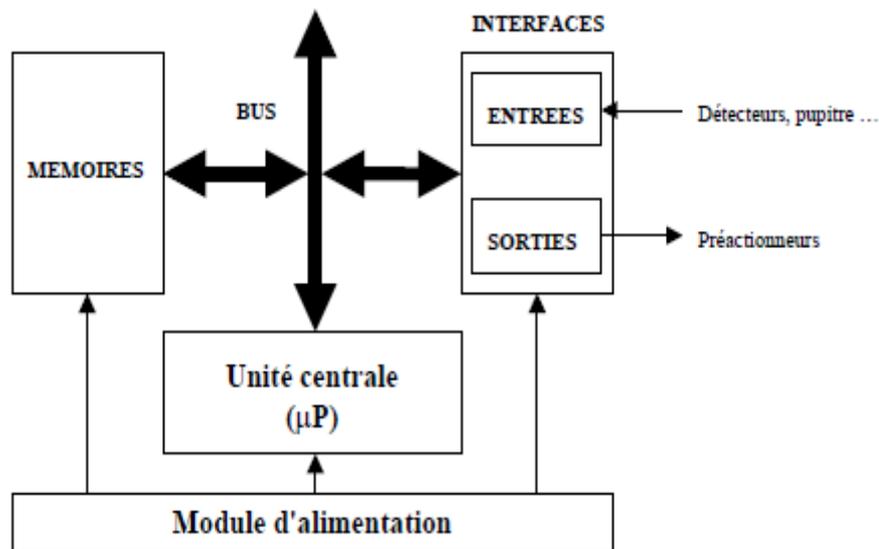


Figure III.5 : Structure interne d'un API.

III.3.5 Description des éléments d'un API [12]

A- L'alimentation :

L'alimentation du système joue un rôle majeur dans le fonctionnement total du système. En fait, il peut être considéré comme le "gestionnaire de premier niveau" de la fiabilité et l'intégrité du système. Sa fonction n'est pas seulement de fournir des tensions continues internes pour les composants du système, mais aussi pour surveiller et réguler les tensions fournies et prévenir la CPU si quelque chose ne va pas. Le bloc d'alimentation a pour fonction de fournir une puissance bien régulée et de protection pour les autres composants du système.

B- Unité centrale ou CPU :

L'unité centrale commande l'interprétation et l'exécution des instructions programmées. Elle est aussi chargée de détecter les pannes de communication, ainsi que d'autres défaillances qui peuvent survenir pendant le fonctionnement du système. Il doit alerter l'opérateur ou le système en cas de dysfonctionnement. A base de microprocesseur, l'unité centrale réalise toutes les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation ...). Ce module se compose essentiellement de :

Microprocesseur : Il constitue le cœur de la CPU. Son rôle consiste, d'une part, à organiser les différentes relations entre la zone mémoire et les interfaces d'E/S et, d'autre part, à gérer les instructions du programme.

Bus : C'est un ensemble de pistes conductrices (pistes en cuivre) par lesquelles s'achemine une information binaire (suite de 0 ou 1), c'est-à-dire ensemble de fils autorisant le passage des informations entre les quatre secteurs (l'alimentation, la mémoire, le processeur et l'interface E/S) de l'automate. L'unité centrale dispose de trois bus : bus de données, bus d'adresses et bus de commandes.

Mémoire : Elle est conçue pour recevoir, gérer et stocker des informations issues des différents secteurs du système qui sont :

- Le terminal de programmation.
- Le processeur, qui lui gère et exécute le programme.

Elle reçoit également des informations en provenance des capteurs.

Interfaces d'entrées / sorties : Les interfaces d'entrées / sorties permettent à l'unité centrale de communiquer avec l'environnement ou les périphériques.

C- Modules entrées/sorties

Les modules d'E/S assurent le rôle d'interface entre le procédé à commander et la CPU. On distingue deux types :

Module entrées/sorties TOR (Tout ou Rien) : La gestion de ces types de variables, constituant le point de départ des API, reste l'une de leurs activités majeures. Leurs nombres sont en générale de 8, 16, 24 ou 32 entrées/sorties, qui peuvent fonctionner:

- en continue 24V, 48V.
- en alternative 24V, 48V, 100V/120V, 200V/240V.

Module entrées/sorties analogique : Elles permettent l'acquisition de mesures (entrées analogiques) et générer des signaux de commande (sorties analogiques). Ces modules comportent un ou plusieurs convertisseurs analogique/numériques (A/N) pour les entrées et numériques/analogiques (N/A) pour les sorties dont la résolution est de 8 à 16 bits. Les standards les plus utilisés sont : $\pm 10V$, 0-10V, $\pm 20mA$, 0-20mA et 4-20mA. Ces modules sont, en général, multiplexés en entrée pour utiliser un seul convertisseur A/N, alors que les sorties exigent un convertisseur N/A par voie pour pouvoir garder la commande durant le cycle de l'API.

III.3.6 Cycle d'un API [12]

Tous les automates fonctionnent selon le même mode opératoire :

- **Traitement interne** : l'automate effectue des opérations de contrôle et met à jour certains paramètres systèmes (détection des passages en RUN/STOP....).
- **Lecture des entrées** : l'automate lit les entrées (de façon synchrone) et les recopie dans la mémoire image des entrées.
- **Exécution du programme** : l'automate exécute le programme instruction par instruction et écrit les sorties dans la mémoire image des sorties.
- **Ecriture des sorties** : l'automate bascule les différentes sorties (de façon synchrone) aux positions définies dans la mémoire image des sorties.

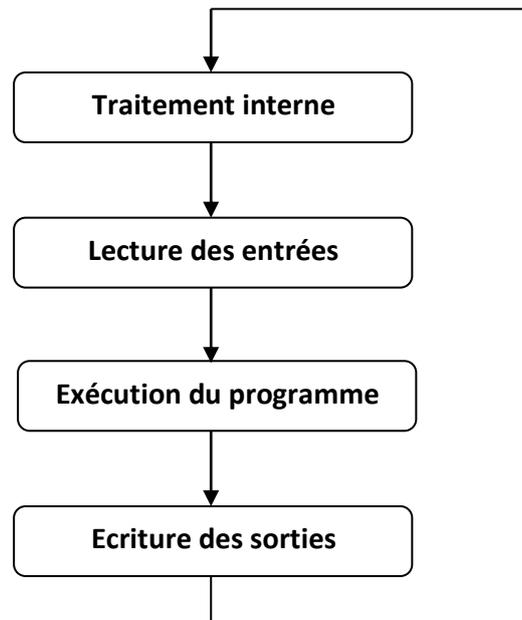


Figure III.6 : Cycle d'un API.

III.3.7 Critères de choix d'un API

Le choix d'un automate programmable est, en premier lieu, le choix d'une société ou d'un groupe où les contacts commerciaux et expériences vécues sont déjà un point de départ. Les grandes sociétés privilégieront deux fabricants pour faire jouer la concurrence et pouvoir "se retourner" en cas de "perte de vitesse" de l'une d'entre elles. Le personnel de maintenance doit toutefois être formé sur ces matériels et une très grande diversité des matériels peut avoir de graves répercussions. Un automate utilisant des langages de programmation de type GRAFCET

est également préférable pour assurer les mises au point et dépannages dans les meilleures conditions. La possession d'un logiciel de programmation est aussi source d'économies (achat du logiciel et formation du personnel). Des outils permettant une simulation des programmes sont également souhaitables. Il faut ensuite quantifier les besoins :

- Nombre d'entrées/sorties : le nombre de cartes peut avoir une incidence sur le nombre de racks dès que le nombre d'entrées / sorties nécessaires devient élevé.
- Type de processeur : la taille mémoire, la vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettront le choix dans la gamme souvent très étendue.
- Fonctions ou modules spéciaux.
- Fonctions de communication : l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande (API, supervision, ...) et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés (Profibus).

III.3.8 Présentation de l'automate utilisé S7-300

La famille S7-300 est constituée d'automates programmables, de conception modulaire, utilisés pour des automatismes de gamme et peuvent être connectés entre eux au moyen d'un câble-bus PROFIBUS. Un automate S7-300 consiste en une CPU, un module d'alimentation PS, un module de signaux FM, un module de signaux SM et un processeur de communication.

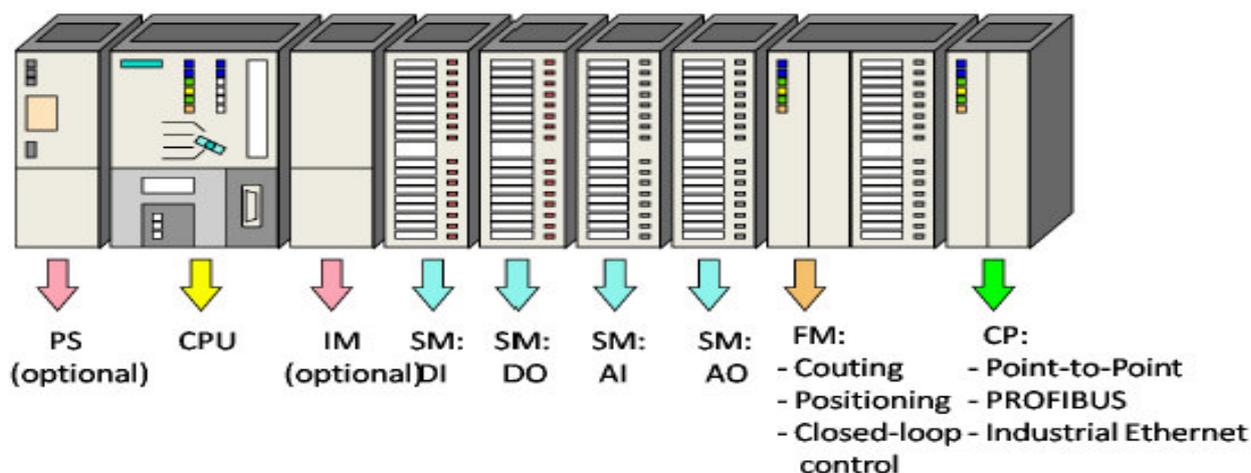


Figure III.7 : Constitution d'un API S7-300. [13]

Module de fonction (FM) : Il a pour rôle, l'exécution de tâche de traitement des signaux du processus à temps critique et nécessitant une importante capacité de mémoire comme le comptage, positionnement et régulation.

Module de communication (CP) : Ils permettent d'établir des liaisons homme-machine qui sont effectuées par les interfaces de communications : Point à point, Profibus et l'Ethernet Industriel.

Caractéristiques de la CPU : La gamme S7-300 offre une grande variété de CPU tels que la CPU312, 314M, 315 ,315-2P, etc. Chacune possède certaines caractéristiques différentes des autres. Par conséquent, le choix de la CPU, pour un problème d'automatisation donné, est conditionné par les caractéristiques offertes par la CPU choisie.



Figure III.8: CPU 315-2DP S7-300.

Interface (MPI) : Une liaison MPI (Multi Point Interface) est nécessaire pour programmer un SIMATIC S7 300 depuis le PC. Elle est une interface de communication utilisée pour la programmation, le contrôle-commande avec HMI et l'échange de données entre CPU SIMATIC S7 jusqu'à 32 nœuds maximum. Chaque CPU du SIMATIC S7-300 est équipée d'une interface MPI intégré.

Signification d'état : La CPU comporte des LED de signalisation suivante:

- **SF (rouge) :** signalisation groupée de défauts qui s'allume si on a de défauts matériels et en cas d'erreurs de programmation, de paramétrage, de calcul, etc.
- **BATF (rouge) :** défaut pile qui s'allume si elle est défectueuse, absente ou déchargée.

- **DC5V (verte)** : alimentation 5Vcc pour la CPU et le bus S7-300 qui s'allume si les 5V sont présente et elle clignote s'il y a surcharge de courant.
- **FRCE (jaune)** : forçage permanent qui s'allume en cas de forçage permanent.
- **RUN (verte)** : état de fonctionnement RUN qui clignote en cas de démarrage de la CPU.
- **STOP (jaune)** : état de fonctionnement STOP qui s'allume si la CPU ne traite aucun programme utilisateur et clignote en cas ou la CPU demande un effacement général.

Les LED de signalisation de défauts **SF-DP** et **BUSF** ne se rencontrent que dans le cas de la CPU314 relative à la configuration maitre-esclave du S7-300.

Commutateur de mode :

- **RUN-P (mode de fonctionnement RUN programme)**: la CPU traite le programme utilisateur et la clé ne peut être retirée. Il est possible de lire le programme de la CPU avec une PG (CPU vers PG) et de transférer des programmes dans la CPU (PG vers CPU).
- **RUN (mode de fonctionnement RUN)** : la CPU traite le programme de l'utilisateur, dans cette position, la clé peut être retirée pour éviter qu'une personne non habilitée change le mode de fonctionnement.
- **STOP (mode de fonctionnement STOP)** : la CPU ne traite aucun programme utilisateur, la clé peut être retirée pour éviter le changement de mode inattendue mais on peut lire et écrire dans la CPU.
- **MRES** : c'est position instable du commutateur de mode de fonctionnement, en vue de l'effacement générale de la CPU. Le contenu de la mémoire de chargement rémanente intégré reste inchangé après un effacement général.

La pile : Elle permet de sauvegarder le contenu de la RAM en cas de coupure du courant.

Application pratique : Chaque processus industriel de fabrication ou de transformation se compose d'un ensemble de machines destinées à réaliser la fabrication ou la transformation considérée. Chaque machine ou partie opérative comprend un ensemble de moteurs, vannes et autres dispositifs qui lui permet de fonctionner. Ces actionneurs sont pilotés par un automate (partie commande) à travers les pré-actionneurs. La partie commande reçoit des informations

transmises par un opérateur en fonctionnement normal, ou un dépanneur en cas de réglage ou de mauvais fonctionnement de la partie commande ou de la partie opérative ainsi que par les capteurs. Entre la partie commande et l'homme se trouve la partie dialogue qui permet à ce dernier de transmettre au moyen de dispositifs adaptés (bouton poussoirs, commutateurs, etc.). De même, la partie commande renvoie vers l'homme les informations sous des formes compréhensibles (voyant, afficheurs, cadrans,...etc.). Ainsi, entre l'homme et la partie opérative, s'instaure un dialogue homme machine dont l'importance naguère sous-estimé et aujourd'hui reconnue, et qui est actuellement l'objet de nombreuses études.

III.4 Programmation via STEP 7

III.4.1 Définition du logiciel STEP7

STEP 7 est le logiciel de base pour la configuration et la programmation des systèmes SIMATIC (S7-300). Il fait partie de l'industrie logicielle SIMATIC. Les tâches de bases qu'il offre à son utilisateur lors de la création d'une solution d'automatisation sont :

- La création et gestion de projet.
- La configuration et le paramétrage du matériel et de la communication.
- La gestion des mnémoniques.
- La création des programmes.
- Le test de l'installation d'automatisation.

Il s'exécute sous les systèmes d'exploitation de Microsoft à partir de la version Windows 95. Par conséquent, il s'adapte à l'organisation graphique orientée objet qu'offrent ces systèmes d'exploitation [14].

III.4.2 Langages de programmation sous STEP7

Pour créer un programme sous STEP7, on dispose de trois langages de programmation CONT, LIST ou LOG qui peuvent être combinés dans le même programme. Selon la spécialité du programmeur, il choisira le modèle qui lui convient.

A- Programmation à schéma logique (LOG) : Le logigramme (LOG) est un langage de programmation graphique qui utilise les boîtes de l'algèbre de Boole pour représenter les

opérations logiques. Les fonctions complexes, comme par exemple les fonctions mathématiques, peuvent être représentées directement combinées avec les blocs logiques [15].

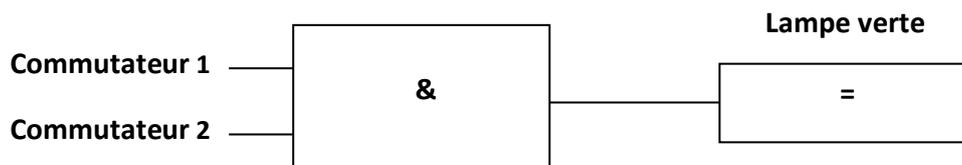


Figure III. 9 : présentation d'un schéma logique (LOG).

B- Programmation à schéma contact (CONT) : C'est un langage de programmation graphique. La syntaxe des instructions est très semblable aux schémas de circuits électriques. Le langage a CONT permet de suivre facilement le trajet du courant entre les barres d'alimentation en passant par les contacts, les éléments complexes et les bobines [10].



Figure III.10 : Présentation d'un schéma CONT.

C- Programmation à liste (LIST) : C'est un langage de programmation textuel proche de la machine. Dans cette programmation, les différentes instructions correspondent, dans une large mesure, aux étapes par lesquelles la CPU traite le programme. Pour faciliter la programmation, LIST a été complété par quelques structures de langage évolué (paramètres de blocs et accès structurés aux données) [10].

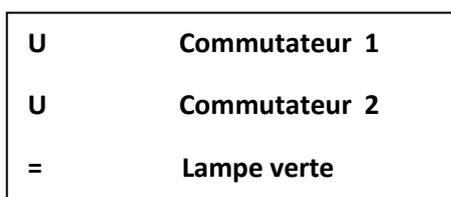


Figure III.11 : Présentation du langage LIST.

III.4.3 Structure du programme STEP7

La programmation structurée permet la rédaction claire et transparente de programmes. Elle permet la construction d'un programme complet à l'aide de modules qui peuvent être échangés et/ou modifiés à volonté. Pour permettre une programmation structurée confortable, il faut

prévoir plusieurs types de modules : (**OB**) Bloc d'organisation, (**FB**) Bloc fonctionnel, (**FC**) Fonction, (**SFB**) Bloc fonctionnel système, (**SFC**) Fonction système, (**DB**) Bloc de données [16].

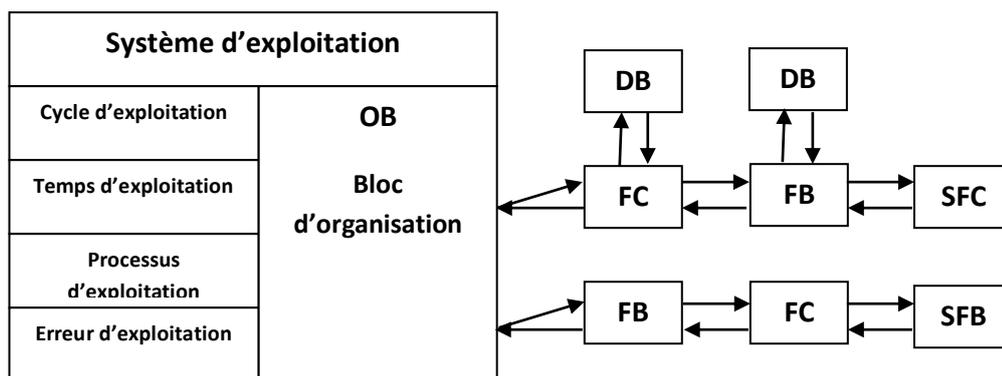


Figure III.12 : Blocs de programme.

III.4.4 Blocs

Le système d'automatisation utilise différents types de blocs dans lesquels peuvent être mémorisés le programme utilisateur et les données correspondantes. Selon les exigences du processus, le programme peut être structuré en différents blocs.

A- Bloc d'organisation : Les blocs d'organisation (**OB**) constituent l'interface entre le système **OB** d'exploitation et le programme utilisateur. L'ensemble du programme peut être concaténé dans un seul bloc OB1 (programme linéaire) appelé de manière cyclique par le système d'exploitation, ou être structuré dans plusieurs blocs (programme structuré) [16].

B- Fonction : Une fonction (**FC**) assure une fonctionnalité spécifique du programme. Les fonctions peuvent être paramétrables. Dans ce cas, des paramètres sont transmis à la fonction lorsqu'elle est appelée. Les fonctions conviennent pour la programmation de fonctionnalités récurrentes et complexes (*e.g.* effectuer des calculs). Les fonctions système (**SFC**) sont des fonctions paramétrables, intégrées au système d'exploitation de la CPU, dont le numéro et la fonctionnalité sont définis de manière fixe. Pour de plus amples informations, se reporter à l'aide en ligne [15].

C- Bloc fonctionnel : Du point de vue du programme, les blocs fonctionnels s'apparentent aux fonctions **FB et SFB**, mais ils disposent en plus de zones mémoires spécifiques, sous forme de blocs de données d'instance. Les blocs fonctionnels conviennent pour la programmation de fonctionnalités récurrentes encore plus complexes (*e.g.* assuré des tâches de régulation).

D- Blocs fonctionnels système (SFB) : Ce sont des blocs fonctionnels paramétrables, intégrés au système d'exploitation de la CPU, dont le numéro et la fonctionnalité sont définis de manière fixe. Pour de plus amples informations, se reporter à l'aide en ligne.

E- Blocs de données : Les blocs de données (**DB**) sont des zones de données du programme **DB** utilisateur, mise à la disposition d'espace mémoire pour les variables de types donnés. Il existe deux types blocs de données :

- **Bloc de données globales :** Contrairement aux blocs de code, les blocs de données ne contiennent pas d'instruction STEP7. Ils servent à l'enregistrement des données du programme utilisateur pouvant être utilisées par tous les autres blocs. Ils contiennent des données variables que le programme utilisateur utilise [10].
- **Bloc de données d'instance :** Un bloc de donnée d'instance est associé à chaque appel de bloc fonctionnel transmettant des paramètres. Ces blocs contiennent les paramètres effectifs et les données statiques du **FB**. Les variables déclarées dans le **FB** déterminent la structure du bloc de donnée d'instance. L'instance est l'appel d'un bloc fonctionnel.

III.4.5 Mémentos

Des mémentos sont utilisés pour le fonctionnement interne de l'automate pour lesquelles l'émission d'un signal n'est pas nécessaire. Les mémentos sont des éléments électroniques bistables servent à mémoriser les états logiques "0" et "1". Chaque automate programmable dispose d'une grande quantité de mémentos. On programme ces derniers comme des sorties.

III.4.6 Mnémoniques

Les mnémoniques sont les noms que l'on attribue aux variables globales de l'API. L'emploi des mnémoniques à la place des adresses absolues améliore considérablement la lisibilité et la clarté d'un programme et aide à isoler des défauts éventuels. Les mnémoniques ainsi définies sont utilisables dans tout le programme utilisateur d'un module programmable [14].

III.4.7 Les différents types de variables

Dans l'environnement de STEP 7, on utilise plusieurs types de variables qu'on doit déclarer au préalable. Le tableau ci-dessous résume les types de variables utilisés.

Groupe	Types de données	Signification
Type de données binaires	BOOL BYTE WORD DWORD	Les données de ce type occupent 1 bit, 8bits, 16bits ou 32bits.
Type de données sur caractère	CHAR	Les données de ce type occupent Du jeu de caractère ASCII.
Type de données numériques	INT DINT REAL	Les données de ce type permettent de traiter des valeurs numériques.
Type de données temporelles	TIME DATE TIME OF-DAY S5TIME	Les données de ce type représentent les diverses valeurs de durée et de date dans le STEP 7.

Tableau III.1 : Différents types de variables contenues dans le STEP7 [16].

III.5 Développement du programme pour la station pilote

III.5.1 Démarrage du logiciel STEP7

Pour lancer le logiciel STEP7, on localise l'icône SIMATIC Manager sur l'écran de l'ordinateur puis avec un double clic sur cette icône, on se permet d'ouvrir sa fenêtre fonctionnelle.



Figure III.13 : Assistant nouveau projet

III.5.2 Création d'un projet STEP7

Le logiciel SIMATIC Manager étant maintenant ouvert, on clic sur l'item fichier puis assistant nouveau projet. Après la sélection du type de la CPU (pour notre projet, on a choisi une **CPU315-2 DP**) et l'insertion du bloc d'organisation et le langage à liste, une fenêtre s'ouvre pour donner un nom au projet. Pour notre cas (Station pilote) et on clic sur créer.

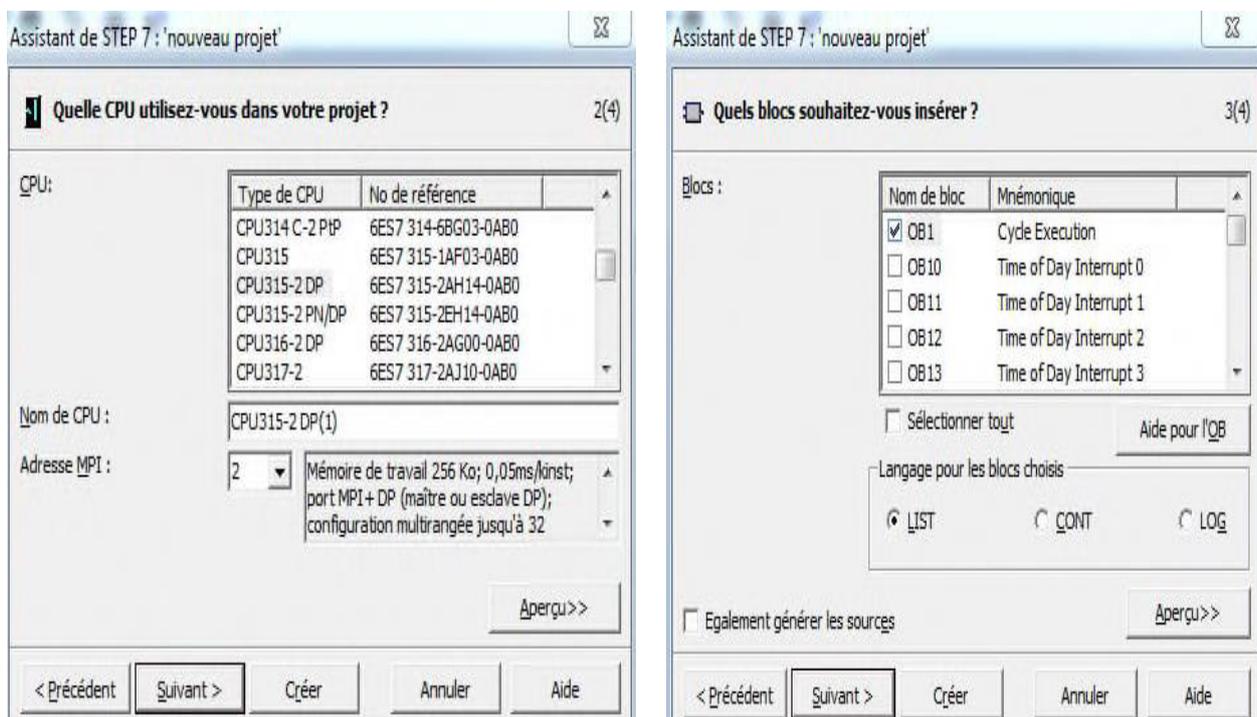


Figure III.14 : Choix de la CPU et du bloc d'organisation



Figure III.15 : Nom et création du projet.

III.5.3 Configuration matériel

C'est une étape importante qui correspond à l'agencement des châssis et des modules. Ces derniers sont fournis avec des paramètres définis par défaut en usine. Une configuration matériels est nécessaire pour :

- Les paramètres ou les adresse préréglé d'un module.
- Configurer les liaisons de communication.

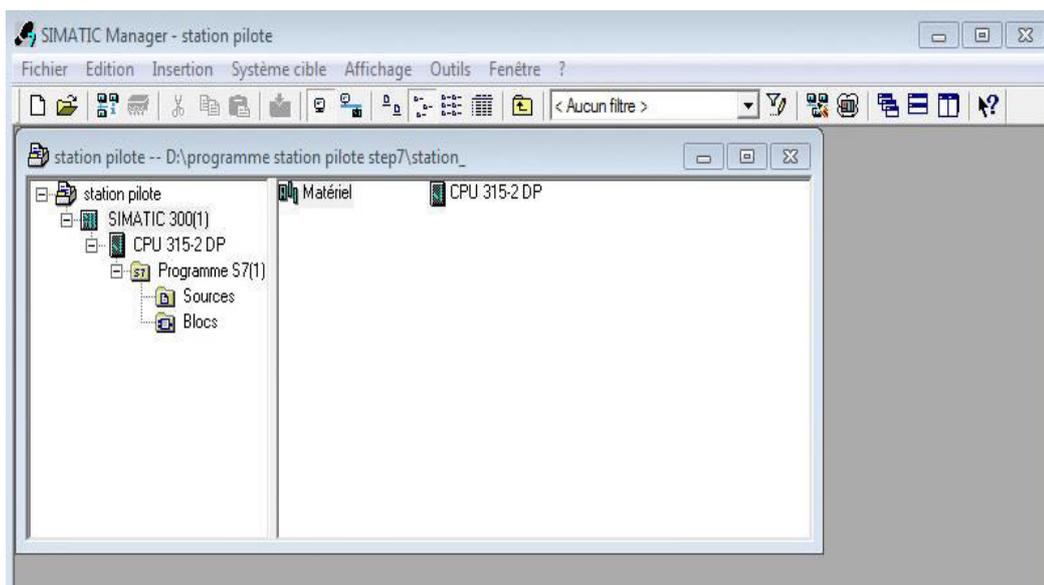


Figure III.16: Station SIMATIC S7-300.

Le choix des matériels SIMATIC S7-300 avec une CPU315-2DP, nous conduit à introduire la hiérarchie suivante :

- On commence par le choix du châssis selon la station choisie auparavant. Pour la station SIMATIC S7-300, on aura « RACK-300 » et on le glisse dans le châssis :
- Après avoir choisie le RACK, on lui glisse la CPU315-2DP dans l'emplacement N°2 :
- L'emplacement N°1 est réservé pour l'alimentation et le N°3 réservé comme adresse logique pour un coupleur dans une configuration multi-châssis :
- Les autres emplacements sont réservés pour les modules qui se trouvent dans le fichier SM-300. L'automate se compose de deux modules d'entrée digitale et un pour les sorties et de trois modules d'entrées analogiques et deux pour les sorties :
- Après la configuration des modules, on va créer un réseau maître DP pour la configuration des variateurs de vitesse des actionneurs (moteurs, pompes) qui sont reliés au profibus de l'automate.

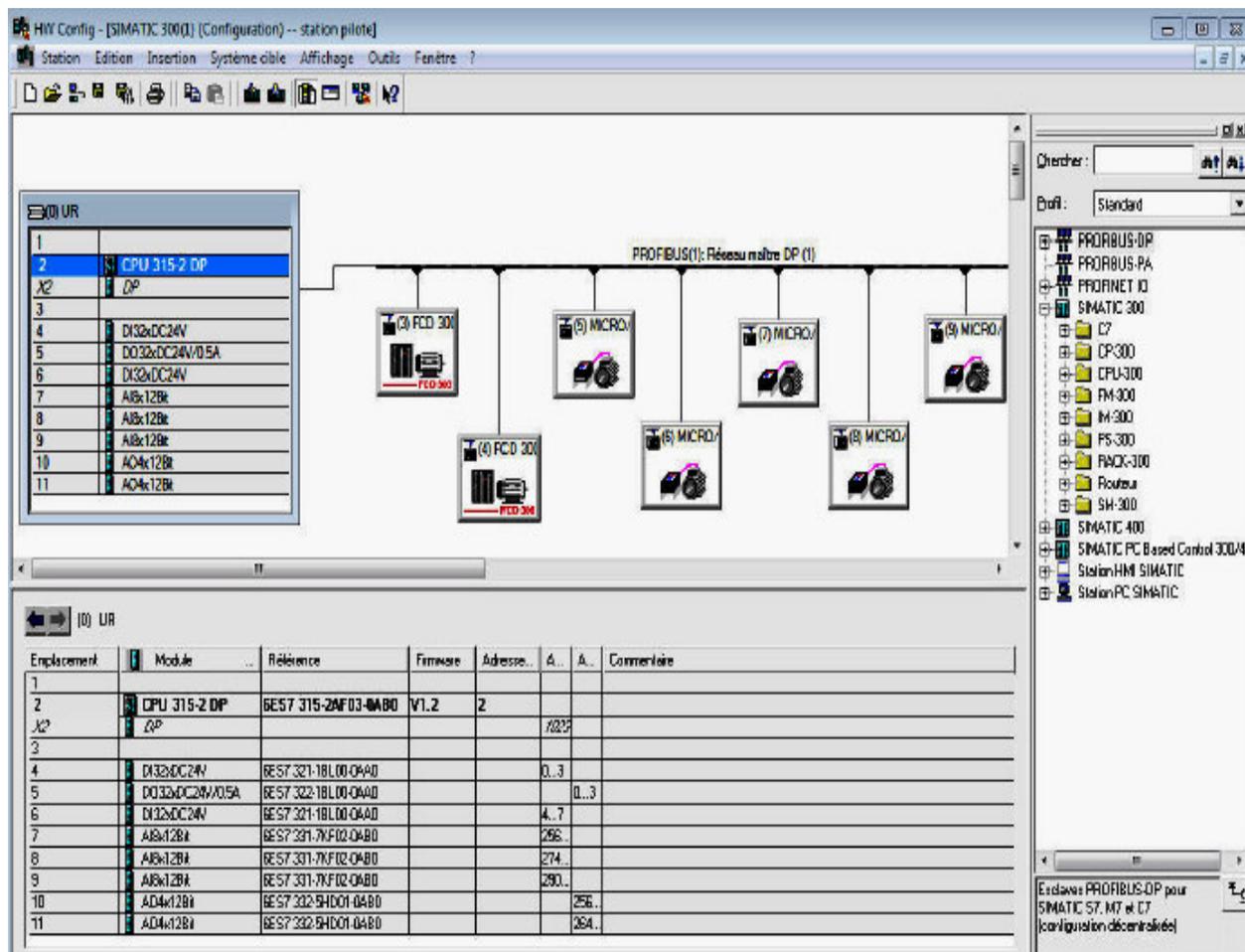
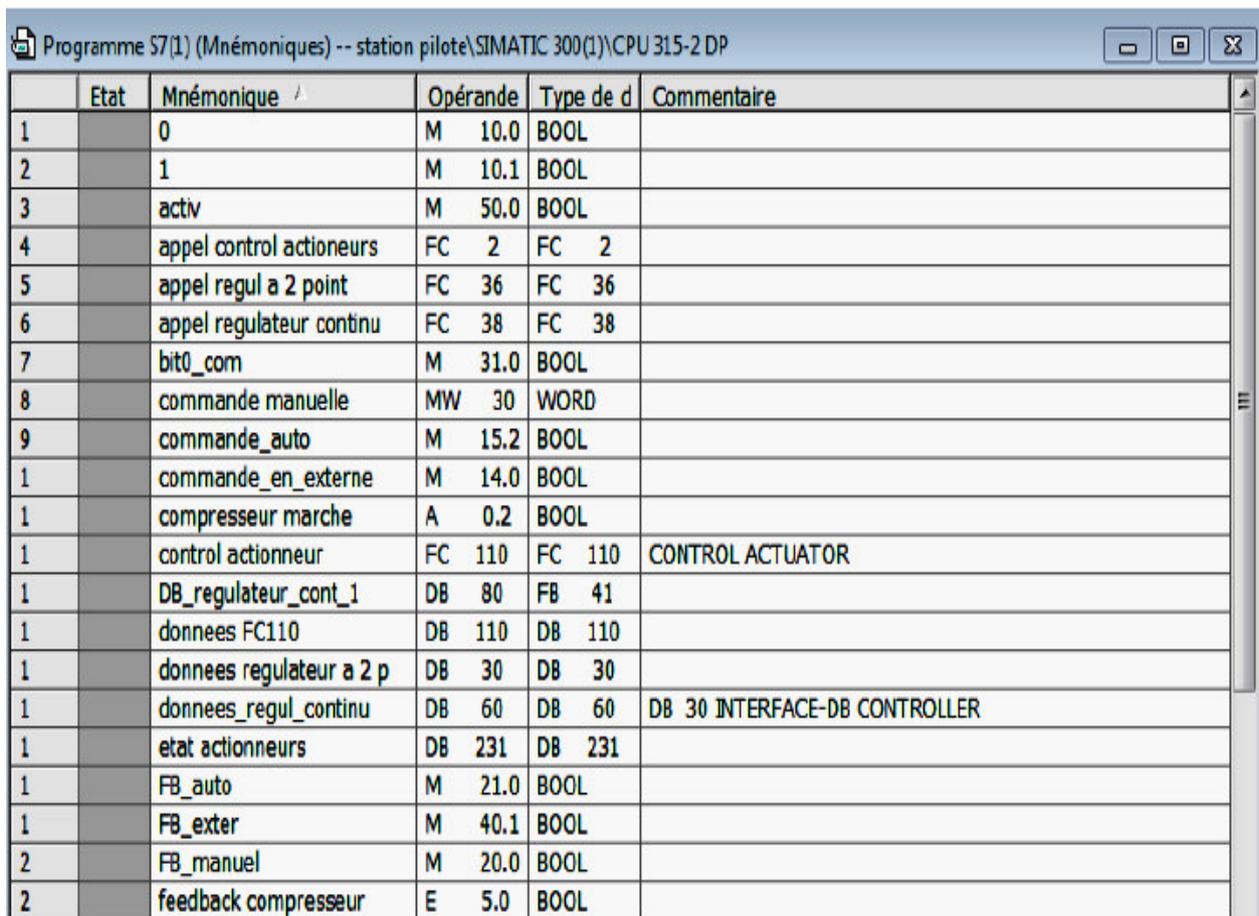


Figure III.17 : Configuration matériels.

III.5.4 Table des mnémoniques

Une table des mnémoniques vide est automatiquement générée lors de la création d'un programme STEP7. Elle se trouve dans le menu <programme><table des mnémonique. En programmant sur STEP7, nous travaillons avec des opérandes tels que les E/S, mémentos, compteurs, temporisations, blocs de données et fonctions. Nous pouvons les adresser de manière absolue dans le programme. Mais, nous pouvons aussi améliorer considérablement la lisibilité et la clarté d'un programme en utilisant des mnémoniques à la place des adresses absolues.



	Etat	Mnémonique	Opérande	Type de d	Commentaire
1		0	M 10.0	BOOL	
2		1	M 10.1	BOOL	
3		activ	M 50.0	BOOL	
4		appel control actioneurs	FC 2 FC 2		
5		appel regul a 2 point	FC 36 FC 36		
6		appel regulateur continu	FC 38 FC 38		
7		bit0_com	M 31.0	BOOL	
8		commande manuelle	MW 30	WORD	
9		commande_auto	M 15.2	BOOL	
1		commande_en_externe	M 14.0	BOOL	
1		compresseur marche	A 0.2	BOOL	
1		control actionneur	FC 110 FC 110		CONTROL ACTUATOR
1		DB_regulateur_cont_1	DB 80 FB 41		
1		donnees FC110	DB 110 DB 110		
1		donnees regulateur a 2 p	DB 30 DB 30		
1		donnees_regul_continu	DB 60 DB 60		DB 30 INTERFACE-DB CONTROLLER
1		etat actionneurs	DB 231 DB 231		
1		FB_auto	M 21.0	BOOL	
1		FB_exter	M 40.1	BOOL	
2		FB_manuel	M 20.0	BOOL	
2		feedback compresseur	E 5.0	BOOL	

Figure III.18 : Une partie de la table des mnémoniques d'un projet.

III.6 Le GRAFCET

III.6.1 Définition

Le diagramme fonctionnel ou GRAFCET (Graphe de Commande Etape -Transition) est un moyen de description de cahier de charges d'un automatisme. Accessible aussi bien à l'utilisateur qu'à l'automaticien, il facilite la communication et le dialogue entre les personnes concernées par l'automatisation [12].

III.6.2 Règles d'évolution

Le GRAFCET est composé : d'étapes, de transitions et de liaisons. L'étape peut correspondre à une action pendant une durée ou à plusieurs actions, ou à l'attente dans le cas opposé (l'inaction), l'étape est représentée par un carré et la transition par un trait horizontal. La transition est associée à une condition logique de passage d'une étape à une autre, cette condition est dite réceptivité qui est une expression booléenne. La liaison est une barre orientée (elle a un sens unique du haut vers le bas). Les cinq règles d'évolution du GRAFCET sont :

Règle 1 : Les étapes initiales sont celles qui sont actives au début du fonctionnement. On les représente en doublant les côtés des carrés représentatifs. On appelle début du fonctionnement le moment où le système n'a pas besoin de se souvenir de ce qui c'est passé auparavant (allumage du système, bouton "reset",...). Les étapes initiales sont souvent des étapes d'attente pour ne pas effectuer une action dangereuse par exemple à la fin d'une panne.

Règle2 : Une transition est validée ou non validée (et pas à moitié validée). Elle est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont validées. Elle ne peut être franchie que lorsqu'elle est validée et que sa réceptivité est vraie. Elle est alors obligatoirement franchie.

Règle3 : Le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement.

Règle4 : Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies (ou du moins toutes franchies dans un laps de temps négligeable pour le fonctionnement). La durée limite dépend du "temps de réponse" nécessaire à l'application.

Règle5 : Si une étape doit être à la fois activée et désactivée, elle reste active. Une temporisation ou un compteur actionné par cette étape ne seraient pas réinitialisés [13].

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté un aperçu sur les systèmes automatisés et les API. Notre travail est basé sur l'automate S7-300 de SIEMENS ainsi sur le logiciel associé STEP7. La dernière partie est consacrée à la configuration du matériel de système d'analyse de gaz et création du programme permettant de gérer le fonctionnement de ses actionneurs. Les tests et la simulation et les résultats seront dans le chapitre IV.

Chapitre IV

**La création et la simulation du
programme élaboré pour le Système
d'analyse de gaz**

IV.1 Introduction

Le maximum de transparence est essentiel pour l'opérateur qui travaille dans un environnement où les processus sont de plus en plus complexes. La supervision est une technique industrielle qui consiste à représenter, surveiller et diagnostiquer l'état de fonctionnement d'un procédé automatisé, pour obtenir un fonctionnement optimal. Le but est de disposer, en temps réel, d'une visualisation de l'état d'évolution des paramètres du processus. Ce qui permet à l'opérateur de prendre rapidement des décisions appropriées à ses objectifs, telles que : la cadence de production, la qualité des produits et la sécurité des biens des personnes [16].

L'objectif de ce chapitre est consiste à mettre en œuvre l'étude technique pour les différentes séquences de notre système de prélèvement de gaz basé sur l'automate programmable SIEMENS S7-300, la programmation de la commande se fait à l'aide de logiciel STEP 7 et par l'application **S7-PLCSIM** ont va tester et exécuter le programme en même temps on peut détecter les erreurs logiques de configurations ou de notre programmation.

IV.2 Élaboration de la Sonde de prélèvement de gaz

Il est nécessaire de connaître précisément tous les comportements de ce système.

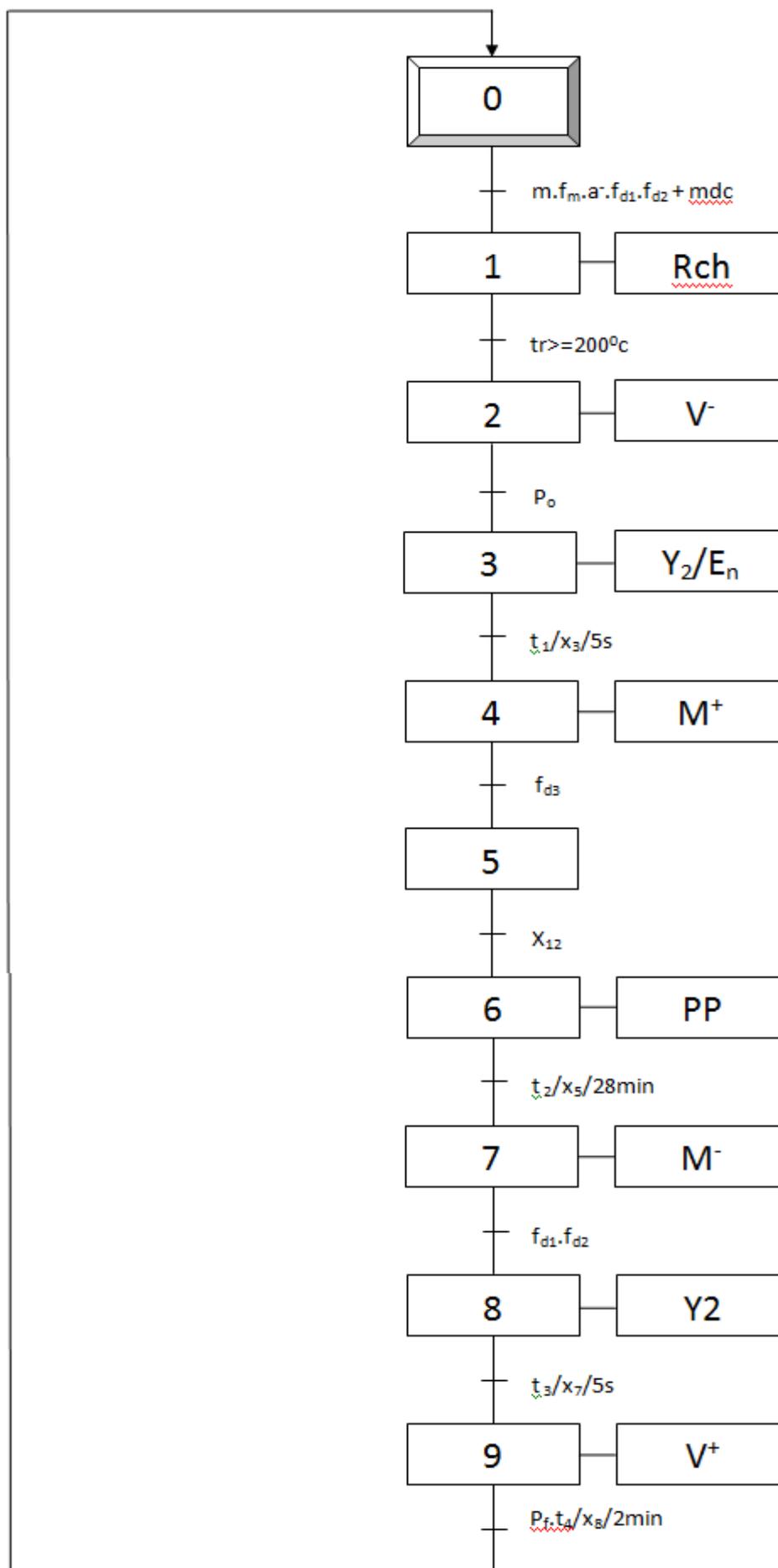
Note : En appuyant pas sur l'arrêt d'urgence que l'on "découvrira" le comportement du système dans cet état.

IV.2.1 Présentation de Grafcet

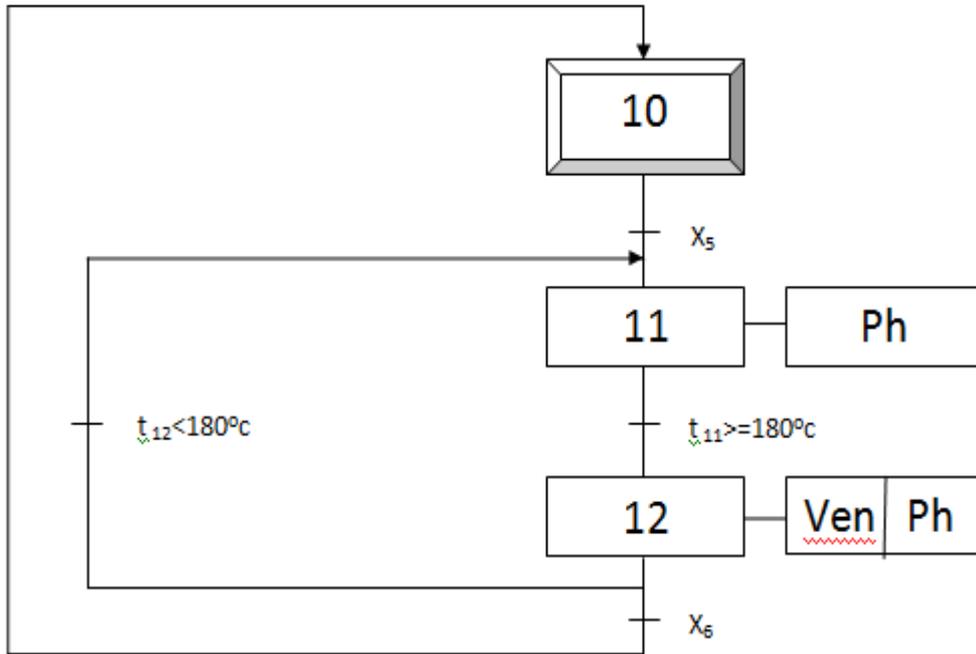
IV.2.1.1 GRAF CET de processus automatisé

On a conçu le GRAFCET du processus de (fonctionnement – refroidissement – purge – urgence) de la sonde de prélèvement de gaz d'échappement en tenant compte sur les modifications nécessaires afin qu'elle soit complètement automatique. Nous avons d'abord élaboré le GRAFCET du niveau 1 qui représente le fonctionnement du processus sans préciser la technologie utilisée, ensuite celui du niveau 2 qui tient compte des éléments utilisés pour le refroidissement et le purge ensuite celui du niveau 3 qui tient compte l'état d'urgence et qui nécessite de lui associé le tableau de la nomenclature adoptée.

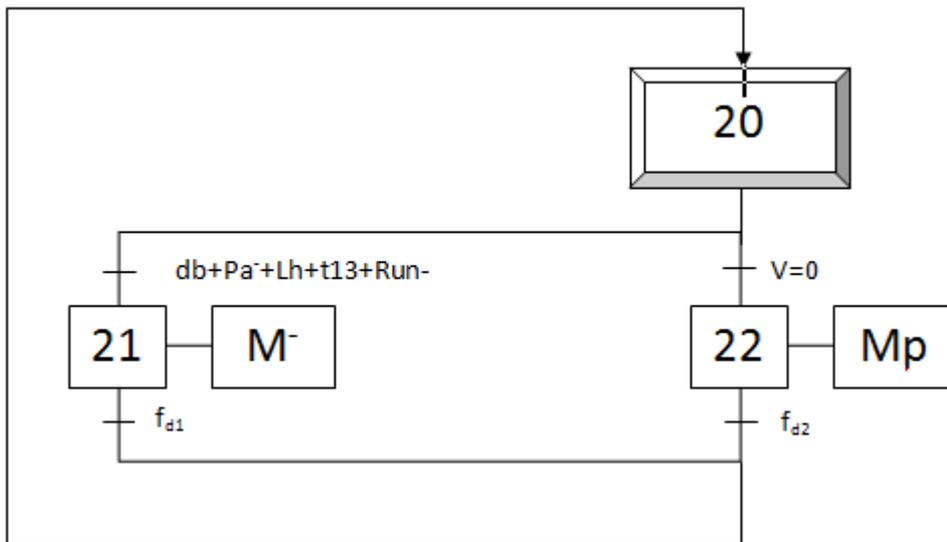
IV.2.1.2 GRAFCET de niveau 1 (Principe de fonctionnement)



IV.2.1.3 GRAFCET de niveau 2 (Principe de refroidissement)



IV.2.1.4 GRAFCET de niveau 3 (Etat d'urgence)



1. Les Conditions

m: présence de la matière dans la boîte à fumer capteur de température

f_m: four en marche capteur de rotation

a: pas d'arrêt d'urgence

f_{d1}: fin de course de la probe (position sortie)

f_{d2}: fin de course de la probe (position sortie pneumatique)

f_{d3}: fin de course de la probe (position entrée)

mdc: mode de calibration

tr: température d'échauffement d'huile quand la probe est dans la boîte à fumer est qu'il faut ne dépasse pas 200°C

P_o: (ils) qui commande le vérin pour ouvrir la porte de la boîte à fumer

P_r: (ils) qui commande le vérin pour fermer la porte de la boîte à fumer

t1: temps de purge de port de boîte à fumer

t2: temps de probe

t3: temps de purge (clogged)

t4: temps de probe out

db: débitmètre

Lh: niveau d'huile reste toujours dans l'intervalle 85 et 87 mm

t13: température de sortie d'urgence de la sonde atteinte 220°C

t11: température de la sonde atteinte 180°C

t12: température de la sonde atteinte 130°C

2. Les Actions

Rch: résistance de chauffe de filtre il faut atteinte 200°C

V⁻: vérin pour ouvrir la porte de la boîte à fumer

V⁺: vérin pour fermer la porte de la boîte à fumer

Y2: électrovanne de purge

Y6: électrovanne de moteur pneumatique

M: moteur de déplacement de la sonde avance

M⁺: moteur de déplacement de la sonde recule

En: électrovanne de nettoyage de la porte de la boîte à fumer

PP: pompe de prélèvement

Ph: pompe d'huile

Ven: ventilateur

Mp: moteur pneumatique

Pa: pression d'air reste toujours dans l'intervalle 6 et 8 bars

IV.3 Réalisation du programme de la Sonde

IV.3.1 Création de projet S7

Afin de créer un nouveau projet STEP7, il est possible d'utiliser « l'assistant de création de projet », ou bien créer le projet soi-même et le configurer directement, cette dernière est un peu plus complexe, mais nous permet aisément de gérer notre projet. En sélectionnant l'icône SIMATIC Manager, on affiche la fenêtre principale, pour sélectionner un nouveau projet et le valider, puis il nous faut insérer une station SIMATIC 300. Deux approches sont possibles. Soit on commence par la création du programme puis la configuration matérielle ou bien l'inverse.

IV.3.1.1 Table des mnémoniques

En programmant dans **Step7**, nous travaillons avec des opérands tels qu'E/S, mémentos, compteurs, temporisations, bloc de données et fonctions. Nous pouvons les adresser de manière absolue dans le programme, mais nous pouvons aussi améliorer considérablement la lisibilité et

la clarté d'un programme, en utilisant des mnémoniques à la place des adresses absolues, comme le montre la figure ci-après.

The screenshot shows the 'Éditeur de mnémoniques' window in SIMATIC Manager. The window title is 'Éditeur de mnémoniques - [Programme S7(1) (Mnémoniques) -- ade2(Station SIMATIC 300)(CPU315(1))]'. The menu bar includes 'Table', 'Edition', 'Insertion', 'Affichage', 'Outils', and 'Fenêtre'. The toolbar contains icons for file operations and a dropdown menu set to 'Tous les mnémoniques'. The main area displays a table with the following columns: 'Etat', 'Mnémonique', 'Opérande', 'Type de données', and 'Commentaire'.

Etat	Mnémonique	Opérande	Type de données	Commentaire
1	X22	M 1.7	BOOL	
2	X21	M 1.6	BOOL	
3	X20	M 1.5	BOOL	
4	X12	M 1.4	BOOL	
5	X11	M 1.3	BOOL	
6	X10	M 1.2	BOOL	
7	X9	M 1.1	BOOL	
8	X8	M 1.0	BOOL	
9	X7	M 0.7	BOOL	
1	X6	M 0.6	BOOL	
1	X5	M 0.5	BOOL	
1	X4	M 0.4	BOOL	
1	X3	M 0.3	BOOL	
1	X2	M 0.2	BOOL	
1	X1	M 0.1	BOOL	
1	X0	M 0.0	BOOL	
1	SCALE	FC 105	FC 105	Scaling Values
1	ANA INP	FC 10	FC 10	
1	sec	FC 2	FC 2	
2	g7	FC 1	FC 1	refroidissement
2	TEMP_HUILE	EW 256	WORD	
2	initref	E 2.3	BOOL	
2	initsec	E 2.2	BOOL	

2		init	E 2.1	BOOL	
2		r	E 2.0	BOOL	ready
2		run	E 1.7	BOOL	l'analyseur en marche
2		pa	E 1.6	BOOL	pression d'air
2		v	E 1.5	BOOL	tension
2		mdc	E 1.4	BOOL	mode de calibration
3		t	E 1.3	BOOL	température d'huile
3		lh	E 1.2	BOOL	niveau d'huile
3		db	E 1.1	BOOL	débimètre d'huile de refroidissement
3		pf	E 1.0	BOOL	porte fermée
3		po	E 0.7	BOOL	porte ouverte du boîte à fumer
3		tr	E 0.6	BOOL	température d'échauffement
3		fd3	E 0.5	BOOL	position d'entrée
3		fd2	E 0.4	BOOL	position de sortie pneumatique
3		fd1	E 0.3	BOOL	position de sortie
3		a	E 0.2	BOOL	arrêt d'urgence
4		fm	E 0.1	BOOL	le four en marche
4		m	E 0.0	BOOL	matière existe dans la boîte à fumer
4		EN	A 1.2	BOOL	électrovane de nétoyage de la porte du boîte à fumer
4		MP	A 1.1	BOOL	moteur pneumatique
4		VEN	A 1.0	BOOL	ventilateur
4		PH	A 0.7	BOOL	pompe d'huile
4		PP	A 0.6	BOOL	pompe de prélèvement
4		M+	A 0.5	BOOL	le moteur de déplacement de la sonde en recule
3		lh	E 1.2	BOOL	niveau d'huile
3		db	E 1.1	BOOL	débimètre d'huile de refroidissement
3		pf	E 1.0	BOOL	porte fermée
3		po	E 0.7	BOOL	porte ouverte du boîte à fumer
3		tr	E 0.6	BOOL	température d'échauffement
3		fd3	E 0.5	BOOL	position d'entrée
3		fd2	E 0.4	BOOL	position de sortie pneumatique
3		fd1	E 0.3	BOOL	position de sortie
3		a	E 0.2	BOOL	arrêt d'urgence
4		fm	E 0.1	BOOL	le four en marche
4		m	E 0.0	BOOL	matière existe dans la boîte à fumer
4		EN	A 1.2	BOOL	électrovane de nétoyage de la porte du boîte à fumer
4		MP	A 1.1	BOOL	moteur pneumatique
4		VEN	A 1.0	BOOL	ventilateur
4		PH	A 0.7	BOOL	pompe d'huile
4		PP	A 0.6	BOOL	pompe de prélèvement
4		M+	A 0.5	BOOL	le moteur de déplacement de la sonde en recule
4		M-	A 0.4	BOOL	le moteur de déplacement de la sonde en avance
4		Y2	A 0.3	BOOL	l'electrovane de purge
5		V+	A 0.2	BOOL	le verin retracte
5		V-	A 0.1	BOOL	le verin attire
5		RCH	A 0.0	BOOL	resistance de chauffe de filtre
5					

Pour obtenir de l'aide, appuyez sur F1.

NUM



FR

13:12
07/05/2019

Figure IV.1 : Table des mnémoniques

IV.3.1.2 Élaboration du programme

Avant de commencer les programmes on doit créer les blocs de fonction et on choisit le langage à contacte et le reste des programmes. Notre programme se compose d'un bloc d'organisation OB1, de fonctions FC, de blocs de données globales et d'instance DB, et de deux blocs fonctionnels FC 40, FC105.

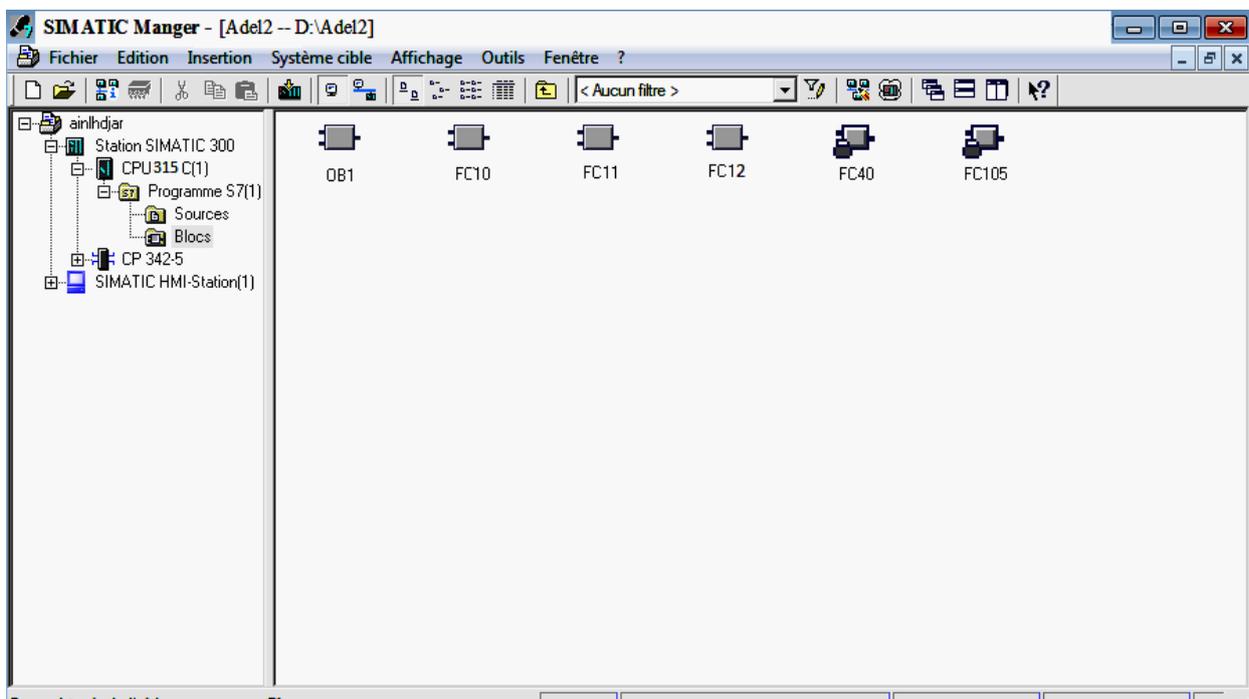


Figure IV.2 : Les blocs de programme dans SIMATIC Manager

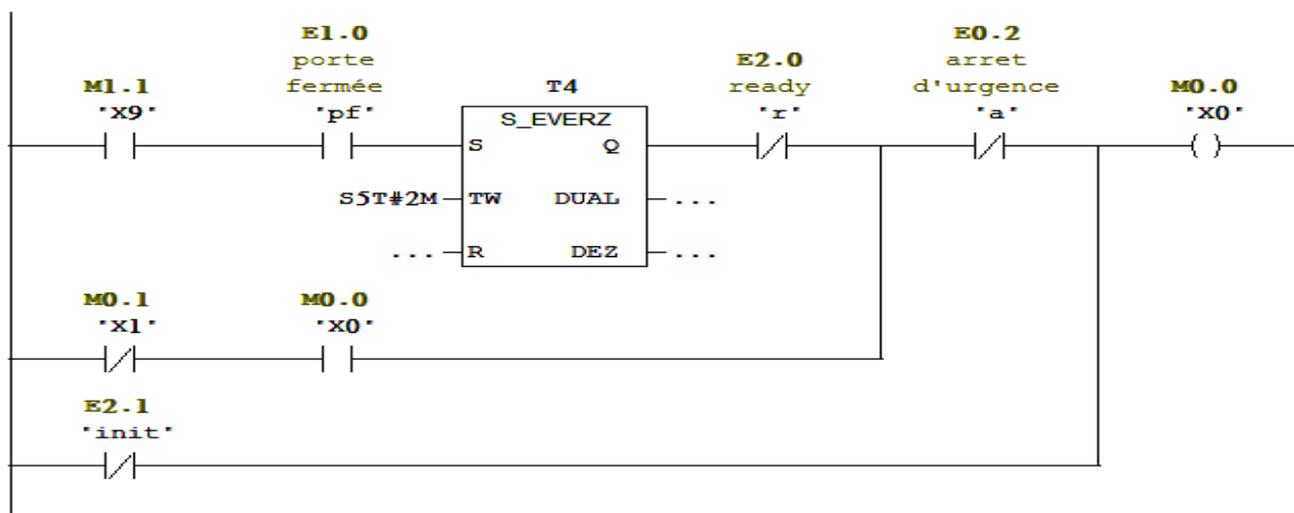
1. Bloc d'organisation OB1

- Appel de toutes les fonctions utilisé dans le programme.

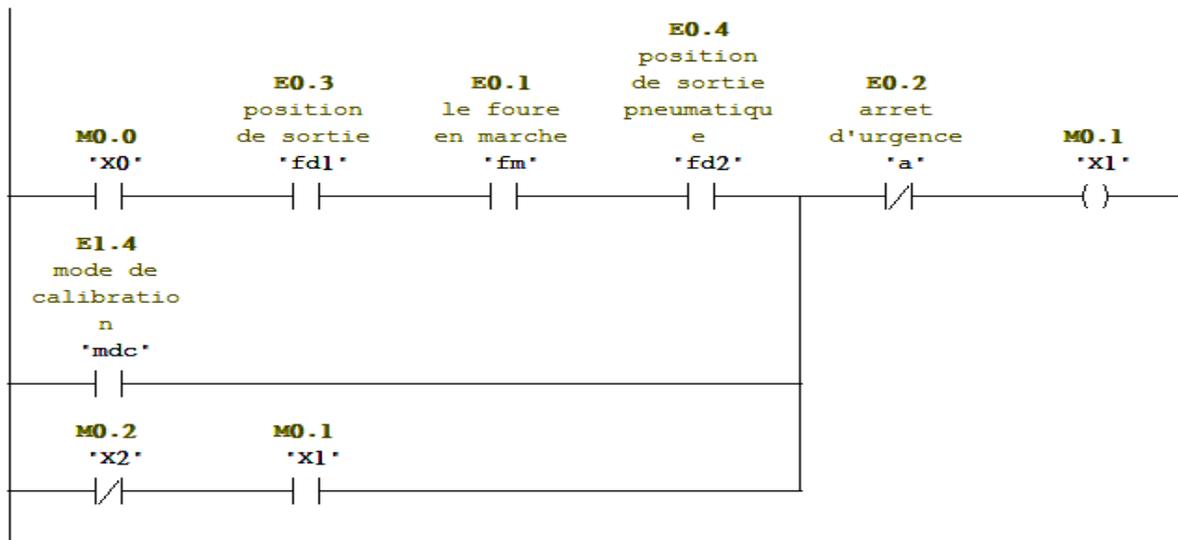
Le bloc d'organisation cyclique OB1 fait appel aux fonctions FC10, FC11, FC12.

OB1 : "Main Program Sweep (Cycle)"

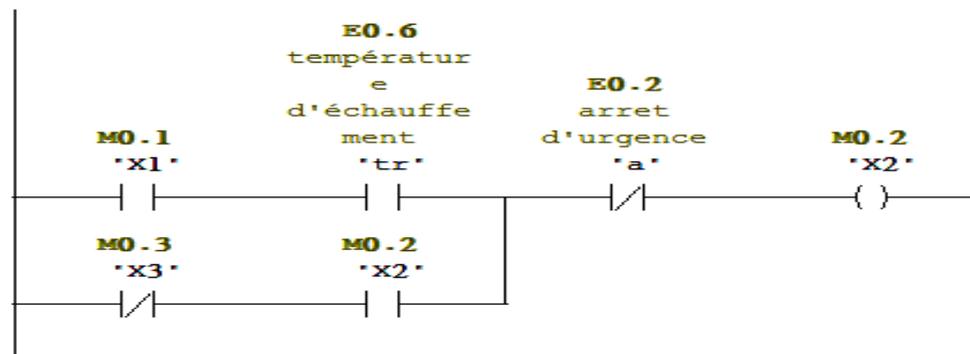
Réseau 1: X0



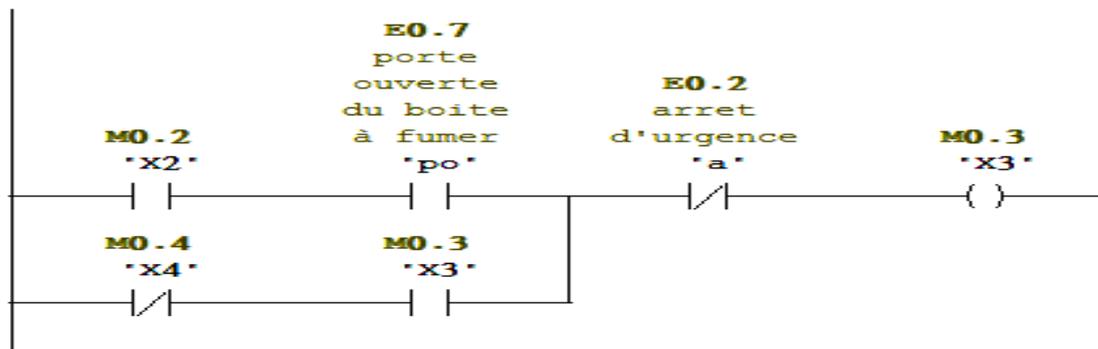
Réseau 2 : X1



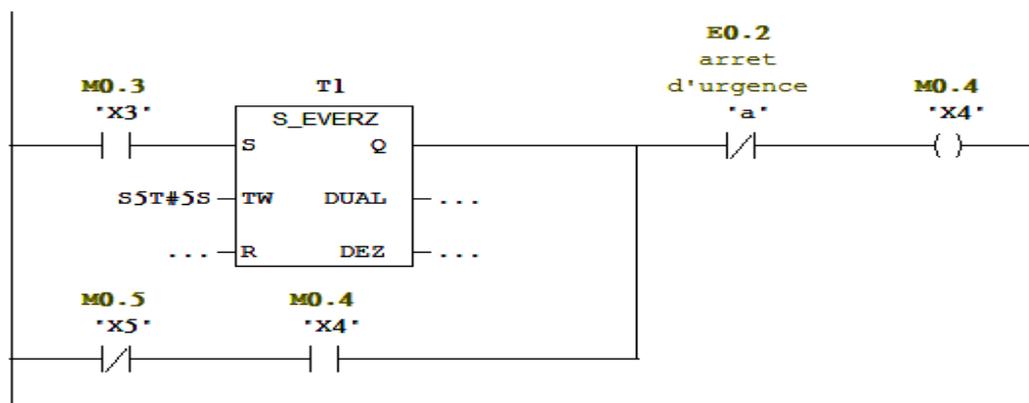
Réseau 3 : X2



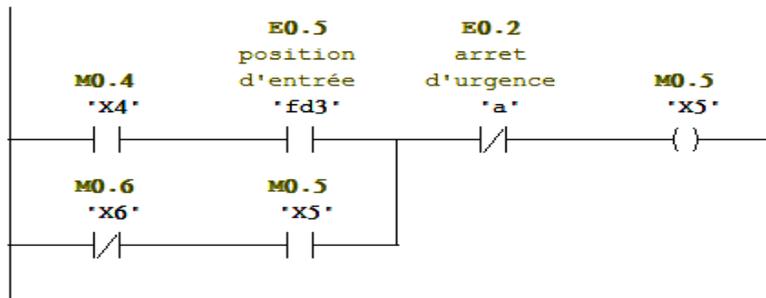
Réseau 4 : X3



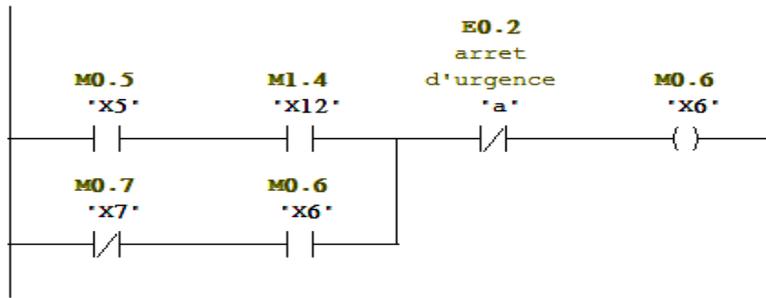
Réseau 5 : X4



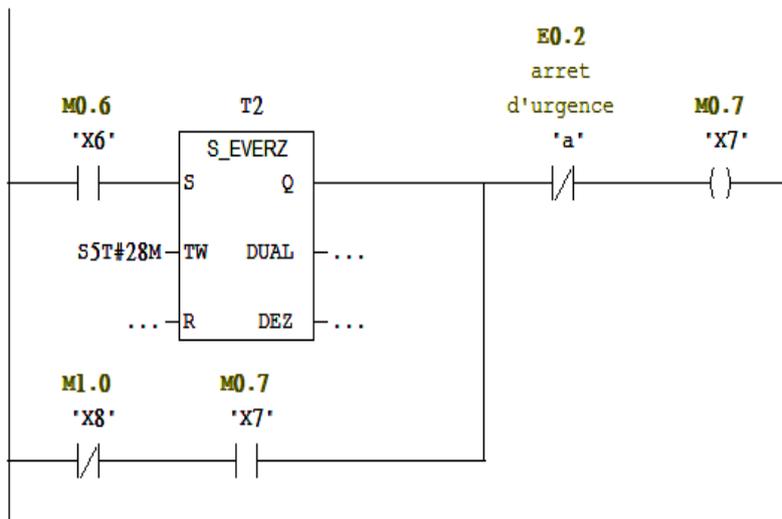
Réseau 6 : X5



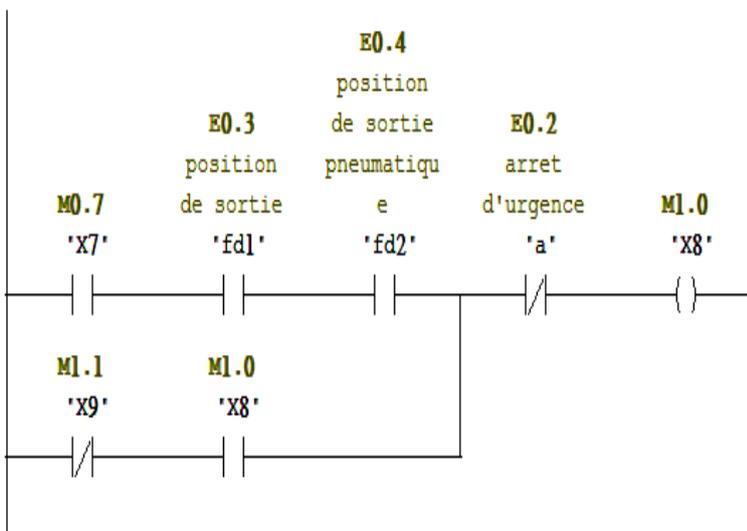
Réseau 7 : X6



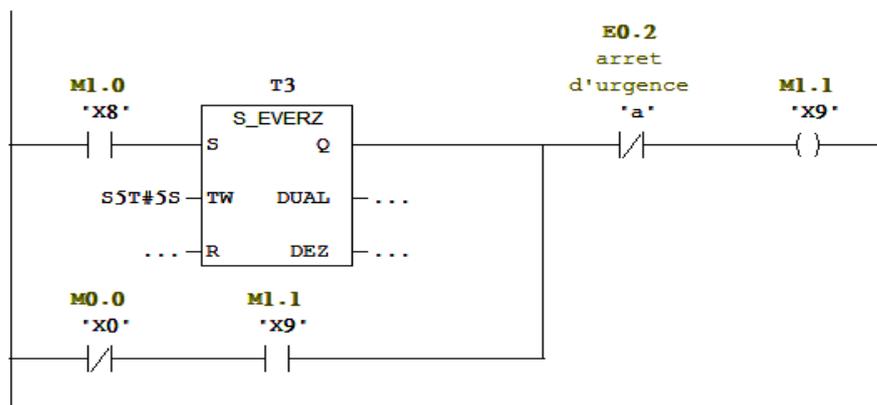
Réseau 8 : X7



Réseau 9 : X8



Réseau 10 : X9



Réseau 11 : Titre :



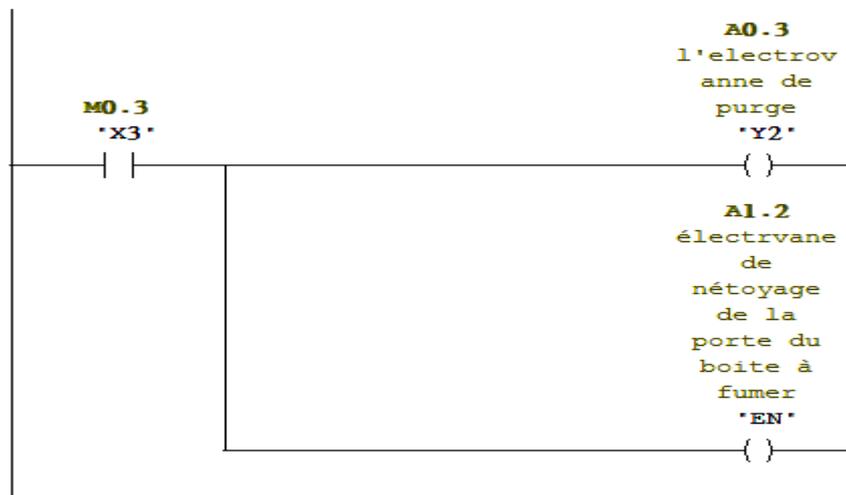
Réseau 12 : resistance de chauffe de filtre



Réseau 13 : le verin attire



Réseau 14 : l'electrovanne de purge



Réseau 15 : le moteur de déplacement de la sonde en recule



Réseau 16 : pompe de prélèvement



Réseau 17 : le moteur de déplacement de la sonde en avance



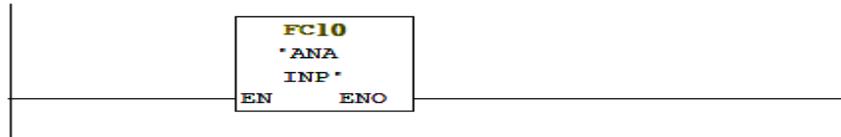
Réseau 18 : l'electrovanne de purge



Réseau 19 : le verin retracte



Réseau 20 : Titre :



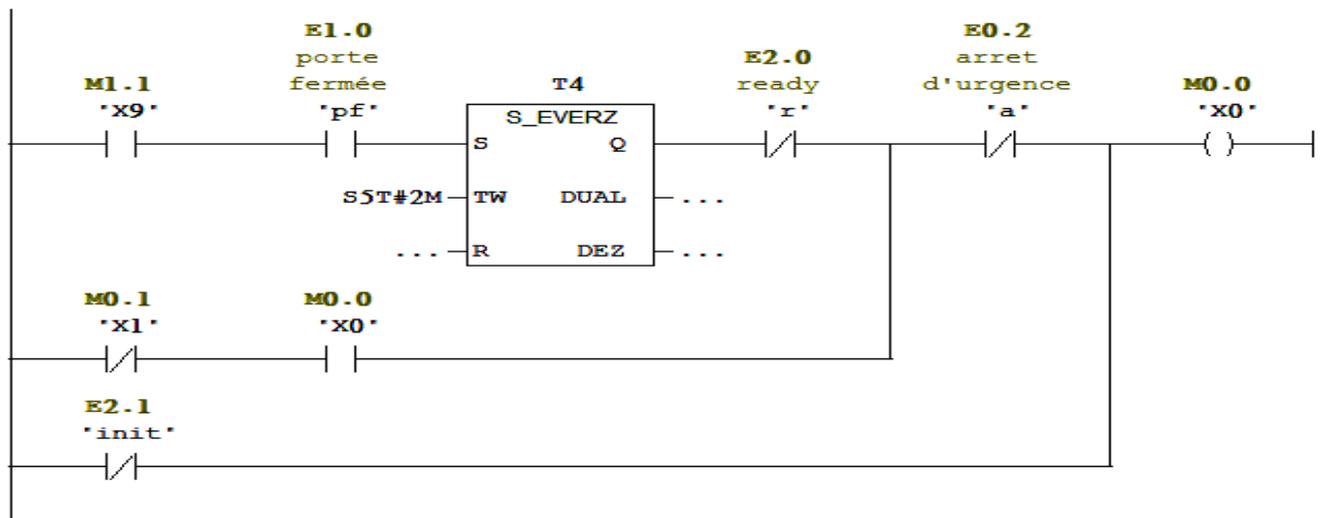
Réseau 21 : Titre :



2. Bloc d'organisation FC 10

Obl : 'Main Program Sweep (Cycle)'

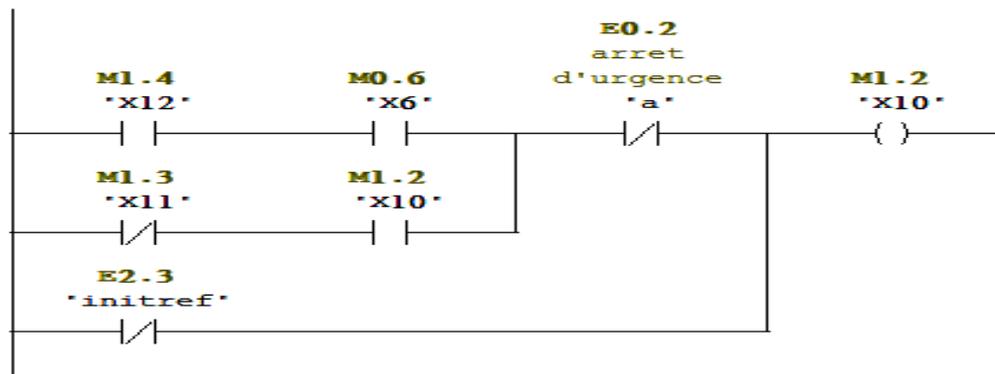
Réseau 1: X0



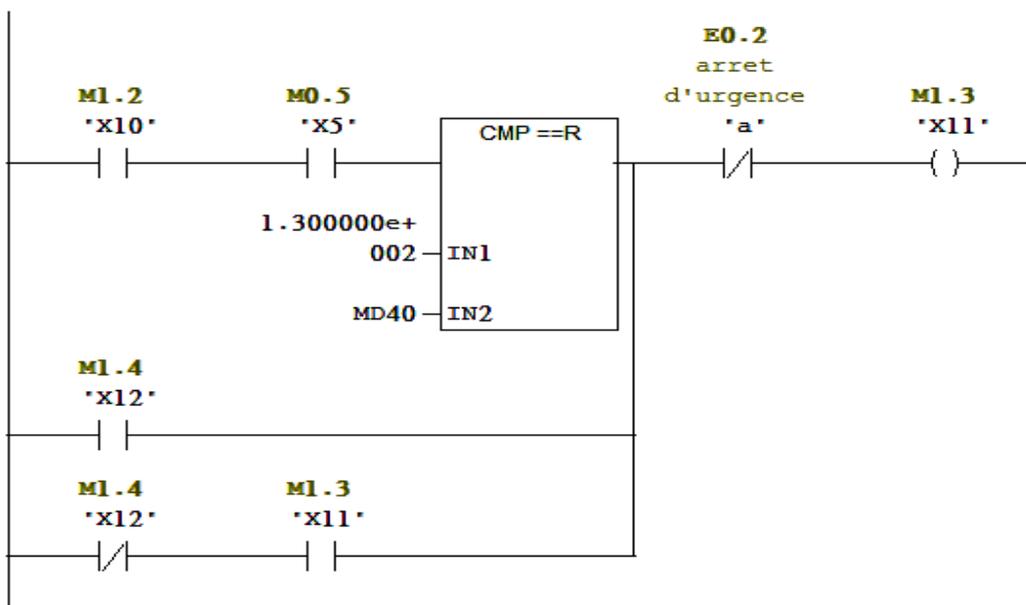
Bloc d'organisation FC 11

FC11 : Titre :

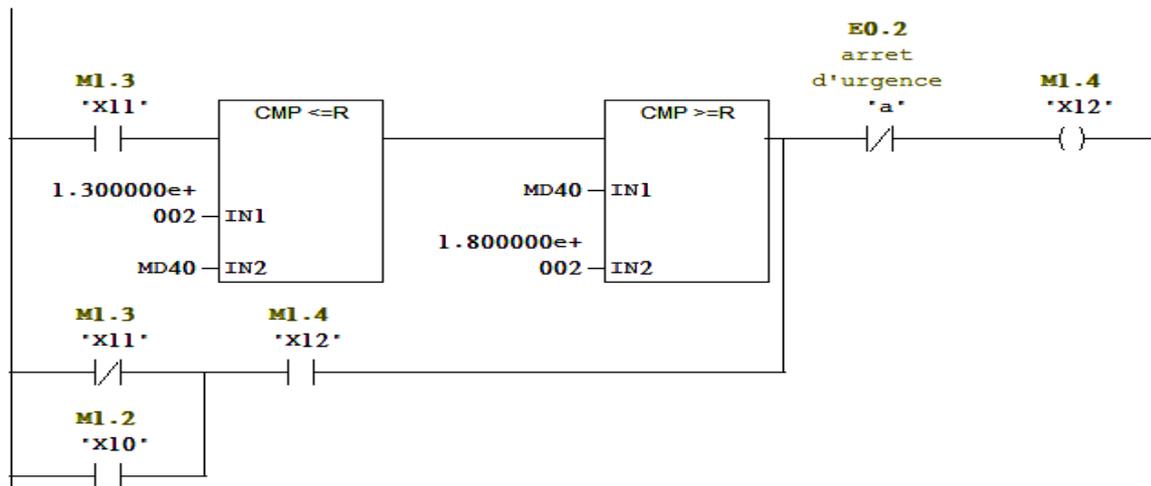
Réseau 1: X10



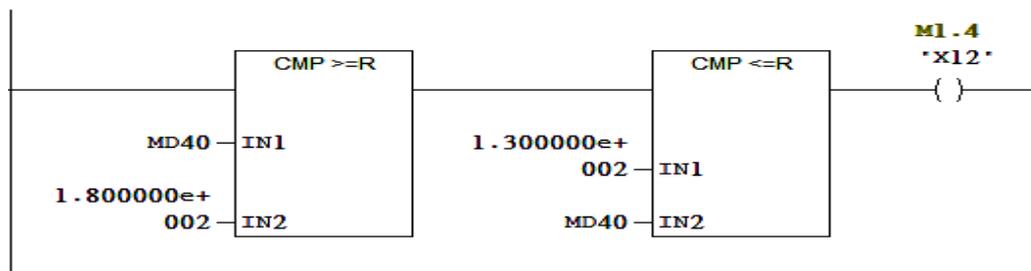
Réseau 2: X11



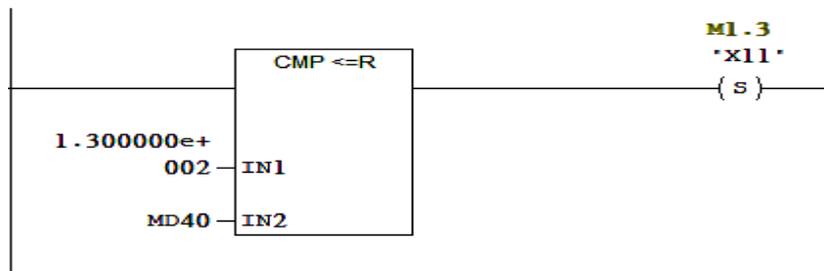
Réseau 3 : x12



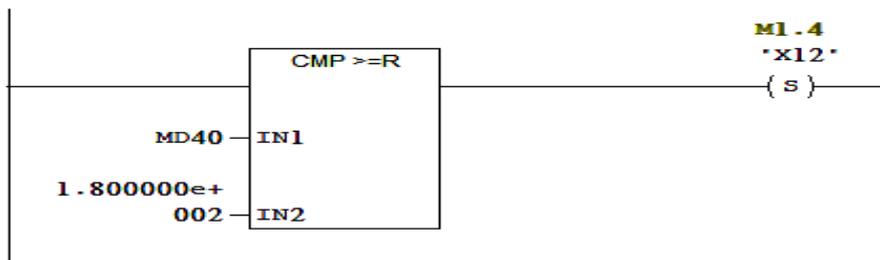
Réseau 4 : Titre :



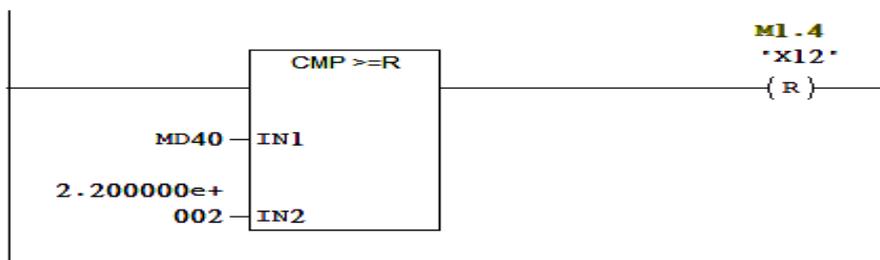
Réseau 5 : Titre :



Réseau 6 : Titre :



Réseau 7 : Titre :



Réseau 8 : pompe d'huile

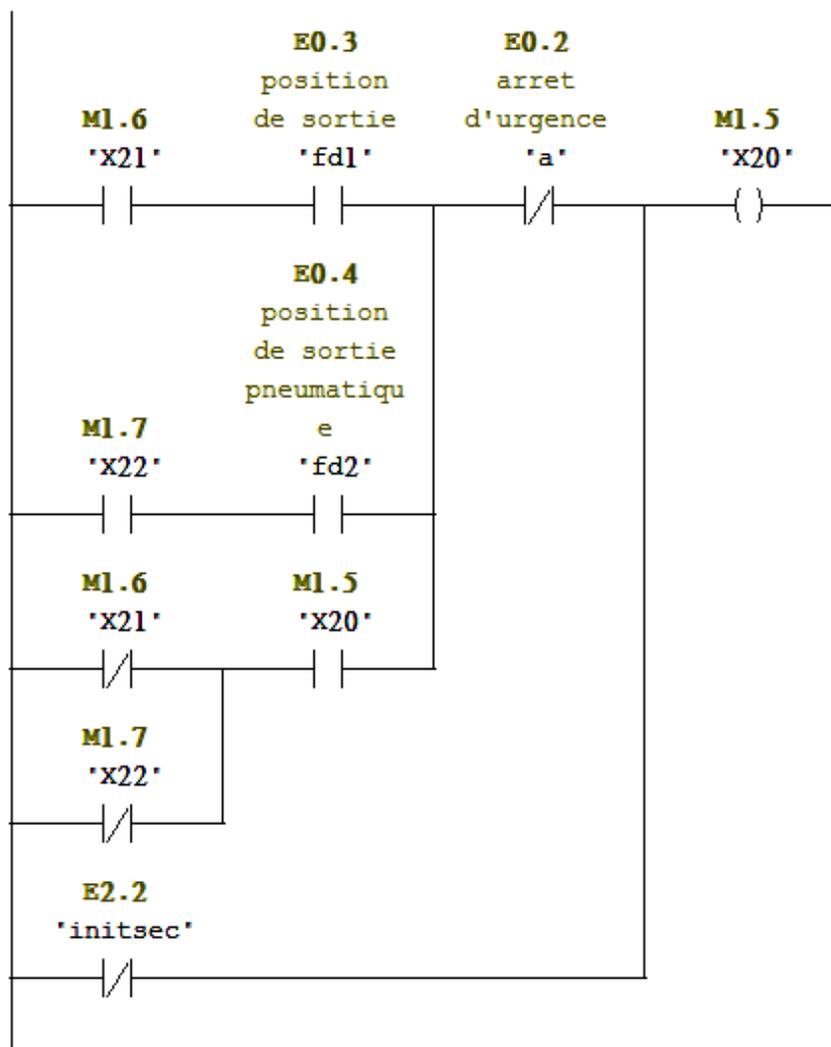


Réseau 9 : pompe d'huile

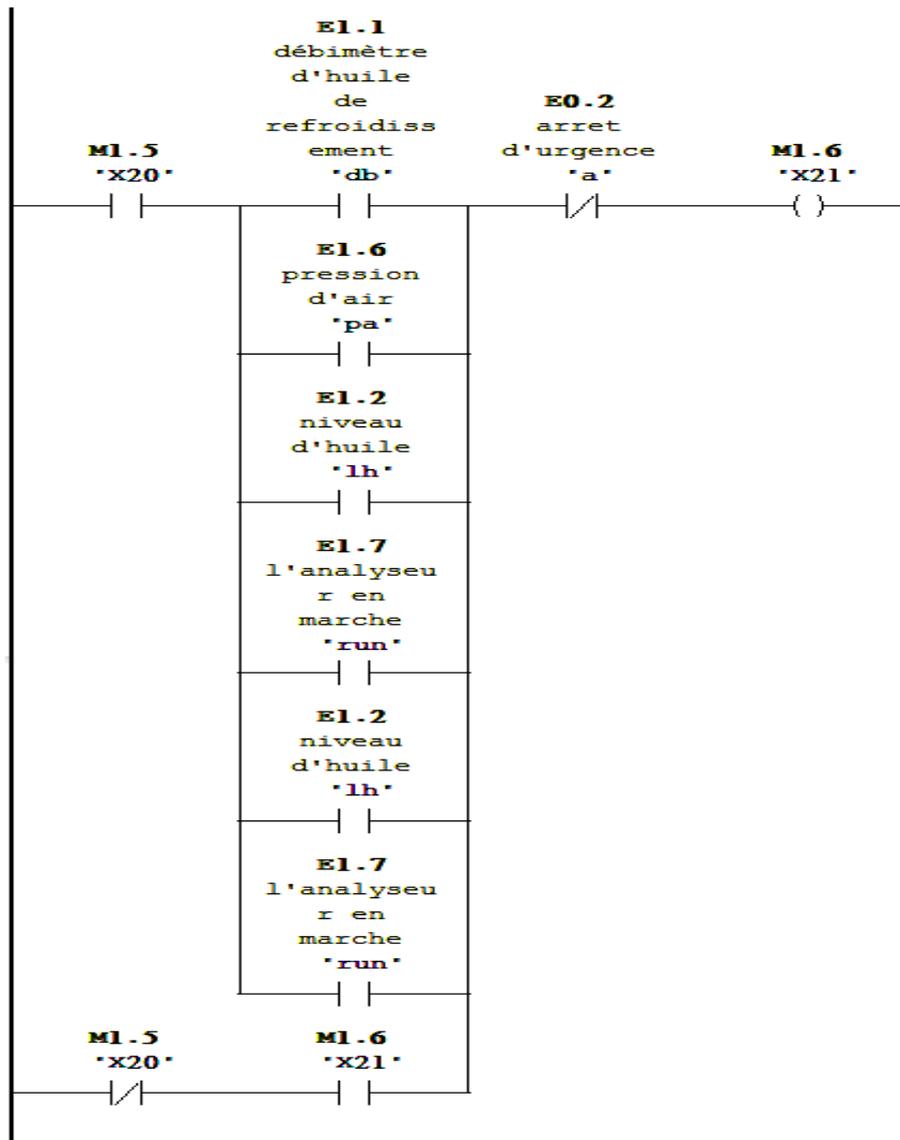


3. Bloc d'organisation FC 12

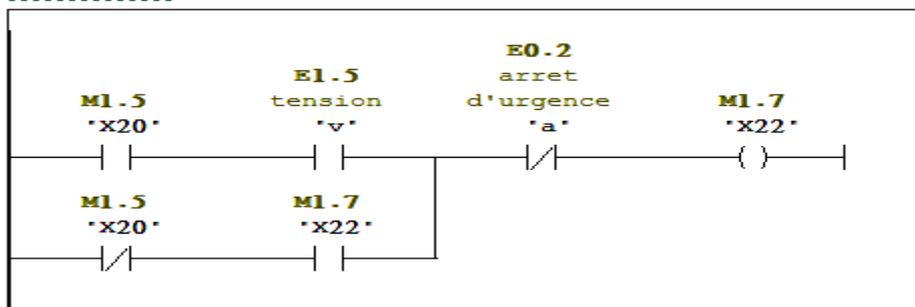
Réseau 1 : X20



Réseau 2 : X21



Réseau 3 : X22



Réseau 4 : le moteur de déplacement de la sonde en avance



Réseau 5 : moteur pneumatique



Réseau 6 : Titre :



IV.4 Simulation du projet

IV.4.1 Simulation sous STEP7

Dans le logiciel STEP7, on trouve l'application **S7-PLCSIM** qui permet de tester et d'exécuter le programme utilisateur STEP7 via un automate programmable simulé (virtuel). Le S7-PLCSIM permet aussi de détecter des erreurs logiques de configurations ou de programmations.

IV.4.1.1 Ouverture et configuration du S7-PLCSIM

Pour ouvrir et activer le S7-PLCSIM, on clic sur l'icone qui se trouve dans la barre d'outils de STEP7. Ensuite, on va créer de nouvelles fenêtres à partir de la barre d'outils, permettant de modifier l'état des entrées/sorties intervenants dans le programme.

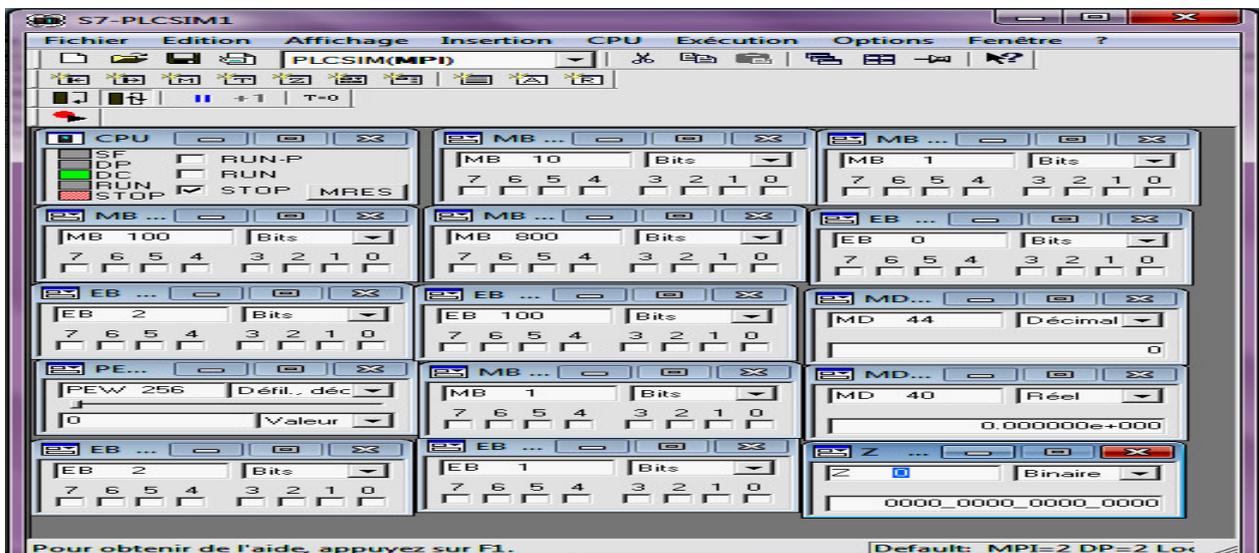


Figure IV.3 : Configuration du S7-PLCSIM.

IV.4.1.2 Chargement du programme et la mise en ligne

Avant le chargement, on doit sélectionner le bloc qui contient le programme. Le chargement se fait, en appuyant sur l'icone qui se trouve dans la barre d'outils de STEP7. Cette action permet de charger le programme dans la CPU pour son exécution. Pour la mise en ligne du programme on clic sur l'icone qui se trouve dans la barre d'outils qui permet d'afficher le programme dans l'automate.

IV.4.1.3 Le lancement de la simulation

Pour lancer la simulation, il faut d'abord appuyer sur RUN-P du commutateur de mode de fonctionnement de la CPU qui se trouve dans le S7-PLCSIM.

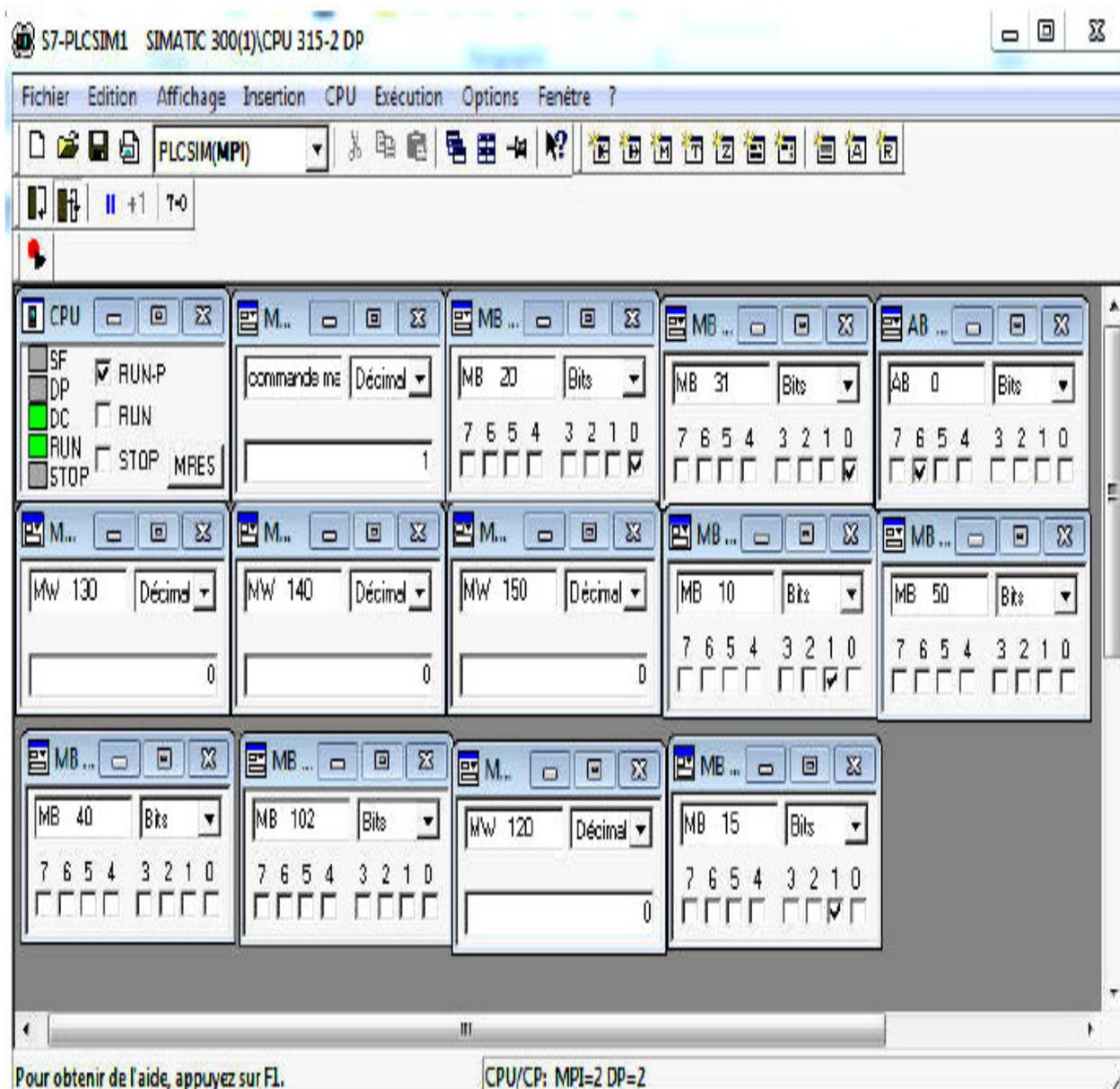


Figure IV.4 : Lancement de la simulation.

IV.4.1.4 Visualisation du programme de Système d'analyse de gaz

Après le chargement du programme et l'activation de la simulation, on visualise l'état de la sonde de prélèvement de gaz, grâce à  l'icône qui se trouve dans la barre d'outils de la fonction OB1 « appel contrôle actionneurs ».

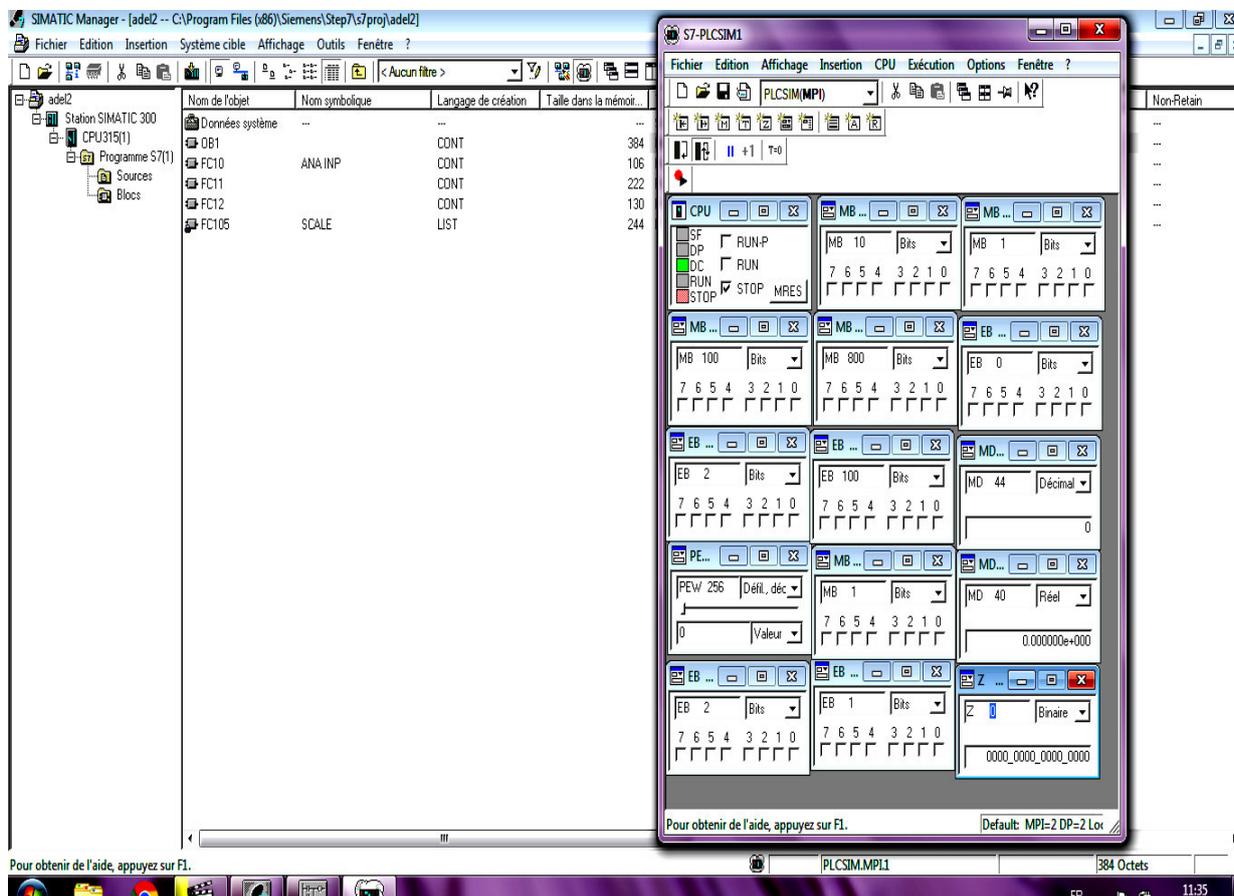


Figure IV.5 : Appel contrôle actionneurs à la simulation.

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons créé un programme permettant de gérer le fonctionnement de la sonde de prélèvement de gaz et de leurs actionneurs par le logiciel STEP7. Puis on a utilisé l'application S7-PLCSIM qui nous a permis de tester et exécuter ce programme aussi de détecter les erreurs logiques de configurations ou de programmation, avant de passer à l'implantation du programme dans l'automate et le projet dans le panel.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Notre travail consiste à programmer une sonde de prélèvement de gaz d'échappement. Pour cela, il nous fallait étudier le fonctionnement de système d'analyse de gaz pour pouvoir raccorder la partie commande qui remplacerait entièrement l'opérateur humain, à la partie opérative déjà fonctionnelle. Notre connaissance du logiciel STEP7 nous a permis d'implémenter quelques tâches d'automatisation sur l'automate S7-300 ; qui a la particularité d'intégrer des modules d'entrées/ sorties de type tout ou rien (TOR) et analogique. Après la création de programme on a étudié le teste et l'exécution par simulation de ce programme pour que on puisse détecter les défauts avant de passer à l'implantation.

Suite au travail effectué au niveau de l'usine SPA Biskria Ciment, on estime que les résultats obtenus sont très concluants. En effet, nous avons pu réaliser le projet qui nous a été confié et tester avec succès. Ce projet était une occasion d'approfondir nos connaissances acquises durant notre formation et de les confronter en étude de simulation à un problème d'industrie réel. Cela nous a permis d'acquérir une expérience dans le domaine de la pratique.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] www.biskriaciment-dz.co
- [2] <http://www.infociments.fr/ciment/normalisation-des-ciments>
- [3] <http://www.ensh.dz/files/cours/1011/Matériaux%20II%20-%20Le%20Ciment.pdf>
- [4] <http://docplayer.fr/63592224-la-technologie-du-beton.htm>
- [5] <http://materiaux-cimentaires.com/pdf/Charron.pdf>
- [6] <http://docplayer.fr/55668911-Sujet-mise-en-place--d-un-plan-de-maintenance.htm>
- [7] Documentation de l'usine SPA Biskria Ciment.
- [8] <http://www.abb.com>
- [9] Logiciel STEP7 « Manuel, » Edition, 2004.
- [10] A. Simon, « Automates programmables industriels Niveau 1, » Edition l'Elan-Liège, 1991.
- [11] R. Azizi et R. Chemali, « Commande et supervision de l'unité de conditionnement d'huile (Cevital), » Mémoire de Master 2, université de Béjaïa, promotion 2010.
- [12] Document Siemens, « Information et formation, automatisation et entraînements, programmation niveau A, » Edition Siemens AG, 2003.
- [13] Document Siemens, « Automate programmable S7-300, caractéristiques électriques et techniques des CPU SIMATIC, » Edition Siemens, 2001.
- [14] Document de formation pour une solution complète d'automatisation T I A MODULE B5 A&D SCE « Automatisierung- und Antriebstechnik, Siemens A&D Cooperates with Education, » Edition, 2005.
- [15] Document de formation pour une solution complète d'automatisation T I A. MODULE A4 A&D SCE « Automatisierung- und Antriebstechnik, Siemens A&D Cooperates with Education, » Edition, 2004.
- [16] J.-P. Thomesse, « Technique de l'Ingénieur, Ingénierie des systèmes hommemachine, » Edition, 2004.