



Master Sciences et Techniques en Génie Industriel

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques
Sous le thème

***Reconception d'une cabine d'analyse des gaz au sein de LafargeHolcim
Ciments Usine de Meknès en vue de son automatisation***

Lieu : LafargeHolcim usine de Meknès

Référence : 01 /17-MGI

Présenté par:

Amejwal Mohamed

Soutenu Le 12 Juin 2017 devant le jury composé de:

- **Mr. Belmajdoub Fouad (encadrant FST)**
- **Mr. Benmira Jamal (encadrant Société)**
- **Mr. Cherkani Hassani Mohammed (examineur)**
- **Mr. Hamedi l'Habib (examineur)**

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*À mes parents, mes frères, 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 ce projet et durant toute ma formation;*

Remerciement

Je tiens tout d'abord à exprimer mes profonds respects et remerciements à mes parents et tous les membres de ma famille qui n'ont pas cessé de m'encourager, de m'accompagner moralement et financièrement durant tout mon cursus. Que ses paroles soient un signe de reconnaissance de ma part à l'égard de leur engagement à me soutenir pour toujours quelles soient les circonstances.

*Je tiens à remercier très vivement mes encadrants **Mr. Fouad BELMAJDOUB** et **Mr. Jamal BENMIRA** pour leur soutien, leur collaboration et l'aide qu'ils m'ont apportés.*

Sans oublier à remercier aussi Mr. Tarik BELMAHDI et l'ensemble du personnel de service électrique au sein de LafargeHolcim usine de Meknès, pour leur collaboration, leur temps et l'aide qu'ils m'ont apportés.

Ma reconnaissance va aussi à nos formateurs à la FST de Fès notamment ceux du département Génie Industriel pour leurs efforts.

Mes vifs remerciements vont également à Mr. Cherkani Hassani et Mr. Hamedi l'Habib pour avoir fait l'honneur d'être membres de jury, ainsi que pour avoir consacré une partie de leur temps précieux pour lire et corriger ce rapport.

Finalement, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce modeste travail.

Sommaire :

Introduction	1
Chapitre I : Présentation de l'entreprise	2
I. GROUPE LAFARGEHOLCIM :	2
1. Fusion LAFARGEHOLCIM :	2
2. HISTORIQUE :	3
3. Présentation de LAFARGE :	3
II. Présentation LAFARGEHOLCIM-Meknès :	4
1. Présentation général :	4
2. Fiche signalétique :	4
3. Organigramme de LafargeHolcim Meknès :	5
4. Produits de la société :	5
III. Processus de fabrication du Ciment :	6
1. Introduction :	6
2. Etape 1 : préparation des matières premières	7
➤ Exploitation de la carrière :	7
➤ Concassage :	7
➤ Pré homogénéisation :	7
➤ Broyage de cru :	7
3. Etape 2 : production du clinker	8
➤ Préchauffage :	8
➤ Cuisson :	8
➤ Refroidisseur :	8
4. Etape 3 : mouture du ciment et expédition :	9
➤ Silos à clinker :	9
➤ Broyage du ciment :	9
➤ Expédition :	9
Chapitre II : Description de la cabine d'analyse de boîte à fumée	10
I. L'emplacement de la cabine d'analyse.	11
II. Rôle de la cabine d'analyse :	12
1. Pyro-contrôle du four :	12
2. Prévention de l'arrêt du four :	12
3. Consommation optimale du combustible :	12

4.	Réduction des émissions :	12
5.	Contrôle de la qualité du Clinker :	13
6.	Contrôle des volatiles :	13
	III. Analyse fonctionnelle de la cabine d'analyse :	13
1.	La représentation de besoin (Bête à cornes) :	13
2.	Diagramme de pieuvre :	14
3.	Décomposition fonctionnelle du système :	15
	IV. Processus de prélèvement des gaz :	18
1.	La canne de prélèvement :	18
2.	Système de refroidissement :	19
3.	Unité de conditionnement :	20
	V. Description des éléments de base de la cabine :	22
1.	Analyseurs du gaz échantillon (AO2000) :	22
1.1	Module d'analyse O ₂ :	22
1.2	Module d'analyse CO/NO et SO ₂ :	24
2.	Les équipements de la cabine d'analyse :	25
	VI. Problématique et cahier de charge :	29
1.	Cahier de charge :	29
2.	Problématique :	30
2.1	Pression circuit eau basse ou haute :	30
2.2	Blocage de la canne de prélèvement :	31
2.3	Humidité :	31
2.4	Bouchage de la canne de prélèvement :	31
	Chapitre III : Automatisation et supervision de la cabine d'analyse	11
	I. L'automate SIEMENS S7-300 CPU 313 :	33
1.	Caractéristiques techniques:	33
1.1	Module d'alimentation PS 307 :	34
1.2	Module unité centrale CPU 313 :	35
1.3	Module des coupleurs :	35
1.4	Modules de signaux :	35
	II. Les outils de programmation :	35
1.	Langages de programmation :	35
2.	Logiciels de programmation et de supervision:	36

2.1	SIMATIC STEP 7 :	36
2.2	Logiciel de supervision Win CC flexible :	37
	III. Automatisation de la cabine d'analyse :	37
1.	Tableau des mnémoniques :	38
➤	Les entrées :	38
➤	Les sorties :	38
2.	Principe de l'analyse des gaz :	39
3.	Mode manuel et mode automatique de système :	39
4.	Gestion des défauts :	40
5.	Circuit de nettoyage :	40
6.	Sortie cyclique de la canne :	45
7.	Défaut de pression ou débit de gaz :	49
8.	Défaut de filtre ou sécheur :	51
9.	Défaut de pression et température d'eau :	52
	Chapitre IV : Etude de la sûreté de fonctionnement de la cabine d'analyse	33
	I. Introduction :	57
	II. Application de l'AMDEC :	57
	Déroulement de la méthode :	57
1.	Initialisation :	57
2.	Analyse des défaillances :	58
2.1	Mode de défaillance	59
2.2	Cause de la défaillance :	59
2.3	Effet de la défaillance ;	59
3.	Cotation de la criticité des équipements	59
4.	Actions préventives et correctives :	63
	Conclusion et perspectives	65
	Bibliographie :	66
	Annexes	67

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de LafargeHolcim Meknès.....	5
Figure 2 : Produits de l'entreprise	5
Figure 3 : différents Types de ciments 1	6
Figure 4 : Constitution du ciment	6
Figure 5 : étapes de cuisson du clinker 1.....	8
Figure 6 : processus de fabrication du ciment 1.....	9
Figure 7 : emplacement de la cabine d'analyse de boite à fumée 1	11
Figure 8 : Représentation de besoin en cabine d'analyse	14
Figure 9 : Diagramme de pieuvre de la cabine d'analyse.....	14
Figure 10 : Les équipements constituant la cabine d'analyse	18
Figure 11 : Canne de prélèvement des gaz	19
Figure 12 : Schéma simplifié de circuit de gaz échantillon.....	21
Figure 13 : Analyseurs Advance Optima	22
Figure 14 : principe de mesure de l'oxygène 4.....	23
Figure 15 : Analyseurs de gaz (NO/CO et SO ₂) par absorption IR 4	25
Figure 16 : Vue externe et dimensions de débitmètre	26
Figure 17 : filtre céramique	27
Figure 18 : Sécheur.....	27
Figure 19 : Plaque signalétique de moteur asynchrone 1	28
Figure 20 : Capteur de température Pt100.....	29
Figure 21 : Schéma du circuit de refroidissement	31
Figure 22 : Caractéristiques de SIMATIC S7-300 CPU 313.....	34
Figure 23 : Grafset de commutation mode manuel/automatique du système.....	39
Figure 24 : Programme LADDER de commutation mode automatique/manuel	40
Figure 25 : Grafset de conduite pour le nettoyage	41
Figure 26 : Grafset de nettoyage	42
Figure 27 : Grafset des impulsions de l'électrovanne principale	42
Figure 28 : programme LADDER de nettoyage	45
Figure 29 : Grafset de sortie cyclique de la canne.....	46
Figure 30 : Programme LADDER de sortie cyclique de la canne.....	48
Figure 31 : Nettoyage de fourreau.....	48
Figure 32 : Grafset de gestion de débit ou pression de gaz	49

Figure 33 : Gestion des défauts liés au pression ou débit de gaz.....	51
Figure 34 : Grafcet de gestion de défaut du filtre ou sécheur	52
Figure 35 : Grafcet de gestion de la pression d'eau.....	53
Figure 36 : La gestion des défauts de pression et température d'eau.....	56
Figure 37 : Analyse des défaillances	58

Liste des tableaux

Tableau 1 : Objectif de mesure des gaz 1	12
Tableau 2 : Les entrées de l'automate	38
Tableau 3 : Les sorties de l'automate	39
Tableau 4 : Cotation de la criticité	60
Tableau 5: La criticité des équipements de prélèvement	61
Tableau 6 : La criticité de capteurs	61
Tableau 7 : La criticité de l'unité du conditionnement	61
Tableau 8 : La criticité des équipement de l'air comprimé	62
Tableau 9 : La criticité des équipements électriques.....	62
Tableau 10 : La criticité des équipements de refroidissement et déplacement de la canne	63
Tableau 11 : Planning de la maintenance préventive.....	64

Liste des acronymes

O₂ : Oxygène

CO : Monoxyde de carbone

NO : monoxyde d'azote

SO₂ : dioxyde de soufre

FAST : Function Analysis System Technique.

ST : Structured Text.

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.

MAD: Moroccan Dirham.

Ppm : Particules par million

PID: Proportionnelle, Intégrale et Dérivée

IR: Infra-rouge

TOR: tout ou rien

BP: Bouton Poussoir

EV: Electrovanne

EVI: Electrovanne d'isolation

AMDEC: Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

Introduction

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 dans l'industrie, les automatismes sont devenus indispensables : 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, qu'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 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 des entreprises. C'est dans ce cadre que LAFARGEHOLCIM (usine de Meknès) a décidé de mettre en place un programme d'automatisme qui permet de contrôler la cabine d'analyse des gaz à l'entrée de four .

Le présent rapport est divisé en quatre chapitres. Dans le premier chapitre nous présenterons le groupe LAFARGEHOLCIM, la filiale LAFARGEHOLCIM Maroc et l'usine de Meknès, avec un bref aperçu sur le processus de fabrication de ciment.

Le second chapitre est consacré à une description complète de la cabine d'analyse et ses différents éléments, à la présentation de la problématique et la définition du cahier de charge.

Le troisième chapitre est consacré à l'élaboration d'un programme d'automatisme qui répond au cahier de charge.

Le dernier chapitre est réservé à l'étude de la sûreté de fonctionnement de la cabine d'analyse des gaz.

Le rapport se terminera par une conclusion.

Chapitre I :

Présentation de l'entreprise

Introduction

Les cimenteries marocaines génèrent un chiffre d'affaire annuel de 15 milliards Dhs, elles constituent un acteur majeur dans l'économie du Royaume, La moitié du ciment marocain est consommé par 16% du territoire.

Les deux premières régions consommatrices sont le Grand-Casablanca et Tanger- Tétouan, où se trouvent aussi deux des trois usines marocaines de LAFARGEHOCIM, le leader du marché.

L'industrie marocaine du ciment représente une part énorme dans l'économie marocaine, à la fois du fait des énormes quantités produites et du chiffre d'affaire généré, mais aussi par l'ampleur des investissements que cette industrie nécessite.

Les principaux acteurs du ciment marocain sont au nombre de quatre :

- LafargeHolcim Maroc (groupe français Lafarge).
- Ciments du Maroc (groupe italien Italcementi).
- Asment Temara (groupe portugais Cimpor).
- Le dernier né, 100 % marocain, les Ciments de l'Atlas (CIMAT).

I. GROUPE LAFARGEHOLCIM :

1. Fusion LAFARGEHOLCIM :

Le 7 avril 2014, HOLCIM et LAFARGE annoncent leur projet de fusion au taux d'une action HOLCIM pour une action Lafarge.

Le 7 juillet 2014, les deux groupes annoncent une liste d'actifs proposés pour désinvestissement afin de permettre la fusion.

En mars 2015, sous la pression des actionnaires d'Holcim, le conseil d'administration d'Holcim envoie un courrier au groupe Lafarge faisant part de nouvelles exigences dans le cadre du projet de fusion entre les deux groupes. Le groupe suisse réclame un relèvement de la parité d'échange en sa faveur (0,875 action Holcim pour une action Lafarge) et un autre président que le français Bruno Lafont pour le nouvel ensemble.

Un nouvel accord se met en place pour une nouvelle parité d'échange : 9 actions Holcim pour 10 actions Lafarge.

Cependant un mouvement anti-Lafarge semble se dessiner. Après les contestations concernant la parité, les actionnaires contestataires s'en prennent aux objectifs de cette fusion et considèrent les gains chiffrés présentés par les deux groupes comme irréalistes. Le deuxième actionnaire du groupe Holcim avec 10% des actions, le russe Filaret Galtchev, a rejeté le nouveau compromis et trouve les avancées insuffisantes. Par ailleurs des actionnaires

individuels se sont réunis et appellent, sur un site internet créé pour l'occasion (Holcimshareholders.ch), à voter contre le projet de fusion qui est présenté à l'assemblée générale du 8 mai 2015.

Le 10 juillet 2015, la fusion de Lafarge et d'Holcim est effective et comporte trois changements par rapport au projet de fusion entre égaux initial :

- le changement de parité en faveur des actionnaires d'Holcim,
- le renoncement du PDG français de Lafarge, Bruno Lafont, à un poste de direction générale au profit d'Eric Olsen, ancien de chez Lafarge.
- le choix de la Suisse comme siège du nouveau groupe.

Le nouvel ensemble est officiellement lancé le 15 juillet 2015 et prend le nom de LAFARGEHOLCIM.

2. HISTORIQUE :

- ❖ En juillet 2016 : LAFARGEHOLCIM annonce la vente de ses activités en Inde pour 1,4 milliard de dollars à Nirma, dans le cadre de son plan de désinvestissement.
- ❖ En août 2016 : LAFARGEHOLCIM annonce la vente pour 520 millions d'euros de sa participation de 65 % de ses activités au Viet-Nam à Siam City Cement. Dans le même temps, LAFARGEHOLCIM annonce la vente de sa participation de 56 % dans sa filiale Sichuan Shuangma Cement à Tianjin Circle pour environ 500 millions de francs suisses, ainsi que le restant de ses activités en Chine à Huaxin pour environ 200 millions de francs suisses.
- ❖ En octobre 2016 : il vend sa participation de 54% dans sa filiale chilienne Cemento Polpaico, au fonds d'investissement Inversiones Caburga Limitada pour 225 millions de dollars.

Toutes ces cessions s'inscrivent dans un plan de 5 Mds € de cessions d'ici fin 2017 et de ne demeurer que sur les marchés où il est en position de force (leader, ou peut-être challenger) pour faire respecter ses prix.

3. Présentation de LAFARGE :

LAFARGE est un groupe français de matériaux de construction, leader mondial dans son secteur, la société produit et vend dans le monde entier principalement du ciment, des granulats et du béton prêt à l'emploi.

En 2014 le chiffre d'affaires de LAFARGE s'est élevé à 12.843 milliards d'euros, dont 66.5% dans le ciment et 33.1% dans le béton et granulats.

Présent dans 61 pays, le groupe emploie environ 63000 personnes sur 1612 sites de production.

II. Présentation LAFARGEHOLCIM-Meknès :

1. Présentation général :

La cimenterie de Meknès se trouve au nord-est de la ville à proximité immédiate de hay soussi et non loin de la route principale de Meknès Fès.

Dénommée CADEM (ciments artificiels de Meknès) l'usine a démarré en 1953 avec une seule ligne de production à voie humide d'une capacité de 400 tonnes par jour, depuis les événements suivants se sont succédés

- ▶ 1971 : extension des capacités avec l'installation d'un nouveau four de 650 t / j et augmentation de la capacité broyage ciment à 650.000 t.
- ▶ 1985 : conversion du procédé voie humide en voie sèche, tout en augmentant la capacité de production qui atteint 1500 tonnes par jour.
- ▶ 1989 : installation d'un broyeur à ciment BK5.
- ▶ 1990 : la capacité de production passe de 1500 à 1800 tonnes par jour, grâce à des modifications au niveau du precalcineur et du refroidisseur.
- ▶ 1993 : nouvelle extension avec le démarrage d'une seconde ligne de cuisson d'une capacité de 1 200 t/j clinker.
- ▶ En mars 2015, sous la pression des actionnaires d'Holcim, le conseil d'administration d'Holcim envoie un courrier au groupe Lafarge faisant part de nouvelles exigences dans le cadre du projet de fusion entre les deux groupes.

2. Fiche signalétique :

Raison sociale : LafargeHolcim Ciments Usine de Meknès

Directeur : Mr. AGOUMI

Siege social : CASABLANCA

Capital : 476 430 500 DH

Forme juridique : Société anonyme

Gamme de produits : -CPJ 35

Date de création : 1995

-CPJ45

Adresse : Km 8 Route de Fès, BP 33 Meknès

-CPJ55

Téléphone : 035-52-26-44/45/46

CNSS 1098343

Certification : -ISO 9001

Numéro Patente : 17045015

-ISO 14001

Registre de commerce : 40779

Effectif du personnel : 340

3. Organigramme de LafargeHolcim Meknès :

Voici une vue général de l'organigramme de l'entreprise LAFARGEHOLCIM-Meknès et ces différents service.

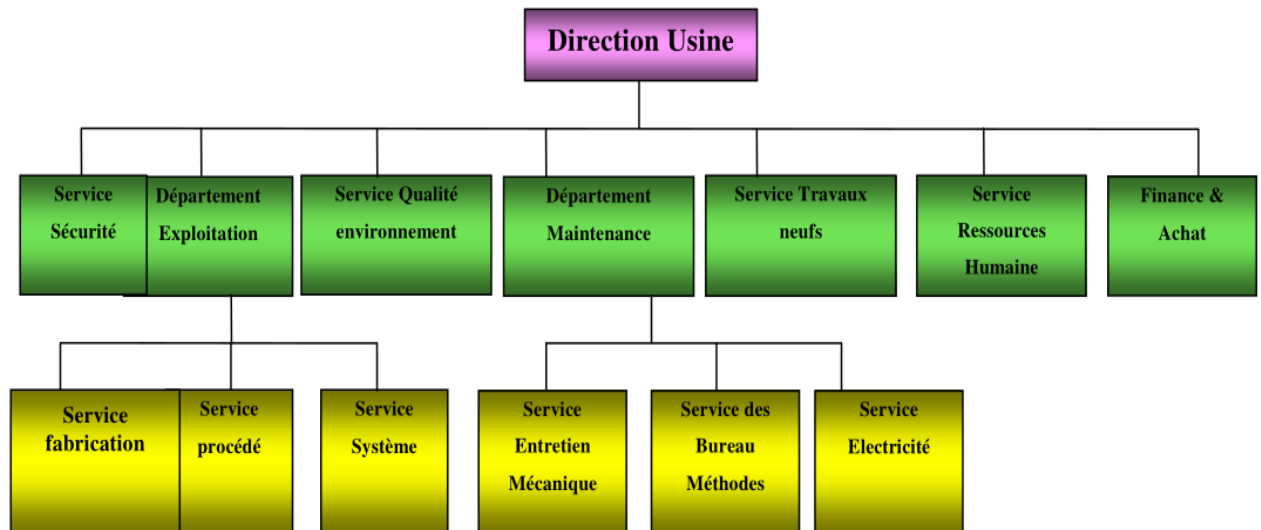


Figure 1 : Organigramme de LafargeHolcim Meknès.

4. Produits de la société :

Pour répondre aux besoins spécifiques de ses clients, LAFARGEHOLCIM Maroc met à leur disposition une large gamme de ciments gris : CPJ 35, CPJ 45 et CPJ 55.

Le CPJ 35 est un Ciment Portland avec Ajouts, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 65%, le reste étant constitué d'ajouts comme le calcaire et le gypse. Parmi les principales caractéristiques garanties par la norme, la R28 du CPJ 35 doit être supérieure à 22.5MPa.

Le CPJ 45 est un Ciment Portland avec Ajouts. Il doit contenir un pourcentage minimum en Clinker de 72%, le reste étant constitué d'ajouts comme le calcaire et le gypse. Parmi les principales caractéristiques garanties par la norme, la Rc28 du CPJ 45 doit être supérieure à 32.5MPa.

Le CPJ55 est un Ciment Portland avec Ajouts composé principalement de clinker et de calcaire, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 83%.



Figure 2 : Produits de l'entreprise

En outre, les trois types de ciments (CPJ35, CPJ45, CPA55) se différencient selon des pourcentages précis des ajouts au clinker.

Ciments			
Compositions	CPJ35	CPJ45	CPA55
Calcaire	35.60%	24.00%	0.00%
Cendres volantes	3.21%	6.52%	0.00%
Gypse	2.80%	3.14%	5.64%
Clinker	58.39%	66.34%	94.36%

Figure 3 : différents Types de ciments¹

III. Processus de fabrication du Ciment :

1. Introduction :

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité.

Le ciment est une poudre minérale qui a la propriété de former, en présence de l'eau, une pâte capable de faire prise et de durci progressivement, même à l'abri de l'air et notamment sous l'eau, c'est un liant hydraulique.

Il est réalisé à partir de clinker, du calcaire et du gypse dosés et broyés finement.

Le produit cru (farine) est obtenu par un broyage fin des matières premières composées essentiellement de calcaires et d'argiles.

La figure suivante résume les éléments qui entrent dans la constitution du ciment:

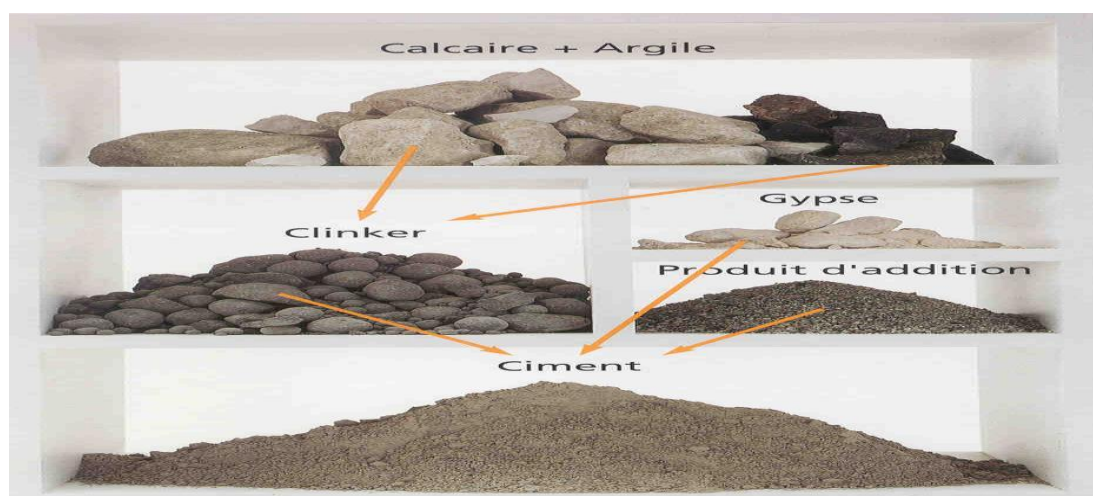


Figure 4 : Constitution du ciment

2. Etape 1 : préparation des matières premières

➤ Exploitation de la carrière :

La carrière en cimenterie constitue la source en matières premières lesquelles subiront des transformations pour fabriquer le produit ciment.

L'extraction des roches se fait par abatage à l'explosif qui consiste à fragmenter le massif exploité en procédant par : forage, la mise en place de l'explosif, et le sautage.

➤ Concassage :

Pour réduire des dimensions de la matière première, et donc faciliter le stockage, on passe par une opération de concassage qui consiste à soumettre les matières premières à des efforts d'impact, d'attrition et de cisaillement.

L'usine LAFARGEHOLCIM de Meknès dispose de deux concasseurs à marteaux d'un débit de 800T/h et 400T/h consommant une puissance de 1.21MW.

➤ Pré homogénéisation :

C'est l'étape qui suit le concassage et qui consiste à mélanger des différents composants de la matière première ainsi que les ajouts qui entrent dans la composition du ciment, tout en respectant les pourcentages de matière relatifs à chaque composant, pour obtenir à la fin une composition chimique appelée : le cru.

➤ Broyage de cru :

Le broyage du cru est une opération qui consiste à préparer un mélange homogène avec une bonne répartition granulométrique pour assurer les meilleures conditions de cuisson de la farine, la farine obtenue, qui est une poudre fine, est stockée dans des silos après avoir subi une opération d'homogénéisation afin d'obtenir une composition chimique régulière prête à la cuisson.

3. Etape 2 : production du clinker

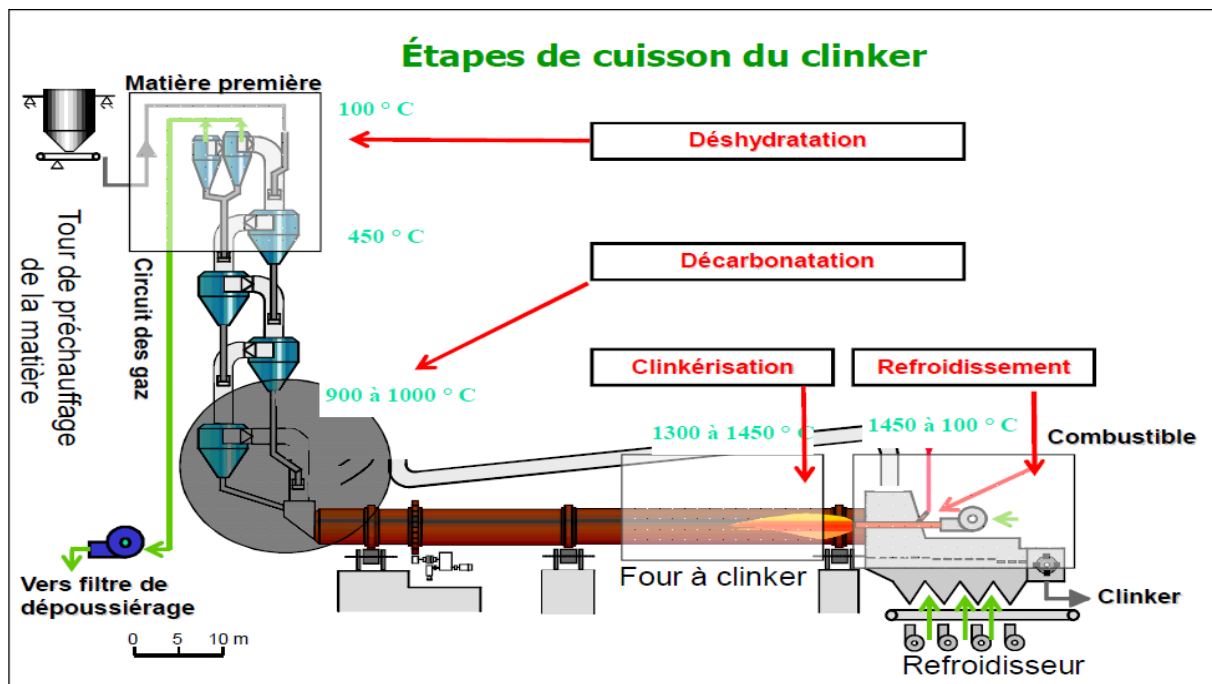


Figure 5 : étapes de cuisson du clinker¹

➤ **Préchauffage :**

Etape incontournable dans les installations de la cuisson modernes, le préchauffage permet essentiellement de préparer la farine du point de vue chimique et thermique. Cette Préparation consiste à sécher, déshydrater et décarbonater partiellement la matière crue en réutilisant une partie de l'énergie calorifique évacuée par les gaz d'exhauste du four.

➤ **Cuisson :**

Pièce maîtresse de la cimenterie, le four est un tube en acier, légèrement incliné par rapport à son axe (3 à 5%) briqueté intérieurement et pouvant atteindre 200 mètre de longueur et 6 à 7 mètres de diamètre. Dans le four, la matière préparée par l'échangeur subit deux transformations chimiques principales :

- La décarbonatation qui commence dans la tour échangeur et qui se complète au début du four.
- La clinckérisation qui s'effectue à une température voisine de 1450°C quand la matière atteint la fin du four.

➤ **Refrondisseur :**

Le rôle des refroidisseurs est de garantir la trempe de clinker pour avoir une structure minéralogique et des dimensions de cristaux favorables ainsi qu'il abaisse la température du clinker afin de faciliter la manutention et le stockage.

4. Etape 3 : mouture du ciment et expédition :

➤ **Silos à clinker :**

Le clinker, issu du four, est stocké dans des silos qui d'une part, confèrent à l'atelier de broyage ciment 1 (étape suivante) une autonomie de marche en cas d'arrêt intempestif du four et d'autre part, prémunit le clinker d'une dégradation physico-chimique que causerait un stockage prolongé à l'air libre.

➤ **Broyage du ciment :**

Le clinker et les ajouts, qui sont des matériaux grossiers par rapport à la granulométrie du ciment, sont introduits au niveau du broyeur, dans des proportions prédéfinies, pour subir des efforts mécaniques du broyeur et produire ainsi le ciment qui est d'une finesse inférieure à 40 micros. L'atelier de broyage comprend le broyeur, le séparateur (qui sélectionne les particules selon leur grosseur), et le dépoussiéreur du broyeur.

➤ **Expédition :**

Les expéditions comprennent le stockage du ciment, son conditionnement (ensachage) en cas de livraison par sacs et son chargement. C'est l'interface de l'usine avec le client. En résumé, le processus de fabrication du ciment peut être présenté par la figure

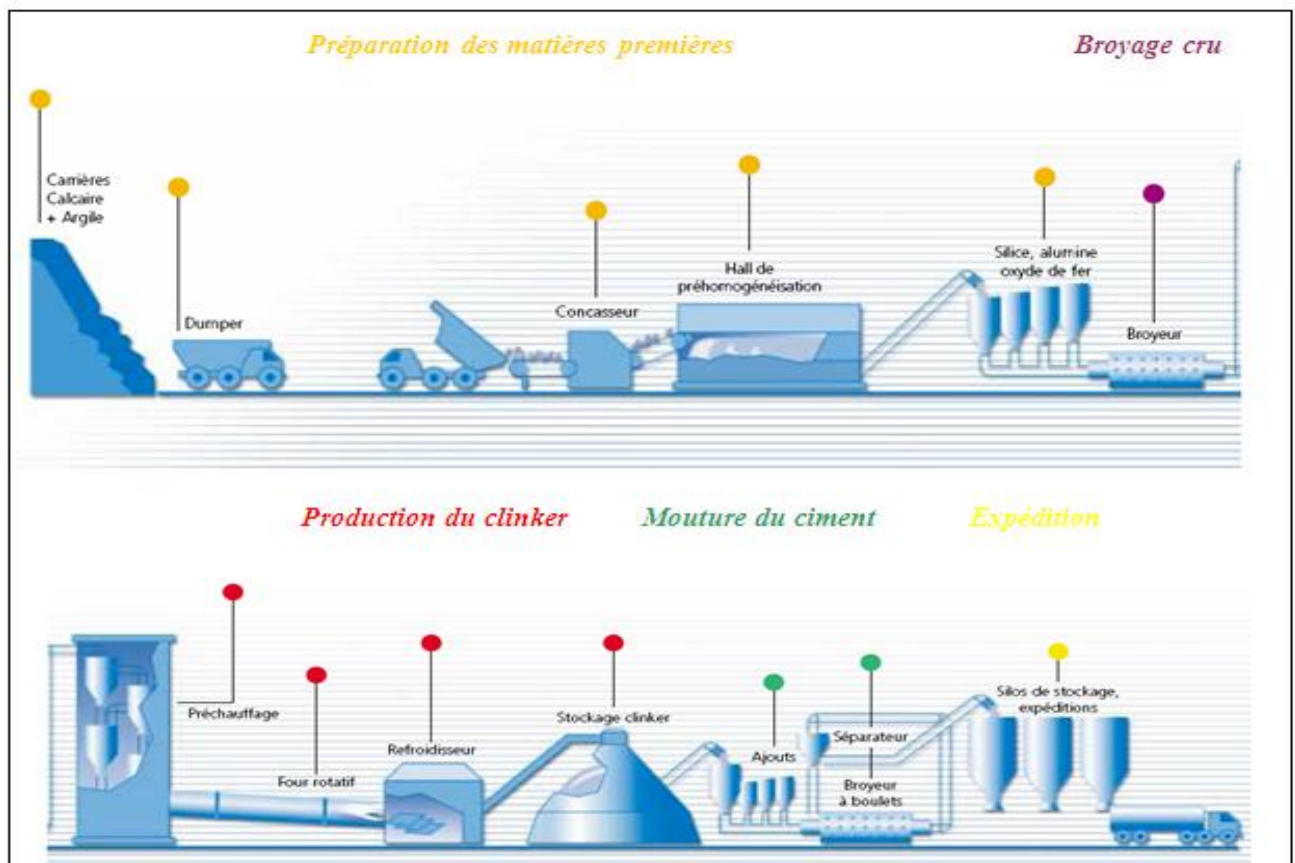


Figure 6 : processus de fabrication du ciment ¹

Chapitre II :

*Description de la cabine d'analyse de
boîte à fumée*

Introduction :

Dans ce chapitre, nous procéderons à une présentation de la cabine d'analyse, puis une formulation du cahier des charges. Ensuite nous citerons ses différents composants en précisant leurs fonctionnements

I. L'emplacement de la cabine d'analyse.

Les cimenteries ont besoin d'une analyse en ligne fiable des gaz de transformation au niveau de l'entrée du four si elles veulent pouvoir devancer la concurrence dans un marché très difficile.

A cet effet la mesure 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) dans les gaz à l'entrée de four est essentielle pour optimiser la consommation énergétique, le contrôle précis de la qualité du ciment et pour contrôler l'émission des gaz polluants de four.

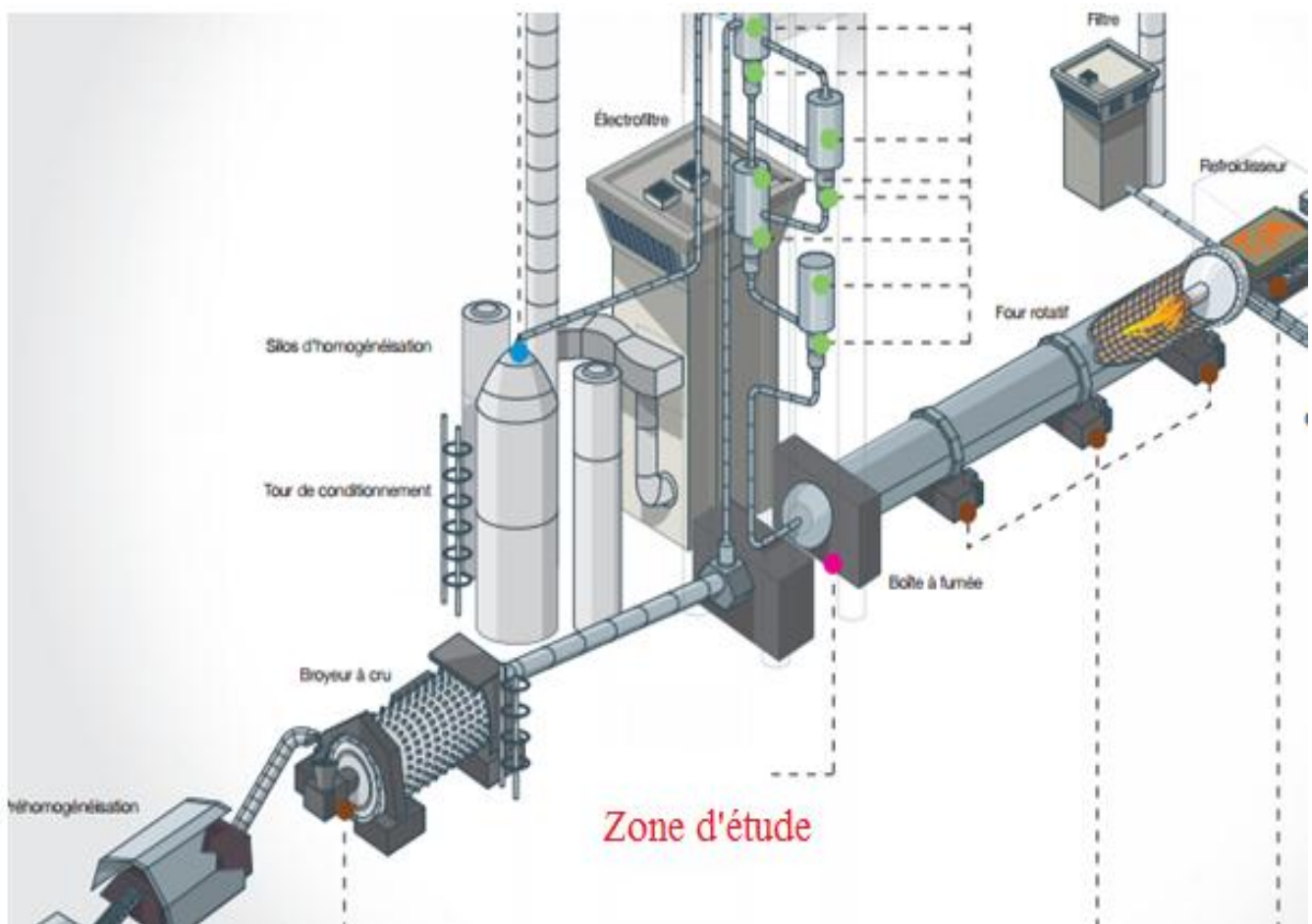


Figure 7 : emplacement de la cabine d'analyse de boîte à fumée ¹

II. Rôle de la cabine d'analyse :

Globalement, l'analyse des gaz à l'entrée de four donne la possibilité de traiter les problèmes alors qu'ils surviennent à la source, à savoir dans le processus lui-même. 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.

Point d'échantillonnage	Elément	Etendue typique	Objectif
Entrée four tournant	CO	0 ... 1 %	Contrôle de combustion
	O ₂	0 ... 5 %	Contrôle de combustion
	NO	0 ... 1500 ppm	Conditions thermiques
	SO ₂	0 ... 2 %	contrôle des émissions, perturbation de la combustion

Tableau 1 : Objectif de mesure des gaz ¹

1. Pyro-contrôle du four :

Le maintien de niveaux optimaux d'oxygène (O₂) 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'O₂, le CO ou le SO₂ (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'O₂ 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'O₂ 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 (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.

III. Analyse fonctionnelle de la cabine d'analyse :

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 la cabine d'analyse 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.

1. La représentation de besoin (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'une cabine d'analyse des gaz de four au sein de LafargeHolcim Meknès. 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.

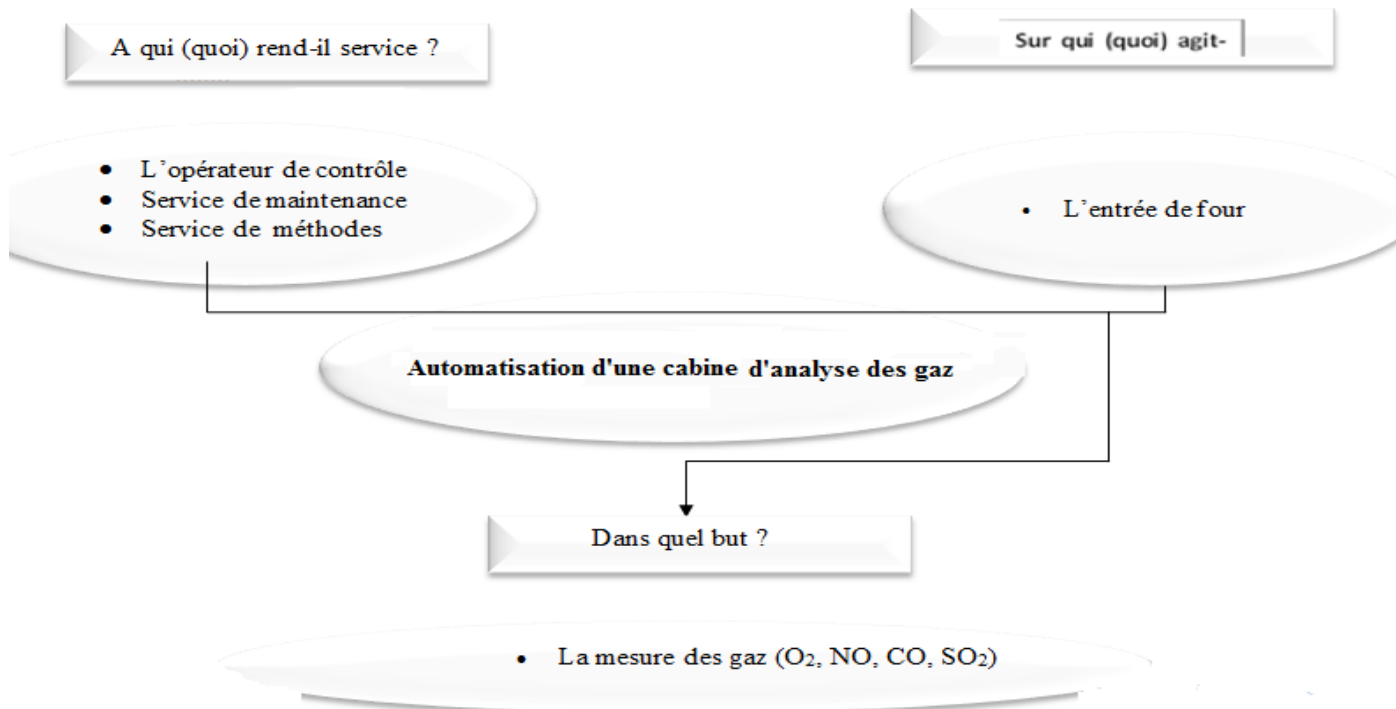


Figure 8 : Représentation de besoin en cabine d'analyse

2. Diagramme de pieuvre :

Le diagramme “pieuvre” va nous permettre de mettre en évidence les relations entre les différents éléments du milieu environnant et la cabine d’analyse des gaz. Ces différentes relations sont appelées les fonctions de service qui conduisent à la satisfaction des besoins cités dans le cahier de charge.

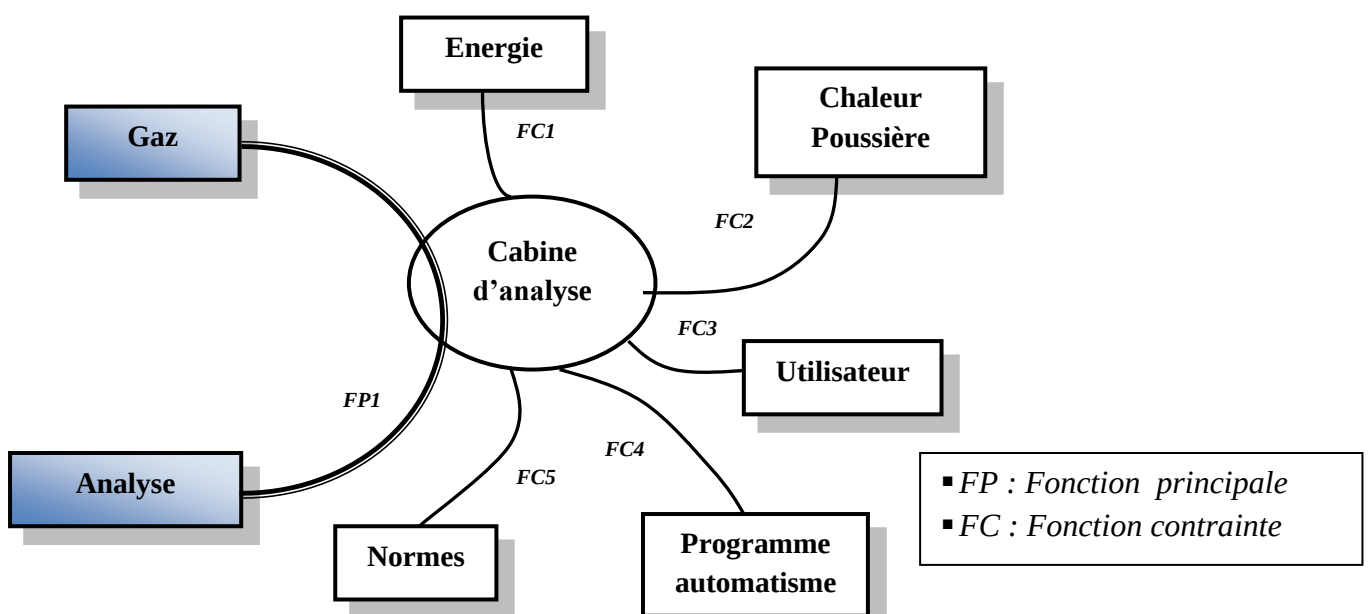


Figure 9 : Diagramme de pieuvre de la cabine d'analyse

FP1 : Mesurer la teneur en CO, NO, SO₂ et en O₂ du gaz échantillonné.

FC1 : Besoin en énergie électrique.

FC2 : Résister : chaleur, poussière.

FC3 : Etre accessible aux agents de la maintenance et de contrôle.

FC4 : Etre piloté par l'automate programmable.

FC5 : Respecter les normes : Exactitude des mesures.

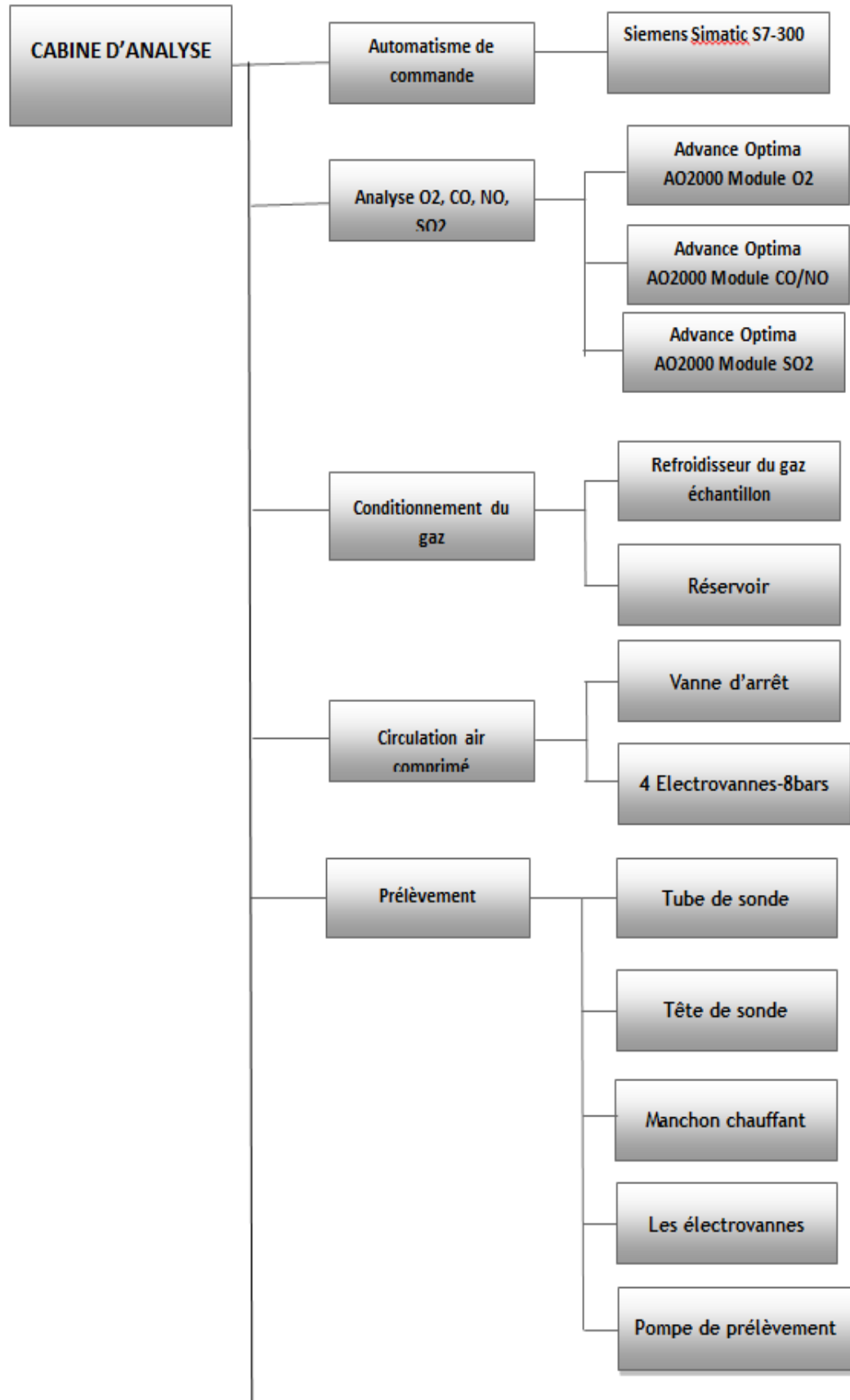
3. Décomposition fonctionnelle du système :

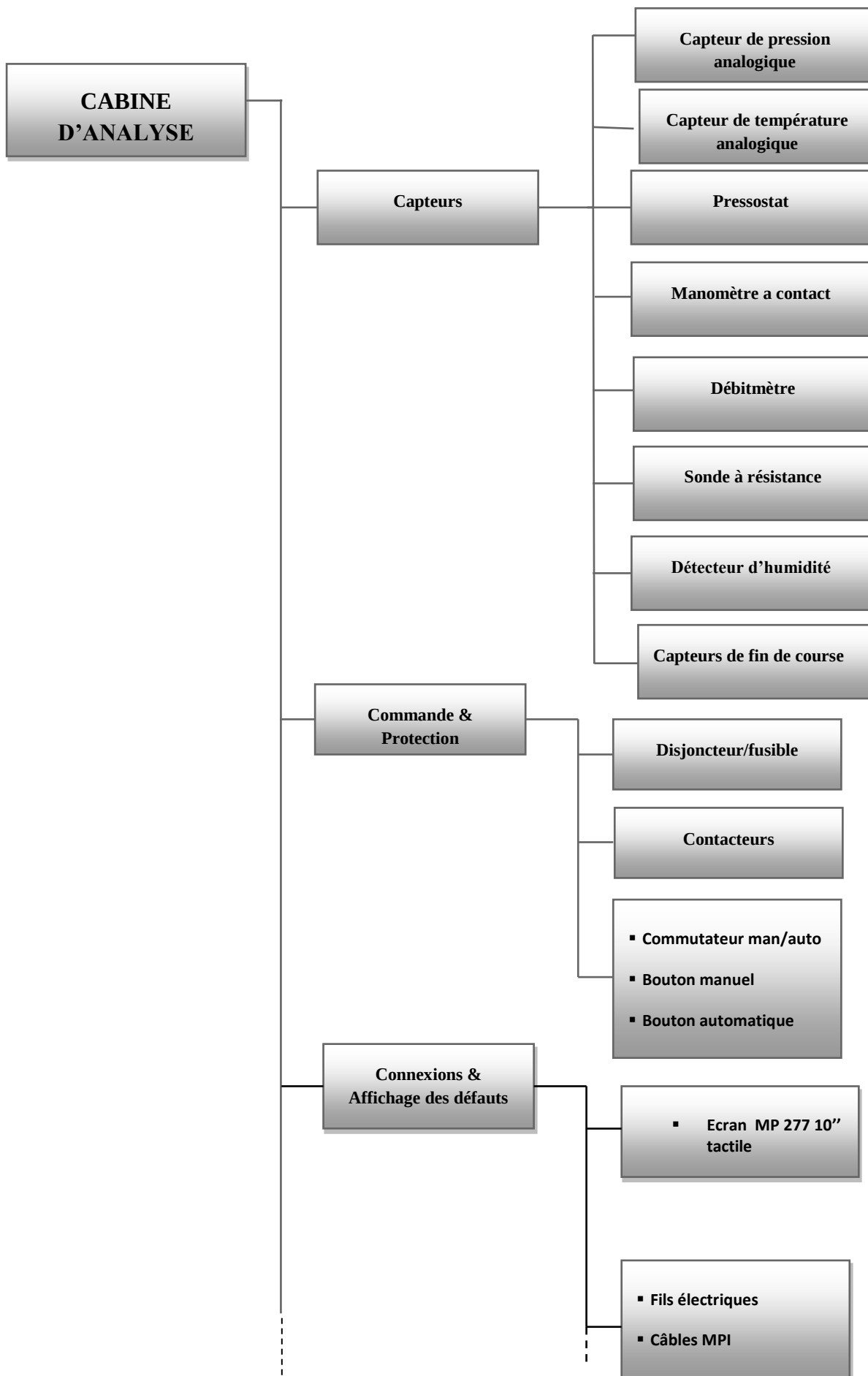
Habituellement, un système d'analyse de gaz se décompose en deux groupes d'équipements :

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

Dans la 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 peuvent altérer la capacité opérationnelle de l'analyseur de gaz et fausser le résultat de la mesure. Des équipements supplémentaires 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 la cabine d'analyse :





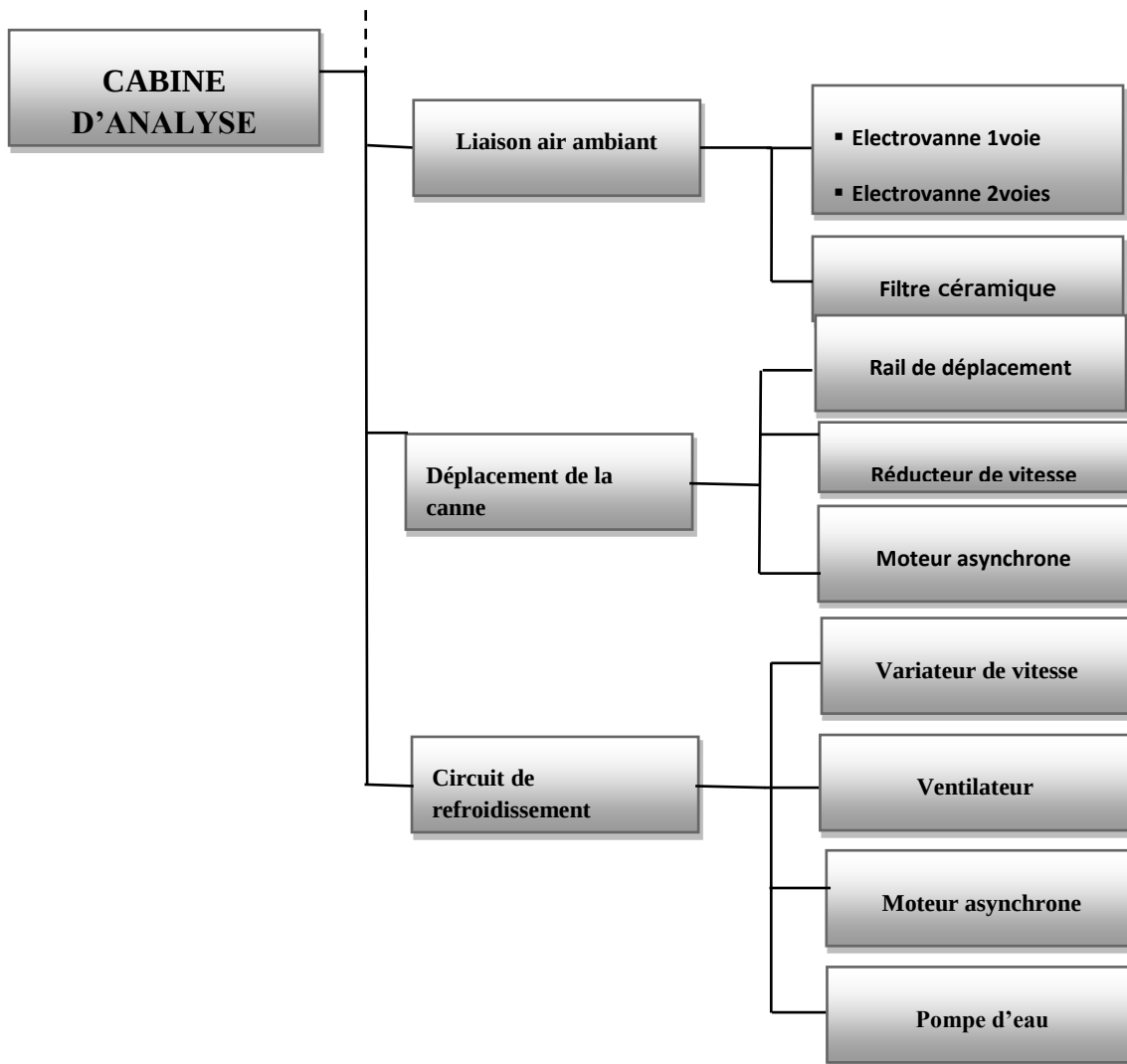


Figure 10 : Les équipements constituant la cabine d'analyse

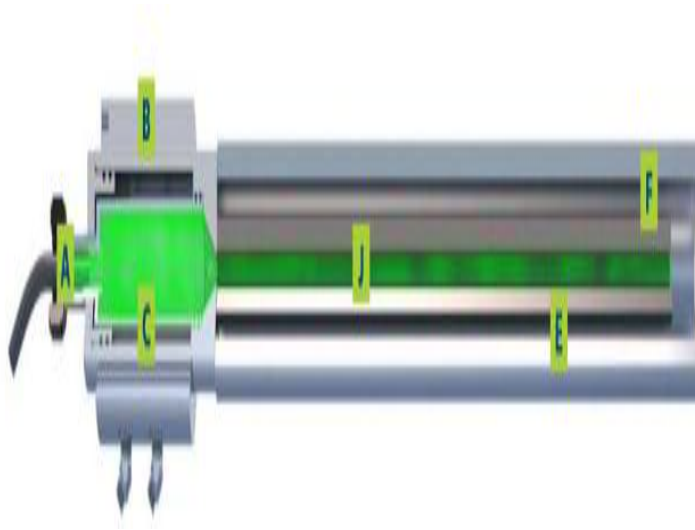
IV. Processus de prélèvement des gaz :

1. La canne de prélèvement :

La canne de prélèvement des gaz 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'eau froide circule dans la chemise pour maintenir la température de la canne à 60°C ajustable. La conduite centrale où le gaz est prélevé ainsi que le logement de filtre sont chauffés par l'électricité jusqu'à 180°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'eau qui circule dans un circuit fermé à l'aide d'une pompe et refroidie par un ventilateur commandé par un variateur de vitesse.



- A.** Electrovanne d'isolation 1(XV201)
- B.** Logement de filtre avec appareil de chauffage
- C.** Filtre céramique de la poussière
- E.** Chemise de refroidissement refroidie à l'eau
- F.** Fourreaux partie extérieur de la canne
- J.** Conduite de gaz échantillon

Figure 11 : Canne de prélèvement des gaz

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 des vannes XV201 et XV200.

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 inférieures à 4 bars et déclenche un arrêt immédiat du système en affichant ce défaut dans l'écran de supervision.

2. Système de refroidissement :

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

- Pour éviter la déformation de la canne.
- La température élevée de l'eau 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'eau qui circule dans les tubes afin de mettre la température du gaz à une valeur plus ou

moins constante et stable de 60 °C en utilisant un régulateur PID commandé par step 7 (voir l'annexe).

La température de l'eau 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.

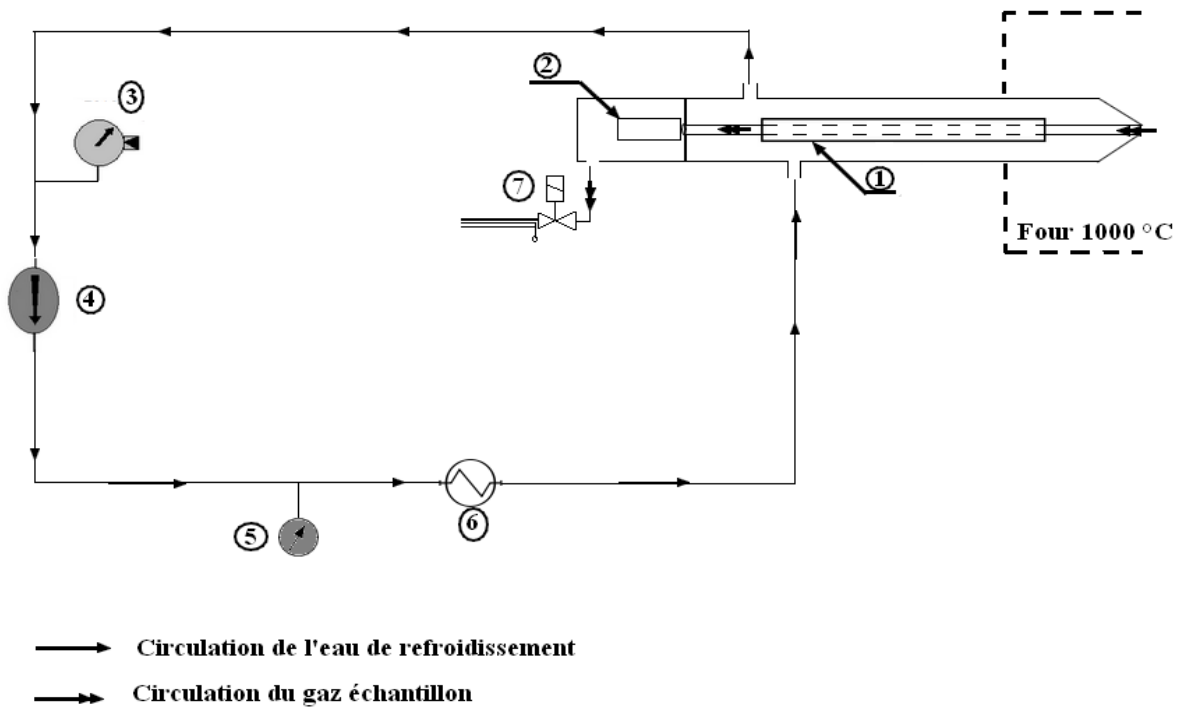


Figure 10 : Schéma simplifié du système de refroidissement par l'eau

Les composants essentiels :

- 1 : Séparateur, son rôle est de faire passer l'eau dans toute la sonde.
- 2 : Filtre céramique.
- 3 : Débitmètre.
- 4 : Pompe
- 5 : capteur de température (PT100).
- 6 : Echangeur de chaleur.
- 7 : Electrovanne d'isolation 1 XV201 (vers l'unité de conditionnement).

3. 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 (20-60l/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.

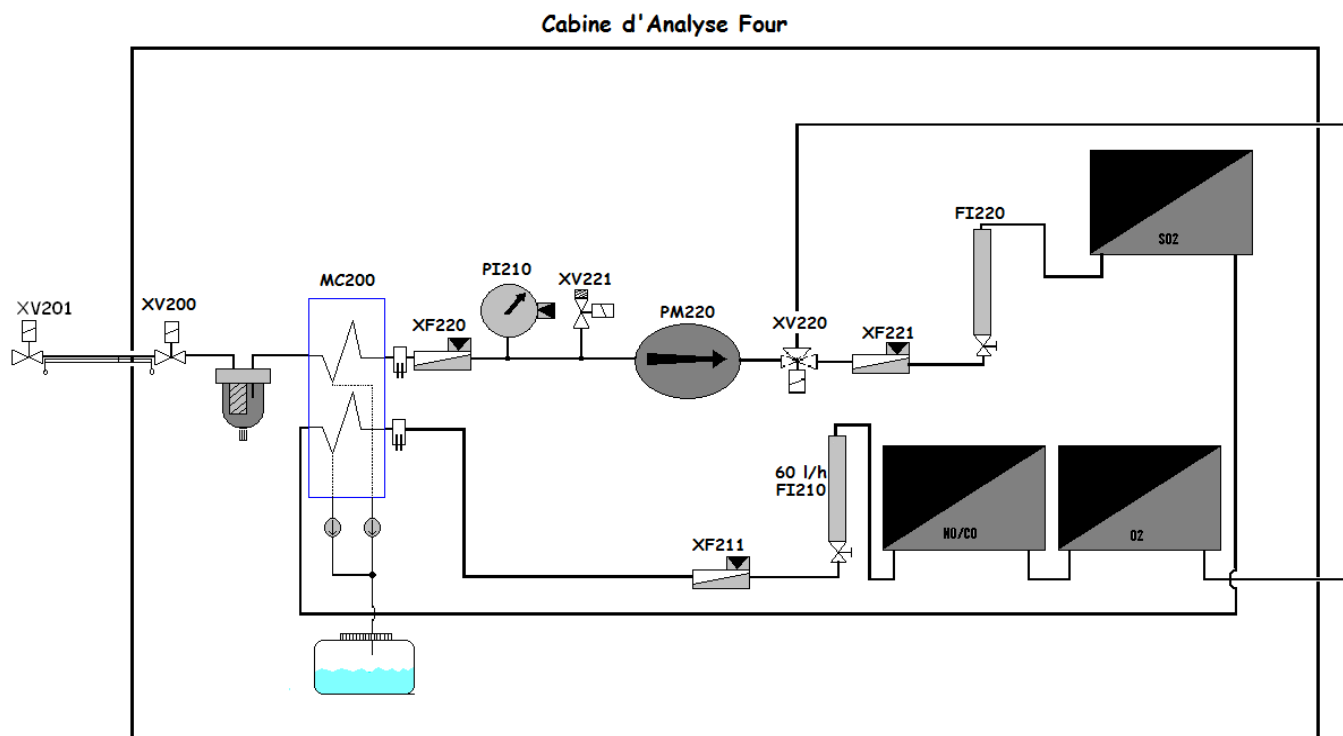


Figure 12 : Schéma simplifié de circuit de gaz échantillon

- ✓ MC200 : Sécheur
- ✓ PI210 : Pressostat
- ✓ FI220 : Débitmètre
- ✓ XF220, XF221, XF211 : Filtres de poussières
- ✓ Xv200, Xv201, Xv220, Xv221 : Electrovanes

V. Description des éléments de base de la cabine :

Cette phase du projet est une phase indispensable à toute étude et réalisation d'un nouveau projet, elle consiste à faire le choix nécessaire des matériaux adaptés au projet. Le choix des matériaux n'est pas important que pour l'étude technique mais il l'est aussi pour l'étude financière du projet.

Dans ce projet qui est l'automatisation d'une cabine d'analyse de boîte à fumée, nous aurons besoin de différents matériels dont nous présentons comme suit :

- Un automate programmable qui sera la partie commande de notre système.
- Les analyseurs de gaz (analyseur de O₂, NO/CO et SO₂).
- Moteur triphasé pour l'entrée et sortie de la canne.
- Les pompes de gaz et de l'eau.
- Capteur de température (Pt 100)
- Capteurs de pression.
- Les électrovannes
- Sécheur
- Les capteurs de fin de course...

1. Analyseurs du gaz échantillon (AO2000) :

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.



Figure 13 : Analyseurs Advance Optima

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.

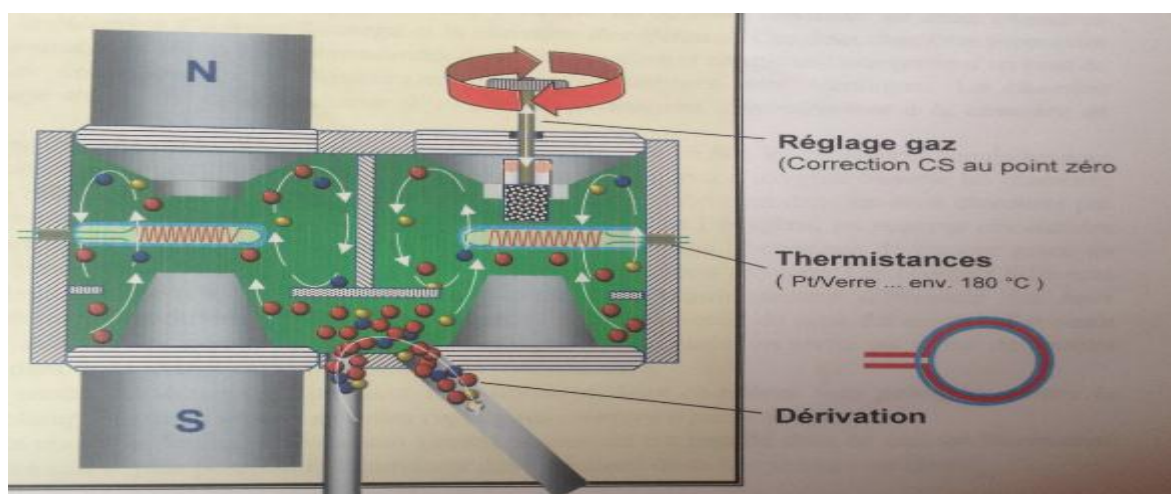


Figure 14 : principe de mesure de l'oxygène ⁴

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 :

$$I_1 = I_0 \cdot e^{-\varepsilon \cdot C \cdot L}$$

I₀ : Energie rayonnée

I₁ : Energie reçue

ε : 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.

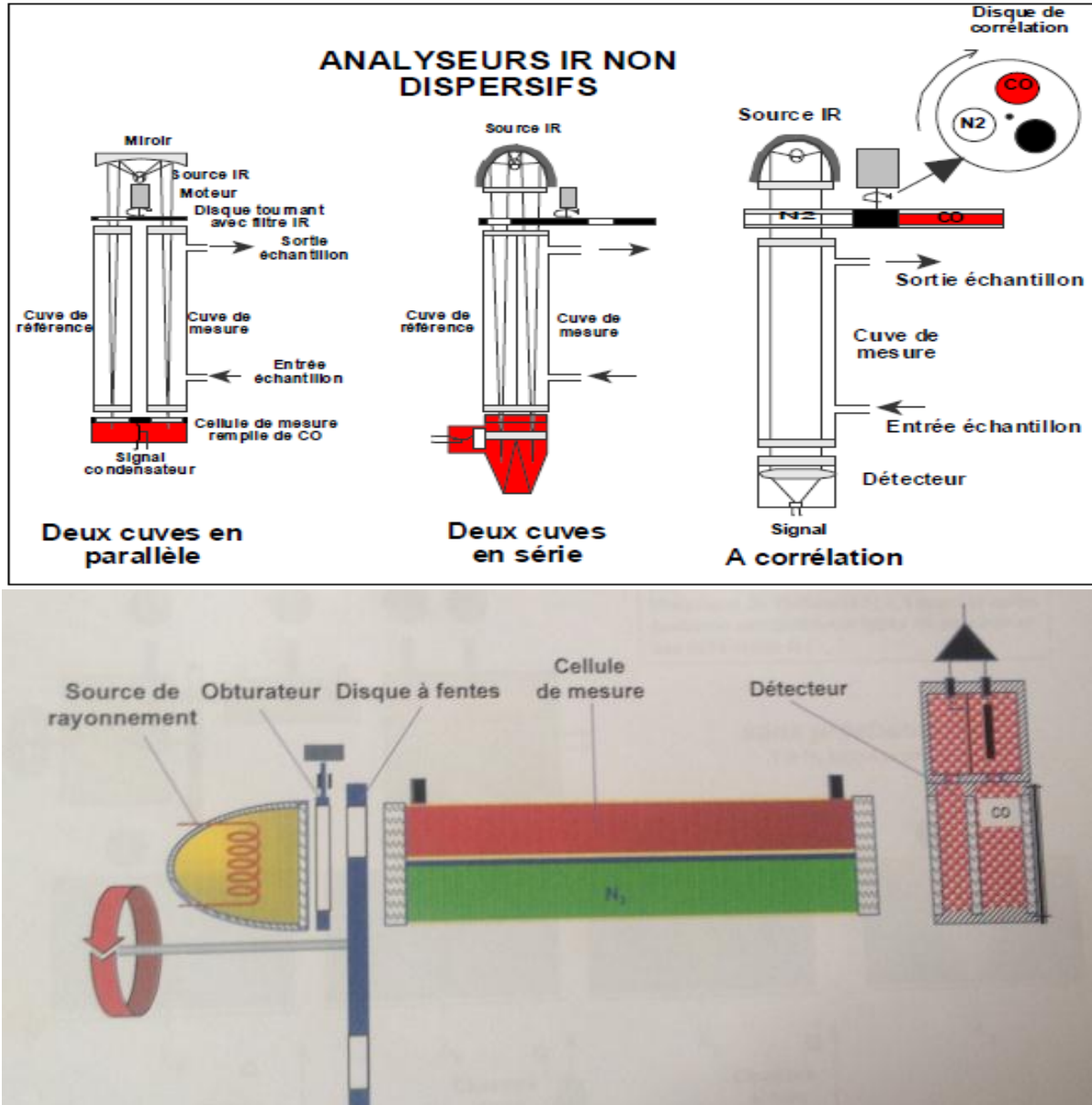


Figure 15 : Analyseurs de gaz (NO/CO et SO₂) par absorption IR ⁴

2. Les équipements de la cabine d'analyse :

- **Les électrovannes** (XV201, XV200, XV221 et XV220) : 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 ».
- **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'eau 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.

- **Pressostat (PI210) :** 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.
- **Débitmètre à flotteur (FI210 et FI220) :**

C'est l'appareil destiné à mesurer le débit du flux gazeux, pour respecter les conditions d'analyse.

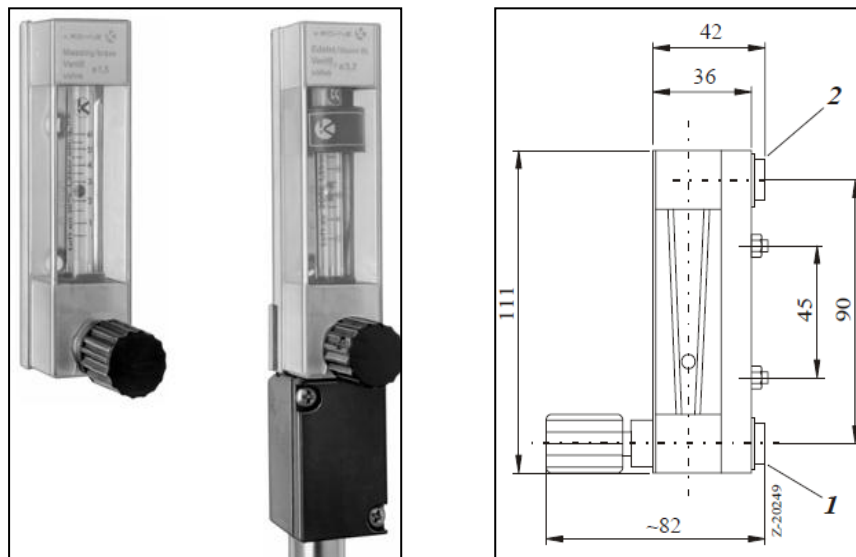


Figure 16 : Vue externe et dimensions de débitmètre

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.

- **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.

- **Filtre dépoussiéreur à chauffage électrique:** Le filtre dépoussiéreur sert au nettoyage du mélange gaz/poussière prélevé dans la zone du processus et convient pour des charges de poussière jusqu'à 2 000 g/m³. Le chauffage électrique à une température d'environ 200 °C évite le colmatage ou les dépôts dans le tube du filtre.

Le nettoyage s'effectue automatiquement à intervalles réguliers par soufflage à l'air comprimé, environ 8 bars. Afin d'éviter le colmatage des pores du filtre, l'air comprimé doit être sec et déshuilé. Les résidus d'huile, en particulier, provoquent au niveau des pores du filtre des bouchages qui ne peuvent plus être éliminés par soufflage à l'air comprimé. Selon la charge de poussière, le filtre dépoussiéreur peut être équipé de tubes de filtre de différents niveaux de finesse.



Figure 17 : filtre céramique

- **Refroidisseur d'échantillon –sécheur-(MC200) :** Ce type de sécheur consiste à refroidir l'air comprimé à une température inférieure à son point de rosée à l'aide d'un échangeur de chaleur raccordé à un groupe frigorifique conventionnel (compresseur-condenseur-évaporateur...) ce qui provoque de la condensation de l'humidité qu'il contient. L'eau liquide ainsi formée est récupérée par un séparateur d'eau et dirigée vers le



Figure 18 : Sécheur

réservoir des condensats, tandis que l'air comprimé asséché est dirigé vers les analyseurs en traversant le détecteur de débit. L'échangeur air-air réchauffe l'air en sortie de sécheur pour éviter toute condensation sur les canalisations d'air comprimé. Le point de rosée sous pression obtenu est de l'ordre de +2 °C. Le point de rosée de l'air ainsi séché détendu à la pression atmosphérique est de l'ordre de -20 °C. Un point de rosée de + 2 °C constitue un maximum sous peine de voir l'échangeur se boucher par givrage. pression jusqu'à 1MPa (10 bar).

- **Filtre à papier** (XF220, XF221 et XF211) : ce sont des filtres de poussières donne aussi l'information sur la présence de l'humidité par la fermeture d'un contact (entrée logique pour l'automate).
- **Moteur asynchrone** : Le moteur asynchrone est utilisé pour le déplacement de la canne, lié avec un réducteur mécanique de vitesse sa plaque signalétique est représentée ci-dessous :

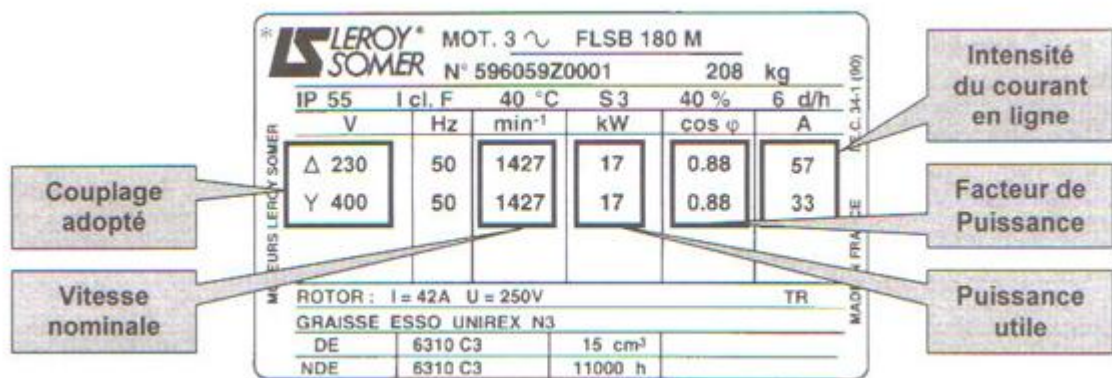


Figure 19 : Plaque signalétique de moteur asynchrone ¹

- **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 (Voir l'annexe) selon la température de l'eau.
- **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 $R_T / R_0 = 1 + A.t + B.t^2$ avec :
 R_T = résistance du thermomètre à la température T.

R_0 = résistance du thermomètre à 0°C.

t = la température en °C.

$A = 3.9083 \cdot 10^{-3}$ 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.

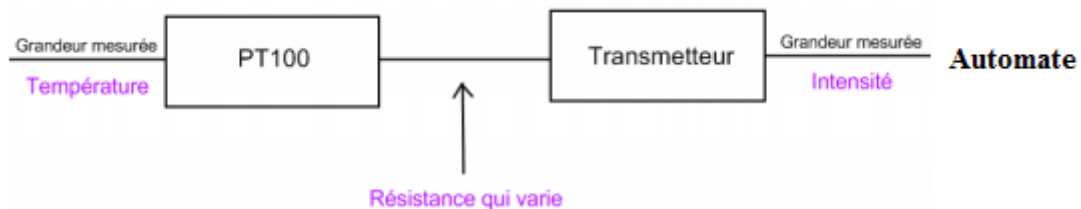


Figure 20 : Capteur de température Pt100

VI. Problématique et cahier de charge :

1. Cahier de charge :

L'objet principal de ce projet c'est l'amélioration de fonctionnement de la cabine d'analyse des gaz O₂, CO/NO et SO₂ 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 :

- Sécurité et haut niveau de fiabilité sont de prime lors des phases étude et conception.
- 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 Lafarge.

- En cas de panne du système de contrôle, les organes pourront être commandés manuellement.

2. Problématique :

La cabine d'analyse 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 la cabine. Parmi ces anomalies on cite :

2.1 Pression circuit eau basse ou haute :

La pression de l'eau de refroidissement suit la température c-à-d, si la température diminue (souvent à cause de croutage qui enrobe la canne de prélèvement) alors la pression aussi diminue et passe sous 0.2 bars seuil minimale de protection de la canne, pour diminuer l'apparition de ce problème on a procédé de deux façons :

- Si la température baisse jusqu'à un seuil définie (40°C ajustable), un cycle entrée sortie canne automatique (sortie cyclique) s'enclenche pour enlever la matière qui entoure la partie extérieur la canne, et une électrovanne lance plusieurs impulsions d'air comprimée favorisant le nettoyage du fourreau, cette sortie cyclique ne se répète qu'après un intervalle de temps régulier.
- La deuxième solution consiste à ajouter une électrovanne au circuit d'eau qui augmente la pression d'eau par un nombre d'impulsion dès qu'elle baisse au-dessous seuil (0.4 bars ajustable) supérieure au seuil de protection définie à 0.1 bars (seuil minimale).

On ce qui concerne l'augmentation de la pression d'eau (pression supérieure à 2,5 bars), nous avons ajouté une deuxième électrovanne au circuit eau pour diminuer la pression par nombre définie d'impulsion.

Il possible aussi d'augmenter la pression ou de la diminuer seulement par un l'action sur des boutons poussoirs en mode manuelle.

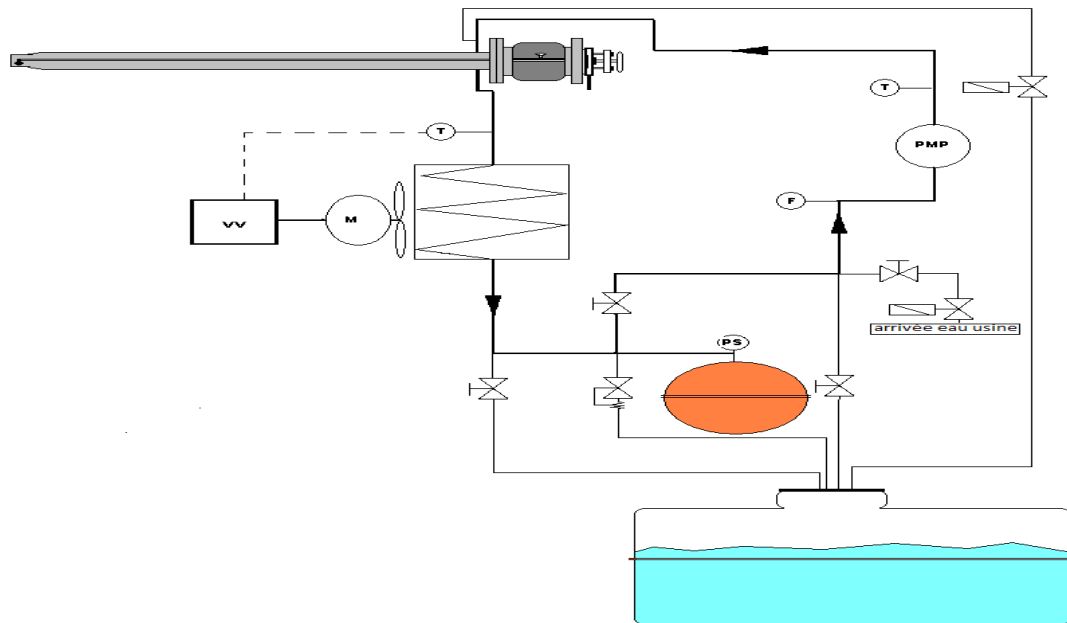


Figure 21 : Schéma du circuit de refroidissement

2.2 Blocage de la canne de prélèvement :

Pendant le cycle entrée sortie canne automatique, le croutage enveloppant s'accumule au bout extérieur du fourreau causant un blocage de mécanisme chariot. Pour résoudre ce problème on a ajouté une électrovanne pour nettoyer la canne et le fourreau par impulsion d'air comprimée pendant chaque sortie cyclique de la canne.

2.3 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.

2.4 Bouchage de la canne de prélèvement :

Le nettoyage du dispositif de prélèvement de gaz s'effectue dans un intervalle régulier (30 min) par l'air comprimé pulsé (8 bars) pour éviter le bouchage de la canne de prélèvement.

Conclusion :

La sortie cyclique de la canne de prélèvement s'effectue si :

- La température de l'eau inférieure à 40°C
- En mode automatique chaque trois heure

La sortie automatique de la canne de prélèvement s'enclenche à cause de :

- La pression de l'eau inférieure à 0.2 bars
- La pression de l'eau est supérieure 2 bars
- La température de l'eau est supérieure à 70°C

Le nettoyage automatique de la canne s'effectue en :

- Mode automatique après chaque intervalle de temps régulier
- Mode manuel et l'action sur le bouton poussoir de nettoyage
- Défaut de pression ou débit de gaz dans le circuit de conditionnement

Enfin, après avoir décrit le contexte général de ce projet et présenté la problématique de l'entreprise, le chapitre suivant aura pour objet l'étude de l'automatisation de la cabine d'analyse des gaz.

Chapitre III :
Automatisation et supervision de la
cabine d'analyse

Introduction :

Après la description du fonctionnement de l'équipement avec ses éléments, nous allons procéder à son automatisation.

Dans ce chapitre nous devons définir les outils de programmation utilisés dans notre programme et de proposer une solution complète de commande par automate programmable de la cabine d'analyse des gaz de boîte à fumée pour le four 2.

I. L'automate SIEMENS S7-300 CPU 313 :

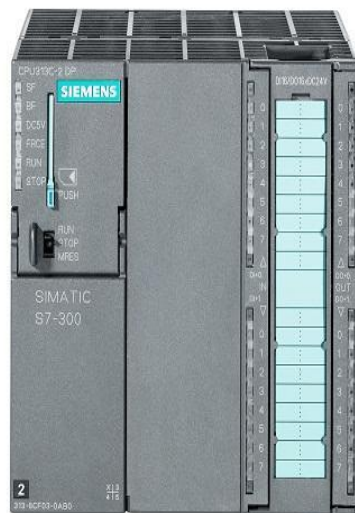
L'automate S7-300 utilisé est conçu pour des solutions dédiées au système manufacturier et constitue à ce titre une plate-forme d'automatisation universelle pour les applications avec des architectures centralisées et décentralisées.

1. Caractéristiques techniques:

L'automate utilisé dans notre projet qui est la réalisation et la programmation d'une cabine d'analyse de boîte à fumée de four 2 au sein de Lafarge est le S7-300 CPU 313. Le S7-300 offre une très large palette de modules d'E/S TOR et analogiques pour la quasi-totalité des signaux avec possibilité de traitement des interruptions et du diagnostic. A disposition également des modules pour emploi dans des zones à atmosphère explosive, des modules de fonction technologique comme par ex. régulation et came électronique et des modules de communication point à point ou par bus ASi, Profibus ou Industrial Ethernet. Sa simplicité de montage et sa grande densité d'implantation avec des modules au modulo 32 permettent un gain de place appréciable dans les armoires électriques.

Il se compose des éléments suivants :

- ✓ un module d'alimentation
- ✓ un module unité centrale (CPU)
- ✓ des modules de bus
- ✓ des coupleurs



Désignation abrégée : CPU 313

Mémoire de travail 12 Ko; 0,6ms/kinst; port MPI; configuration à une rangée jusqu'à 8 modules; communication S7 (FB/FC chargeables); firmware V1.2

N° de référence/ 6ES7 313-1AD03-0AB0 / V1.2

Nom : CPU 313

Interface

Type : MPI

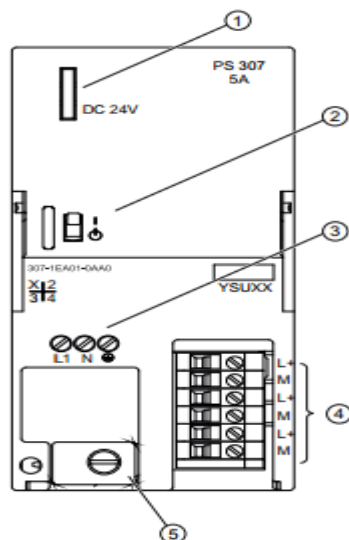
Adresse : 2

Figure 22 : Caractéristiques de SIMATIC S7-300 CPU 313

1.1 Module d'alimentation PS 307 :

Le module d'alimentation choisie dans notre projet est PS 307; 5 A (N° de référence 6ES7 307-1EA01-0AA0) qui se caractérise par les propriétés suivantes :

- courant de sortie 5 A, courant nécessaire pour l'alimentation des sorties.
- tension nominale de sortie 24 V cc, stabilisée, tenue aux courts-circuits et à la marche à vide.
- raccordement à un réseau alternatif monophasé (tension nominale d'entrée 230 Vac, 50/60 Hz)
- peut servir de tension d'alimentation des capteurs et actionneurs.



① Signalisation de la présence d'une tension de sortie DC 24 V

② Commutateur EN/HORS du 24Vcc

③ Bornes pour la tension secteur et le conducteur de protection

④ Bornes pour la tension de sortie 24 V cc

⑤ Arrêt de traction

Figure 25 : Module d'alimentation ¹

1.2 Module unité centrale CPU 313 :

La CPU 313 utilisé est équipée de ce qui suit:

- Microprocesseur : Le processeur réalise un temps de traitement de 70 ns par instruction binaire.
- Mémoire : la mémoire de travail est 12 Ko à grande vitesse (équivalent à environ 42 K instructions) pour les sections de programme pertinentes à l'exécution offrent aux utilisateurs des programmes suffisamment d'espace mémoire. SIMATIC Micro Memory Cards (max. 8 Mo) en tant que mémoire de charge pour le programme permet également de stocker le projet dans la CPU (avec des symboles et des commentaires).

1.3 Module des coupleurs :

Les coupleurs permettent de réaliser une liaison entre les châssis de SIMATIC S7-300 utilisé sur plusieurs rangées à partir la CPU :

- IM365
unité de base et 1 unité d'extension avec 8 modules maximum par unité.
Distance : 1 m
- IM360/IM361
unité de base et un maximum de 3 unités d'extension avec 8 modules maximum par unité. Espacement entre deux unités : 4 cm à 10 m

Les coupleurs sont montés sur les profilés supports (emplacement 3), et raccordés avec les cartes de périphérie via un connecteur de bus comme tous les autres modules.

1.4 Modules de signaux :

- Cartes d'entrées/sorties logiques : On dispose dans le projet de 2 cartes E/S logique de 16 entrées et 16 sorties chacune
- Cartes d'entrées/sorties analogiques : On a besoin d'une carte E/S analogique de 4 entrées et 2 sorties chacune pour collecter les informations des capteurs de température et de pression afin de commander le variateur de vitesse.

II. Les outils de programmation :

1. Langages de programmation :

Il existe 5 langages de programmation des automates qui sont normalisés au plan mondial par la norme CEI 61131-3.

- Liste d'instructions (IL : Instruction list) : Langage textuel de même nature que l'assembleur (programmation des microcontrôleurs). Très peu utilisé par les automaticiens.
- Langage littéral structuré (ST : Structured Text) : Langage informatique de même nature que le Pascal, il utilise les fonctions comme if ... then ... else ... (si ... alors ... sinon ...). Peu utilisé par les automaticiens.
- Langage à contacts (LD : Ladder diagram) : Langage graphique développé pour les électriciens. Il utilise les symboles tels que : contacts, relais et blocs fonctionnels et s'organise en réseaux (labels). C'est le plus utilisé, ainsi c'est ce langage que nous allons utiliser pour la programmation de notre système.
- Blocs Fonctionnels (FBD : Function Bloc Diagram) : Langage graphique où des fonctions sont représentées par des rectangles avec les entrées à gauche et les sorties à droites. Les blocs sont programmés (bibliothèque) ou programmables. Utilisé par les automaticiens.
- GRAFCET ou SFC (Sequential Function Chart) : Le Grafcet (graphe fonctionnel de commande étapes / transitions) est un outil graphique de définition pour l'automatisme séquentiel, en tout ou rien. Mais il est également utilisé dans beaucoup de cas combinatoires. Il utilise une représentation graphique. C'est un langage clair, strict mais sans ambiguïté, permettant par exemple au réalisateur de montrer au donneur d'ordre comment il a compris le cahier des charges. On peut également traduire un grafcet en langage à contacts et l'implanter sur tout type d'automate.

2. Logiciels de programmation et de supervision:

2.1 SIMATIC STEP 7 :

STEP 7 permet l'accès "de base" aux automates Siemens. Il permet de programmer individuellement un automate (en différents langages). Il prend également en compte le réseau, ce qui permet d'accéder à tout automate du réseau (pour le programmer), et éventuellement aux automates de s'envoyer des messages entre eux. Il met à disposition du programmeur des fonctions d'assistance. Pour résoudre efficacement les problèmes d'automatisation.

Les caractéristiques de STEP 7 facilitent la tâche de programmation pour l'utilisateur. Son utilisation est tout aussi simple que les autres applications Windows, STEP 7 présente une interface graphique typique des autres programmes Windows : ce sont par exemple les stations, les modules et les programmes.

Les caractéristiques principales des automates programmables industriels (API) Siemens S7-300 sont les suivantes : Il s'agit d'un matériel multiprocesseur :

- un processeur logique (bit processor)
- un processeur pour les opérations arithmétiques (Word processor)
- un processeur dédié à la régulation de type PID
- un processeur dédié à la gestion des communications Le logiciel Siemens S7 permet une programmation multi langage, c'est-à-dire qu'il peut être programmé dans plusieurs langages différents, qui peuvent être même mélangés dans un même programme (mais pas dans une même sous-routine) :
- Liste d'instructions ou Instruction List (IL)
- Langage à contacts ou Ladder diagramme (CONT)
- Logigramme ou Fonctionnel Block (LOG) Le mode séquentiel est accessible soit en utilisation une programmation en GRAFCET directement - soit en créant une séquence d'exécution.

2.2 Logiciel de supervision Win CC flexible :

La supervision est une technique industrielle de suivi et de pilotage informatique des systèmes automatisés. La supervision concerne l'acquisition de données (mesures, alarmes, retour d'état de fonctionnement) et des paramètres de commande des processus généralement confiés à des automates programmables.

WinCC flexible Runtime utilisé est un logiciel performant pour la supervision du processus des projets créés avec le logiciel de configuration Win CC flexible Advanced. Les concepts d'automatisation modernes ont des exigences sans cesse croissantes en matière de supervision des processus. L'objectif est de présenter rapidement et de manière fiable des données de processus immédiatement compréhensibles par l'opérateur. En outre, le besoin d'archivage des données s'accroît, par exemple d'effectuer des contrôles de qualité. Il est donc indispensable d'archiver les données de processus dès le niveau machine. Win CC flexible Runtime est conçu pour la visualisation et l'utilisation de machines et de petites installations.

III. Automatisation de la cabine d'analyse :

Dans cette partie on va proposer un programme complet qui répond au cahier de charge et qui permet de résoudre tous les problèmes présents dans la cabine d'analyse de boîte à fumée.

1. Tableau des mnémoniques :

Il permet de définir les entrées et les sorties du grafcet niveau 1 de la cabine d'analyse de boîte à fumée en un langage compréhensif par l'automate de programmation.

➤ Les entrées :

Entrées			
Désignation	Symbole	N° Entrées	N° mementos
Capteur analogique de température d'eau	Température d'eau	PEW 304	MD 200
Capteur analogique de pression d'eau	Pression d'eau	PEW 306	MD 212
Commutateur automatique/ manuel	SW Auto/Manu	E0.0	M0.0
Bouton poussoir automatique	BP Auto	E0.1	M0.1
Bouton poussoir manuel	BP Manu	E0.2	M0.2
Bouton poussoir nettoyage	BP Nettoyage	E0.3	M0.5
Bouton poussoir acquittement	BP Acquittement	E0.4	M0.6
Défaut analyseur NO/CO	Analyseur NO/CO	E0.5	M1.3
Défaut analyseur O ₂	Analyseur O ₂	E0.6	M1.4
Défaut analyseur SO ₂	Analyseur SO ₂	E1.4	M6.6
Défaut Sécheur	MC	E0.7	M5.0
Défaut filtre 1	Filtre 1	E1.0	M5.1
Défaut filtre 2	Filtre 2	E1.1	M5.2
Défaut filtre 3	Filtre 3	E1.2	M5.3
Défaut pression de gaz	Pression de gaz	E1.3	M6.5
Défaut débit de gaz	Débit de gaz	E1.5	M6.7
Bouton poussoir entrée canne	BP entrée canne	E1.6	M7.0
Fin de course entrée canne	FdC entrée	E1.7	M7.1
Bouton poussoir sortie canne	BP sortie canne	E4.0	M7.3
Fin de course sortie canne	FdC sortie	E4.1	M7.4
Défaut débit d'eau	Débit d'eau	E4.2	M7.7
Fin de course milieu de la canne	FdC milieu	E4.3	M11.0
BP Nettoyage de fourreau	BP Nettoyage fourreau	E4.4	M11.1
Fin de course ouverture de porte sécurité	FdC ouverture porte sécurité	E4.5	M11.2
Fin de course barrière sécurité	FdC barrière sécurité	E1.7	M11.3
Bouton poussoir ajouter pression d'eau	BP ajouter P d'eau	E4.7	M11.5
Bouton poussoir retrancher pression d'eau	BP retrancher P d'eau	E5..0	M11.6

Tableau 2 : Les entrées de l'automate

➤ Les sorties :

Entrées			
Désignation	Symbole	N° Entrées	N° mementos
Action sur le variateur de vitesse	Action.VV	PAW 304	MD 204
Contacteur KM1 pour l'entrée de la canne	Entrée canne	A0.0	M7.2
Contacteur KM2 pour la sortie de la canne	Sortie canne	A0.1	M7.5

Electrovanne de rinçage	EVR	A0.2	M30.0
Electrovanne d'air ambiant	EV.air	A0.3	M30.1
Electrovanne d'isolation 1	EVI.1	A0.4	M30.2
Electrovanne d'isolation 2	EVI.2	A0.5	M30.3
Electrovanne pour le nettoyage de filtre	EV.Filtre	A0.6	M30.4
Electrovanne principale d'air comprimé	EV.principale	A0.7	M30.5
Electrovanne pour le nettoyage de tube	EV.tube	A1.0	M30.6
Electrovanne de purge d'air comprimé	EV.purge	A1.1	M30.7
Electrovanne d'arrivé de l'eau comprimé	EV.arr	A1.3	M31.1
Electrovanne abaisseur de la pression d'eau	EV.ab	A1.2	M31.0
Electrovanne de nettoyage de fourreau	EV.Forreau	A1.4	M31.2

Tableau 3 : Les sorties de l'automate

2. Principe de l'analyse des gaz :

Dans les conditions normales d'analyse, la pompe de prélèvement aspire les échantillons des gaz par la canne de prélèvement de l'intérieur de four vers les analyseurs.

Les deux électrovannes d'isolation EVI1 et EVI2 sont ouvertes laissant passer le gaz vers le sécheur à une température d'environ 3°C pour éliminer l'humidité de gaz, puisque les deux électrovannes EV.rinçage et EV.air sont fermées et ne s'ouvrent que pendant le rinçage / ringardage. Le gaz passe par le filtre à papier XF220, XF221 et XF211 pour filtrer les particules très fines de poussière et détecter la présence de l'humidité, puis passe par un débitmètre, enfin les gaz arrivent aux analyseurs.

Au cours de l'analyse un message doit être affiché sur l'écran de supervision pour indiquer l'analyse en cours.

3. Mode manuel et mode automatique de système :

Le grafcet suivant (figure 25) nous permet de choisir entre le mode manuel et le mode automatique de la cabine d'analyse à l'aide d'un commutateur et deux boutons poussoirs.

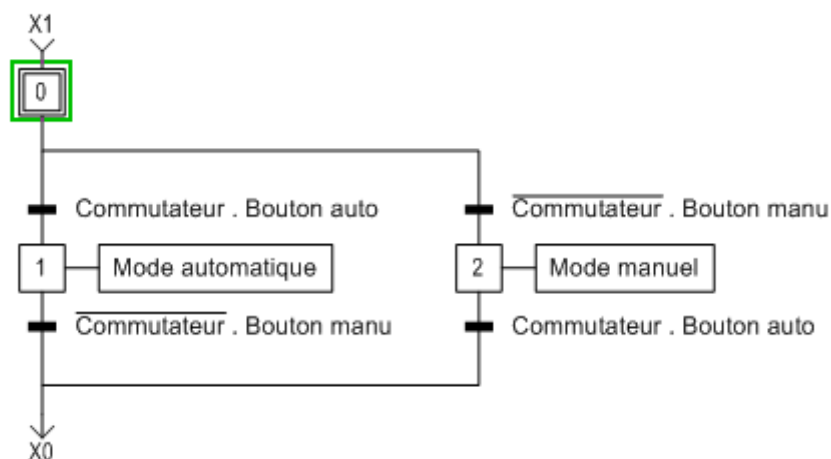


Figure 23 : Grafcet de commutation mode manuel/automatique du système

Le programme LADDER équivalent réalisé par STEP7 (figure 24) qui permet de choisir entre le mode manuel et le mode automatique du système :

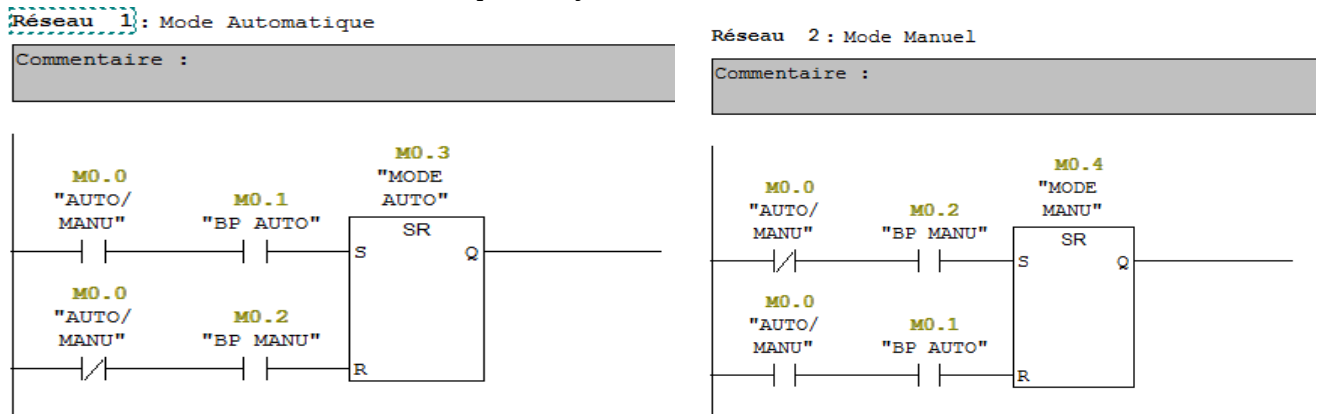


Figure 24 : Programme LADDER de commutation mode automatique/manuel

4. Gestion des défauts :

S'il y a un défaut ou un groupe de défauts les électrovannes d'isolation EVI1 et EVI2 se ferment pour isoler la ligne de prélèvement de l'intérieur de la cabine à celui de l'extérieur, EV.rinçage, EV.air s'ouvrent pour favoriser l'écoulement de l'air ambiant à travers la pompe, et le type de défaut doit s'afficher sur l'écran.

Les défauts qui peuvent arrêter le fonctionnement de la cabine d'analyse sont :

- Pression d'air comprimé inférieure à 4 Bar
- Sécheur en défaut
- Présence humidité
- Débit inférieur à 20 l/h
- Défaut de température ou pression d'eau
- Défaut analyseur

5. Circuit de nettoyage :

Le cycle de nettoyage (ringardage) s'enclenche soit automatiquement chaque 20 minutes, soit manuellement en appuyant sur un bouton poussoir.

Au cours du ringardage un message indique le nettoyage en cours doit être affiché sur l'écran de supervision.

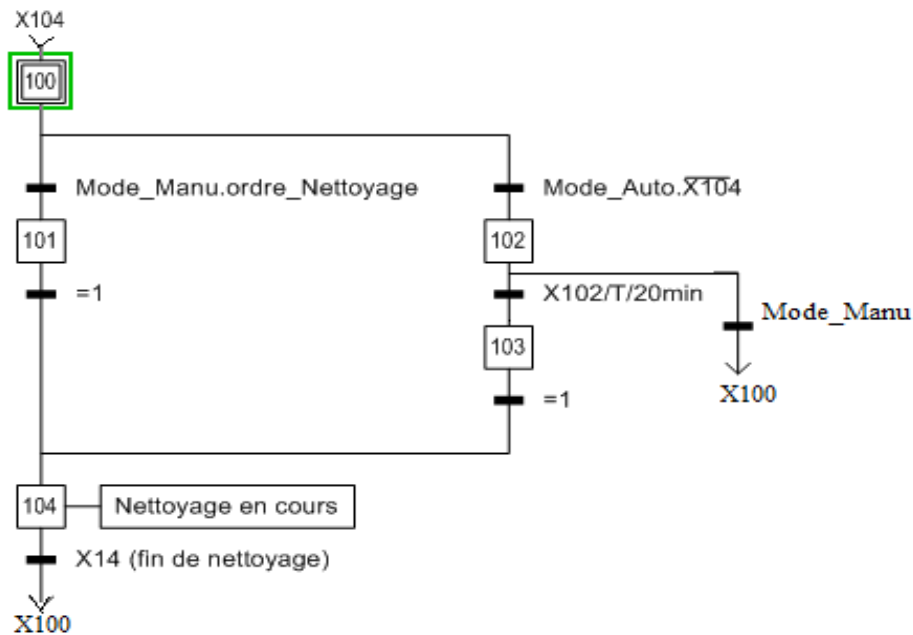


Figure 25 : Grafcet de conduite pour le nettoyage

Globalement le nettoyage de la canne est basé sur 8 électrovannes :

- 2 Electrovanne pour isolation du circuit d'analyse pendant la séquence du rinçage.
- 2 Electrovanne l'un du filtre céramique et l'autre de tube.
- 2 Electrovanne liaison de la pompe avec l'air ambiant d'analyse pendant la séquence du rinçage: EV.R et EV.air.
- 1 Electrovanne principale.
- 1 Electrovanne de la purge.

Avant le démarrage du rinçage, le conduit de gaz vers les analyseurs est isolé à l'aide des électrovannes d'isolation 1 et 2.

Le cycle de nettoyage se déroule selon les étapes suivantes :

Commençant par l'ouverture d'électrovanne de rinçage, après 2 secondes l'électrovanne de l'air s'ouvre, la fermeture des électrovannes d'isolation 1 et 2, ensuite après 3 secondes l'ouverture de l'Electrovannes du filtre, l'électrovanne principale reçoit 4 impulsions dont $T_{on}=T_{off}=3s$, après 3 secondes l'électrovanne de tube reçoit les mêmes impulsions que l'électrovanne de filtre.

Finalement l'ouverture d'Electrovanne de tube, de même manière. Après 3 secondes l'électrovanne de purge s'ouvre.

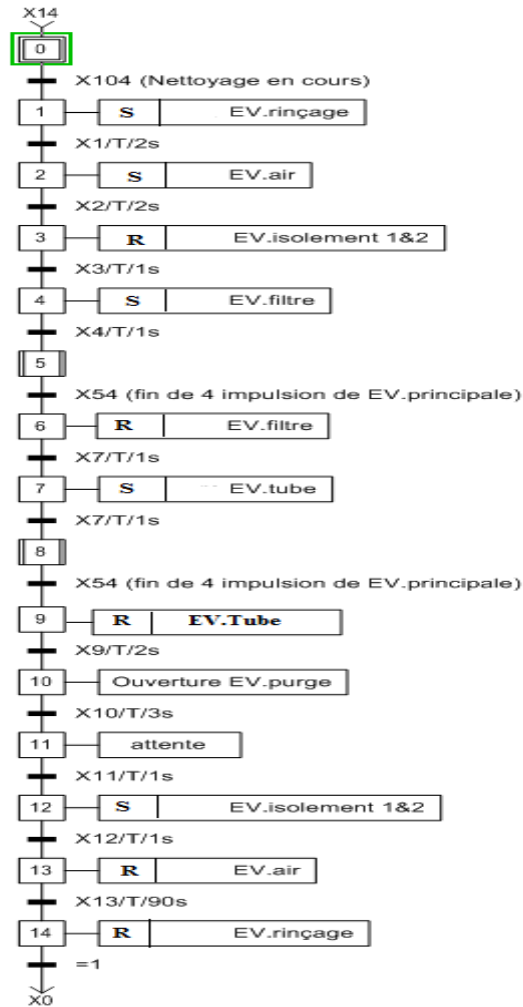


Figure 26 : Grafcet de nettoyage

Au vu ce qui précède l'électrovanne principale s'ouvre et se ferme 4 fois c'est ce qu'on a montré dans ce dernier grafcet

Après 5 secondes le système passe en mode analyse en cours.

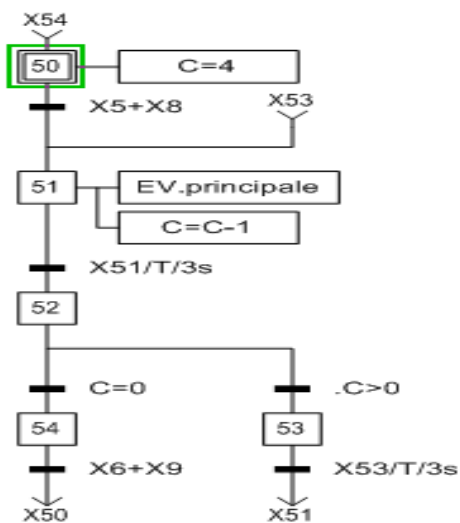
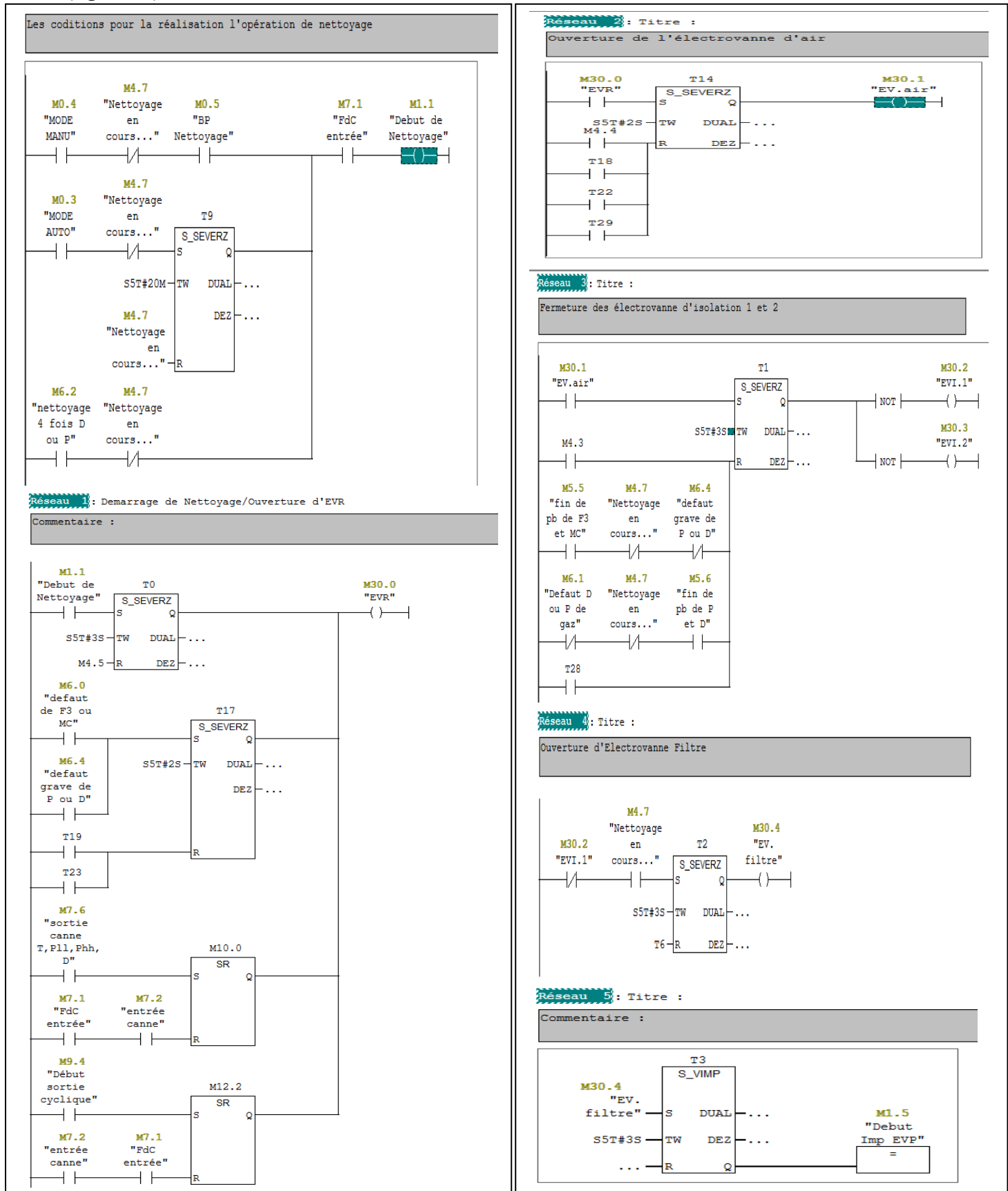


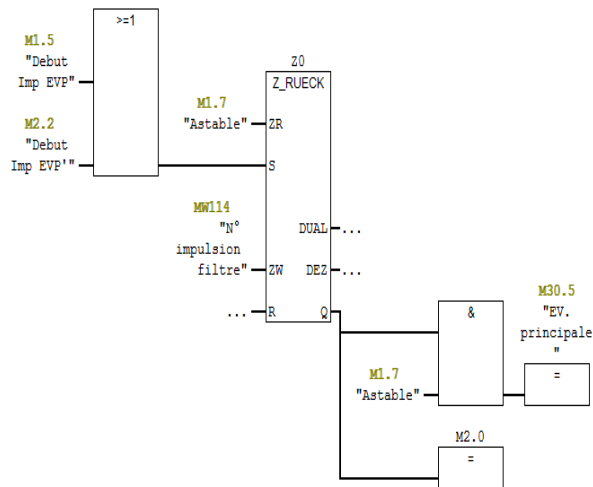
Figure 27 : Grafcet des impulsions de l'électrovanne principale

Le programme LADDER qui permet de commander les opérations de nettoyage est le suivant (figure 28) :



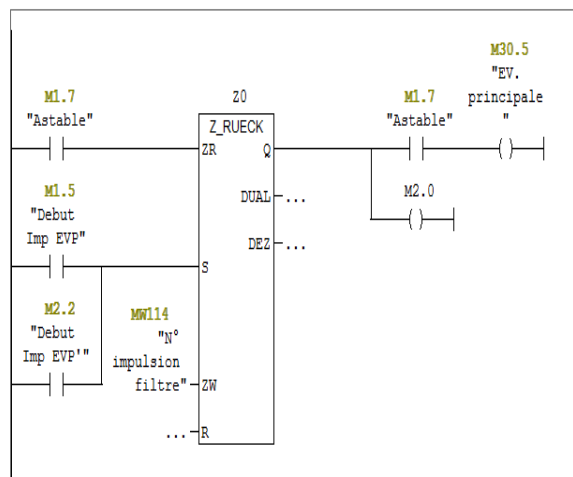
Réseau 7: Titre :

Commentaire :



Réseau 8: Titre :

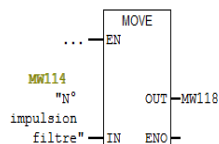
debut d'impulsions de l'électrovanne principale de l'air comprimé
-Le nombre d'impulsion est saisi par l'utilisateur dans le Wincc flexible (enregistrer dans la variable interne MW114)
- le compteur Z0 permet de compter le nombre d'impulsion



✓ Les réseaux 8 et 9 permet d'affecter 4 impulsion en cas d'une saisie 0 impulsion

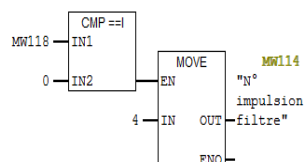
Réseau 8: Titre :

Commentaire :



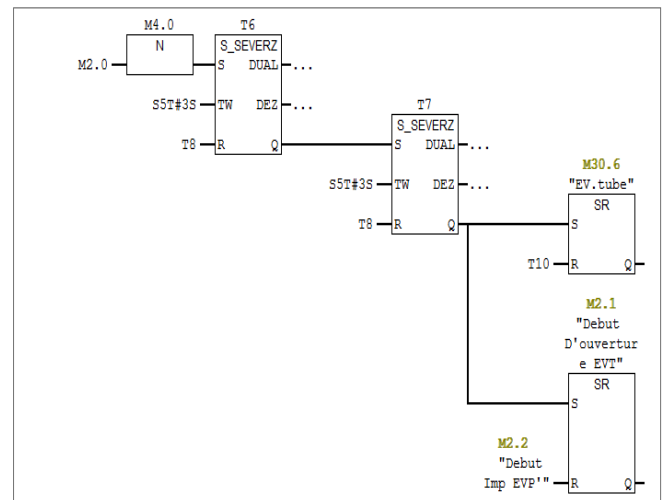
Réseau 9: Titre :

Commentaire :



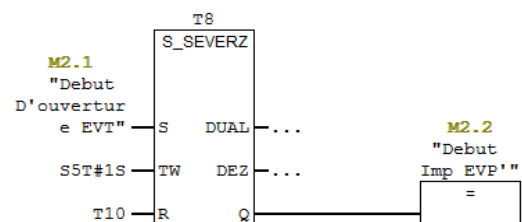
Réseau 10: Titre :

Ouverture de l'électrovanne de tube



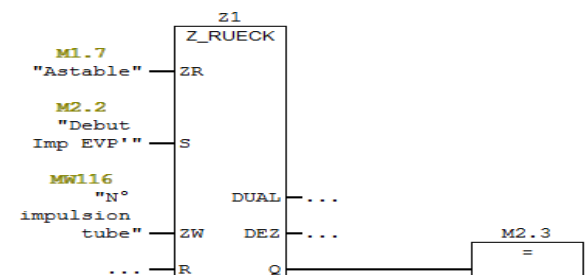
Réseau 11: Titre :

Commentaire :



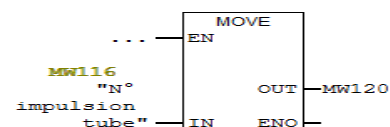
Réseau 12: Titre :

Commentaire :



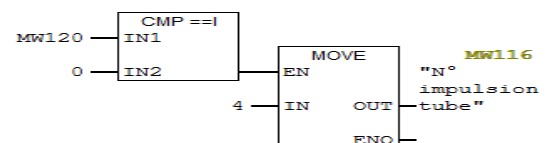
Réseau 13: Titre :

Commentaire :



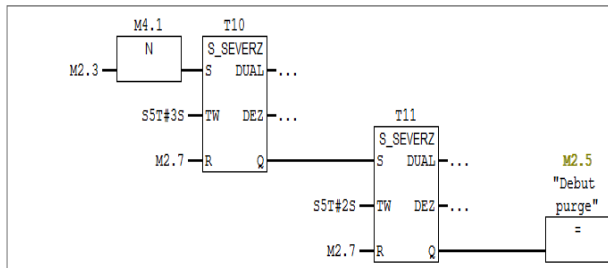
Réseau 14: Titre :

Commentaire :



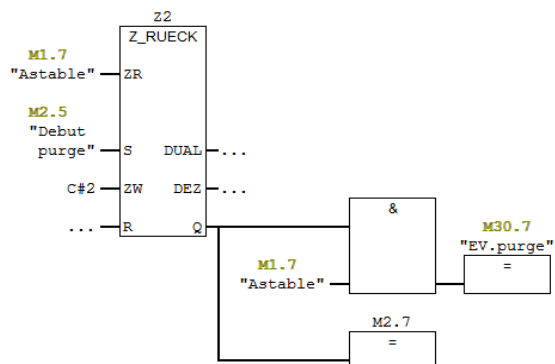
Réseau 15: Titre :

Ouverture de l'électrovanne de purge pour purger l'air comprimé



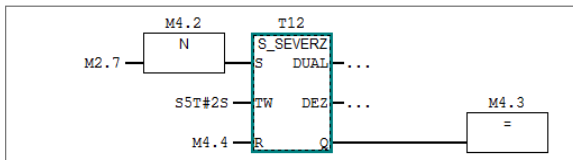
Réseau 16: Titre :

Commentaire :



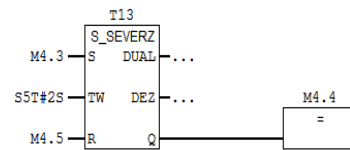
Réseau 17: Titre :

Temporisoteur de 2 seconds pour fermer l'électrovanne d'air



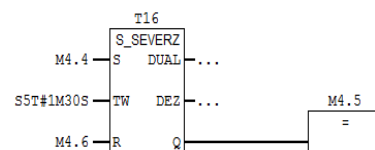
Réseau 18: Titre :

Temporisoteur de 2 seconds pour ouvrir l'électrovanne d'isolation 1 et 2



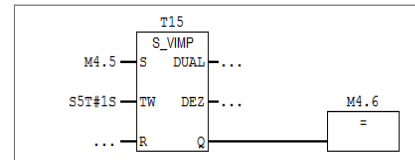
Réseau 19: Titre :

Temporisoteur de 90 seconds pour fermer l'électrovanne de rinçage



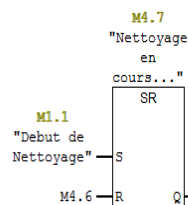
Réseau 20: Titre :

Commentaire :



Réseau 21: Titre :

M4.7 c'est une bit interne qui indique que l'opération de nettoyage est en cours



6. Sortie cyclique de la canne :

La sortie cyclique de la canne de prélèvement des gaz s'effectue pour deux raisons :

- En mode automatique chaque 3 heures (on dit sortie cyclique chaque 3 heures).
- Si la température de l'eau de refroidissement est inférieure à 40°C.

Avant de commencer chaque sortie cyclique, les électrovannes d'isolation EVI1 et EVI2 se ferment pour isoler la ligne de prélèvement de l'intérieure de la cabine à celui de l'extérieur, et les électrovannes EV.Rinçage, EV.Air s'ouvrent pour favoriser l'écoulement de l'air ambiant à travers la pompe.

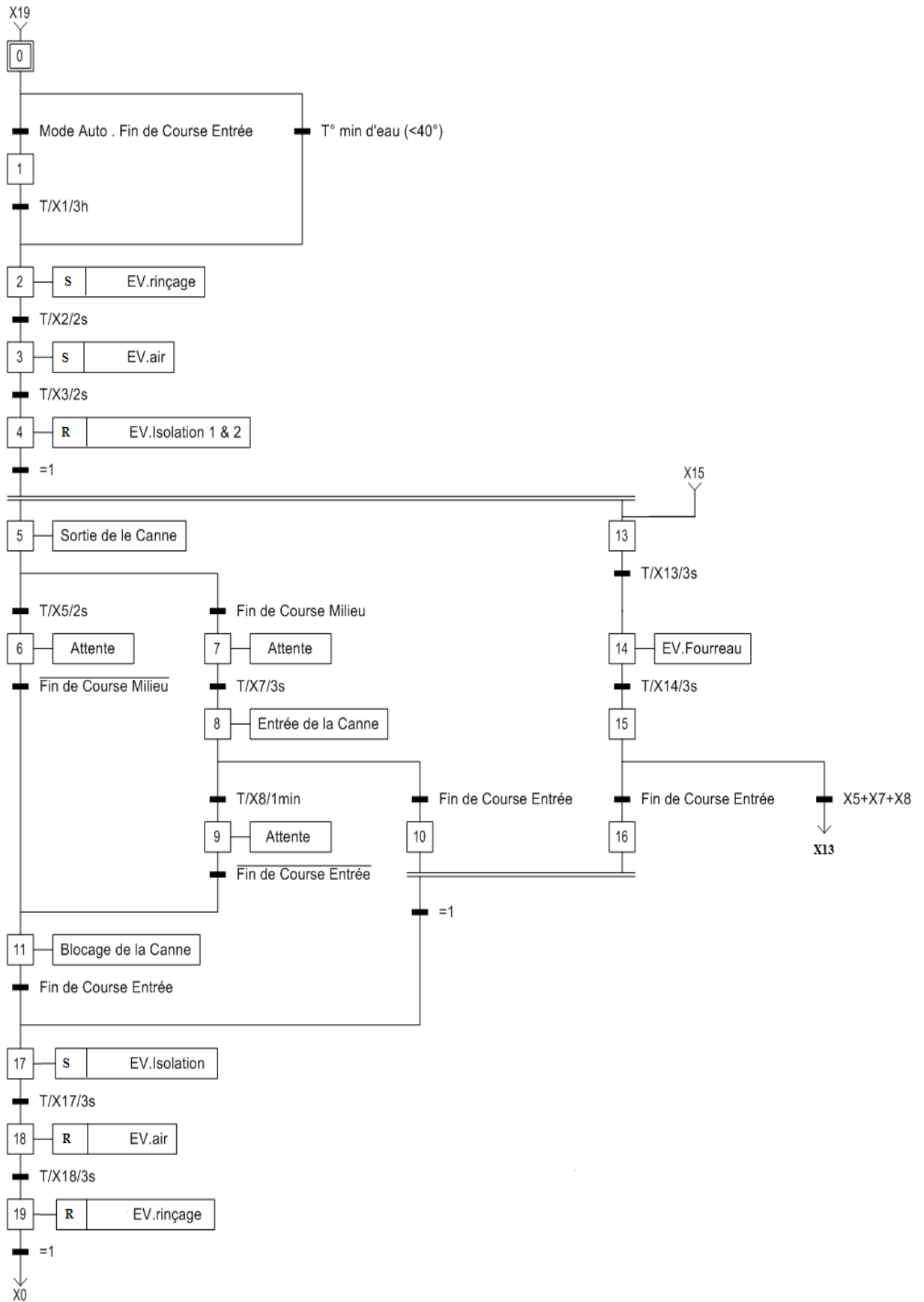


Figure 29 : Grafset de sortie cyclique de la canne

- Sortie cyclique : Ce cycle se répète chaque 3 heures en mode automatique de système lorsque la canne est à l'état où la fin de course d'entrée est actionnée, la canne sort jusqu'à ce qu'elle actionne la fin de course milieu après 3 secondes elle entre de même manière jusqu'à ce qu'elle actionne la fin de course d'entrée, pendant ce cycle l'électrovanne de fourreau reçoit 3 impulsions dont $T_{on}=T_{off}=3s$.
- Blocage Canne : lors de la sortie de la canne si la fin de course de milieu n'est pas actionnée pendant une minute donc on signale qu'il y a un blocage de la canne par un message sur l'écran de supervision, même chose pour l'entrée de la canne si la fin de course d'entrée n'est pas actionnée.

The diagram illustrates the ladder logic for the 'canne' (cane) function, organized into two main sections.

Top Section:

- Inputs:** M0.3 "MODE AUTO", M7.1 "FdC entrée", M11.0 "FdC milieu", M8.1 "T° min de l'eau", M10.4 (P), M7.2 "entrée canne".
- Timers:** T32 (S_SEVERZ) with outputs DUAL and DEZ. M10.1 (SR) with output Q.
- Outputs:** M9.3 "sortie cyclique" (coil), M10.1 Q (coil).
- Logic:** M0.3 and M7.1 are in series. M11.0 is in parallel with the M7.1 branch. The output of this parallel branch is connected to the S input of M10.1. M8.1 is in series with the M10.4 (P) contact, which is also connected to the S input of M10.1. The Q output of M10.1 is connected to the output coil M9.3.

Bottom Section:

- Inputs:** M0.4 "MODE MANU", M7.3 "Bp sortie canne", M7.4 "FdC sortie", M7.2 "entrée canne", M7.5 "sortie canne", M8.0 "T° max de l'eau", M8.4 "au dessus de Phh d'eau", M8.6 "sous Pll d'eau", M8.3 "sous D d'eau", M9.3 "sortie cyclique", M10.2 (P), M7.2 "entrée canne", M11.0 "FdC milieu", M7.4 "FdC sortie", M30.2 "EVI.1", M12.1 "Bloquage canne".
- Timers:** T39 (S_EVERZ) with outputs DUAL and DEZ. M7.6 "sortie canne T, Pll, Phh, D" (SR) with output Q. M30.2 "EVI.1" (SR) with output Q. M11.0 (SR) with output Q.
- Outputs:** M7.6 Q (coil), M30.2 Q (coil), M11.0 Q (coil).
- Logic:**
 - The top part of the section shows a series connection of M0.4, M7.3, M7.4 (normally closed), and M7.2 (normally closed), leading to the S input of M7.6.
 - M8.0 is in series with the S input of T39.
 - M8.4, M8.6, and M8.3 are in parallel, connected to the R input of T39.
 - M7.6 Q is connected to the S input of M30.2.
 - M7.4 "FdC sortie" is connected to the R input of M30.2.
 - M9.3 and M10.2 (P) are in series, connected to the S input of M11.0.
 - M7.2 "entrée canne" (normally closed) is connected to the S input of M11.0.
 - M11.0 Q is connected to the R input of M11.0.
 - M30.2 Q is connected to the S input of M12.1.
 - M12.1 "Bloquage canne" (normally closed) is connected to the R input of M11.0.

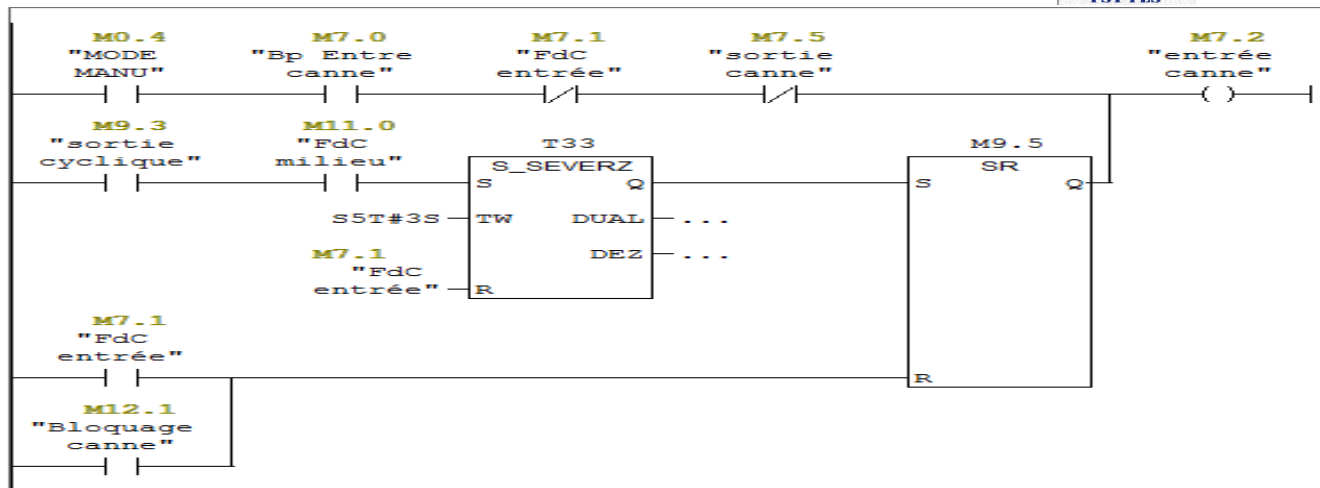
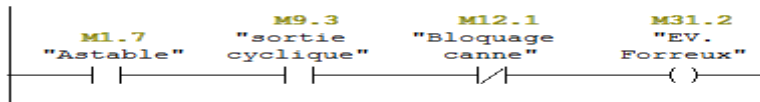


Figure 30 : Programme LADDER de sortie cyclique de la canne

Le nettoyage de fourreau (partie extérieure de la canne) doit s'effectuer à chaque sortie cyclique de la canne.

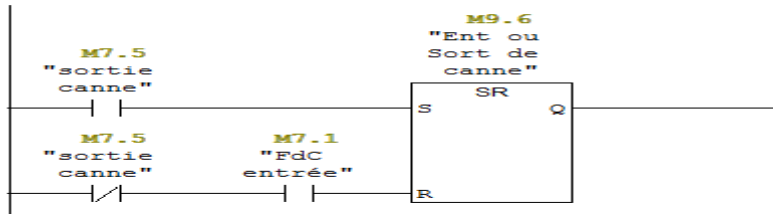
Réseau 5 : Nettoyage de fourreau

Commentaire :



Réseau 6 : Quitter l'analyse en cours lors de l'entrée ou sortie de la can

Commentaire :



Réseau 4 : Bloquage de la canne à la sortie ou à l'entrée

A chaque sortie(ou sortie) de la canne un temporisateur doit compter une minute et si la canne n'est pas encore actionné le fin de course milieu (ou fin de course entrée) un message d'erreur doit s'afficher pour indiquer bolocage de la canne.

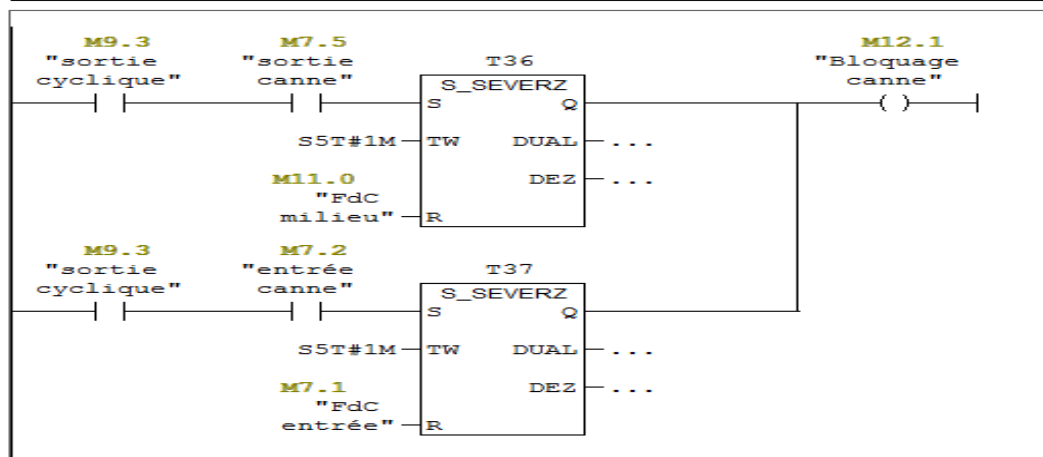


Figure 31 : Nettoyage de fourreau

A la fin de la sortie cyclique le système revient à l'analyse en cours par l'ouverture des électrovannes EVI1 et EVI2 et la fermeture des électrovannes EV.air et EV.rinçage.

7. Défaut de pression ou débit de gaz :

Si un problème de débit ou pression de gaz échantillon est détecté par des capteurs de pression ou de débit, le nettoyage de la canne s'enclenche automatiquement pour résoudre le problème. Le cycle de nettoyage se répète 4 fois si cette anomalie est encore existe, sinon on revient à l'état initial. Par contre s'il reste ce problème malgré que le nettoyage se fait 4 fois les électrovannes de rinçage et d'air s'ouvrent et les électrovannes d'isolation se ferment dans ce cas un technicien s'intervient pour régler manuellement le problème de bouchage de la canne de prélèvement et enfin les électrovannes de rinçage et d'air se ferment et les électrovannes d'isolation s'ouvrent pour revenir à l'analyse en cours.

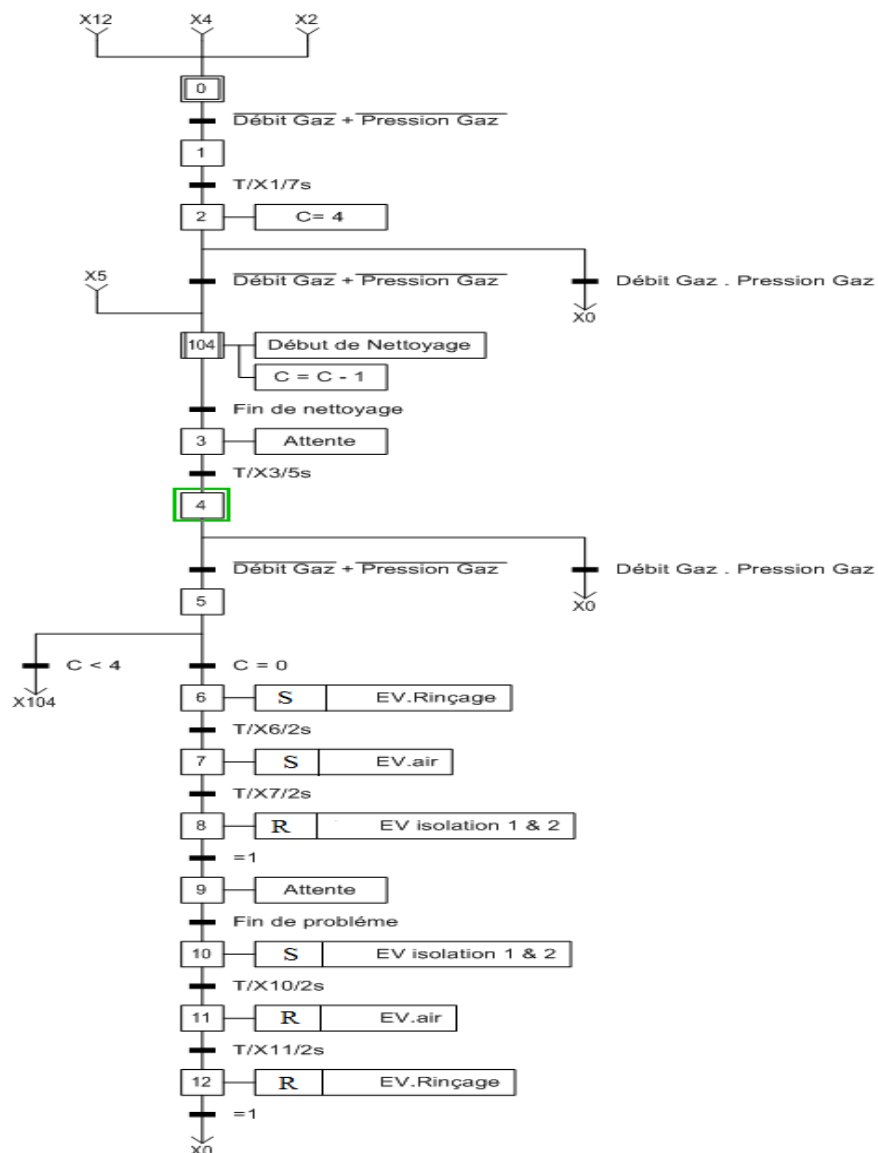
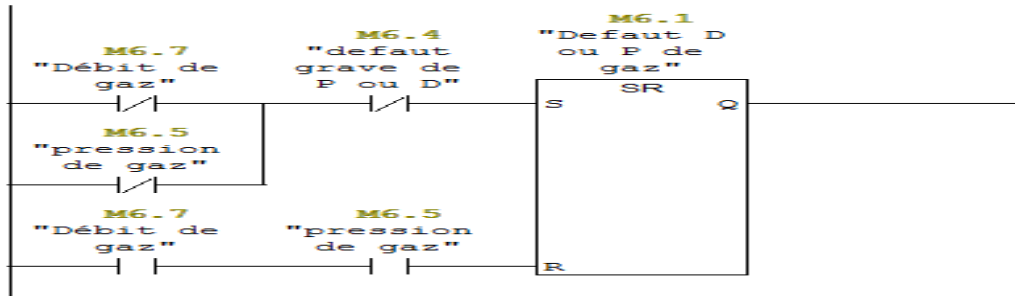


Figure 32 : Grafcet de gestion de débit ou pression de gaz

Un programme LADDER (figure 33) permet de gérer les défauts liés à la pression et le débit de gaz.

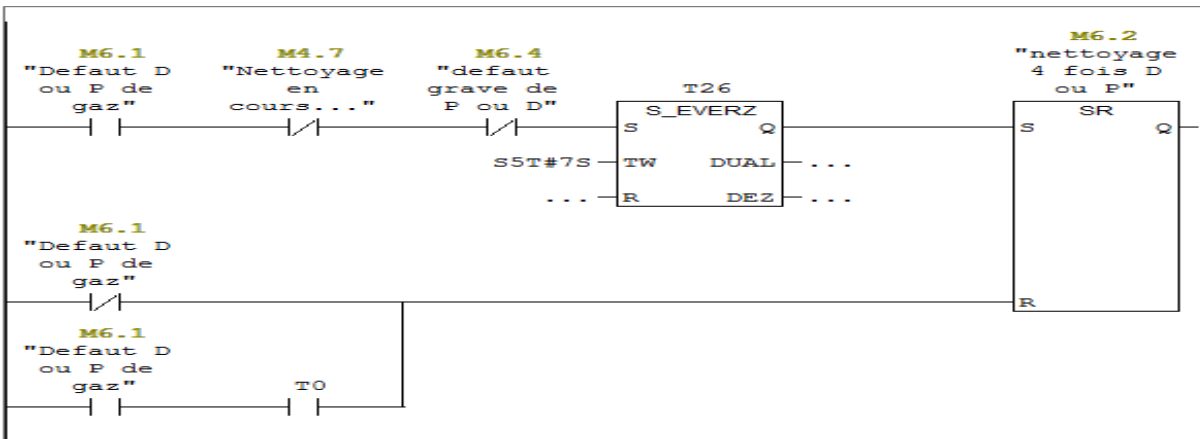
Réseau 5 : Problème de débit ou de pression de gaz

Commentaire :



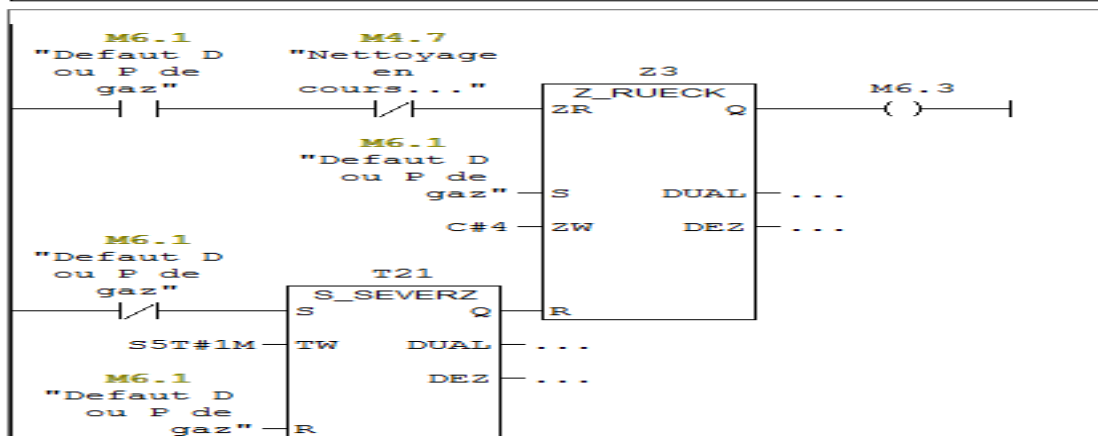
Réseau 6 : Titre :

-T26 c'est un temps d'attente
-T26 doit etre toujours supérieure à T27



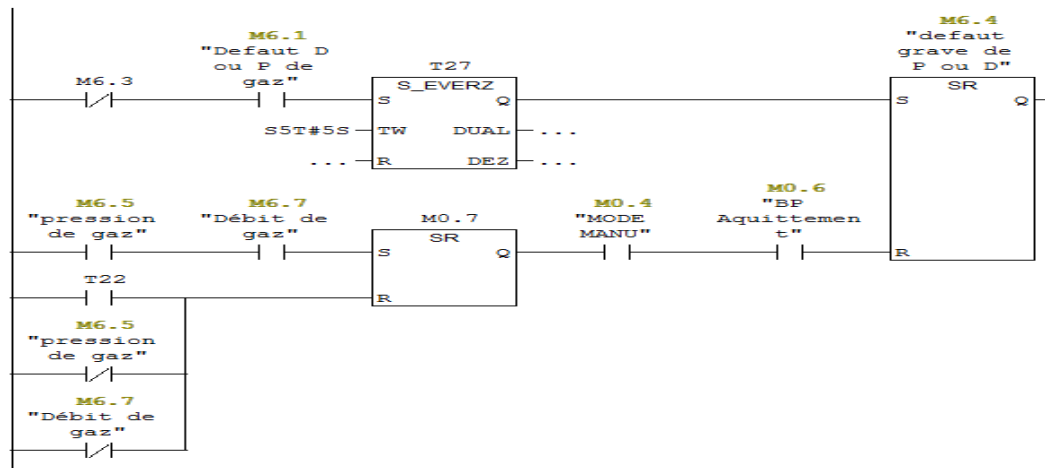
Réseau 7 : Titre :

Z3 compteur de 4 nettoyage



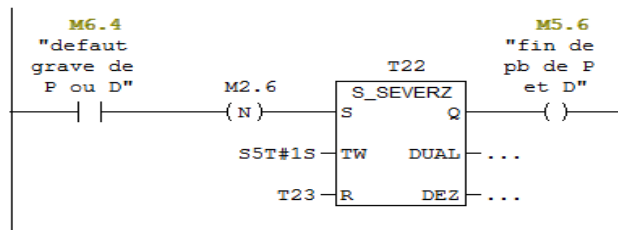
Réseau 8 : Aquittement manuelle de problème de pression ou débit

Commentaire :



Réseau 9 : Titre :

Commentaire :



Réseau 10 : Titre :

Retour à l'analyse en cours par la fermeture des électrovanne EV.air et EV.rinçage et l'ouverture EV.1 et EV.2

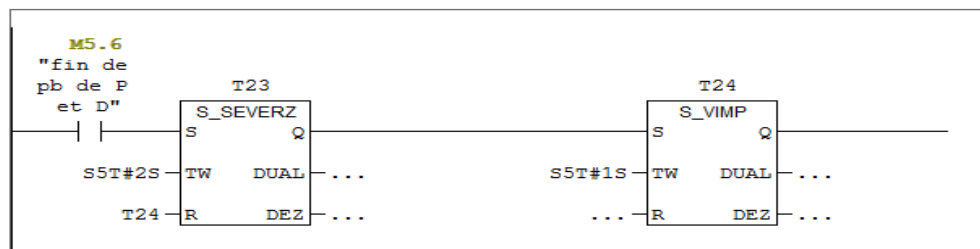


Figure 33 : Gestion des défauts liés au pression ou débit de gaz

8. Défaut de filtre ou sécheur :

Une anomalie au niveau de 3^{ème} filtre (indique la présence de l'humidité par la fermeture d'un contact) ou au niveau de sécheur le système doit quitter l'analyse en cours et un message d'erreur s'affiche sur l'écran de supervision.

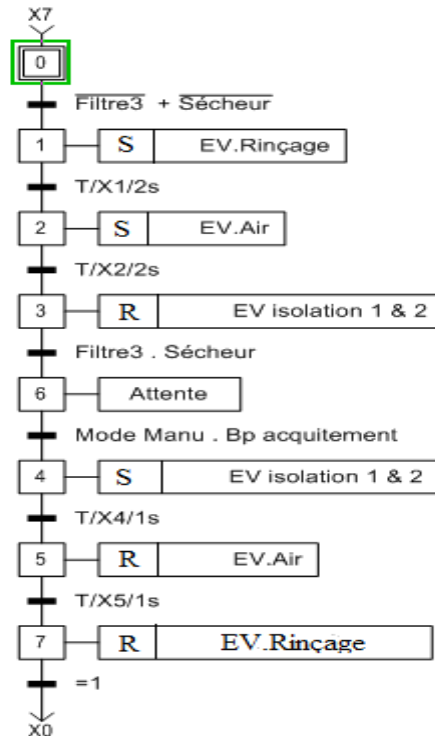


Figure 34 : Grafcet de gestion de défaut du filtre ou sécheur

Ce grafcet montre les actions à mettre en place lors d'un problème au niveau de 3^{ème} filtre ou au niveau de sécheur.

Les électrovannes d'isolation EV1 et EV2 se ferment pour isoler la ligne de prélèvement de l'intérieur de la cabine à celui de l'extérieure, et les électrovannes EV.Rinçage, EV.Air s'ouvrent pour favoriser l'écoulement de l'air ambiant à travers la pompe (figure 36).

Un technicien intervient pour résoudre manuellement le problème par le réglage et le changement des composants nécessaires, pour éviter la présence de l'humidité à l'entrée des analyseurs.

Après le réglage de problème l'appui sur le bouton poussoir acquittement en mode manuel est nécessaire pour revenir à l'état initial par la fermeture des électrovannes EV.Air et EV.Rinçage et l'ouverture des électrovannes d'isolation 1 et 2.

9. Défaut de pression et température d'eau :

Le grafcet (figure 35) présente des problèmes au niveau de pression, de température et de débit d'eau qui peuvent se distinguer comme suit :

- ✓ Pression d'eau supérieure à 2bar ou inférieure à 0.2bar.
- ✓ Température supérieure à 70°C.
- ✓ Défaut de Débit d'eau
- ✓ Pression d'eau entre 0.2bar et 2bar.
- ✓ Pression d'eau entre 0.2bar et 0.4bar.

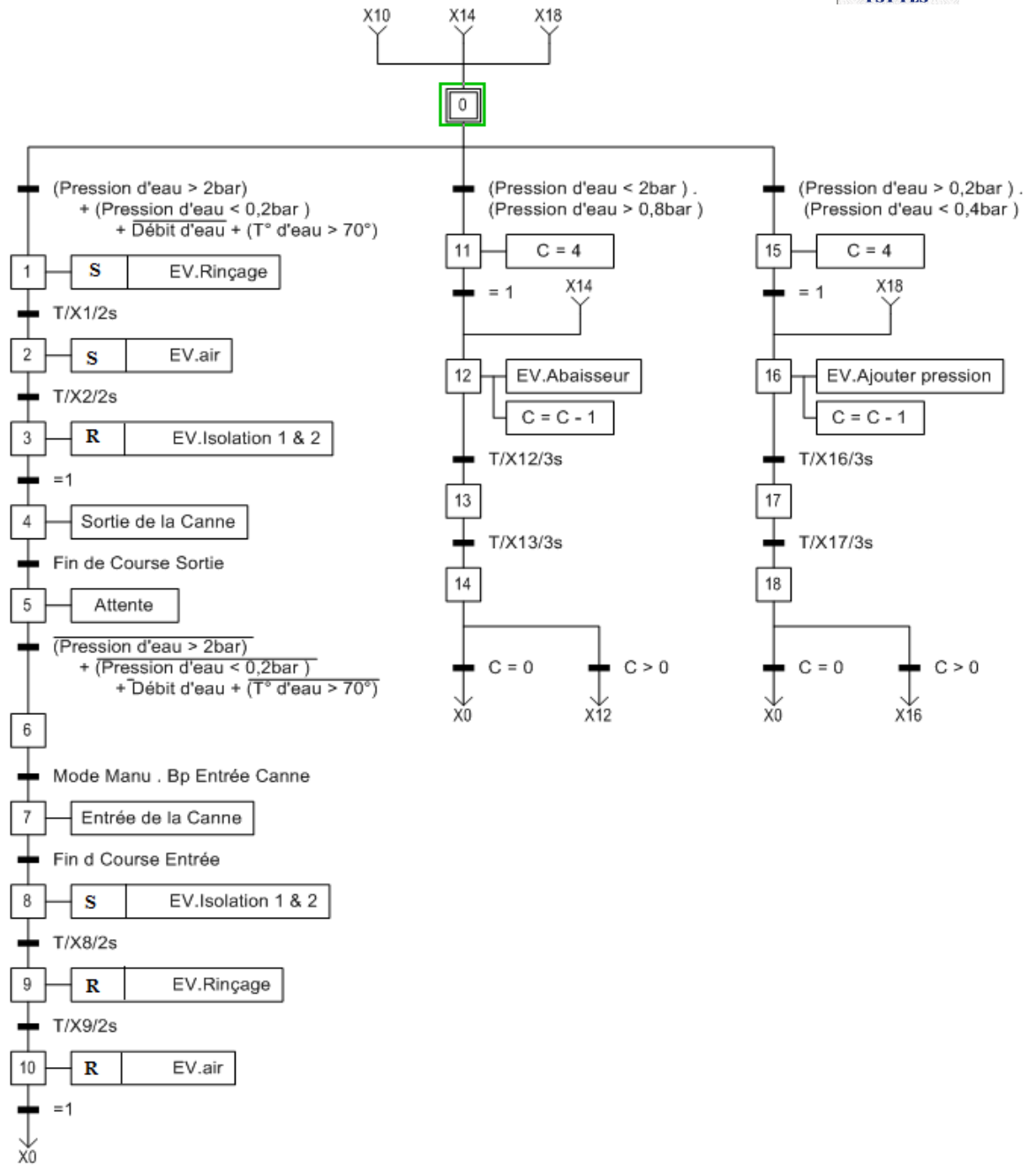


Figure 35 : Grafcet de gestion de la pression d'eau

Quand on a les trois premières anomalies, tout d'abord il faut quitter l'analyse ensuite la canne sort jusqu'à ce qu'elle actionne la fin de course de sortie, quand ces problèmes sont résolus, on revient au mode manuel et on clique sur le bouton poussoir qui commande l'entrée de la canne alors que la canne entre jusqu'à ce qu'elle actionne la fin de course d'entrée et le système revient en mode analyse.

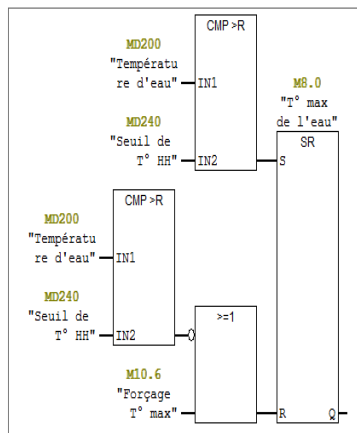
Lorsque la pression d'eau est entre 0.8 bar et 2 bars, une électrovanne s'ouvre avec quatre soufflages afin de diminuer la pression de l'eau.

De même, si on a une pression d'eau entre 0.2 bar et 0.4 bar, l'électrovanne d'arrivée de l'eau comprimé s'ouvre avec quatre soufflages pour augmenter la pression d'eau.

Le programme LADDER qui permet de gérer l'ensemble des défauts liés à la température et à la pression d'eau est le suivant :

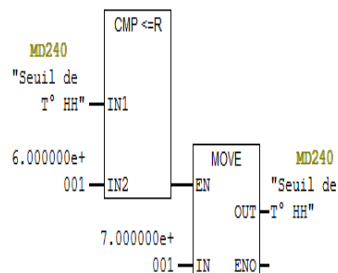
Réseau 1: Depassement de la température maximale de l'eau

Commentaire :



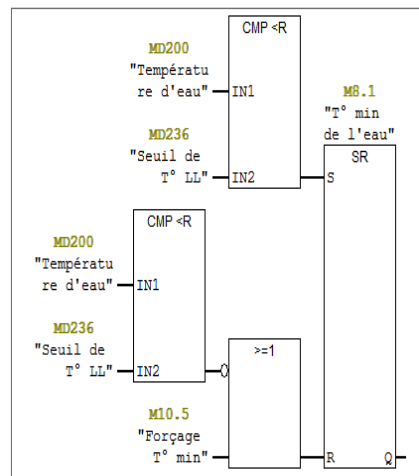
Réseau 2: Titre :

Réaffectation de la température maximale à 70°C au cas démarrage de systeme



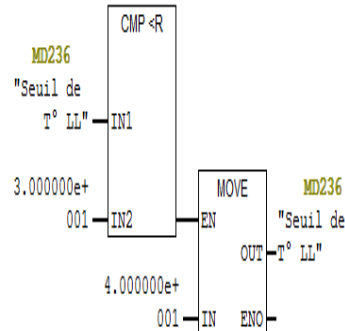
Réseau 3: la Température au dessous de la Température minimale

Commentaire :



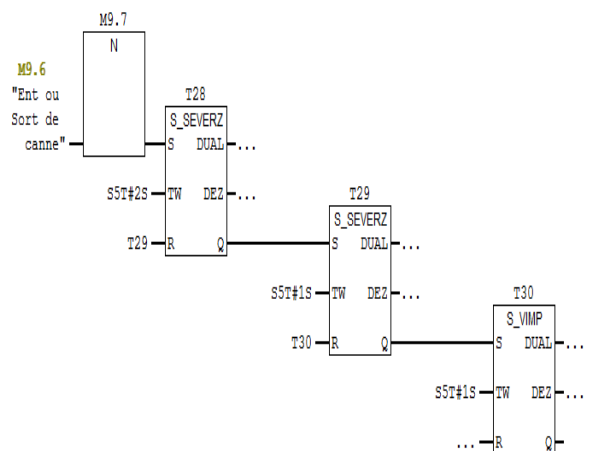
Réseau 4: Titre :

Réaffectation de la température minimale à 40°C au cas démarrage de systeme



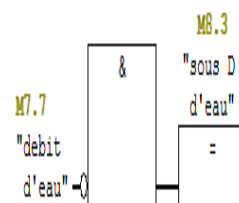
Réseau 5: Titre :

Retour à l'analyse en cours dis que la résolution des défauts par la fermeture des électrovanne de rinçage et d'air et l'ouverture des électrovannes d'isolation 1 et 2.



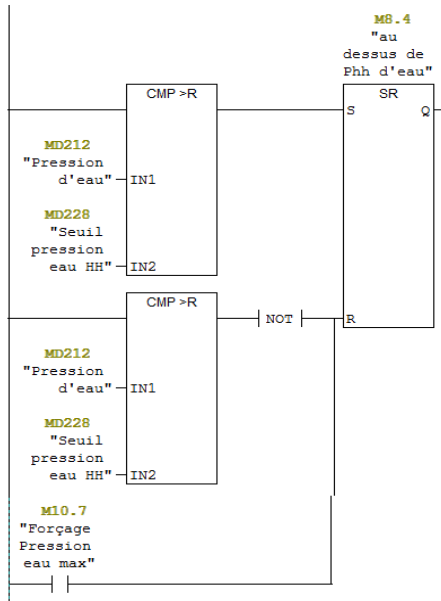
Réseau 6: Defaut de debit de l'eau

Commentaire :



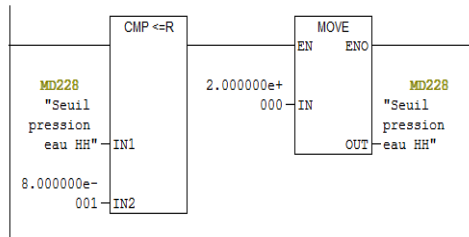
Réseau 8 : Depassement de la Pression maximale

Commentaire :



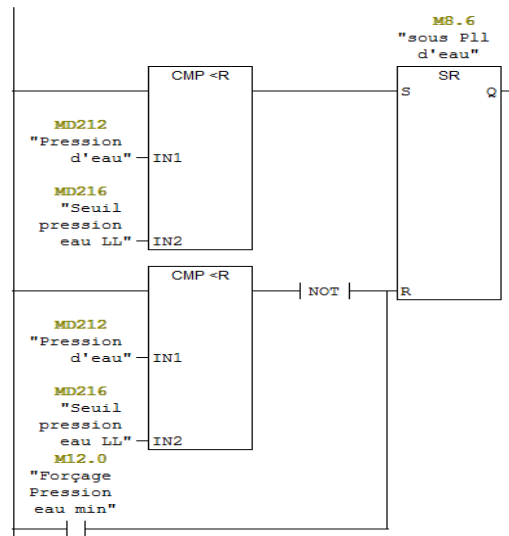
Réseau 9 : Titre :

Réaffectation de la valeur de pression maximale à 2 bars en cas démarrage de système



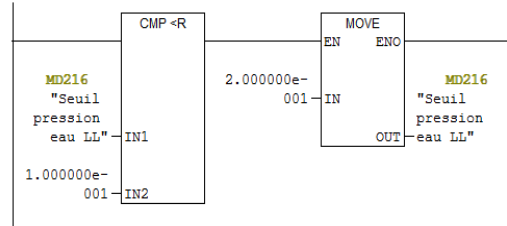
Réseau 10 : Sous pression de l'eau

Pression de l'eau inférieure à la valeur minimale



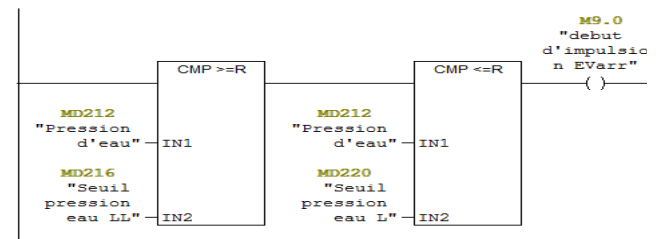
Réseau 11 : Titre :

Réaffectation de la valeur de pression minimale à 0.2 bars en cas démarrage de système



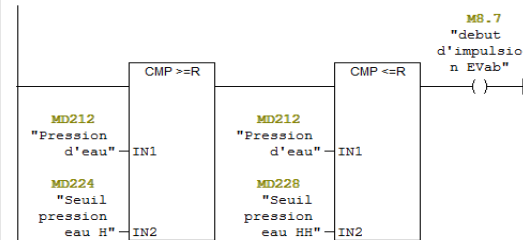
Réseau 15 : Titre :

Commentaire :



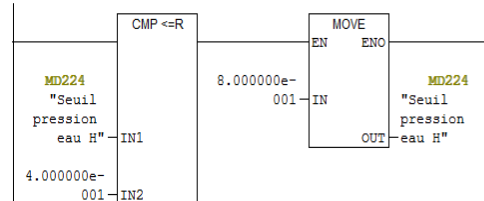
Réseau 12 : Titre :

Commentaire :



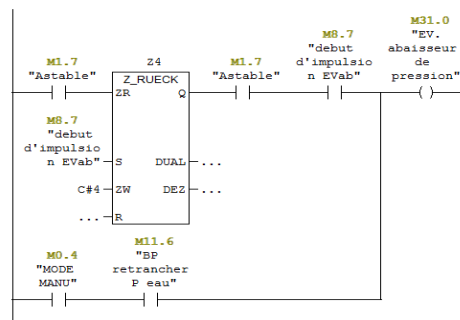
Réseau 13 : Titre :

Commentaire :



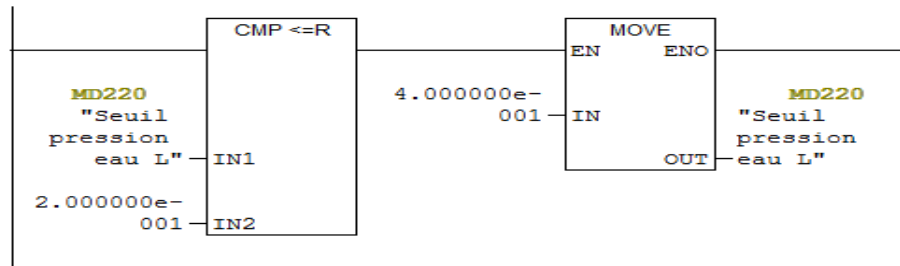
Réseau 14 : Titre :

L'électrovanne abaisseur de pression reçoit 4 impulsions en cas de l'élévation de pression



Réseau 16 : Titre :

Réaffectation de la valeur de pression minimale e sécurité à 0.4 bars en cas démarrage de systeme



Réseau 17 : Titre :

L'électrovanne de l'arrivée de l'eau comprimé reçoit 4 impulsions pour augmenter la pression de l'eau en cas de franchissement de la limite inférieure de sécurité

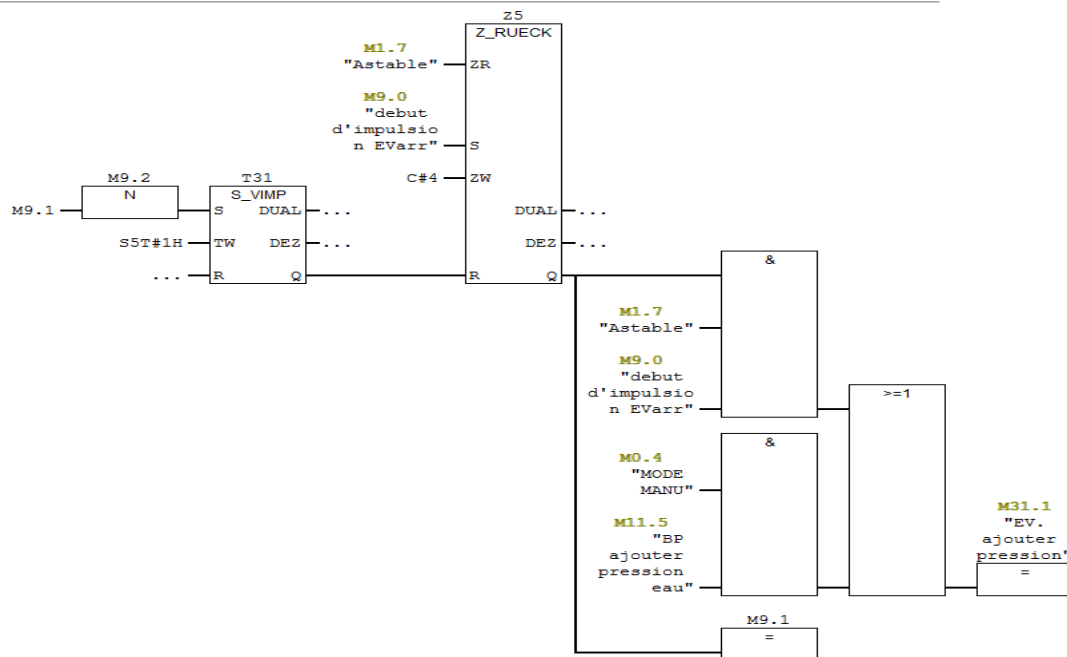


Figure 36 : Programme LADDER pour la gestion des défauts de pression et température d'eau

Conclusion :

Dans ce chapitre Les programmes sont présentés par le grafcet de niveau 2 et langage LADDER. La solution en grafcet de niveau 1 est présentée en annexe.

Le chapitre suivant présentera l'étude de la sûreté de fonctionnement de la cabine par la mise en œuvre d'un échéancier de maintenance dont le but d'augmenter sa fiabilité.

Chapitre IV :

*Etude de la sûreté de fonctionnement de
la cabine d'analyse*

I. Introduction :

Après l'élaboration des programmes de commande de la cabine avec leurs simulations en respectant le cahier des charges, nous présenterons dans ce chapitre une méthodologie rigoureuse visant à identifier les modes de défaillances et les traiter avant qu'elles ne surviennent sur le système, avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés.

II. Application de l'AMDEC :

AMDEC est l'acronyme pour Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité. Cette méthode passe toujours par une analyse de type qualitative :

- Analyse des causes de défaillance ;
- Analyse des modes de défaillance ;
- Analyse des effets de ces défaillances ;

Puis par l'évaluation quantitative :

- Évaluation de la fréquence d'apparition de ces défaillances ;
- Évaluation de la gravité de ces défaillances ;
- Évaluation de la probabilité que ces défaillances passent inaperçues.

Déroulement de la méthode :

La méthode AMDEC est divisée en 4 étapes :

- ✓ Initialisation
- ✓ Analyse des défaillances
- ✓ Cotation de la criticité.
- ✓ Actions préventives et correctives menées

1. Initialisation :

1.1. Définition des objectifs à atteindre :

Les objectifs à atteindre par notre étude AMDEC est l'amélioration de :

- ✓ La disponibilité
- ✓ La fiabilité
- ✓ La maintenabilité
- ✓ La sécurité.

1.2. Composition du groupe de travail :

Les acteurs de la méthode sont :

- Le demandeur : C'est la personne ou le service qui prend l'initiative de déclencher l'étude. Présenté ici par le service procédé.
- Le décideur : C'est la personne responsable dans l'entreprise, du sujet étudié, qui en dernier recours, et à défaut de consensus, exerce le choix définitif. Il est responsable et décideur des coûts, de la qualité et des délais. Présenté ici par le bureau d'étude.
- L'animateur : C'est le garant de la méthodologie, l'organisateur de la vie du groupe. Il précise l'ordre du jour des réunions, conduit les réunions, assure le secrétariat, assure le suivi de l'étude ; nous avons choisi un intervenant extérieur du service environnement.
- Le groupe de travail : 2 à 5 personnes, responsables et compétentes, ayant la connaissance du système à étudier et pouvant apporter les informations nécessaires à l'analyse, nous avons choisi :
 - Un responsable de maintenance.
 - Un instrumentiste
 - Un électricien.
 - Un opérateur de maintenance.

2. Analyse des défaillances :

La démarche consiste à rechercher :

- Des modes de défaillance (perte de fonction, dégradation d'une fonction, pas de fonction, fonction intempestive).
- Les effets, au niveau supérieur, pouvant être complétés par une recherche des causes (choix pouvant être guidé par la gravité des conséquences)
- La criticité. Il s'agit d'une cotation et non d'une quantification des défaillances.

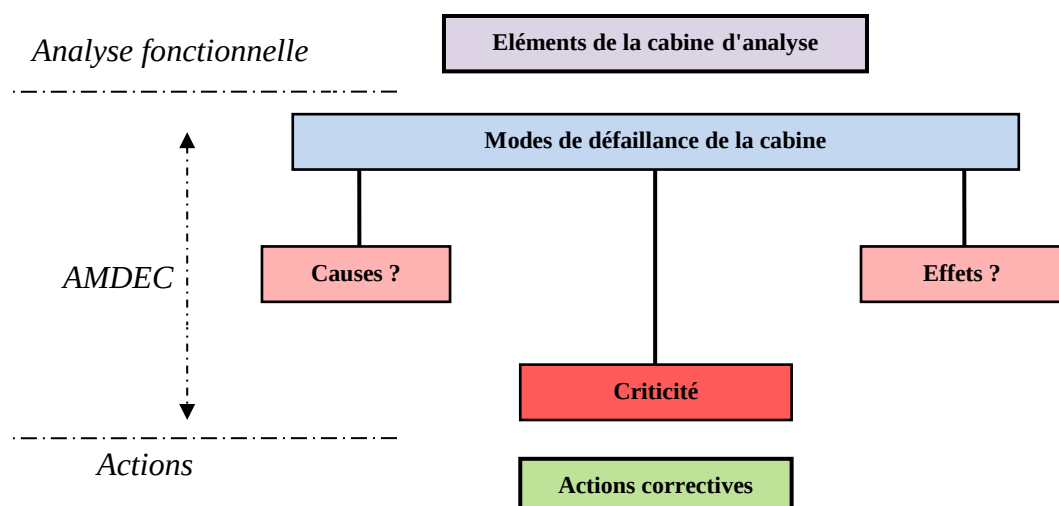


Figure 37 : Analyse des défaillances

2.1 Mode de défaillance

Le mode de défaillance de la cabine est :

- Relatif à chaque fonction d'un système ou sous système.
- Il s'exprime par la manière dont un système ou sous système vient à ne plus remplir sa fonction.

2.2 Cause de la défaillance :

Les causes de la défaillance sont réparties dans les 5M :

- Main d'œuvre (opérateur de maintenance)
- Milieu
- Méthode
- Matériaux
- Matière

2.3 Effet de la défaillance ;

L'effet de la défaillance :

- Concrétise la conséquence
- Relatif à un mode de défaillance

3. Cotation de la criticité des équipements

La criticité se calcule par la relation $C = F \times G \times N$;

- ✓ F : la fréquence
- ✓ G : la gravité
- ✓ N : la non-détection

La cotation de ces trois critères sera faite sur une échelle de 1 à 4, pour l'échelle proposée, l'appréciation peut se faire de façon suivante :

Fréquence (F)

niveau	valeur	définition
très faible	1	défaillance rare : moins d'une défaillance par année
faible	2	défaillance possible : moins d'une défaillance par trimestre
moyen	3	défaillance occasionnelle : moins d'une défaillance par semaine
élevé	4	défaillance fréquente : plus d'une défaillance par semaine

Gravité (G)

niveau	valeur	définition
mineure	1	-arrêt moins de 15 minutes -aucune ou peu pièce de rechange nécessaire
moyenne	2	-arrêt de 15 minutes à une heure -pièces en stock
majeure	3	-arrêt de 1 heure à 2 heures -pièces en stock
grave	4	-arrêt de 2 heures et plus

Non-détection (N)

niveau	valeur	définition
évident	1	détection certaine, sirène, moyens automatiques, signes évidents
possible	2	détectable par l'opérateur, par des routes d'inspections, vibrations
improbable	3	difficilement détectable, moyens complexes (démontages, appareils)
impossible	4	indétectable, aucun signes

Tableau 4 : Cotation de la criticité

Les tableaux suivant permettent de calculer la criticité de chaque élément du dispositif d'analyse des gaz O₂ et NO/CO et SO₂ :

LAFARGE MEKNES	AMDEC PRODUIT				Tableau 1/6			
	Système : Cabine d'analyse O ₂ , NO/CO, SO ₂ Sous système : Prélèvement				F	G	N	C
Elément	Fonction	Mode	Cause	Effet				
Tête de sonde	Point en contact direct avec la zone de prélèvement	Déformation par effet de chaleur.	Mauvais dimensionnement et/ ou manque d'un circuit de refroidissement	Perte de la sonde (facteur économique).	2	4	4	C
Tube de sonde	Support-tête, liaison avec le filtre et le canal de transfert.	Flambage par effet de chaleur.	Mauvais dimensionnement et/ ou manque d'un circuit de refroidissement	Perte du tube (facteur économique).	2	4	3	C
Manchon chauffant	Eviter la condensation des gaz dans le filtre - 80°C-	Coupure de la résistance chauffante.	Coupure ou vieillissement de la résistance chauffante	Formation des condensats=> Colmatage du filtre céramique.	2	2	2	A
Ligne chauffante	Eviter la formation des condensats le long du canal de transfert -80°C-	Coupure de la résistance chauffante.	Coupure ou vieillissement de la résistance chauffante	Formation des condensats la long du canal de transfert.	2	2	2	A

Pompe de gaz	Déplacer le gaz du l'entrée de four aux analyseurs.	Dégradation de l'état du tube souple. Partie électrique grillée (moteur).	vieillessement du tube souple. Surintensité. Présence de condensats	Influence sur le débit d'analyse=> Mesures erronées.	3	2	3	B
--------------	---	---	---	--	---	---	---	---

Tableau 5: La criticité des équipements de prélèvement

LAFARGE MEKNES	AMDEC PRODUIT				Tableau 1/6			
	Système : Cabine d'analyse O ₂ , NO/CO, SO ₂ Sous système : Capteurs				F	G	N	C
Elément	Fonction	Mode	Cause	Effet				
Capteur de température Pt100	Mesure de la température	Perte de la caractéristique de mesure.	Vieillessement.	Mesures erronées.	1	2	2	A
Capteurs de pression	Mesure de pression	Perte de la caractéristique de mesure.	Vieillessement.	Mesures erronées.	1	2	2	A
Capteurs de fin de course	indique la position de la canne	Absence de signal	Mauvaise contact	Détruire la canne	1	2	3	A
Pressostat	Délivrer un signal électrique si la pression est inférieur à 4bars	Perte de la raideur du ressort taré	Dépassement de la durée de vie (nb de cycles)	Information erronée concernant la pression de nettoyage su filtre. Arrêt de la cabine.	2	3	2	B
Détecteur de débit	Mesure du débit	Perte de la raideur du ressort de tension.	Vieillessement.	Débit erroné. => Mesures erronées.	2	3	1	A
Sonde à résistance	Mesure de la température	Perte de la caractéristique de mesure.	Mauvais dimensionnement.	Température erronée. => Mesures erronées.	2	3	2	B
Détecteur d'humidité	Délivrer un signal électrique si l'humidité dépasse un seuil maxi.	Perte de la caractéristique de mesure/endommagement du circuit électronique.	Vieillessement. Surintensité.	Mesures erronées. Présence des gouttelettes d'eau dans les blocs analyseurs.	2	3	2	B

Tableau 6 : La criticité de capteurs

LAFARGE MEKNES	AMDEC PRODUIT				Tableau 3/6			
	Système : Cabine d'analyse O ₂ , NO/CO, SO ₂ Sous système : Conditionnement et analyse				F	G	N	C
Elément	Fonction	Mode	Cause	Effet				
Refroidisseur de gaz	sécher et refroidir l'échantillon de gaz	Présence des gouttelettes d'eau dans le circuit aval du refroidisseur	Défaut relatif au sécheur	Présence d'humidité dans le gaz échantillonné. => Résultats erronés. Arrêt de la cabine.	2	4	3	C
Analyseurs advance Optima O ₂ , NO/ CO, SO ₂	Mesurer la concentration de NO/CO ,SO ₂ et en O ₂ dans l'échantillon prélevé	Défaut relatif aux analyseurs.	Mauvaise étalonnage. Défaut électrique.	Résultats erronés. Arrêt de la cabine.	2	4	3	C

Tableau 7 : La criticité de l'unité du conditionnement

LAFARGE MEKNES	AMDEC PRODUIT				Tableau 4/6			
Système : Cabine d'analyse O2, NO/CO, SO2 Sous système : Transfert et circulation de l'air comprimé								
Elément	Fonction	Mode	Cause	Effet	F	G	N	C
Vanne de l'air comprimé	Autoriser ou d'interrompre circulation de l'air comprimé	Perte de la jonction filetage taraudage.	Vieillessement Fatigue.	Absence de contrôle de l'air comprimé (circuit amont de la vanne).	1	2	1	A
Electrovannes : EV.filtre EV.tube, EV.fourreau, EV.purge	Autoriser ou d'interrompre circulation du gaz (commandées)	Partie électrique grillée (bobine). Perte de la raideur du Ressort de rappel.	Surintensité. vieillessement.	Autorisation ou interruption non value du fluide.	2	2	3	B
Filtre céramique	séparer la poussière dans du flux gazeux	Colmatage.	Mauvais cycle de ringardage et/ ou présence d'humidité.	Influence sur le débit d'analyse exigé. => Mesures erronées.	2	3	2	B

Tableau 8 : La criticité des équipement de l'air comprimé

LAFARGE MEKNES	AMDEC PRODUIT					Tableau 5/6			
	Système : Cabine d'analyse O2, NO/CO, SO2 Sous système : Protection, liaisons électriques et accessoires								
Elément	Fonction	Mode	Cause	Effet	F	G	N	C	
Disjoncteur magnétique	Protection contre les courts circuits	Etre grillé si I>pouvoir de coupure	Surintensité et mauvais dimensionnement du fusible	Arrêt de la cabine Endommager des éléments si I> I coupure	1	3	2	A	
Fusible	Protection contre les courts circuits	Fusion	Surintensité	Arrêt de la cabine	2	3	2	B	
Contacteurs	Etablir ou interrompre le passage du courant (commandé)	Fusion des fils de la bobine. Usure des contacts par fatigue. Perte de la raideur du ressort de rappel	Surintensité Dépassement de la durée de vie.	Refus ou établissement d'une connexion non souhaitée. Mauvaise commande des éléments liés aux contacteurs. Arrêt de la cabine	4	4	2	C	
Fils électriques	Liaisons électriques	Manque de connexion	Mauvais serrage Coupure interne	Coupe-circuit/ Arrêt cabine	2	3	2	B	

Tableau 9 : La criticité des équipements électriques

LAFARGE MEKNES	AMDEC PRODUIT				Tableau 6/6			
	Système : Cabine d'analyse O ₂ , NO/CO, SO ₂ Sous système : Déplacement de la canne & Système de refroidissement							
Elément	Fonction	Mode	Cause	Effet	F	G	N	C
Moteur asynchrone	Déplacement de la canne	Ne démarre pas	Surcharge	Déformation de la canne	2	4	2	B
Réducteur de vitesse à engrenage	Réduire la vitesse de sortie/entrée de la canne	Blocage	Usure ou par la présence de poussière	Surcharge de moteur	3	4	3	C
Rail de déplacement	Chemin de déplacement de la canne	Entrée/sortie de la canne erronée	Formation de la matière sur le rail	Blocage de la canne	3	1	2	A
Variateur de vitesse	Commander la vitesse de rotation de ventilateur	La vitesse de ventilateur ne se change pas	Surintensité	Erreur de refroidissement de la canne	2	4	2	B

Tableau 10 : La criticité des équipements de refroidissement et déplacement de la canne

La hiérarchisation suivant l'échelle de criticité permet de décider les actions prioritaires. Le classement est fait par ordre décroissant en quatre catégories:

Valeur de criticité	Définition	Catégorie
1-8	Négligeable	A
9-20	Moyenne	B
21-40	Elevée	C
41-64	Interdit	D

4. Actions préventives et correctives :

Il faut concentrer les actions de maintenance sur la catégorie C (causes ayant une criticité comprise entre 21 et 40) il faut appliquer une maintenance systématique (changement du filtre papier pour sécheur...).

La catégorie D (causes ayant une criticité comprise entre 41 et 64) qui nécessite une maintenance préventive conditionnelle (capteurs,...) n'existe pas dans les équipements de la cabine d'analyse.

Pour la 1ère et 2ème catégorie il est conseillé d'appliquer une maintenance corrective.

Le tableau 11 présente un planning des interventions sur les composantes critiques de la cabine d'analyse :

Planning des interventions mensuelles : Cabine d'analyse de O ₂ , CO/NO et SO ₂					
Elément	Action de maintenance	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4
Analyseurs	Contrôle				
	Contrôle par gaz étalons NO, O ₂				
	Nettoyage des lentilles				
	Vérification de l'intensité IR				
	Calibration des bouteilles gaz étalon des éléments O ₂ , CO/NO, SO ₂				
	Elimination des défauts analyseur				
Refroidisseur	Contrôle				
	Changement des papiers-filtres				
	Contrôle réservoir réactif refroidisseur				
	Contrôle/ vidage réservoir condensats				
	Changement des filtres papier				
	Débouchage des conduites du sécheur				
Pompes	Contrôle et nettoyage				
Réducteur de vitesse	Nettoyage manuel				
	Lubrification				
Contacteurs	Contrôle sonore				
Cabine d'analyse	Dépoussiérage,				
La canne de prélèvement	Nettoyage automatique par l'air comprimé	chaque 20 minute			

Tableau 11 : Planning de la maintenance préventive

Conclusion :

Après l'exploitation des résultats de l'analyse AMDEC appliquée à la cabine d'analyse, il est devenu facile de mettre le point sur les risques de dysfonctionnement du système.

Conclusion et perspectives

Ce projet consiste à l'élaboration d'un programme automatisme qui permet de commander la cabine d'analyse des gaz O_2 , CO/NO et SO_2 située à l'entrée de four, ainsi la justification de choix des équipements nécessaires et de faire une étude sur la sûreté de fonctionnement pour augmenter la fiabilité de la cabine.

Après avoir présenté le fonctionnement du dispositif d'analyse et formulé le cahier des charges qui décrit les séquences du système et le principe de fonctionnement, nous avons réalisé le Grafcet et le Ladder de commande avec des simulations dont le but est de valider le travail.

Finalement, nous avons procédé à une étude AMDEC pour évaluer la criticité des défaillances du système et de proposer un échéancier de maintenance pour la réduire et rendre le dispositif plus fiable.

Vu ce qui précède, l'étude consiste à la programmation d'une cabine d'analyse pour une meilleure optimisation de la conduite du four, ainsi un contrôle efficace des émissions polluantes.

Notre travail aidera l'entreprise à réduire le nombre des opérateurs humains, le nombre des accidents et éviter tout risque de défaut et de pertes de temps.

Le programme réalisé sera par la suite implémenté dans l'automate ce qui va permettre à l'entreprise d'améliorer le fonctionnement de la cabine suivi par une supervision afin de bien contrôler le système.

Bibliographie :

- [1] Documentation de LafargeHolcim usine de Meknès.
- [2] <http://www.siemens.com/industrialsecurity>
- [3] <http://www.automation-sense.com/pages/cours-step-7.html>
- [4] <http://www.abb.com>
- [5] <http://www.e-cours.com/search/label/automatisme>
- [6] <http://www.univ-reims.fr/site/laboratoires/meserp/descriptif-des-logiciels,9486,27015.html>
- [7] Les outils de la performance industrielle www.genie-electromecanique.com

Annexes

Annexe 1 : Les automates programmables

Les automates programmables industriels (API) est un appareil de traitement de l'information qui effectue des fonctions d'automatisme programmées telles que : logique combinatoire, séquençement, temporisation, comptage, calculs numériques, asservissement et régulation. Pour commander, mesurer et contrôler au moyen de signaux d'entrées et de sorties (logique ou analogique) différentes sortes de machines ou processus, en environnement industriel, il existe plusieurs fabricants d'automates : Schneider, Siemens, Crouzet, Omron, Koyo, Allen Bradley.

1. Structure d'un système automatisé :

Tout système automatisé peut se décomposer selon le schéma ci-dessous :

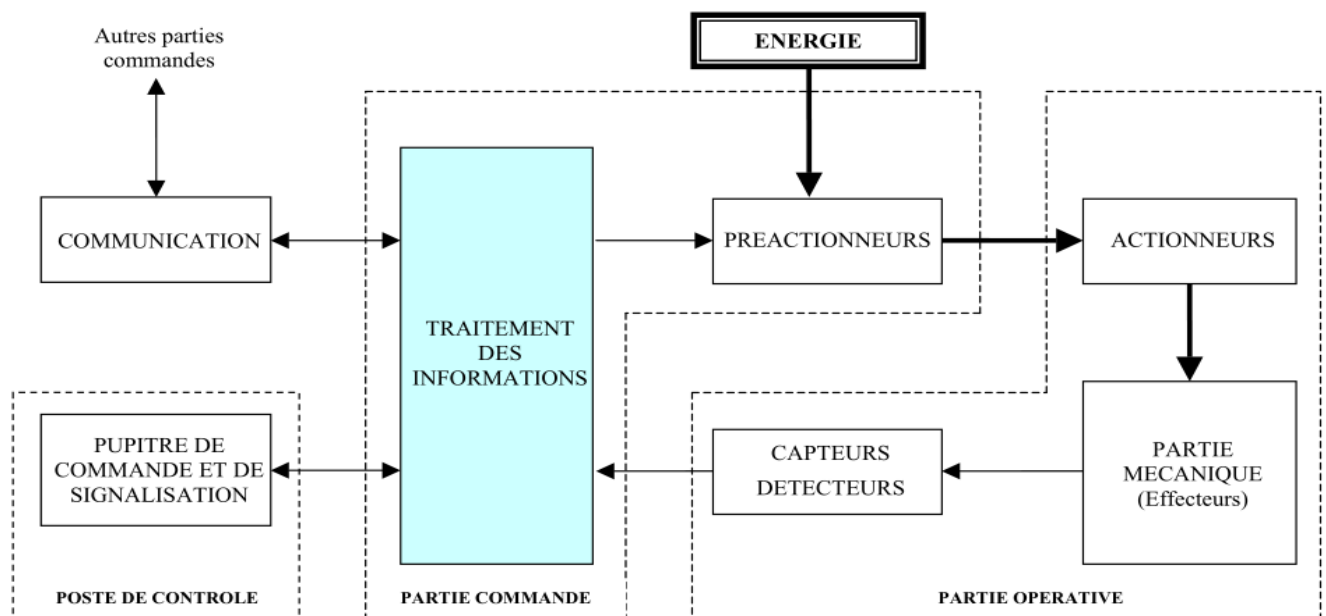


Figure 42 : Structure d'un système automatisé

2. Architecture des automates :

2.1.Aspect extérieur

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 crouzet...) des micros automates. Il intègre le processus, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S 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 processus, l'alimentation et les interfaces d'entrées/ sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks. Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes où puissance, capacité de traitement et flexibilité sont nécessaires.

2.2. Caractéristiques techniques :

Les caractéristiques principales d'un API sont :

- Compact ou modulaire
- Tension d'alimentation
- Taille mémoire
- Temps de scrutation
- Sauvegarde (EPROM, EEPROM, pile,...)
- Nombre d'entrées / sorties
- Modules complémentaires (analogique, communication,...)
- Langage

2.2.1. Unité centrale

L'unité centrale est le regroupement du processus et de mémoire centrale. Elle commande l'interprétation et l'exécution des instructions programmées. Les instructions sont effectuées les unes après les autres, séquencées par une horloge.

2.2.2. Mémoire

Deux types de mémoire :

- La mémoire Langage où est stocké le langage de programmation. Elle est en général figée, c'est-à-dire en lecture seulement. (ROM : mémoire morte)
- La mémoire Travail utilisable en lecture-écriture pendant le fonctionnement c'est la RAM (mémoire vive)

Le transfert de l'EPROM ou EEPROM vers la mémoire RAM de l'automate, s'effectue à chaque reprise secteur et si le contenu de celle-ci est différent.

2.2.3. Les modules Entrées-Sorties

Il existe différents modules entrées sorties soit :

- Module d'extension d'entrées/ sortie TOR
- Module réseau : communication entre automate
- Module d'extension d'entrées analogiques (0-10V)
- Module d'extension de sorties analogiques (0-10V)

2.2.3.1. Branchement des entrées TOR

Le principe de raccordement consiste à envoyer un signal électrique vers l'entrée choisie sur l'automate dès que l'information est présente.

L'alimentation électrique peut être fournie par l'automate (en général 24V continu) ou par une source extérieure.

Un automate programmable peut être à logique positive ou négative.

- Logique positive : Le commun interne des entrées est relié au 0V.
- Logique négative : Le commun interne des entrées est relié au 24V.

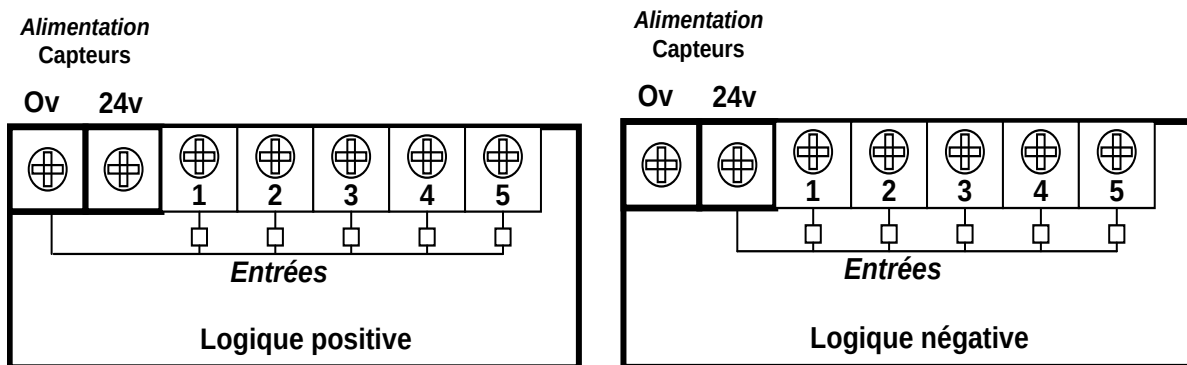


Figure 43 : Branchement des entrées logiques

2.2.3.2. Branchement des sorties :

Le principe de raccordement consiste à envoyer un signal électrique vers le pré-actionneur connecté à la sortie choisie de l'automate dès que l'ordre est émis.

3. Critères de choix d'un automate :

Le choix d'un automate programmable est en premier lieu le choix d'une société ou d'un groupe et les contacts commerciaux et expériences vécues sont déjà un point de départ.

Le personnel de maintenance doit toutefois être formé sur ces matériels et une trop 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 : certaines cartes (commande d'axe, pesage ...) permettront de "soulager" le processeur et devront offrir les caractéristiques souhaitées (résolution, ...).
- 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 ...).

Annexe 2: SIMATIC STEP 7 & Wincc flexible

L'assistant de STEP 7 est par défaut toujours activé. Celui-ci a pour but de vous assister dans la création de votre projet STEP 7. La structure du projet sert à ordonner les données et programmes créés au cours du projet.

Double-clique sur l'icône SIMATIC Manager et on crée un nouveau projet sous le nom « Cabine d'analyse » et on choisit la configuration de matériel nécessaire.

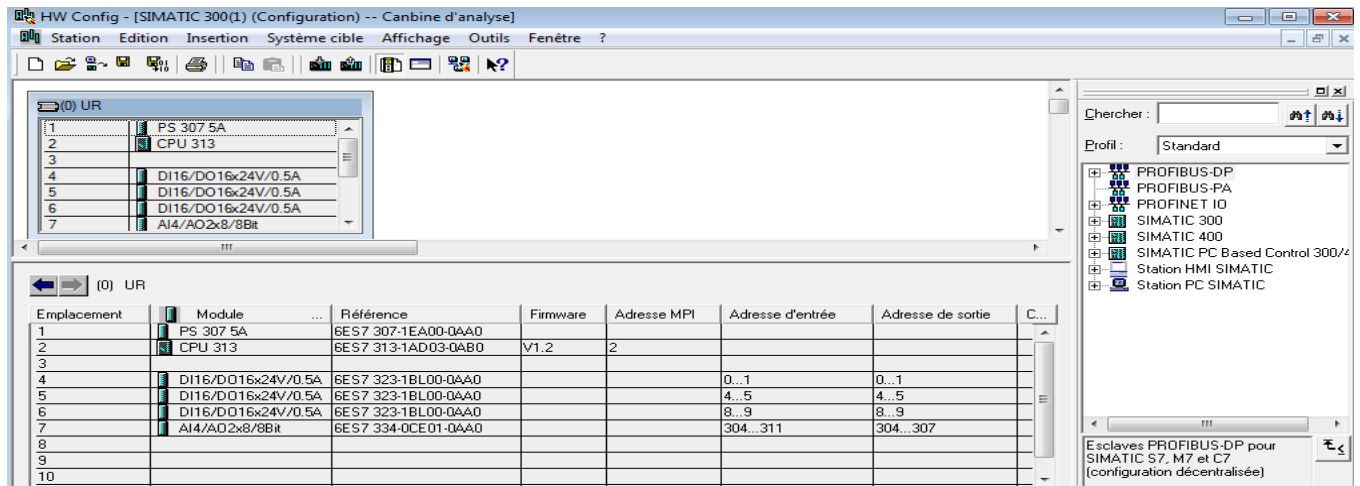


Figure 44 : Configuration de matériels sur STEP7

	Nom de l'objet	Nom symbolique	Type	Taille	Auteur	Date de modification
	Matériel	...	Configuration de la stat...	...		07/05/2017 13:56:52
	CPU 313	...	CPU	...		07/03/2017 10:06:37

Après On choisit le langage de programmation pour le bloc d'organisation OB1 : CONT, LOG ou LIST.

L'utilisation du langage GRAFCET et LADDER dans SIMATIC Manager STEP7

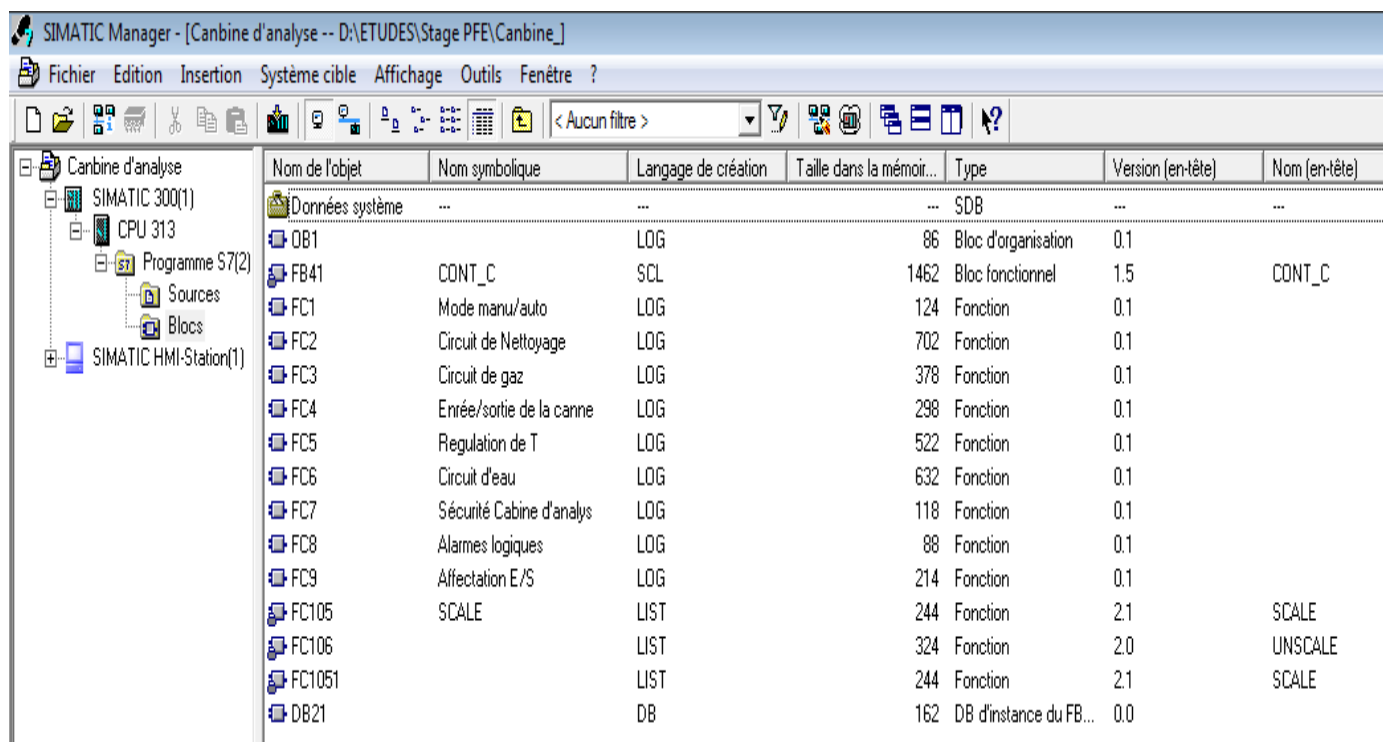
Afin de créer un projet basé sur l'outil GRAFCET ou LADDER, on clique bouton droite sur blocs organisation OB1 et insérer un nouvelle objet, et on suit les étapes suivants :

- Pour créer un projet grafcet : On choisit le bloc fonctionnel, après on choit comme langage de programmation "GRAPH" :
- Pour créer un projet LADDER : On choisit fonction, après on choisit comme langage de programmation CONT, LOG ou LIST.

Les blocs créés dans le projet sont comme suit :

- ✓ Blocs d'organisation OB1 : Permet de gérer l'ensemble des blocs.
- ✓ Bloc fonction FC1 : Permet de commuter entre le mode manuel et le mode automatique de système.

- ✓ Bloc fonction FC2 : Permet d'effectuer les actions pour l'opération de nettoyage de canne
- ✓ Bloc fonction FC3 : permet de gérer automatiquement l'ensemble des défauts qui présent dans le circuit gaz de système.
- ✓ Bloc fonction FC4 : Effectuer l'opération de sortie cyclique de la canne et les opérations d'entrée/sortie de la canne en mode manuel.
- ✓ Bloc fonction FC5 : C'est un bloc de régulateur PID de température
- ✓ Bloc fonction FC6 : Permet de gérer l'ensemble des défauts de circuit de l'eau de refroidissement (défauts de température, de pression et de débit).
- ✓ Bloc fonction FC7 : permet d'assurer la sécurité des personnes contre les fuites de gaz.
- ✓ Bloc fonction FC8 : permet de gérer les alarmes à afficher dans le Wincc flexible.
- ✓ Bloc fonction FC9 : C'est un bloc d'affectation des bits internes de programme aux entrées et sortie de système.



The screenshot shows the SIMATIC Manager interface. On the left, the project tree displays the hierarchy: Canbine d'analyse, SIMATIC 300(1), CPU 313, Programme S7(2), Sources, and Blocs. The main window displays a table of blocks.

Nom de l'objet	Nom symbolique	Langage de création	Taille dans la mémoire...	Type	Version (en-tête)	Nom (en-tête)
Données système	---	---	---	SDB	---	---
OB1		LOG	86	Bloc d'organisation	0.1	
FB41	CONT_C	SCL	1462	Bloc fonctionnel	1.5	CONT_C
FC1	Mode manu/auto	LOG	124	Fonction	0.1	
FC2	Circuit de Nettoyage	LOG	702	Fonction	0.1	
FC3	Circuit de gaz	LOG	378	Fonction	0.1	
FC4	Entrée/sortie de la canne	LOG	298	Fonction	0.1	
FC5	Regulation de T	LOG	522	Fonction	0.1	
FC6	Circuit d'eau	LOG	632	Fonction	0.1	
FC7	Sécurité Cabine d'analys	LOG	118	Fonction	0.1	
FC8	Alarmes logiques	LOG	88	Fonction	0.1	
FC9	Affectation E/S	LOG	214	Fonction	0.1	
FC105	SCALE	LIST	244	Fonction	2.1	SCALE
FC106		LIST	324	Fonction	2.0	UNSCALE
FC1051		LIST	244	Fonction	2.1	SCALE
DB21		DB	162	DB d'instance du FB...	0.0	

Figure 45 : Différents blocs de projet

Hiérarchie d'appel dans le programme utilisateur

On appelle hiérarchie d'appel l'ordre et l'imbrication des appels de blocs, le niveau de profondeur autorisé pour les imbrications dépend de la CPU.

L'exemple de la figure suivante illustre l'ordre et l'imbrication des appels de blocs dans un cycle de traitement.

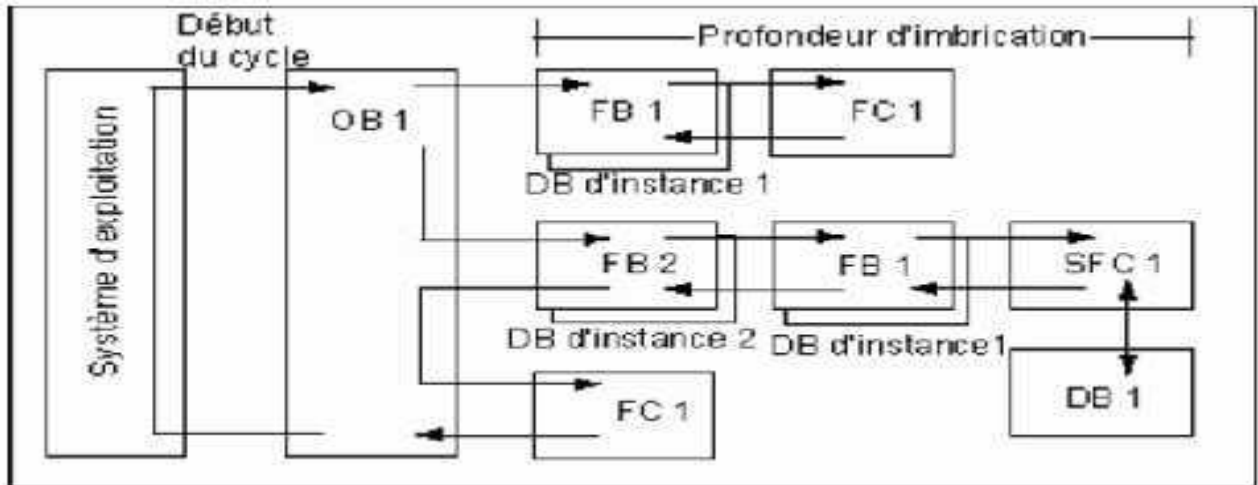


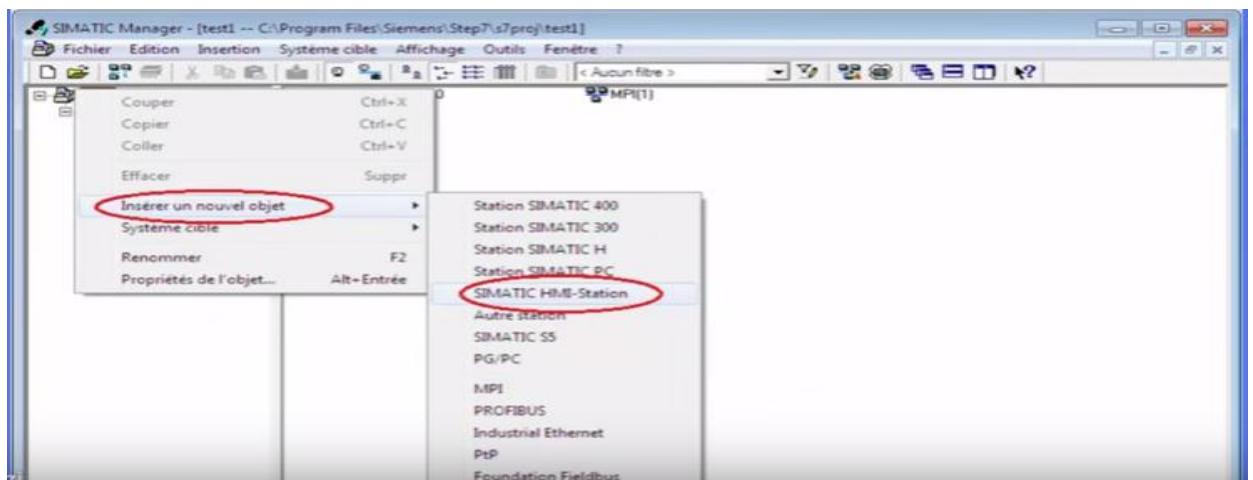
Figure 46 : Ordre d'appelle des blocs

Supervision par Win CC flexible Advanced :

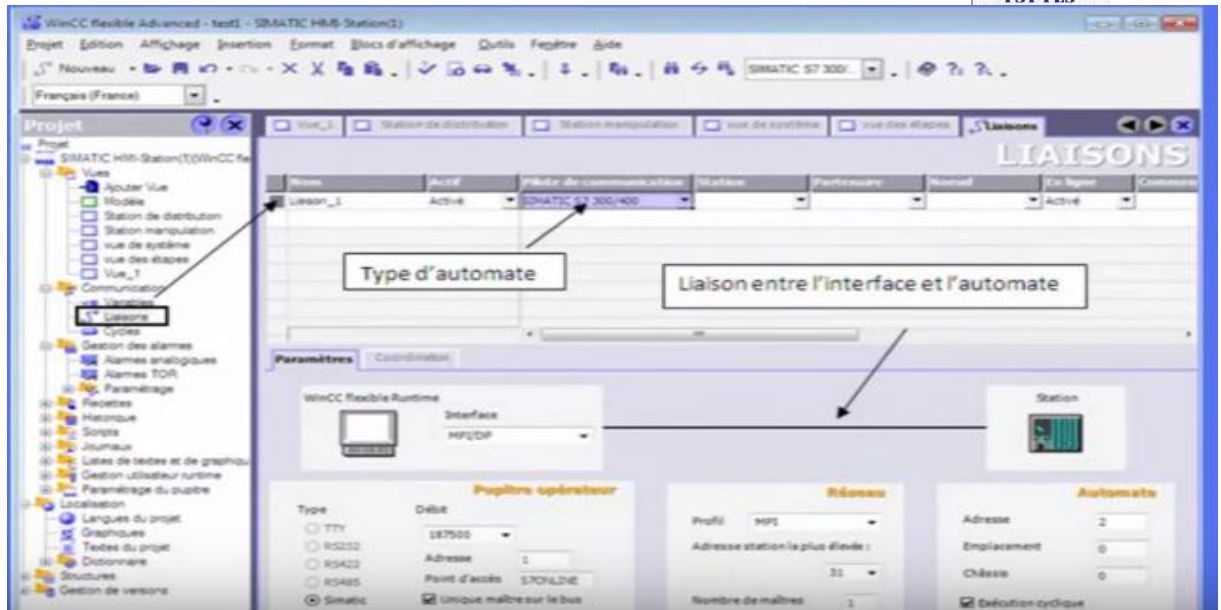
WinCC flexible Runtime est un logiciel performant pour la supervision du processus des projets créés avec le logiciel de configuration Win CC flexible Advanced

Les étapes suivies pour superviser le système traité, sont décrits ci-dessous :

- ✓ Installer le logiciel
- ✓ Créer un nouveau projet et l'intégrer avec Step 7.



- ✓ Faire une liaison entre le programme et sa supervision.



✓ Affecter les variables correspond à chaque matériel utilisé dans la chaîne.

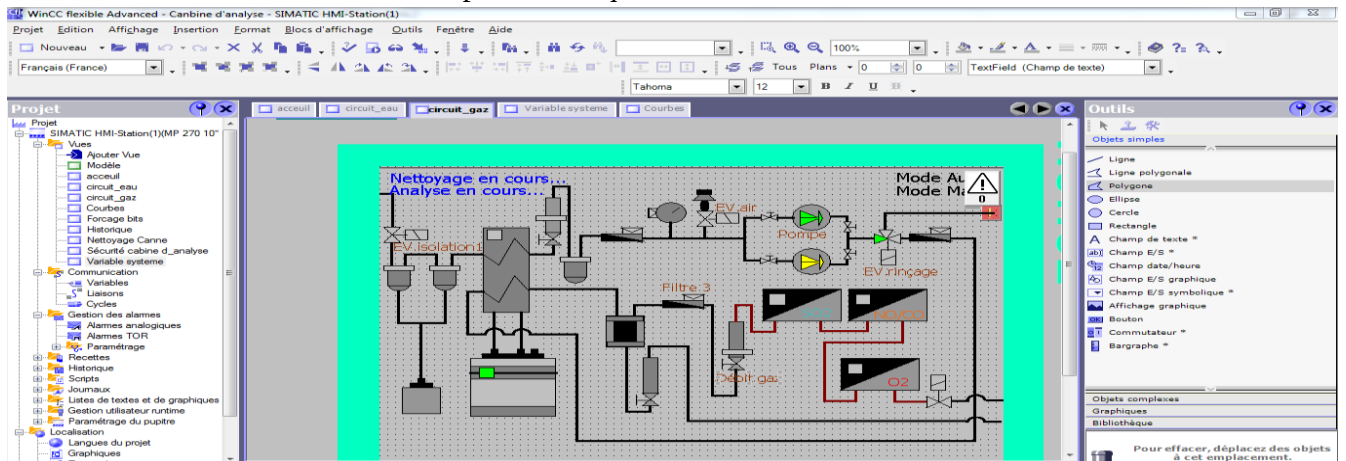


Figure 47 : Vue de supervision sur Wincc

Régulateur PID:

Le régulateur doit maintenir une mesure de température de l'eau de refroidissement égale à une consigne quelles que soient les perturbations subies par le procédé.

Un régulateur est constitué d'un comparateur pour observer l'écart entre la mesure et la consigne, et d'un correcteur dont l'algorithme permet d'obtenir une loi d'évolution de la mesure du procédé conforme au cahier des charges. Le correcteur a une action PID (Proportionnelle, Intégrale et Dérivée) et, associé à un comparateur, forme un régulateur PID.

Le bloc SFB41/FB41 "CONT_C" (continuous controller) sert à régler des processus industriels à grandeurs d'entrée et de sortie continues sur les automates programmables SIMATIC S7. Le paramétrage nous permet d'activer ou de désactiver des fonctions partielles du régulateur PID et donc d'adapter ce dernier au système réglé. Le bloc de régulateur PID utilisé dans le projet pour agir sur le variateur de vitesse en fonction de la température de l'eau est le suivant :

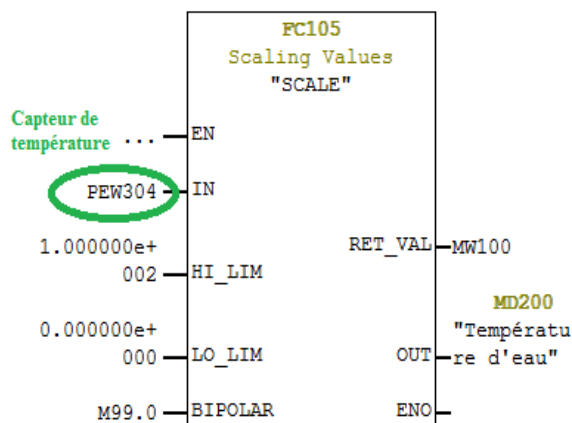


Figure 48 : Bloc de mise à l'échelle FC105

PEW 304 : Valeur d'entrée issue de capteur de température (Pt100) à convertir selon l'échelle en valeur réelle exprimée en unités physiques.

HI_LIM (100°C) : la limite supérieure de capteur.

LO_LIM (0°C) : la limite inférieure de capteur.

OUT (MD200) : Résultat de la conversion d'échelle

Dans l'algorithme PID, il est possible d'activer et de désactiver séparément chacune des action(P, I et D). L'action P, I ou D est active quand les

- ❖ Les entrées P_SEL, I_SEL et D_SEL est à 1 (voir la figure page suivant).
- ❖ Dans ce projet nous avons introduit des valeurs expérimentés comme entrées de régulateur PID tels que :
 - Le gain $K_p = 8.10^{-3}$ pour suivre l'évolution de température.
 - Temps d'intégration $T_I = 5s$
 - Temps de dérivation $T_D = 2s$
 - Retard de l'action par dérivation $T_{M_LAG} = 2$
 - Largeur de zone morte $DEADB_W = 1$
 - Retard de l'action par dérivation $T_{M_LAG} = 2s$
 - La consigne de température SP_INT valeur saisie par l'utilisateur dans le programme Wincc (bit interne MD232)
 - Valeur de mise en service issue de capteur de pression.
 - Sortie de régulateur LMN (variable interne MD248)

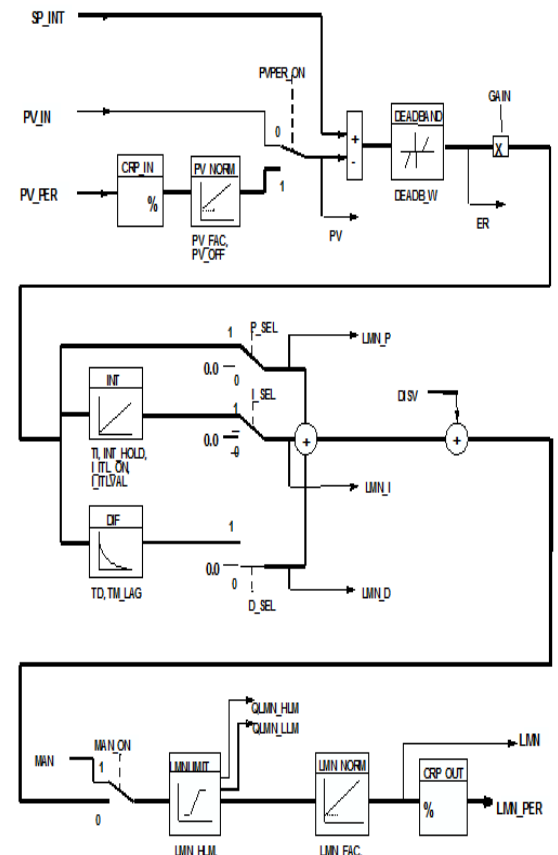
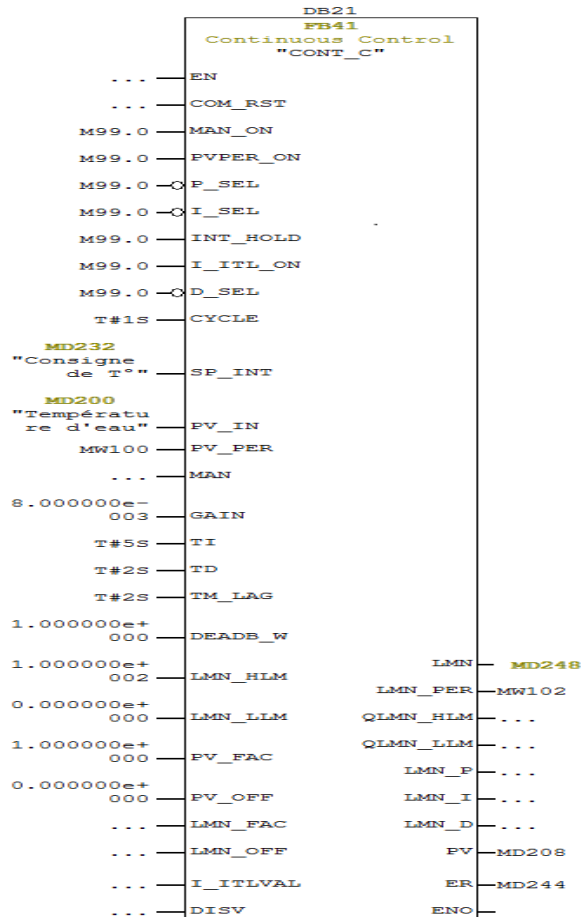


Figure 49 : Paramètres de régulateur PID

- ❖ La fonction Annuler la mise à l'échelle (UNSCALE) prend une valeur d'entrée réelle (IN) sortie de régulateur entre une limite inférieure (LO_LIM) et une limite supérieure (HI_LIM) et la convertit en entrée de variateur de vitesse (PAW 304 sortie de l'automate).

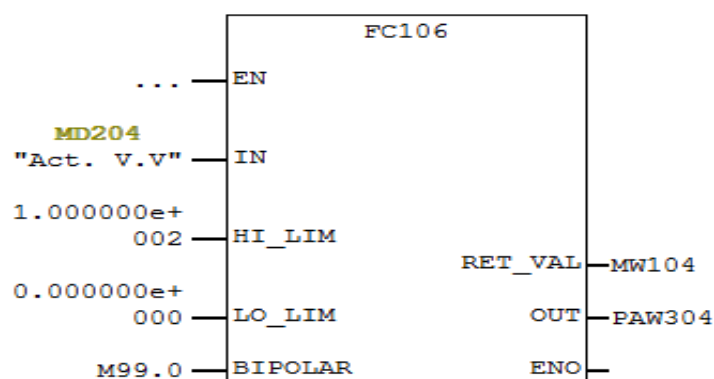


Figure 50 : La fonction annuler la mise à l'échelle

Signal horloge de programme :

Afin de déterminer le temps d'ouverture et le temps de repos des électrovannes. On a utilisé un signal d'horloge carré (astable) qui bascule entre l'état 0 et 1 d'une période de six seconds. Le programme suivant proposé illustre le circuit qui génère le signal d'horloge.

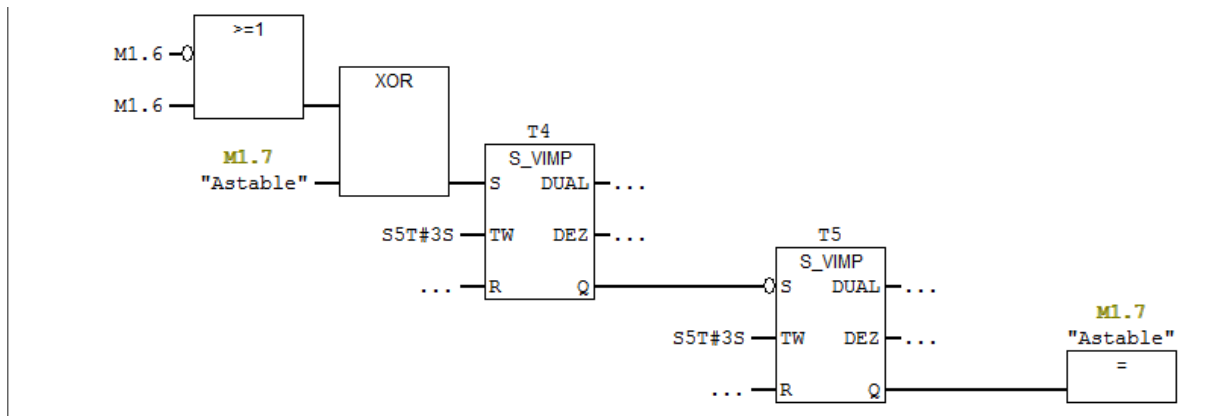
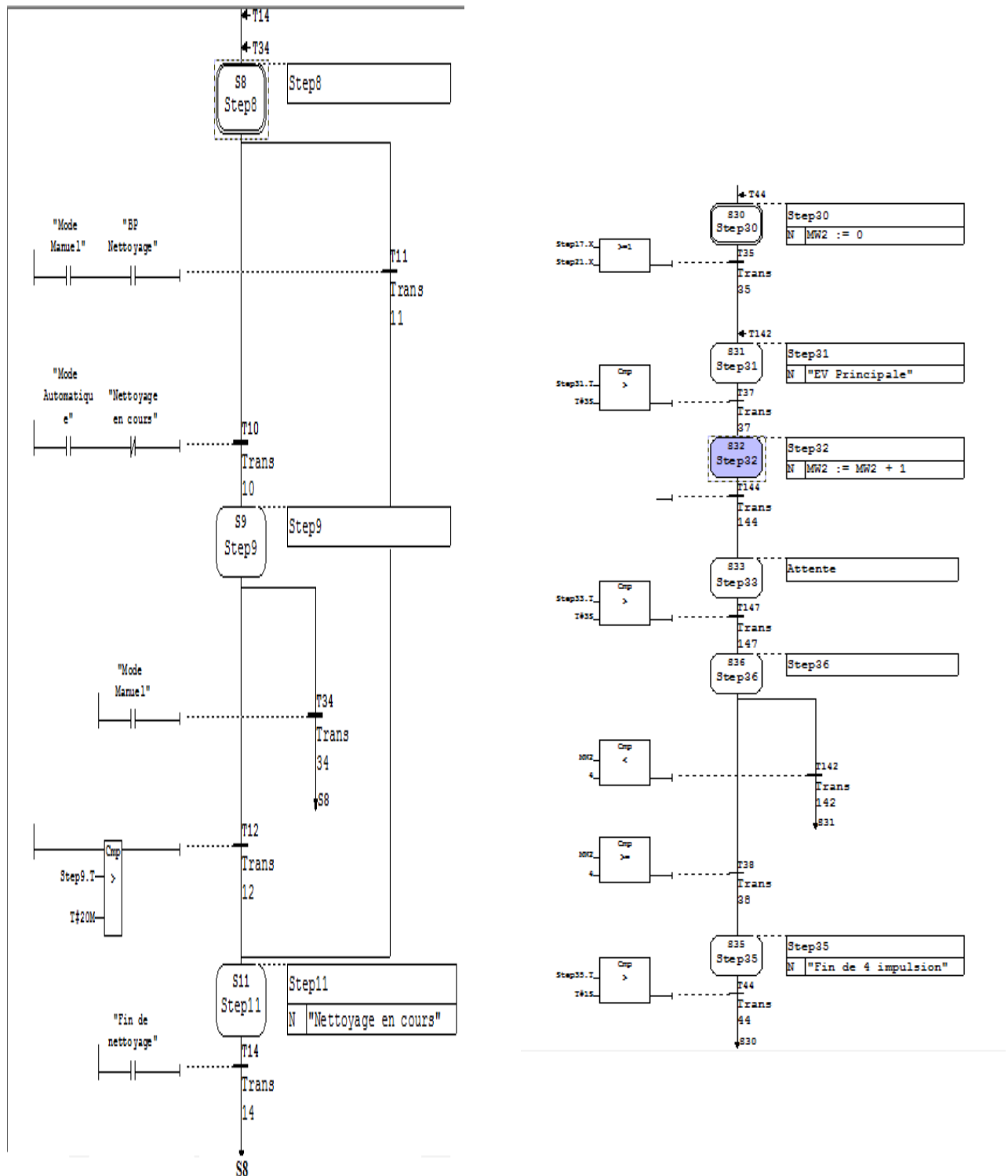


Figure 51 : Programme de signal horloge en step7

Le bit interne **M1.7** utilisé dans les autres blocs comme horloge.

Nettoyage de la canne :

Le programme suivant en grafcet de niveau 1(figure 52) c'est un programme de commande des opérations de nettoyage du système.



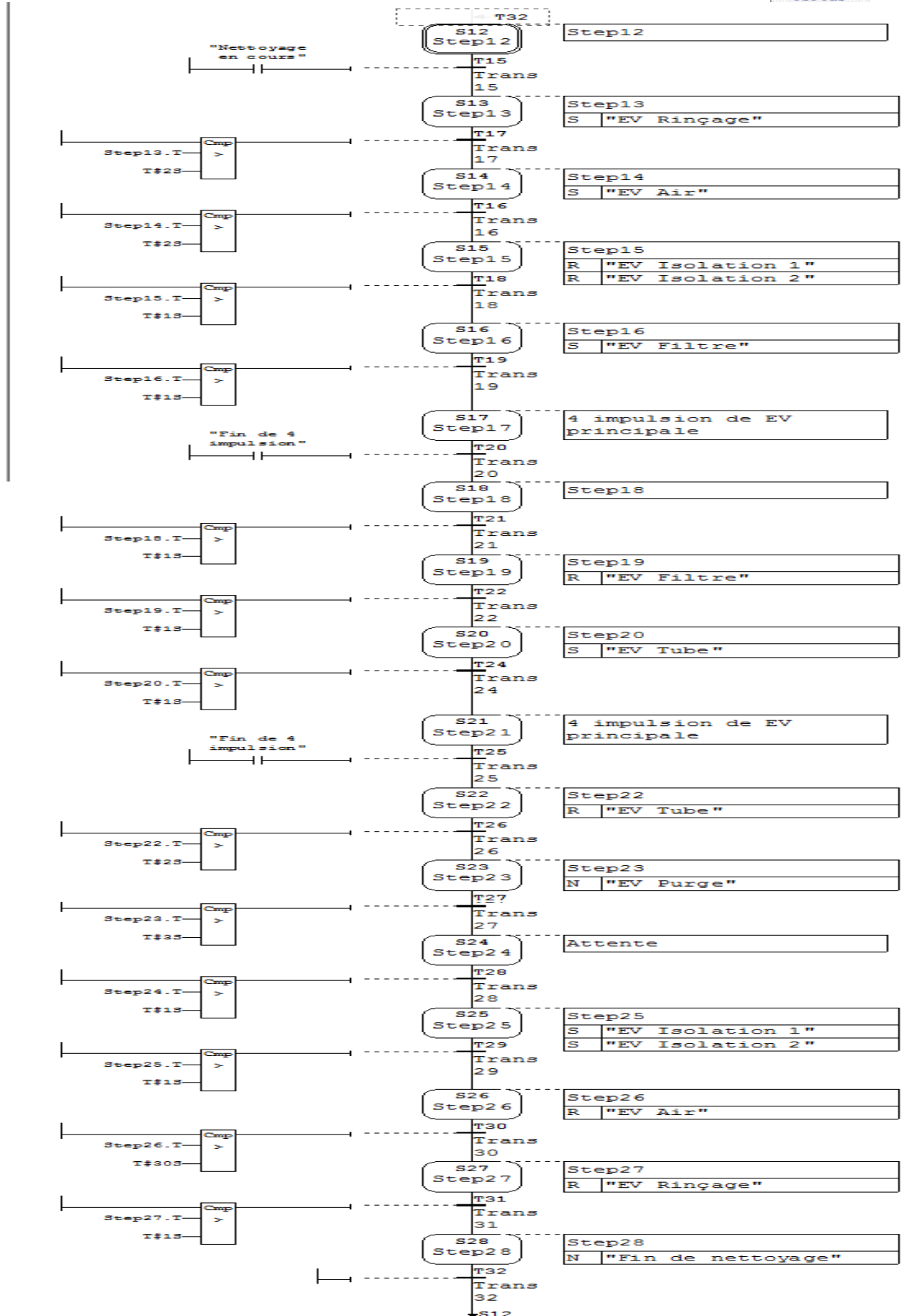


Figure 52 : Grafcet de l'opération de nettoyage

Animation de l'opération de nettoyage sur Wincc flexible

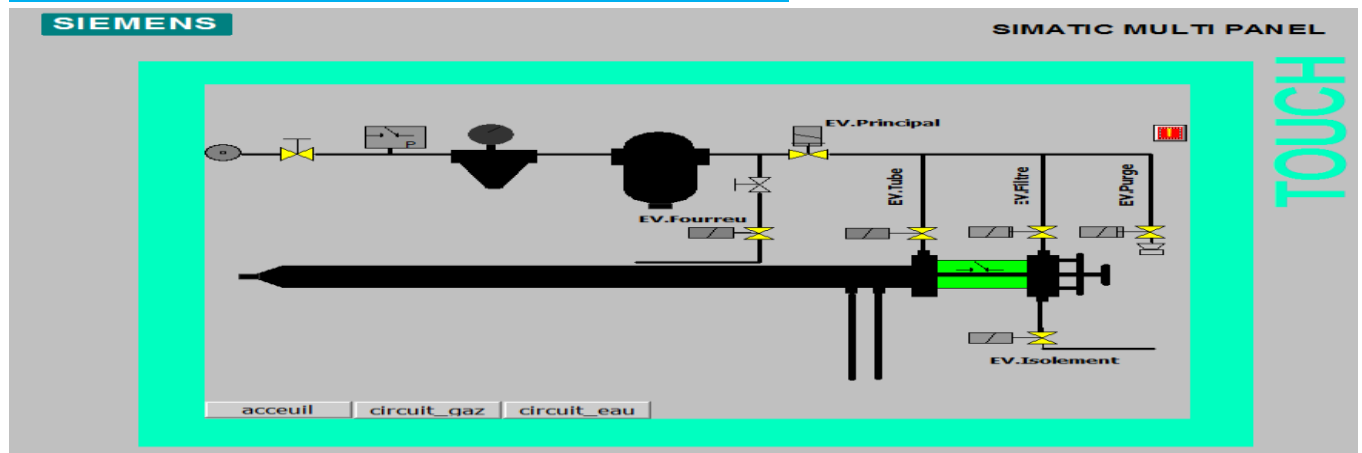
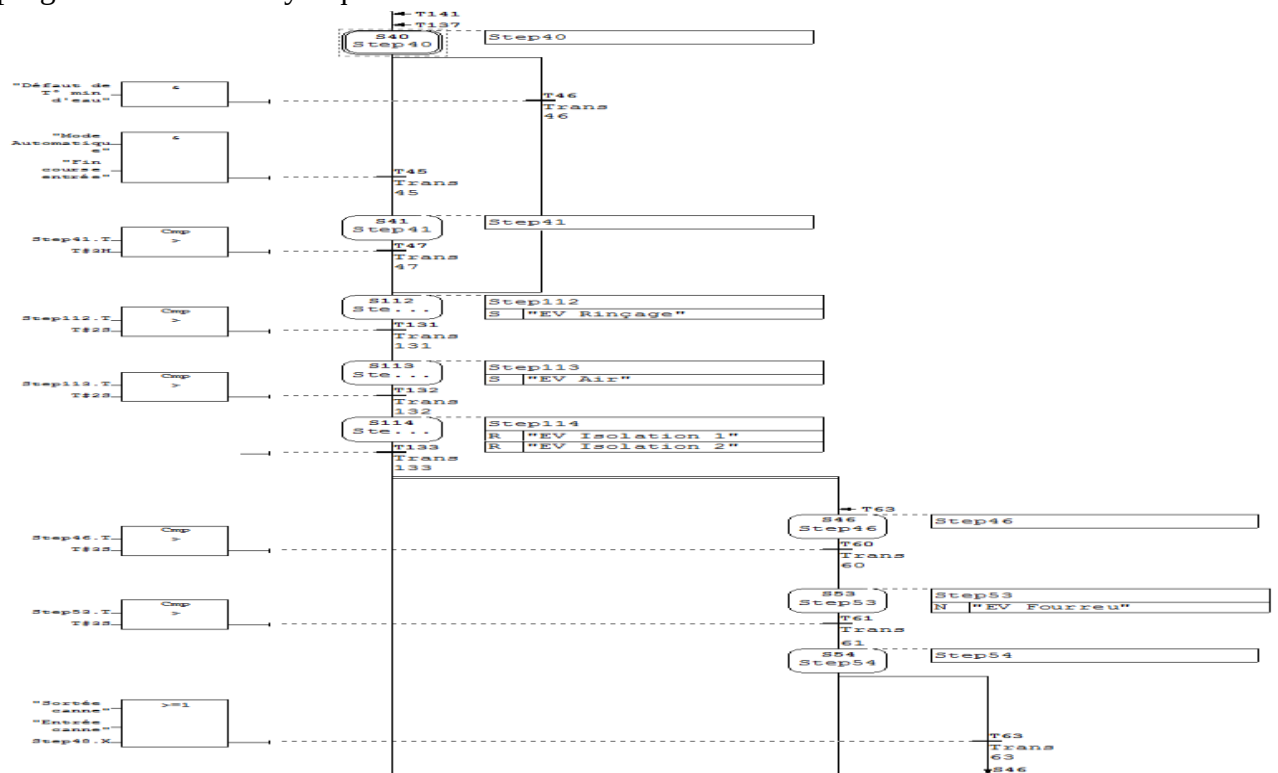


Figure 53 : Vue de nettoyage sur Wincc

Sortie cyclique de la canne :

Avant de commencer chaque sortie cyclique les électrovannes d'isolation EV1 et EV2 se ferment pour isoler la ligne de prélèvement de l'intérieure de la cabine à celui de l'extérieure, et les électrovannes EV.Rinçage, EV.Air s'ouvrent pour favoriser l'écoulement de l'air ambiant à travers la pompe.

Le programme de sortie cyclique en Grafcet de niveau 1 et en LADDER est le suivant :





Si un problème de débit ou pression de gaz échantillon est détecté le nettoyage de la canne s'enclenche automatiquement pour résoudre le problème le cycle de nettoyage se répète 4 fois si cette anomalie est encore existe. Par contre s'il reste ce problème malgré que le système a effectué 4 nettoyages le système quitte le mode analyse en cours

[illegible]

82

Gestion de défaut de filtre ou sécheur :

En cas d'un problème au niveau de 3ème filtre ou sécheur le système quitte l'analyse en cours. Ci-dessous le programme de commande par le grafct de niveau 1 et par LADDER.

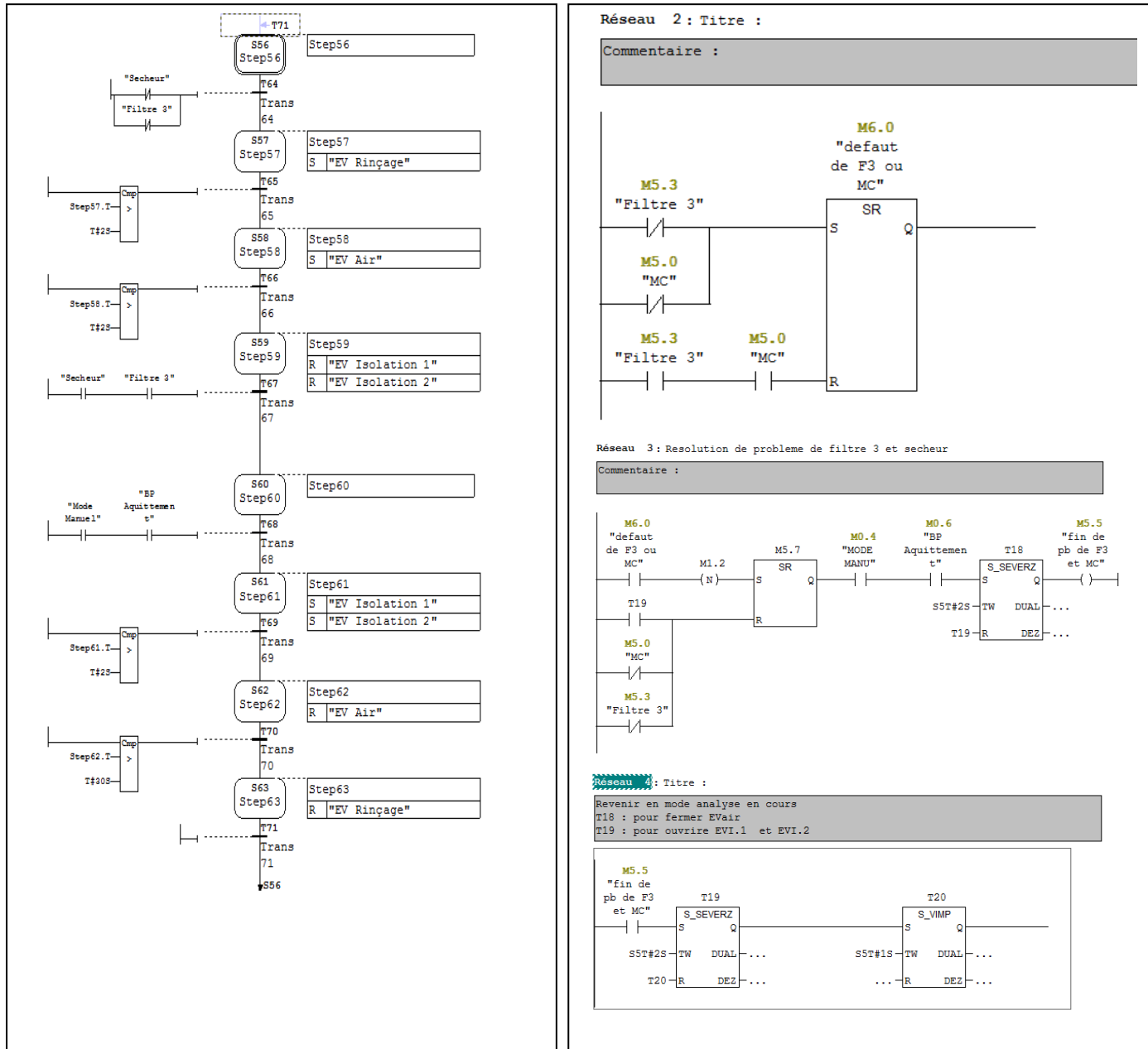


Figure 56 : Programme LADDER pour la gestion de problème de filtre ou sécheur

Animation des défauts de circuit de conditionnement sur Wincc flexible :

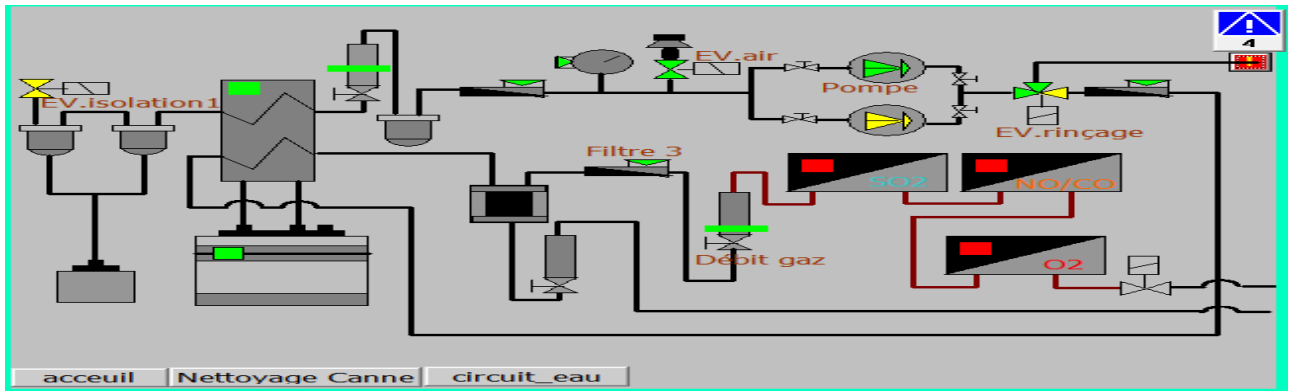
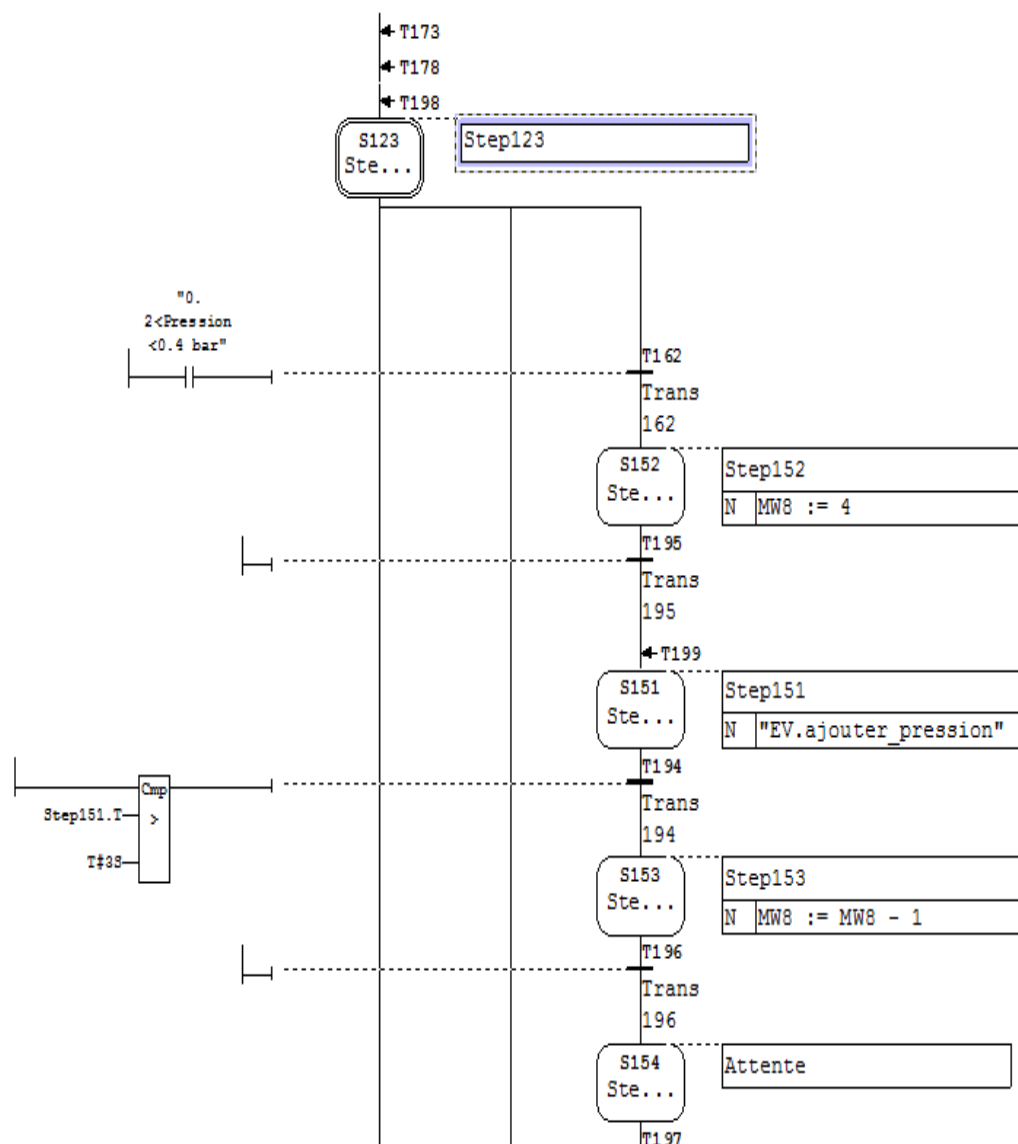


Figure 57 : Vue de circuit du conditionnement sur Wncc

Gestion des défauts de circuit de refroidissement :

Le circuit de refroidissement représente des problèmes liés à la température ou pression de l'eau. Le programme de commande proposé qui permet de gérer ces défauts sous Grafcet de niveau 1 est représenté comme suit :



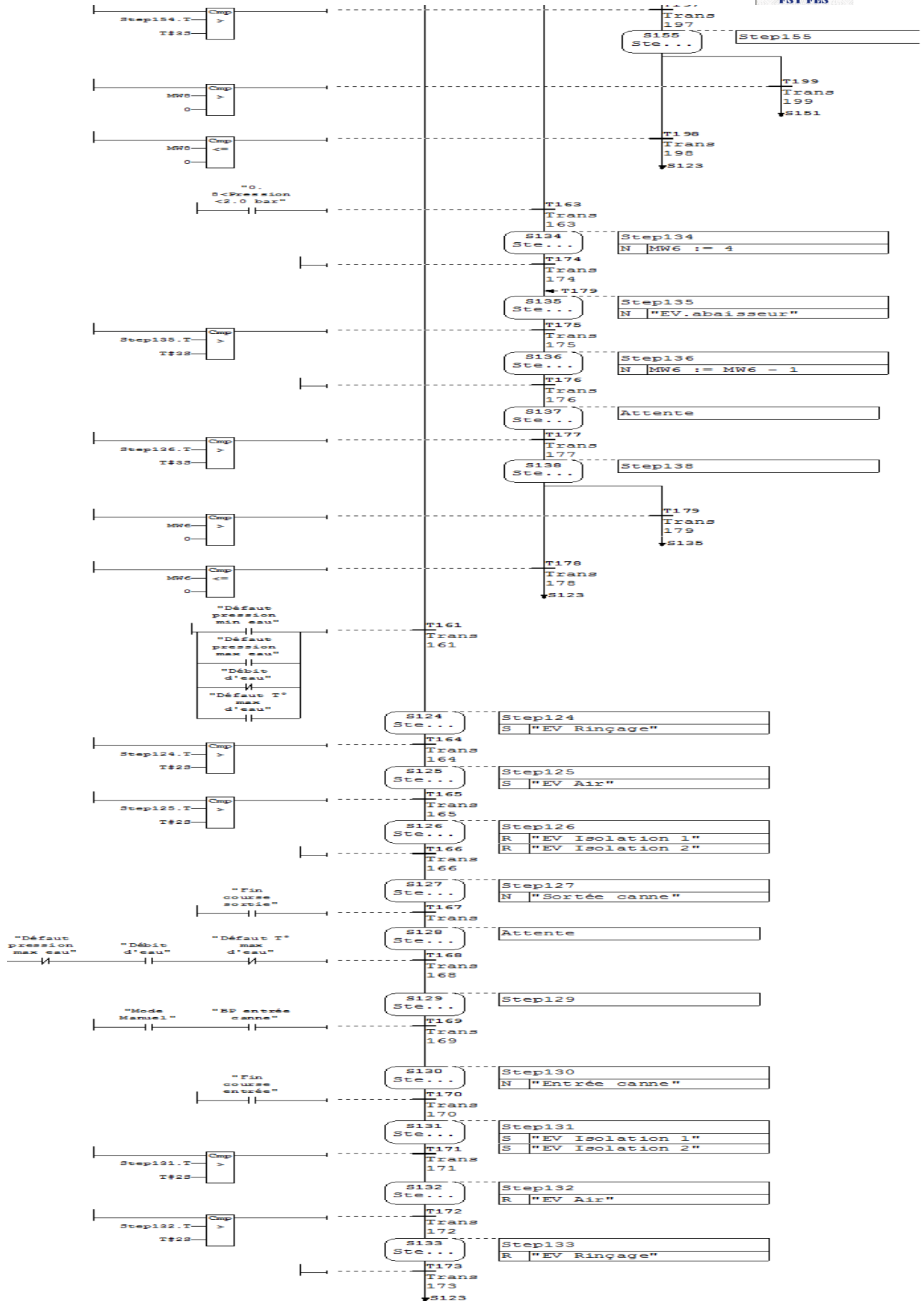


Figure 58 : Grapctet de circuit de refroidissement

Configuration des capteurs de température et de pression

- ✓ Les capteurs de température et de pression sont de type analogique. On doit configurer les deux modules analogiques (outil « Configuration matérielle ») afin qu'ils soient conforme aux deux tableaux ci-dessous :

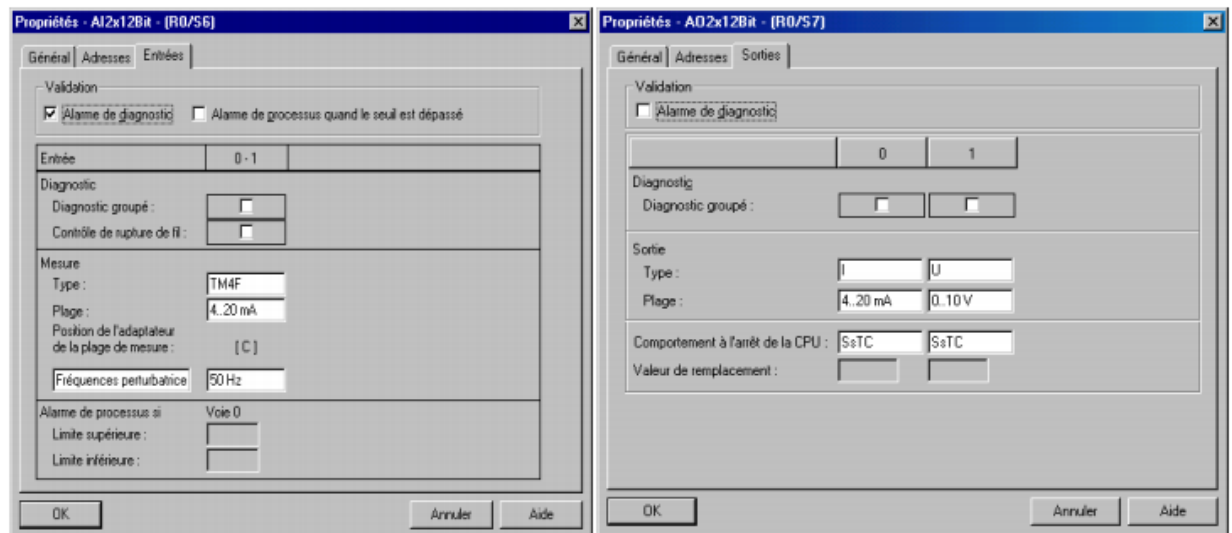


Figure 59 : Configuration des capteurs analogiques

- ✓ La conversion de la valeur numérique entière (plage nominale : entre 0 et 27648) de l'entrée analogique en valeur normée (normalisation) est réalisée par le bloc fonctionnel standard « Mise à l'échelle » (SCALE) FC105. La fonction FC 105 est fournie par STEP 7 dans la bibliothèque « Standard Library » dans le programme S7 « TI-S7 Converting Blocks »

➤ Défauts de température et débit de l'eau

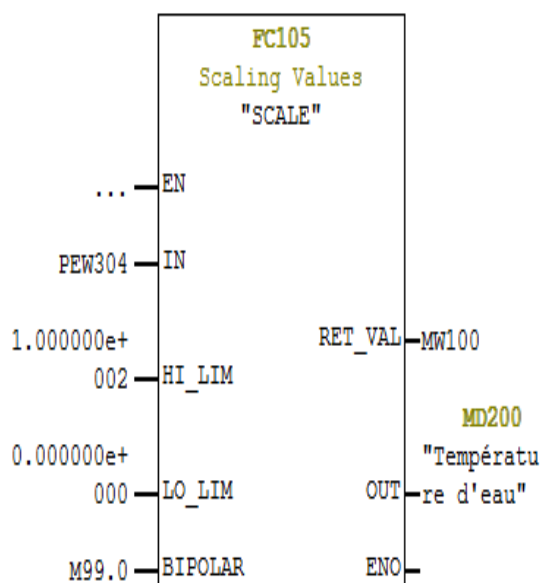


Figure 60 : Bloc FC105 sur Step7

PEW 304 : Valeur d'entrée issue de capteur de température (Pt100) à convertir selon l'échelle en valeur réelle exprimée en unités physiques.

HI_LIM (100°C) : la limite supérieure de capteur.

LO_LIM (0°C) : la limite inférieure de capteur.

OUT (MD200) : Résultat de la conversion d'échelle

Animation de circuit de refroidissement sur Wincc :

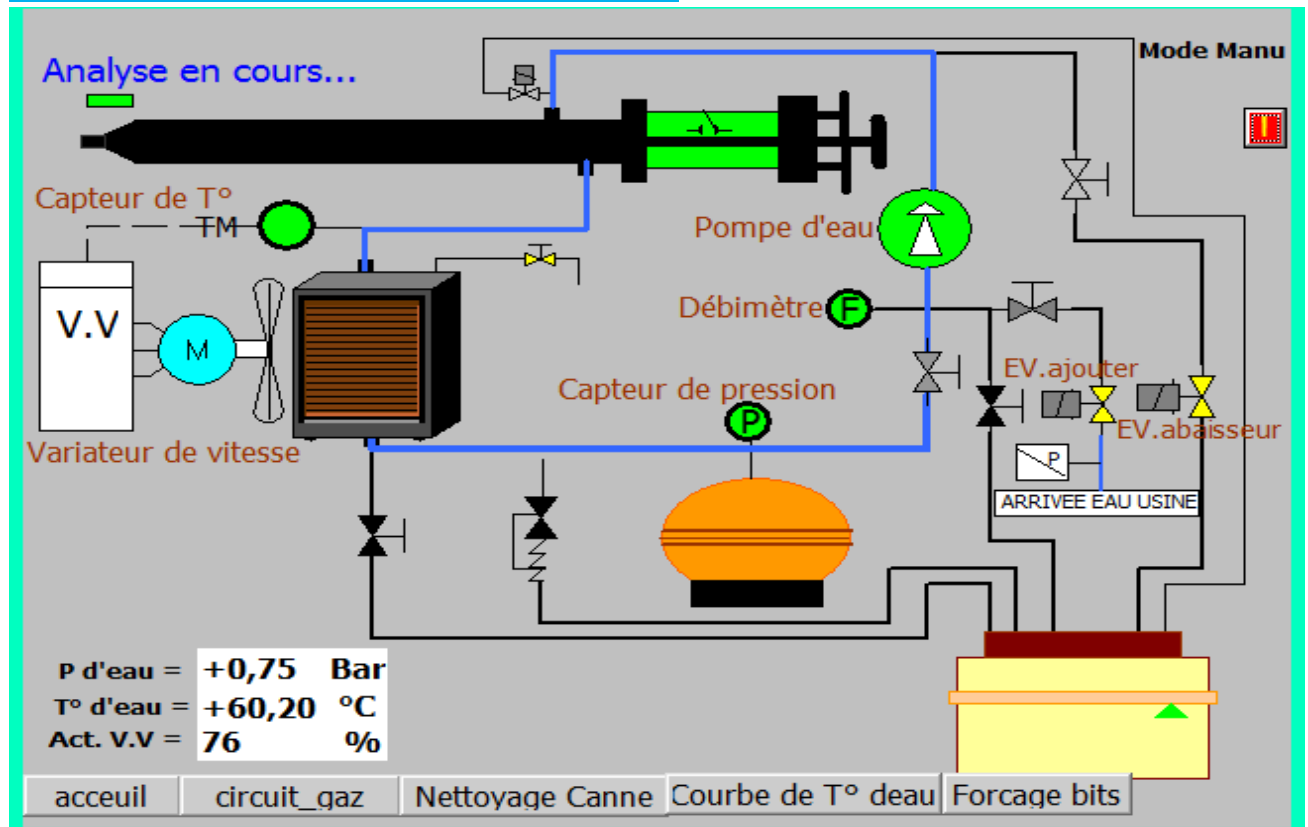


Figure 61 : Circuit de refroidissement en Step7

Affectation des variables de système :

Le bloc d'affectation permet d'affecter les bits mémoires utilisés dans le programme aux entrées et sorties de l'automate. Ci-dessous un exemple de programme LADDER d'affectation les autres variables sont déjà cités au chapitre 3 dans les tables de variables

Entrées/sorties

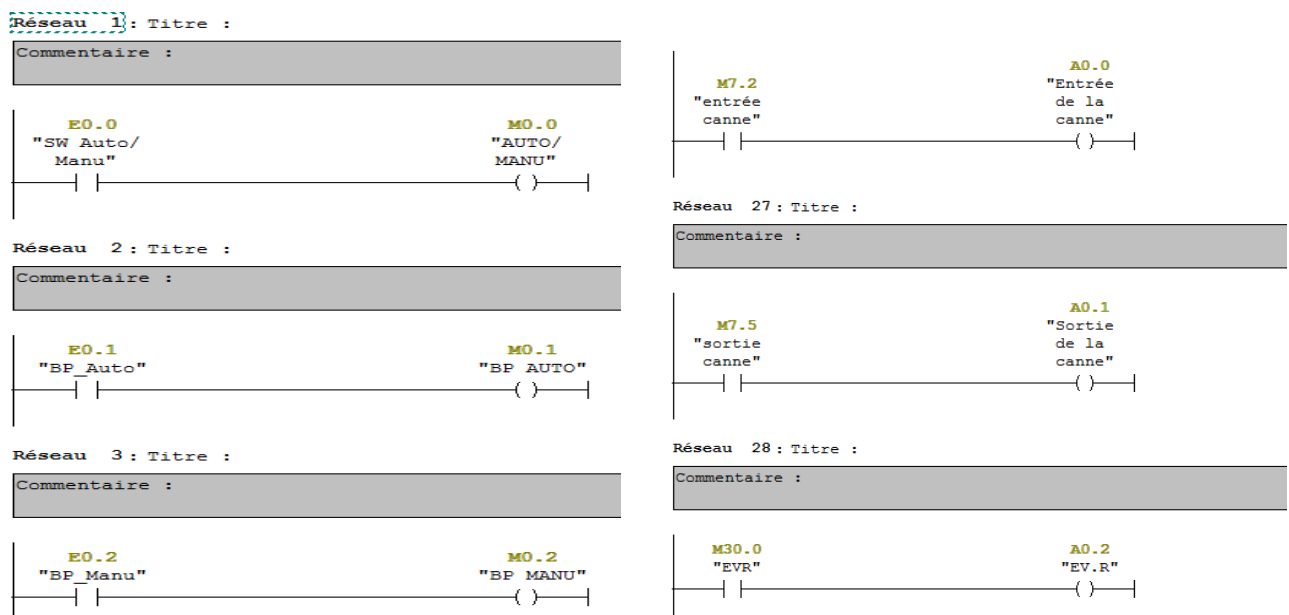


Figure 62 : Affectation des E/S

Gestions des utilisateurs et la saisie des paramètres de système par wincc

Toutes les fonctions disponibles sur l'installation ne peuvent être utilisées par tous les utilisateurs. Certaines tâches requièrent des qualifications spéciales ou sont limitées par le processus à certains groupes d'utilisateurs bien spécifiques.

Les paramètres de système (tel que les seuils de température et de pression, les paramètres de régulateur PID et le nombre des impulsions des électrovannes) doivent être protégés via la gestion des droits des utilisateurs sur le wincc.

Pour créer un groupe d'utilisateurs on clique sur gestion utilisateurs runtime >> utilisateurs.

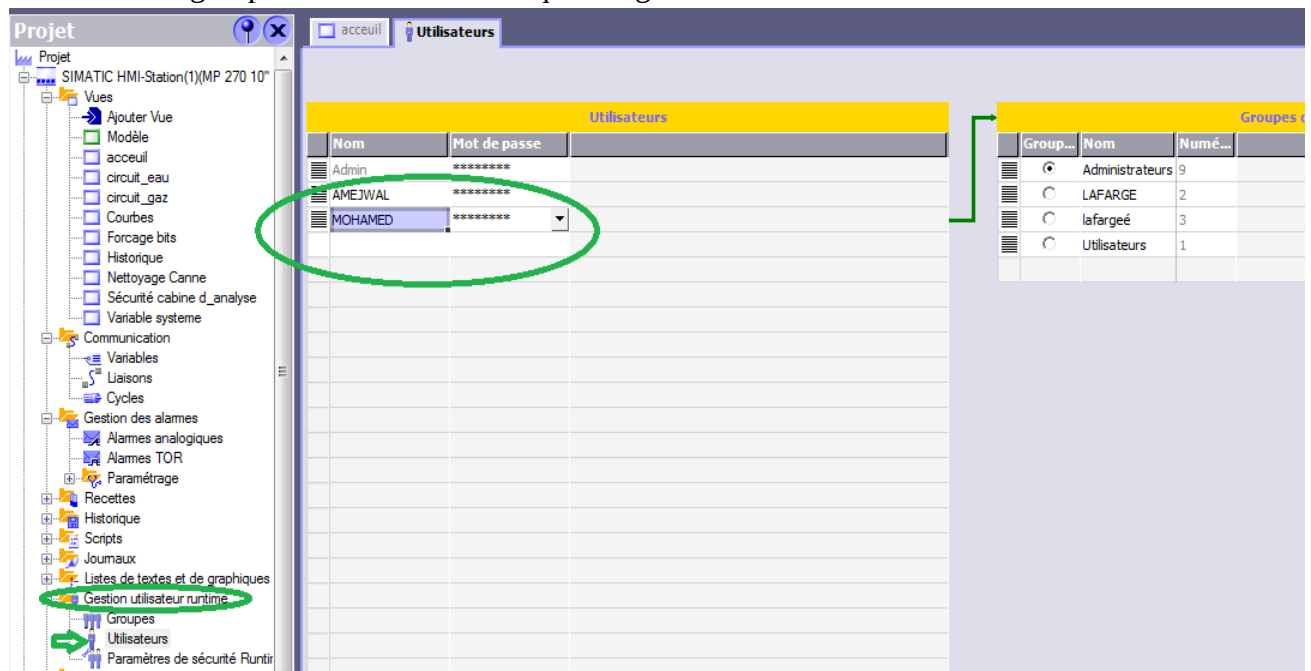


Figure 63 : Création d'un utilisateur sur Wincc

Afin de créer une vue de paramètres du système on clique sur le bouton vue (bouton qui affiche la vue) puis on clique sur événement pour choisir la fonction afficher dialogue connexion (qui permet de saisir le nom et le mot de passe créer auparavant dans la gestion des utilisateurs), après on choisit la fonction de l'activation de vue.

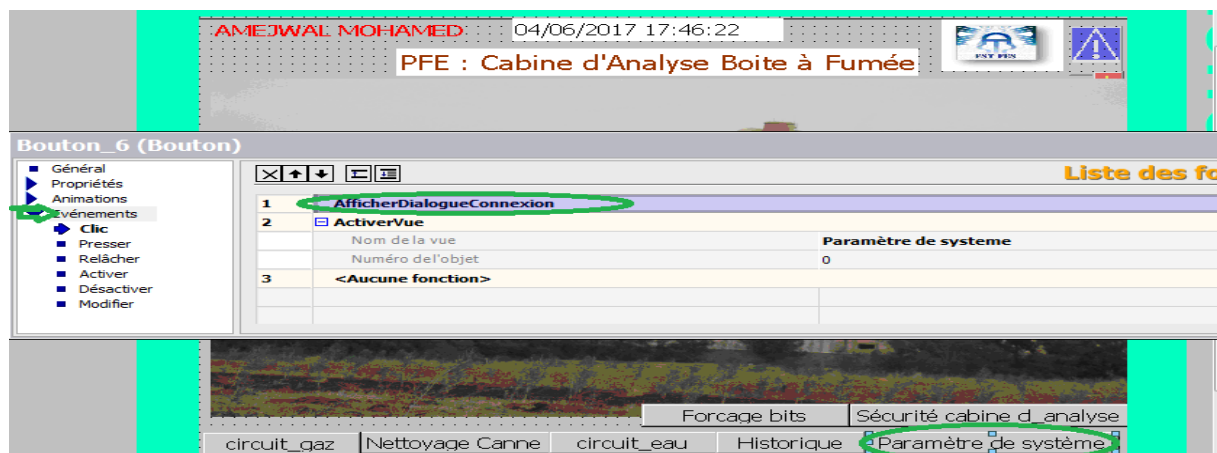


Figure 64 : vue de paramètres du système

La vue de Wincc qui permet de saisir les variables du programme de la cabine d'analyse est représentée comme suit :

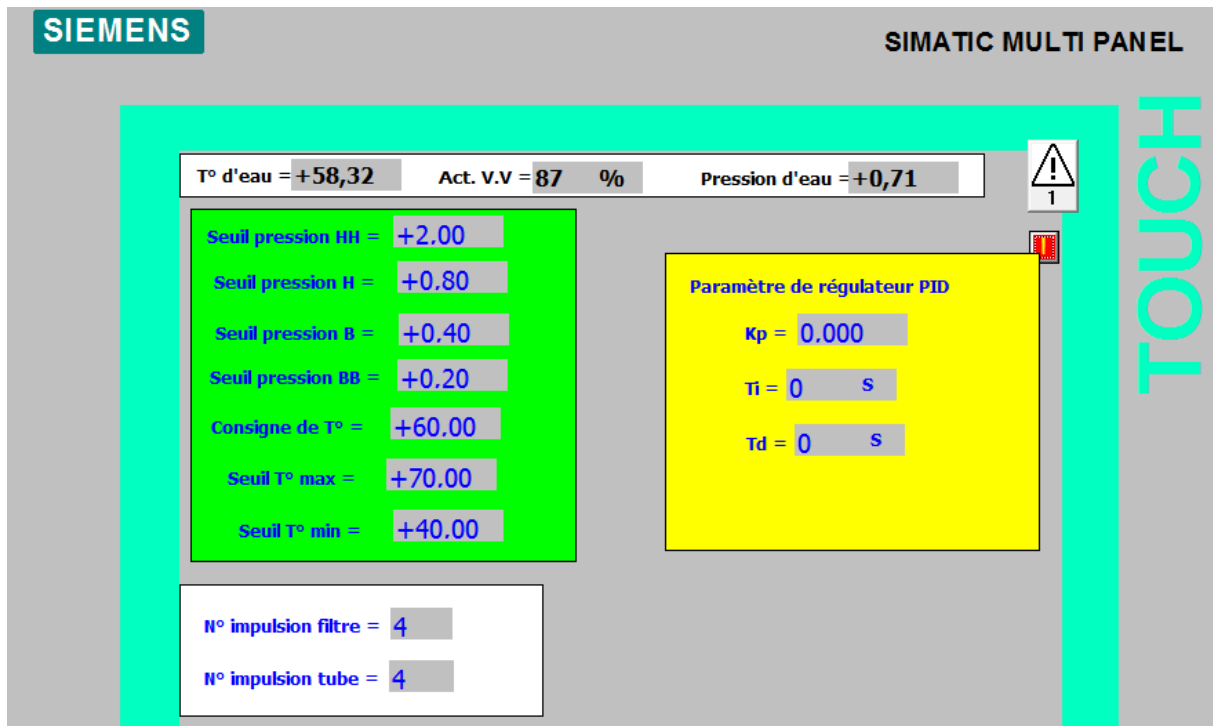


Figure 65 : Supervision des paramètres du système

Stage effectué à : LafargeHolcim usine de meknès



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: AMEJWAL MOHAMED

Année Universitaire : 2016/2017

**Titre: Reconception d'une cabine d'analyse des gaz au sein de LafargeHolcim Ciments
Usine de Meknès en vue de son automatisation.**

Résumé

Le stage effectué à LafargeHolcim usine de Meknès, était consacré à l'automatisation et la mise en marche d'une cabine d'analyse des gaz.

Le travail se déroule en deux phases :

- Dans une première phase, notre but était l'automatisation et la supervision de la cabine d'analyse en éliminant les tâches manuelles, tout en utilisant la programmation par STEP7 et la supervision sur le WINCC.
- Dans une seconde phase, nous avons travaillé sur l'étude de la sûreté de fonctionnement des équipements de la cabine d'analyse des gaz pour rendre le dispositif plus fiable.

Notre travail aidera l'entreprise à réduire le nombre des opérateurs humains, le nombre des accidents et éviter tout risque de défaut et de pertes de temps. Ainsi, d'atteindre le principal objectif qui est le contrôle précis de la qualité du ciment.

Abstract

The training course at LafargeHolcim Factory of Meknes Was devoted to automation and start-up of a gas analysis booth.

The work takes place in two phases:

In a first phase, our goal was the automation and supervision of the analysis booth to eliminate manual tasks by using programming on STEP7 and supervision on the WINCC.

In a second phase, we worked on the study of the dependability of equipment of the gas analysis booth to make the system more reliable.

Our work will help the company reduce the number of human operators and avoid any risk of default and loss of time. So the company will achieve the main objective which is the precise control of the quality of the cement.

Mots clés: automatisation d'une cabine d'analyse, Step7, supervision, Wincc flexible, Siemens entrée de four, analyseurs des gaz, sûreté de fonctionnement, AMDEC, LafargeHolcim usine de meknès.