

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الآلية و الإلكترونيات  
Département d'Automatique et électrotechnique



## Mémoire de Master

Mention Automatique

Spécialité Automatique et Systèmes

Présenté par

**BENAI Imad Eddine**

# Automatisation et Programmation d'un Échangeur Air/Air en utilisant PCS 7

Promotrice : Dr. CHENTIR Amina

Co-promoteur : Mr. ABBAD Cherif

Année Universitaire 2022-2023



## Remerciements

---

Je voudrais avant tout remercier Allah le Tout-Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a données durant toutes ces longues années.

Mes remerciements s'adressent également à ma chère enseignante et promotrice Madame CHENTIR Amina, pour la qualité de son enseignement, ses conseils et sa disponibilité durant ma préparation de ce mémoire ainsi que son intérêt incontestable qu'elle porte à tous les étudiants.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon Co-promoteur Mr. ABBAD Cherif pour m'avoir encadré durant mon projet de fin d'études et m'avoir conseillé tout le long de mon stage.

J'exprime aussi ma sincère reconnaissance au personnel de SCMI, en citant Mr. DJANATI et Mme. LAHCINE et Mr. CHTAIBI et toutes les personnes qui ont contribué à ce travail.

Mes remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail, en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

A la fin, je voudrai remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation durant mes études supérieures.

**BENAI Imad Eddine.**

*Je tiens à dédier ce mémoire*

*À mon cher père que j'aurais aimé qu'il soit parmi nous, que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.*

*À ma chère Maman qui m'a soutenu de toutes les manières possibles et m'a encouragé durant ces années d'études.*

*À mes sœurs, mes frères qui ont toujours cru en moi et m'ont poussé à faire mon possible pour réussir.*

*À tous mes amis et mes collègues sans exception pour leur soutien infini et leurs encouragements.*

*A toute personne qui occupe une place dans mon cœur.*

**Imad Eddine**

---

## المخلص:

تم إعداد هذه المذكرة في إطار ختم المرحلة النهائية من التعليم العالي لنيل شهادة الماستر في تخصص الآلية والأنظمة. حيث قمت بإجراء تريبص داخل مؤسسة إسمنت المتيجة.

يهدف هذا المشروع إلى أتمتة المبادل الحراري الموجود في المنطقة الخاصة بطهي الإسمنت وكذا إقتراح تعديلات برمجية ومعدائية لضمان عمل المبادل السليم لهذا الغرض قمنا بإستعمال المتحكم الآلي القابل للبرمجة -SIEMENS S7-400 الذي يتميز بمرونة عالية ووقت معالجة قصير.

تم برمجة المبادل الحراري بإستخدام برنامج Simatic PCS 7 ثم قمنا بتصميم واجهة تحكم تمكننا من مراقبة النظام بشكل مباشر وعرض ديناميكي للتنبيهات والأعطال التي تحدث أثناء تشغيل العملية.

**الكلمات المفتاحية:** أتمتة، المبادل الحراري، المتحكم الآلي القابل للبرمجة، عرض ديناميكي

---

## Résumé :

Ce mémoire a été rédigé pour compléter ma dernière année d'études en Master en Automatique. Aussi, j'ai effectué mon stage au sein de la Société des Ciments de la Mitidja.

Le but de ce projet de fin d'études consiste donc à réaliser l'automatisation de l'échangeur air/air placé dans la zone cuisson et proposer des modifications logicielles et matérielles pour atteindre le bon fonctionnement de cet équipement. Pour cela on a utilisé un API de type S7-400 qui se caractérise par une grande flexibilité et un temps de traitement rapide.

La programmation de l'échangeur est effectuée par le logiciel Simatic PCS 7 à base des blocs CFC. En fin on a réalisé une interface homme machine (HMI) qui permet la supervision en temps réel de notre système, et d'avoir un affichage dynamique présentant les diverses alarmes, les défauts et les événements qui se produisent pendant le fonctionnement.

**Mots Clé :** Automatisation, API, PCS 7, HMI, S7-400, Supervision.

---

## Abstract:

This dissertation was written to complete my final year of studies in the Master's degree in Automation. I conducted this internship at the Society of Cements of Mitidja.

The aim of this end-of-studies project is to automate the air-to-air heat exchanger located in the cooking zone and propose software and hardware modifications to ensure its proper functioning. To do this, we used an S7-400 SIEMENS PLC which is characterized by its great flexibility and fast processing time.

The exchanger is programmed using Simatic PCS 7 software based on CFC blocks. Finally, we developed a Human-Machine Interface (HMI) that allows real-time supervision of our system and a dynamic display showing the various alarms, faults and events that occur during operation.

**Key Words:** Automate, S7-400, API, PCS 7, HMI, Supervision

---

# **Table des Matières**

**Table des matières**

*Remerciements*

*Dédicaces*

*Résumés*

*Table des Matières*

*Liste des Figures & Tableaux*

*Liste des Abréviations*

***Introduction Générale ..... 1***

***Chapitre 1 : Présentation de la Société et Processus de Fabrication***

**1.1 Introduction ..... 3**

**1.2 Présentation groupe GICA ..... 3**

1.2.1 Historique ..... 3

1.2.2 Localisation de SCMI ..... 4

**1.3 Le Ciment ..... 4**

1.3.1 Les composants du ciment ..... 5

1.3.2 La fabrication du ciment ..... 5

**1.4 Le processus de fabrication du ciment ..... 5**

1.4.1 Zone Carrière ..... 6

1.4.2 Zone crue ..... 7

1.4.3 Zone Cuisson ..... 9

1.4.4 Zone Ciment ..... 10

1.4.5 Zone expédition ..... 11

**1.5 Conclusion ..... 12**

***Chapitre 2 : Analyse Fonctionnelle et Problématique***

**2.1 Introduction ..... 13**

**2.2 Atelier Aval-Four ..... 13**

2.2.1 Équipements de l'atelier ..... 13

**2.3 Sous-atelier échangeur air/air ..... 15**

2.3.1 Caractéristiques de l'échangeur ..... 15

2.3.2 Composition d'un échangeur thermique ..... 16

2.3.3 Fonctionnement actuel de l'échangeur air/air ..... 17

**2.4 Instrumentation de l'échangeur air/air ..... 19**

2.4.1 Capteurs ..... 19

2.4.2 Actionneurs ..... 21

**2.5 Analyse fonctionnelle de l'échangeur ..... 24**

2.5.1 Liste des consommateurs ..... 24

2.5.2 Listes des capteurs ..... 26

2.5.3 La commande locale ..... 27

2.5.4 Description du mode opératoire ..... 27

**2.6 Problématique ..... 30**

**2.7 Conclusion ..... 30**

**Chapitre 3 : Solutions proposées & Automatismes**

<b>3.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2</b>	<b>Solutions suggérées.....</b>	<b>31</b>
3.2.1	Système de ventilation .....	31
3.2.2	Inconvénients des capteurs CTP .....	31
3.2.3	Capteurs analogique de température .....	32
3.2.4	Système d'évacuation de poussière.....	35
<b>3.3</b>	<b>Généralités sur l'automatisme .....</b>	<b>36</b>
3.3.1	Système automatisé .....	36
3.3.2	Les parties d'un système automatisé.....	36
<b>3.4</b>	<b>Automate programmable industriel (API) .....</b>	<b>37</b>
3.4.1	Historique .....	37
3.4.2	Définition d'un API.....	37
3.4.3	Les avantages des API.....	38
3.4.4	Architecture des API .....	38
3.4.5	Critères de choix d'un automate.....	41
<b>3.5</b>	<b>Les API SIEMENS .....</b>	<b>42</b>
3.5.1	Le SIMATIC S7-400.....	42
3.5.2	Description du S7-400.....	42
<b>3.6</b>	<b>Communications avec l'API.....</b>	<b>44</b>
3.6.1	Réseaux de communication.....	44
<b>3.7</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>46</b>

**Chapitre 4 : Programmation et Supervision**

<b>4.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>La programmation des API.....</b>	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>Le Simatic PCS 7 .....</b>	<b>48</b>
4.3.1	Architecture du système Simatic PCS7 .....	48
4.3.2	Le pack CEMAT .....	49
4.3.3	SIMATIC Manager .....	49
4.3.4	Les différentes vues de Simatic Manager .....	50
4.3.5	Un multi projet .....	51
<b>4.4</b>	<b>Création d'un multi projet MASTER_PROJECT .....</b>	<b>51</b>
4.4.1	La configuration dans la station AS .....	53
4.4.2	La configuration dans la station ENG .....	54
4.4.3	Configuration des connexions réseau.....	55
<b>4.5</b>	<b>Graficets de fonctionnement.....</b>	<b>56</b>
4.5.1	Graficet du système d'évacuation de poussière.....	56
4.5.2	Graficet du système de ventilation .....	57
<b>4.6</b>	<b>Mise au point de la programmation de l'échangeur .....</b>	<b>58</b>
4.6.1	Le diagramme CFC .....	59
4.6.2	La table des mnémoniques .....	60
4.6.3	Structure de programme .....	61
4.6.4	Configuration de la simulation par S7-PLCSIM.....	66
<b>4.7</b>	<b>La supervision.....</b>	<b>67</b>



4.7.1	Les systèmes SCADA .....	67
4.7.2	Simatic WINCC .....	68
4.7.3	Graphics designer .....	68
4.7.4	Développement des vues sur graphics designer .....	70
4.7.5	Présentation de nos vues sur le Runtime .....	71
4.7.6	Les faces-avant .....	72
4.7.7	Vue de diagnostic .....	76
4.7.8	Tracé de la variation de température .....	77
4.7.9	Vue des alarmes .....	77
<b>4.8</b>	<b>Simulation .....</b>	<b>78</b>
<b>4.9</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>78</b>
	<i>Conclusion Générale et Perspectives .....</i>	<i>78</i>
	<i>Références Bibliographiques .....</i>	<i>80</i>
	<i>Annexes</i>	

# **Liste des Figures et Tableaux**

### Liste des Figures

Figure 1-1 : Logo du groupe GICA .....	3
Figure 1-2 : Localisation de SCMI .....	4
Figure 1-3 : Zones de fabrication du ciment .....	5
Figure 1-4 : Transport des matières premières .....	6
Figure 1-5 : Concassage et stockage du calcaire.....	7
Figure 1-6 : Zone Crue SCMI.....	7
Figure 1-7 : Broyeur à boulets .....	8
Figure 1-8 : Zone cuisson.....	9
Figure 1-9 : Four rotatif SCMI.....	10
Figure 1-10 : Zone ciment SCMI.....	10
Figure 1-11 : Expédition en sacs.....	12
Figure 1-12 : Expédition en vrac.....	12
Figure 2-1 : Équipements de l'aval-four.....	13
Figure 2-2 : Le refroidisseur à grilles.....	14
Figure 2-3 : Echangeur air/air SCMI .....	15
Figure 2-4 : Composition d'un échangeur thermique.....	16
Figure 2-5 : Batterie de ventilation .....	16
Figure 2-6: Trémies de poussière et chaines de transport.....	17
Figure 2-7 : Principe de fonctionnement général de l'échangeur .....	18
Figure 2-8: Flow sheet de la séquence échangeur.....	19
Figure 2-9 : Fonctionnement d'un capteur .....	20
Figure 2-10 : Sonde PTC .....	20
Figure 2-11 : Capteur de fin de course .....	21
Figure 2-12 : Principe d'un actionneur .....	21
Figure 2-13 : Vérin à double effet .....	22
Figure 2-14 : Electrovanne .....	22
Figure 2-15 : Vue d'un ventilateur (SCMI) .....	23
Figure 2-16 : Moteur asynchrone triphasé .....	23
Figure 3-1: Schéma simplifié d'un thermocouple .....	33
Figure 3-2 : Sondes PT100 .....	33
Figure 3-3 : Nouveau Fonctionnement de clapets .....	35
Figure 3-4: Chronogramme du nouveau fonctionnement des clapets.....	36
Figure 3-5: Automate compact (LOGO) .....	38

Figure 3-6 : Automate modulaire (Modicon).....	39
Figure 3-7: Structure externe d'un API .....	39
Figure 3-8 : Structure interne d'un API .....	40
Figure 3-9: Vue extérieure du Simatic S7-400 .....	42
Figure 3-10 : Protocoles de réseaux industriels .....	45
Figure 4-1 : L'architecture du système SIMATIC PCS 7 .....	49
Figure 4-2 : Présentation de SIMATIC Manager.....	50
Figure 4-3 : Les différents vues de Simatic Manager .....	51
Figure 4-4 : Création d'un multi projet .....	52
Figure 4-5 : L'insertion de la station SIMATIC 400 dans le projet AS.....	52
Figure 4-6 : Insertion d'une bibliothèque .....	53
Figure 4-7: Configuration matérielle de la station AS .....	54
Figure 4-8 : La configuration dans la station ENG.....	55
Figure 4-9 : Synchronisation de projets .....	56
Figure 4-10 : Grafcet de fonctionnement du système d'évacuation poussière.....	57
Figure 4-11: Grafcet du système de ventilation .....	58
Figure 4-12 : Insertion des dossiers hiérarchiques dans AS .....	59
Figure 4-13: L'éditeur CFC.....	60
Figure 4-14 : Éditeur de mnémoniques.....	61
Figure 4-15: Groupe de la séquence échangeur et ses connexions .....	62
Figure 4-16 : Bloc moteur unidirectionnel et ses connexions.....	63
Figure 4-17 : Bloc de vanne TOR et ses connexions .....	65
Figure 4-18 : L'outil de simulation S7-PLCSIM.....	67
Figure 4-19 : Vue générale de WinCC explorer .....	68
Figure 4-20 : La vue de graphics designer .....	69
Figure 4-21 : La bibliothèque PCS7 Typicals.....	70
Figure 4-22 : Liaison d'un variable avec un objet dynamique .....	70
Figure 4-23 : Vue d'accueil .....	71
Figure 4-24 : Vue globale .....	72
Figure 4-25 : Vue échangeur.....	72
Figure 4-26 : Face avant du groupe .....	73
Figure 4-27 : face avant d'un moteur .....	74
Figure 4-28 : Faces-avant des deux vannes dans un état différent.....	75
Figure 4-29 : Vue de diagnostique d'un équipement .....	76

Figure 4-30 : Changement de température dans un intervalle de temps de 5 min.....	77
Figure 4-31 : Vue des alarmes .....	78
Figure 4-32 : Vérification fonctionnement de la simulation.....	78
Figure A-1 : le bloc C_MEASUR.....	81
Figure A-2 : Le bloc "C_ANNUNC" .....	82

### Liste des Tableaux

Tableau 4-1 : Bilan d'E\S .....	61
Tableau 4-2 : Les entrées d'un bloc groupe .....	62
Tableau 4-3 : Les sorties d'un bloc groupe .....	63
Tableau 4-4 : Les entrées d'un bloc moteur unidirectionnel .....	64
Tableau 4-5 : Les sorties d'un bloc moteur unidirectionnel .....	64
Tableau 4-6 : Etats de la séquence .....	74
Tableau 4-7 : Modes de fonctionnement de la séquence .....	74
Tableau 4-8 : États d'un moteur.....	75
Tableau 4-9 : Les états d'une mesure analogique.....	75

# **Liste des Abréviations**

**AI:** Analog Input

**AO:** Analog Output

**API:** Automate Programmable Industriel

**AS :** Station Automate

**CFS:** Continuous Function Chart

**CP :** Communication Processor

**CPU:** Central Processing Unit

**DCS:** Distributed Control System

**DI:** Digital Input

**DO:** Digital Output

**E/S:** Entré/Sortie

**ENG:** Station ingénieur

**GICA :** Group Industriel des Ciments d'Algérie

**HMI:** Interface Homme Machine

**MPI:** Multiple Point Interface

**PCS:** Process Control System

**PG:** Console de Programmation

**PLC:** Programing Logic Controller

**PROFIBUS:** Process Field Bus

**PTC / CTP :** Positive Temperature Coefficient / Coefficient de Température positif

**RTD:** Resistance Temperature Detector

**SCADA:** Supervisory Control and Data Acquisition

**SCMI :** Société de Ciments de la Mitidja

**SM :** Signals Module

**TOR :** Tout Ou Rien

# **Introduction Générale**



L'automatisme industriel désigne l'utilisation de techniques et de systèmes automatisés dans le domaine industriel pour contrôler et superviser les processus de production. Ces systèmes permettent d'automatiser des tâches répétitives et complexes, améliorant ainsi l'efficacité, la précision et la sécurité des opérations.

Grâce à l'évolution rapide des technologies d'automatisation, les entreprises peuvent optimiser leur productivité, réduire les coûts de production et de maintenance, tout en assurant un contrôle précis et fiable de leurs processus industriels.

Pour notre projet de fin d'étude, on a effectué un stage pratique au sein de la société des ciments de la Mitidja (SCMI). Cette entreprise a recours aux techniques de production les plus récentes basées sur l'automatisation et la supervision.

Le but de notre projet est donc de proposer des solutions matériels et logiciels pour atteindre le bon fonctionnement de l'échangeur air \ air placé dans l'atelier aval four dans la zone cuisson.

Ce travail est réalisée au moyen d'un automate programmable de type S7-400 en utilisant le logiciel de programmation PCS7.

Pour cela, nous devons :

- Réaliser une étude du processus global de la fabrication du ciment.
- étudier le fonctionnement actuel de l'échangeur air / air.
- définir les capteurs et les actionneurs existants et proposés.
- modifier la configuration matérielle.
- configurer le réseau général et établir le programme en utilisant le langage CFC sur le PCS7.
- à la fin nous devons développer une solution de supervision IHM avec le logiciel Simatic WINCC.

Pour réaliser ce projet de fin d'étude, le travail présenté dans ce mémoire, sera organisé comme suit :

- Le premier chapitre va présenter la société et décrire les différentes étapes dans le processus de fabrication du ciment.

- Le deuxième chapitre sera consacré à décrire le fonctionnement actuel de l'échangeur ainsi que ses différents composants et leur caractéristiques afin de présenter notre problématique.
- Dans le troisième chapitre, nous proposerons des solutions logicielles et matérielles pour résoudre la problématique. Puis on va présenter l'API à utiliser dans notre projet, soit le Simatic S7-400, sa constitution ainsi que les protocoles de communication industriels.
- Dans le quatrième chapitre, On commencera par présenter le logiciel de programmation Simatic PCS7 ainsi que la configuration matérielle nécessaire pour assurer le bon fonctionnement de l'échangeur. Ensuite, on donnera un aperçu sur les étapes de programmation suivies et enfin, nous présenterons le système SCADA utilisé pour la supervision, le Simatic WinCC, ainsi que ses différentes interfaces.
- Nous terminons notre mémoire par une conclusion générale suivie de quelques perspectives.

# **Chapitre 1**

## **Présentation de la Société et Processus de Fabrication**

## 1.1 Introduction

La Société des Ciments de la Mitidja « SCMI » est parmi les plus grandes entreprises Algériennes dans le domaine de la production et de la commercialisation des ciments ordinaires.

Ce chapitre va comporter une présentation de la cimenterie de MEFTAH afin de donner une idée générale sur les différentes étapes de la production de ciment.

## 1.2 Présentation groupe GICA

Le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie "Groupe GICA" (Figure 1-1) a été créé par décision de l'Assemblée Générale Extraordinaire, suite à la transformation juridique de l'ex Société de Gestion des participations « Industrie des Ciments » en date du 26 novembre 2009.

C'est une société par actions au capital de 25.358.000.000 dinars et est composée de 23 filiales spécialisées, dont 14 cimenteries, 3 sociétés de Granulats et BPE, une société de distribution, deux sociétés de maintenance industrielle, un centre d'assistance technique, un centre de formation et perfectionnement, et une société de gardiennage [2].



Figure 1-1 : Logo du groupe GICA

### 1.2.1 Historique

La réalisation de la cimenterie S.C.M.I a été faite par le bureau d'études SNC de Montréal Canada suivant la formule « lot par lot » avec une sous-traitance étrangère (KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES LTD (KHI) et FIVES CAIL BABCOCK (F.C.B)) et est passée par les étapes suivantes :

- Démarrage de l'atelier Cru le 31 Janvier 1975
- Allumage du four le 6 Mai 1975
- Production du ciment le 1 septembre 1975

- Commercialisation du ciment le 6 novembre 1975

Et la restructuration de la SNMC en 1982, a donné naissance à 4 groupes de ciment : Centre, Est, Ouest et Chlef. La SCMI est devenue l'une des filiales du groupe ERCC restructuré en 1998 [1].

### 1.2.2 Localisation de SCMI

La cimenterie de Meftah qui est en activité depuis plus de 46 ans est l'une des filiales du Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA). Elle est implantée à une vingtaine de kilomètres au sud-est d'Alger, aux pieds des montagnes de l'Atlas, en bordure de la route nationale N°29, reliant la commune de Meftah à celle de Khemis-El-Khechna (**Figure1-2**) [1].

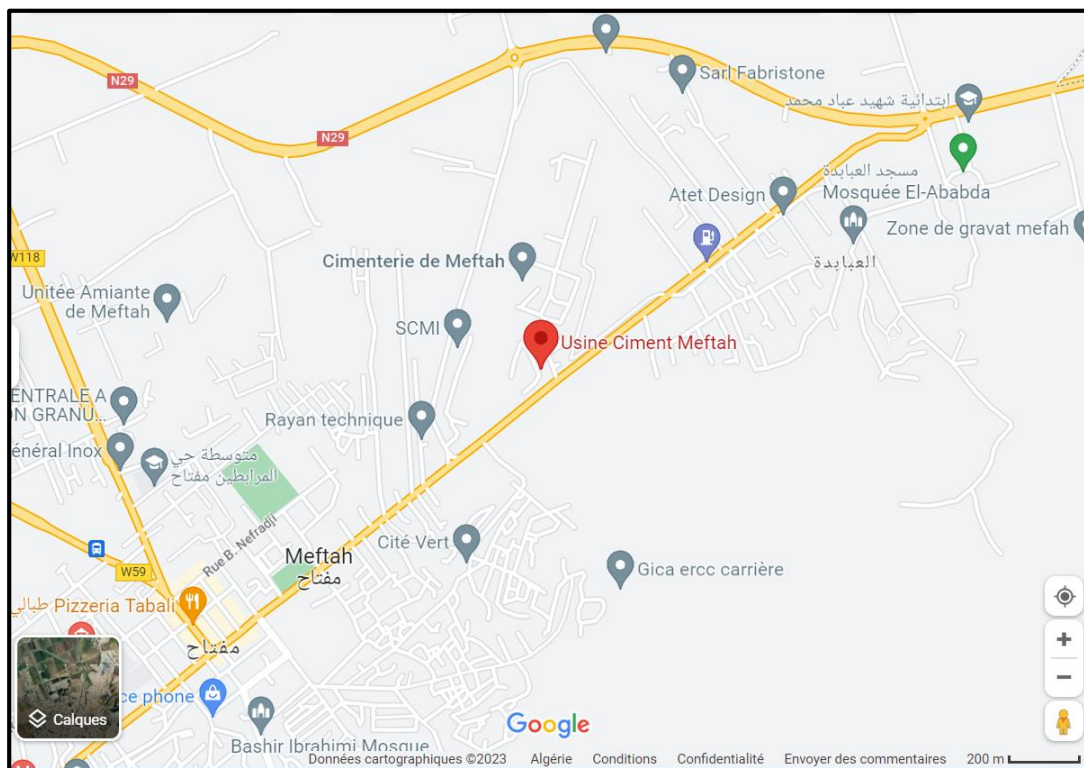


Figure 1-2 : Localisation de SCMI

## 1.3 Le Ciment

Le ciment est un matériau de construction en poudre fine, composé principalement de calcaire, d'argile, de sable et d'eau. Il est utilisé pour lier les matériaux de construction tels que les briques, les blocs de béton, les pierres et les poutres d'acier ensemble pour former une structure solide.

### 1.3.1 Les composants du ciment

Le ciment est fabriqué généralement à partir d'un mélange de :

- Calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ).
  - Sable.
  - Fer.
  - Argile ( $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ ).
  - Tuf.
  - Gypse.
- } Clinker

### 1.3.2 La fabrication du ciment

Le ciment est fabriqué en montant en température jusqu'à  $1\,450\text{ }^\circ\text{C}$ , à partir d'un mélange défini et finement broyé de calcaire, d'argile et de sable dans un four rotatif. Sous l'effet de la chaleur, la farine issue de ce mélange se transforme en clinker.

Le clinker sortant du four est refroidi, puis finement broyé pour produire la poudre que nous appelons ciment [3].

## 1.4 Le processus de fabrication du ciment

Le processus de fabrication du ciment est un processus complexe et nécessite des équipements sophistiqués pour obtenir les normes de qualité requises.

La chaîne de production de l'usine de Meftah est composée de cinq ateliers qui correspondent au processus habituel de fabrication de ciment par voie sèche. Ainsi le processus de fabrication est divisé en cinq zones principales (**Figure 1-3**).

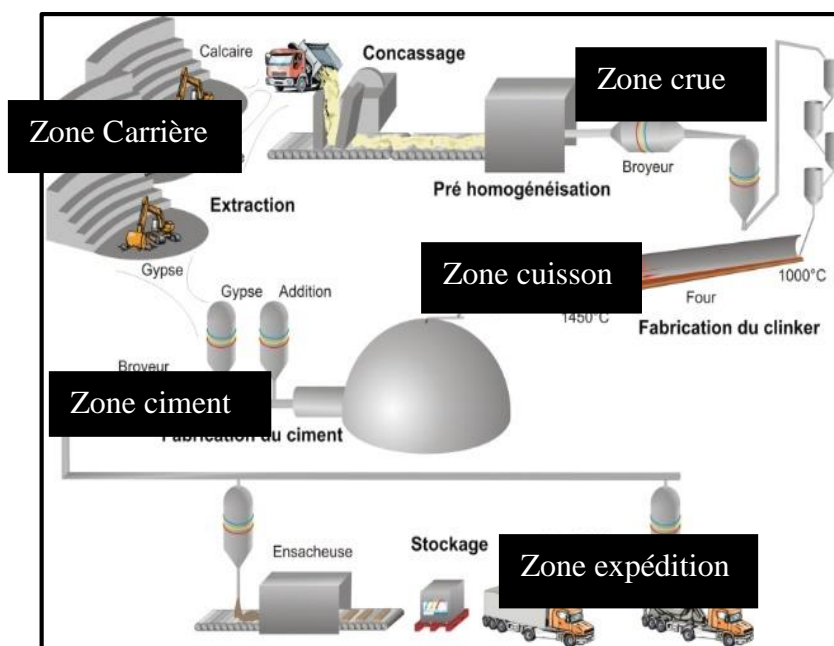


Figure 1-3 : Zones de fabrication du ciment [4]

### 1.4.1 Zone Carrière

Elle est constituée d'un concasseur et de tapis pour transporter le calcaire vers le hall de stockage.

#### a) L'extraction des matières premières

Le calcaire, l'argile et le sable sont extraits des carrières et des mines à proximité de l'usine de ciment par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique.

#### b) Chargement et transport

Le chargement est réalisé par des engins (des chargeuses et des mini chargeuses). Les matières premières sont ensuite transférées dans un dumper (**Figure 1.4**) afin de les transporter vers les concasseurs pour les décharger dans la chambre de concassage.



Figure 1-4 : Transport des matières premières [5]

#### c) Concassage

Le concassage est une opération destinée à la réduction des blocs de calcaires qui sont obtenus pendant l'extraction. Le calcaire se dirige vers le concasseur avec ATM (Alimentation Tablier Métallique). Et là, on trouve deux types des ATM : FCB 450 T/h et KHD 1000 T/h, où il se concasse à des petits morceaux à la sortie. La matière première (calcaire), après concassage, est transportée à l'usine par des tapis roulants T0, T1, T2, T3 bis, où elle est stockée dans le hall de stockage calcaire dont la capacité est de 60 000 T (**Figure 1-5**).

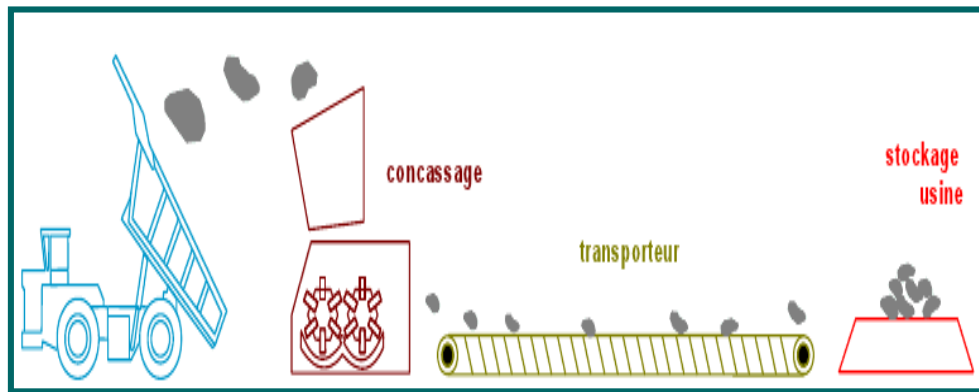


Figure 1-5 : Concassage et stockage du calcaire

### 1.4.2 Zone crue

Le mélange de matières premières, qui se compose de 80 % de calcaire et de 20 % d'argile, est stocké dans le hall de pré-homogénéisation sous forme de mélange appelé "matière crue" (Figure 1-6).



Figure 1-6 : Zone Crue SCMI

#### a) Hall calcaire

Le grateur portique à palette est utilisé pour gratter le calcaire en se déplaçant d'un tas à l'autre, avant de le déposer sur un tapis pour le transporter jusqu'à la trémie calcaire.

#### b) Hall ajouts

Il y a deux grateurs semi-portiques à palette qui sont utilisés pour gratter les ajouts (argile, sable, fer), puis les déverser sur un tapis qui les transporte vers les trémies T6, T7, T8, T9 et T11. Il existe quatre trémies différentes pour : le calcaire, le fer, l'argile et le sable. Le dosage des constituants du ciment est le suivant :



- Calcaire : 80 %
- Argile : 20 %
- Sable : 2 %
- Fer : 1 %

Une fois dosés, les produits sont transportés par le tapis T13 vers le broyeur à marteau, qui est utilisé pour concasser la matière première.

#### c) Séparateur statique

La matière est aspirée par le ventilateur de tirage, d'une puissance de 1200 KW, via le séparateur statique qui permet de séparer les particules en fonction de leur granulométrie, en distinguant les grosses particules qui sont renvoyées vers le broyeur à boulets et les fines particules qui sont acheminées vers le stockage dans des silos d'homogénéisation.

#### d) Broyeur à boulets

Afin de faciliter les réactions chimiques ultérieures, les matières premières doivent être séchées et finement broyées (jusqu'à quelques microns) dans un broyeur à boulets (**Figure 1.7**).

Après le broyage, les matières premières sont parfaitement homogénéisées et séchées pour obtenir de la farine, qui peut être directement introduite sous forme pulvérulente dans le four.



Figure 1-7 : Broyeur à boulets [6]

#### e) L'homogénéisation

Après avoir été mélangé dans les silos H1 et H2, le produit est prêt à être stocké. La farine crue, qui est expédiée par l'air lift, est déversée dans la boîte de récupération.

Chaque silo a une capacité de stockage de 10 000 tonnes et est équipé de deux sorties latérales qui peuvent acheminer l'ensemble du débit de farine vers le four.

### 1.4.3 Zone Cuisson

La ligne de cuisson se compose de trois éléments (**Figure 1.8**) :

- un préchauffeur
- un four rotatif
- un refroidisseur

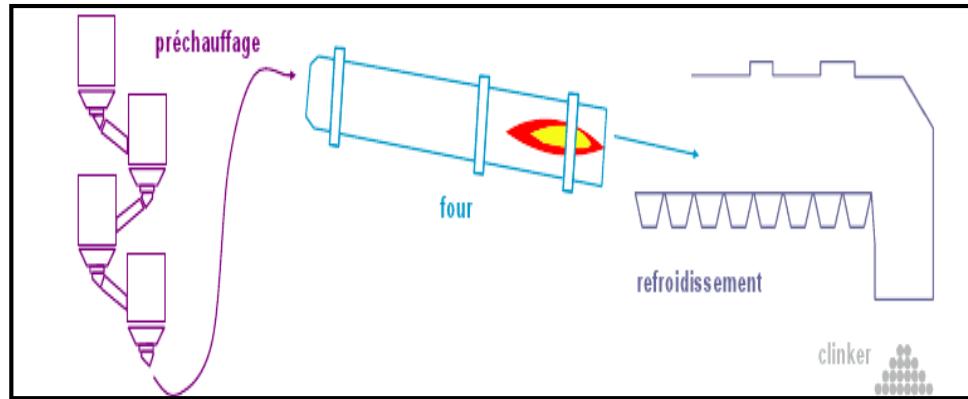


Figure 1-8 : Zone cuisson

#### a) Préchauffage

La matière crue est introduite dans une tour de préchauffage à une température de 800°C avant d'être transférée au four rotatif vertical, où elle est portée à une température de 1450°C.

La combustion entraîne une réaction chimique appelée « décarbonatation », qui libère le CO<sub>2</sub> contenu dans le calcaire.

Le préchauffage est effectué dans un préchauffeur constitué d'une série de cyclones disposés verticalement sur plusieurs étages. La matière froide est introduite dans la partie supérieure et se réchauffe au contact des gaz. Elle arrive partiellement décarbonatée à chaque étage, jusqu'à atteindre la température d'environ 800°C à l'étage inférieur.

#### b) Four Rotatif

En cimenterie, les systèmes de fours sont spécialement conçus pour répondre aux exigences chimiques du processus de transformation de la matière crue en clinker.

Le four rotatif (**Figure 1.9**), constitué d'un cylindre en acier posé sur des stations de roulement et doublé à l'intérieur par des produits réfractaires, est en mouvement de rotation pendant la cuisson. Sa pente permet à la matière première d'être injectée à une extrémité et de se déplacer tout en étant chauffée par la flamme.

Tout au long de ce processus, la matière se transforme par cuisson jusqu'à atteindre l'état de "clinkérisation" à une température de 1450 °C.



Figure 1-9 : Four rotatif SCMI

### c) Refroidissement

Après sa sortie du four, le clinker est acheminé vers un refroidisseur à ballonnets ou à grilles pour y être refroidi jusqu'à une température de 120°C.

Les refroidisseurs ont pour rôle de garantir une trempe efficace du clinker afin d'obtenir une structure minéralogique et des dimensions de cristaux favorables. Ils permettent également de baisser la température du clinker afin de faciliter sa manutention jusqu'aux silos de stockage.

## 1.4.4 Zone Ciment

L'atelier de zone ciment (**Figure 1-10**) est composé de deux lignes électriques avec un débit de production de 90 T/H pour chacune.



Figure 1-10 : Zone ciment SCMI

### a) Le remplissage des trémies (clinker gypse, tuf)

On y rencontre :

- Remplissage par la trémie de réception : Des camions sont utilisés pour transporter à la trémie de réception à la fois le gypse et le tuf. Le gypse est ensuite transporté par le tapis T 19 pour être déversé sur T 20. Un élévateur de gypse est utilisé pour stocker le gypse dans le silo spécial gypse d'une capacité de 5000 T. Les ajouts et le gypse sont acheminés depuis T 20 vers le tapis AMOUND et l'élévateur à godet, qui alimente la chaîne TKF2 pour remplir la trémie avec du tuf et du gypse.
- Remplissage par T 16 : Il y a deux façons de remplir les trémies avec du clinker, la première consiste à le faire directement depuis la zone de cuisson, où les chaînes transporteuses déversent le clinker dans une goulotte qui à son tour le verse sur le T16. La deuxième option consiste à utiliser les silos de stockage, chacun ayant trois bouches : deux manuelles et une motorisée. Le clinker est versé à travers ces bouches dans le T16, qui le transporte ensuite vers l'élévateur à godets pour être envoyé à la chaîne TKF1 et remplir les trémies (clinker, gypse).

#### **b) Broyeur ciment**

Une fois que les matières ont été dosées (80% de clinker, 15% d'ajouts et 5% de gypse), elles sont transportées par un tapis vers les broyeurs de ciment "BK1" et "BK2" pour être broyées.

La matière broyée est ensuite transportée par un élévateur à godets jusqu'à la sortie du broyeur, puis versée dans le séparateur dynamique. Les déchets sont transportés par aéroglisseur vers l'entrée du broyeur pour être re-broyés.

Le produit fini (ciment) est acheminé par la principale aéroglissière jusqu'aux silos de stockage à l'aide d'un élévateur à godets sur un air lift.

### **1.4.5 Zone expédition**

C'est la dernière phase du processus de production du ciment, qui se fait en sacs et en vrac :

#### **a) Expédition en sacs**

Elle se fait par quatre ensacheuses avec un débit de 90 T/h, chacune possède huit becs pour le remplissage des sacs. Les sacs de 50 kg sont chargés sur des camions à bennes. **(Figure 1-11).**



Figure 1-11 : Expédition en sacs

### b) Expédition en vrac

Le remplissage se fait par un flexible branché au fond d'une trémie et qui est dirigé par l'opérateur pour mettre à l'intérieur de la bouche de cocotte des camions pour les remplir. (Figure 1.12)



Figure 1-12 : Expédition en vrac

## 1.5 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté la société SCMI en général et décrit le processus de fabrication du ciment, en le divisant en cinq zones principales. Cela nous a permis de mieux identifier la zone qui constitue l'objectif de notre projet « la zone cuisson ».

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier le principe de fonctionnement de l'échangeur air-air situé dans l'atelier aval-four de la zone cuisson.

## **Chapitre 2**

### **Analyse Fonctionnelle et Problématique**

## 2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'atelier où se trouve l'échangeur à étudier. Puis, on va présenter les différents composants de l'échangeur et leurs caractéristiques, ainsi que les capteurs et les actionneurs existants au niveau de ce sous-atelier.

Ensuite, nous allons décrire le fonctionnement actuel de l'échangeur afin de poser la problématique qu'on va essayer de résoudre dans notre projet de fin d'études.

## 2.2 Atelier Aval-Four

L'atelier aval-four est la deuxième partie de la zone « cuisson » après l'atelier amont-four. Cet atelier est composé de plusieurs équipements (**Figure 2-1**), parmi lesquels se trouve l'échangeur air/air la partie qui nous intéresse et la base de notre projet.

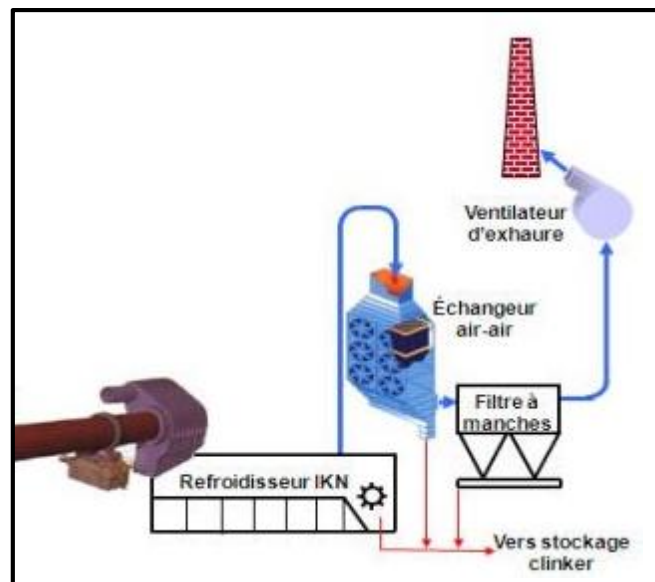


Figure 2-1 : Équipements de l'aval-four

### 2.2.1 Équipements de l'atelier

L'atelier se compose de plusieurs composants essentiels. On y trouve :

#### a) Le refroidisseur

C'est un dispositif hydrauliquement commandé avec des grilles horizontales. Chaque grille se compose de deux chambres, une fixe et une mobile, qui sont inclinées à un angle de trois degrés (**Figure 2-2**).



Le clinker, qui sort du four à une température de 1450 °C, est déposé sur les grilles où il est refroidi par un ensemble de ventilateurs soufflants de l'air dans les chambres situées dans la partie inférieure du refroidisseur. Cela permet de ramener la température du clinker à 60 °C.

Le clinker avance grâce au mouvement alternatif des grilles. Chaque grille est actionnée par deux vérins, tandis que l'air circule à travers celles-ci. L'air passe à travers la couche de clinker, se réchauffe et la partie la plus chaude est aspirée par le four pour servir d'air secondaire.

L'excès d'air est extrait du refroidisseur par deux ventilateurs d'extraction à travers l'échangeur air/air et un filtre à manches afin de récupérer le clinker, tandis que les gaz purifiés sont rejetés dans l'atmosphère.

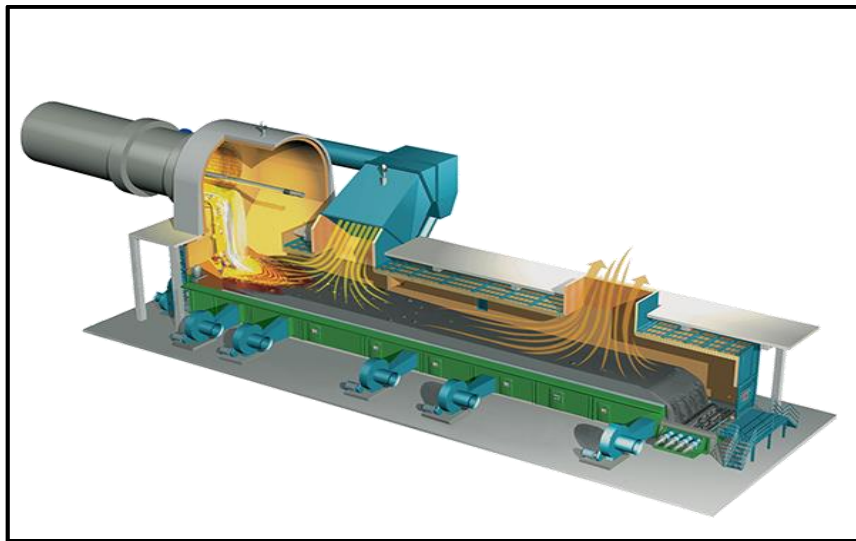


Figure 2-2 : Le refroidisseur à grilles

### b) Les chambres de détente

Après sa sortie de refroidisseur, on dirige le gaz chaud vers deux grandes chambres de détente, on permet aux particules et la poussière de se déposer et de se séparer du flux de gaz par effet de gravité afin de les récupérer et transporter vers les silos de stockage.

### c) L'échangeur Air/Air

Un échangeur air/air industriel (**Figure 2-3**) est un dispositif utilisé pour refroidir le gaz (sortant du refroidisseur) en utilisant des ventilateurs.

Il fonctionne en faisant circuler le gaz chaud à travers un ensemble de tubes métalliques. Des ventilateurs sont utilisés pour faire circuler l'air à travers l'échangeur facilitant le processus de refroidissement. Cela, permet de réduire la température du gaz avant qu'il ne soit transféré vers le filtre intensif.

L'échangeur thermique participe aussi dans le processus de récupération de la poussière à l'aide de son mécanisme et de la gravité.





Figure 2-3 : Echangeur air/air SCMI

#### d) Filtre à manches

Dans le processus de production de ciment, il est essentiel d'avoir un système de filtration et de dépoussiérage pour des raisons environnementales et économiques.

Pour ce faire, un filtre à manches est installé dans la zone aval du four. Son rôle est de capturer les particules présentes dans les gaz émis par le processus afin d'éliminer les poussières avant leur rejet dans l'atmosphère.

### 2.3 Sous-atelier échangeur air/air

C'est l'un des équipements les plus nécessaires et essentiels dans la zone cuisson. Cela est dû au rôle important qu'il joue, car il permet de refroidir l'air provenant du refroidisseur avant qu'il passe à travers le filtre à manches dans le but de le protéger, ainsi l'échangeur aide dans le processus de la récupération de la poussière.

Notre projet se déroule sur un échangeur air/air de taille industrielle situé dans la zone cuisson.

#### 2.3.1 Caractéristiques de l'échangeur

Les caractéristiques de l'échangeur air/air disponible au sein de la SCMI sont :

Fournisseur : BMH (France)

Débit : 390000 Nm<sup>3</sup>/h

Température entrée : 305 °C maximum

Température sortie : 120 °C

Température air refroidissement : 30 °C

Teneur en poussière : 20 gr/Nm<sup>3</sup>

Surface de refroidissement : 14000 m<sup>2</sup>

### 2.3.2 Composition d'un échangeur thermique

L'échangeur se compose de 3 batteries de ventilation et de 4 trémies d'évacuation ainsi que de deux chaînes métalliques pour transporter de la poussière (**Figure 2-4**).

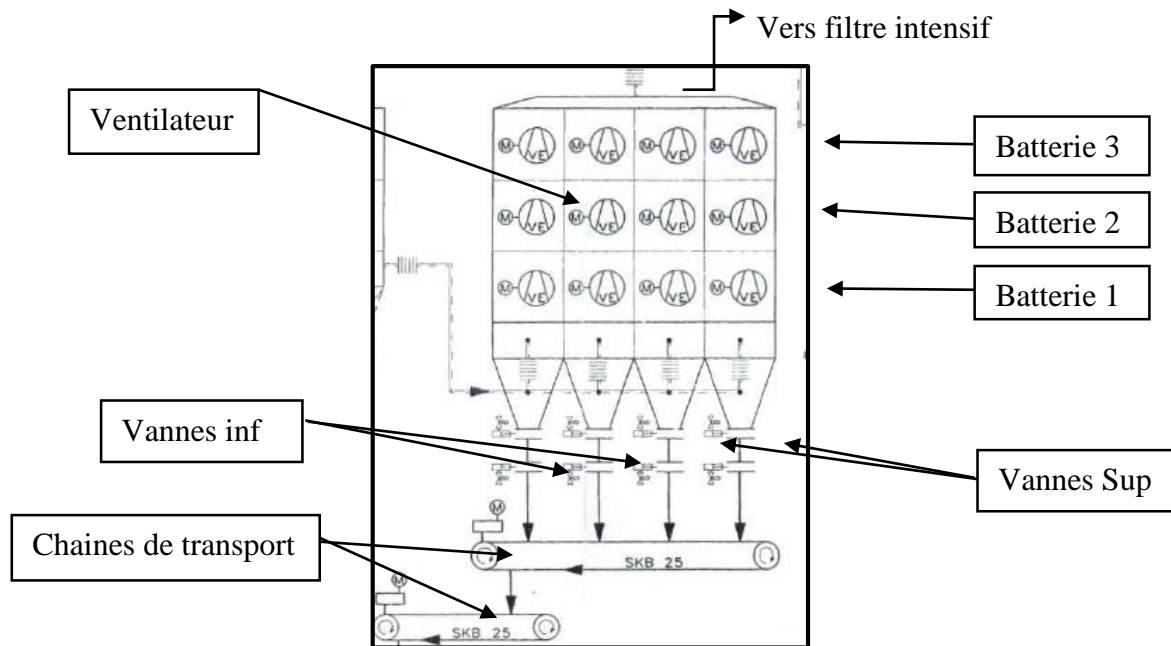


Figure 2-4 : Composition d'un échangeur thermique

#### a) Les batteries de ventilation

Les batteries sont disposées verticalement et chacune est équipée de quatre ventilateurs qui assurent le refroidissement des gaz traversant l'échangeur (**Figure 2-5**).

##### ➤ Caractéristiques :

Moto-ventilateurs : nombre = 12

Débit total des ventilateurs : 160000 m<sup>3</sup>/h

Vitesse de rotation : 750 tr/mn

Puissance installée : 45 kW

Puissance absorbée : 40 kW



Figure 2-5 : Batterie de ventilation

**b) Trémies de poussière**

Des cuves coniques sont situées dans la partie inférieure de l'échangeur et dont le rôle est de stocker la poussière récupérée avant qu'elle ne soit transférée vers les chaînes de transport à l'aide de vérins pneumatiques (**Figure 2-6**).



Figure 2-6: Trémies de poussière et chaînes de transport

**c) Chaînes de transport**

Ce sont des chaînes métalliques actionnées par des moteurs triphasés. Leur rôle est de transporter la poussière récupérée vers les silos de stockage (**Figure 2-6**).

**➤ Caractéristiques :**

Nom : Chaîne trainante sortie échangeur 10"

Type : SKB 25

Nombre : 2

Entraxe : 20m

Moteur : puissance 5.5 kW

Puissance absorbée : 2.7 kW

Vitesse de la chaîne : 8 m/mn

**2.3.3 Fonctionnement actuel de l'échangeur air/air**

Après sa sortie du refroidisseur, l'air chaud et poussiéreux est transféré vers l'échangeur en utilisant des ventilateurs d'extraction qui sont placés à la fin de l'atelier aval-four.

Les batteries de ventilation sont activées en fonction de seuils de température prédéfinis. Cela garantit que les ventilateurs commencent et arrêtent de fonctionner lorsque la température dans la sortie de l'échangeur atteint certains niveaux spécifiés :

- La première batterie démarre si la température est supérieure à 90° C  
Et s'arrête si la température est inférieure à 85° C
- La deuxième batterie démarre si la température est supérieure à 100°C  
Et s'arrête si la température est inférieure à 95°C
- La troisième batterie démarre si la température est supérieure à 110°C  
Et s'arrête si la température est inférieure à 105°C

Ceci permet de maintenir une température optimale dans la sortie d'échangeur.

**Remarque :** Le démarrage de ventilateurs de chaque batterie se fait selon un ordre (de gauche à droite) et l'arrêt aussi mais se fait de sens contraire (de droite à gauche).

Au même temps, le système d'évacuation de poussière qui se compose de doubles clapets (1 supérieur et 1 inférieur) au-dessus de chaque trémie (nombre de trémies égal à 4, alors on a 8 clapets) démarre seulement si la chaîne métallique sous échangeur est en marche.

Sachant que chaque trémie est équipée d'une vanne supérieure où la poussière s'accumule, toutes les Vannes Supérieures (VS) s'ouvrent simultanément pendant 10 secondes dès que la poussière tombe sur les Vannes Inférieures (VI).

Une fois les VS fermées, les VI s'ouvrent simultanément pendant 10 secondes et la poussière tombe sur la chaîne de transport sous l'échangeur, et ainsi de suite.

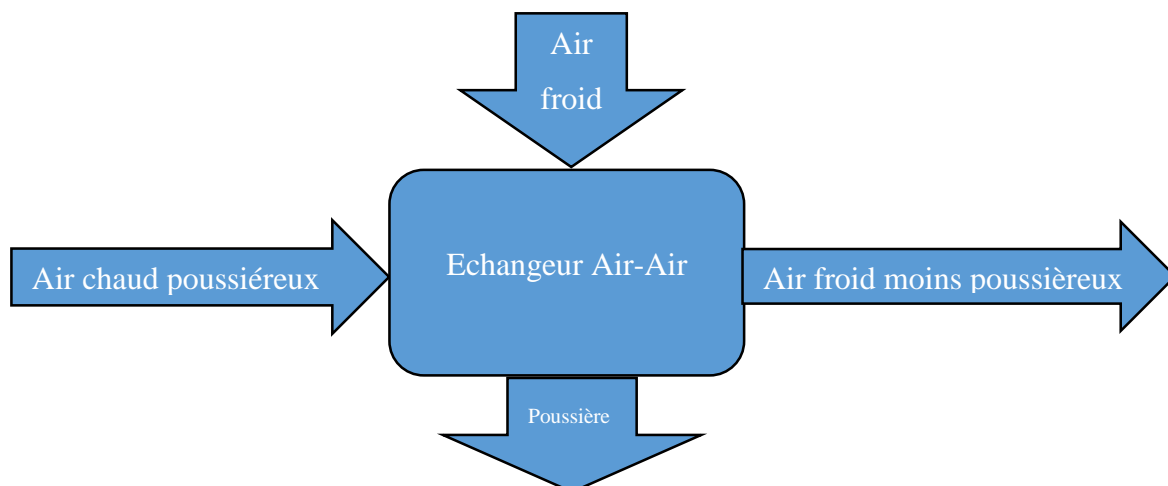


Figure 2-7 : Principe de fonctionnement général de l'échangeur

## 2.4 Instrumentation de l'échangeur air/air

La **figure 2-8** représente le Flow sheet (ou schéma de procédé) de la séquence « échangeur air/air », où figurent toutes les opérations mises en œuvre dans l'installation, avec les principaux appareils et les conditions permettant ces opérations.

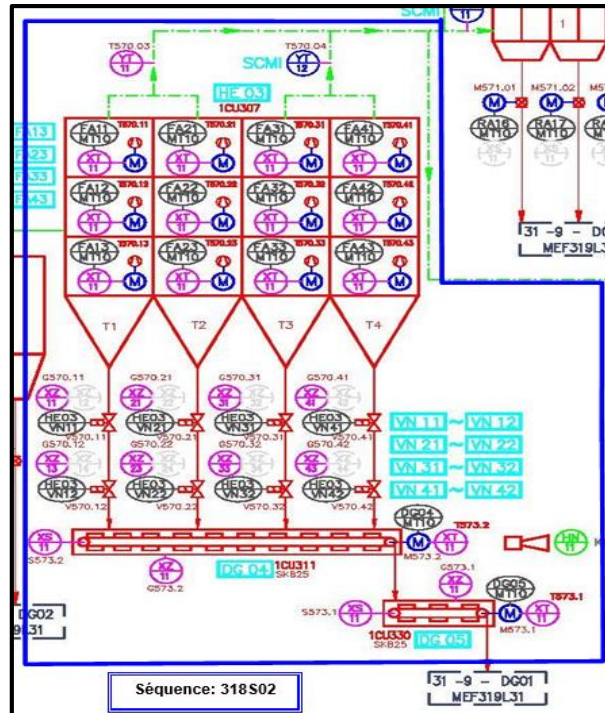


Figure 2-8: Flow sheet de la séquence échangeur

### 2.4.1 Capteurs

Un capteur est un organe de prélèvement d'informations qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (souvent électrique).

Les capteurs sont caractérisés selon deux critères (**Figure 2-9**) :

- En fonction de la grandeur mesurée (électrique, tension, mécanique). Par exemple, les capteurs de position, de température, de vitesse, de force, de pression, etc.
- En fonction du caractère de l'information délivrée, tels que :
  - Les capteurs logiques appelés aussi capteurs Tout Ou Rien (TOR) (Fin de course, limiteur de force, recopie de position, thermostat ...),
  - Les capteurs analogiques (4 -20 mA, 0- 10v),
  - Les capteurs numériques ou en forme de train d'impulsion (cas d'un compteur, codage binaire).

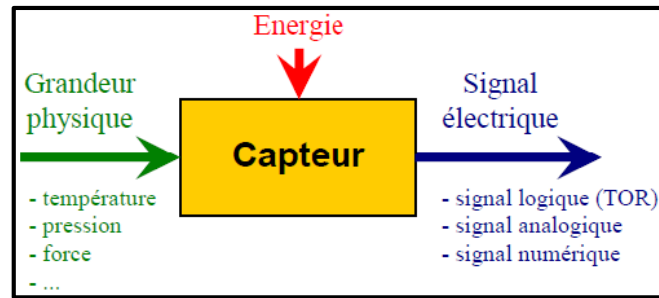


Figure 2-9 : Fonctionnement d'un capteur

On peut trouver différents capteurs dans la séquence échangeurs. On cite :

#### a) Les sondes à thermistance PTC

Les sondes à thermistance PTC (Positive Temperature Coefficient) (**Figure 2-10**) sont des dispositifs utilisés pour mesurer la température. Elles sont composées de thermistances PTC, qui sont des éléments de détection de température dont la résistance électrique augmente avec l'augmentation de la température.

Lorsque la sonde est exposée à une source de chaleur, la résistance de la thermistance PTC change en fonction de la température ambiante. Cette variation de résistance est ensuite convertie en une valeur de température par un circuit de mesure approprié.

Les sondes à thermistance PTC sont couramment utilisées dans les systèmes de surveillance et de contrôle de la température, tels que les thermostats, les dispositifs de climatisation et les systèmes de refroidissement industriels [7].

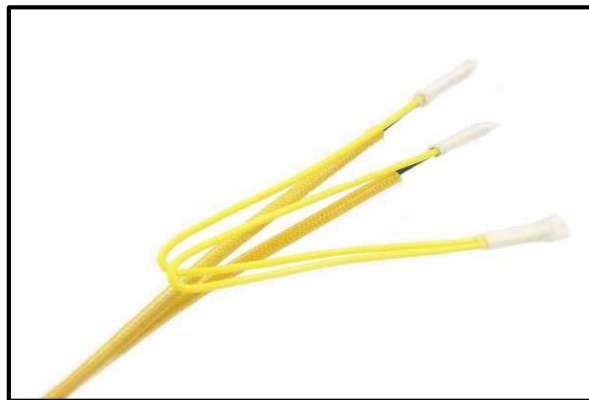


Figure 2-10 : Sonde PTC [7]

#### b) Les fins de course (TOR)

Un interrupteur de fin de course est un dispositif mécanique qui nécessite le contact physique d'un objet avec l'actionneur de l'interrupteur pour faire changer l'état du contact (ouvert/fermé) (**Figure 2-11**).

Lorsque l'objet ou la cible entre en contact avec l'opérateur de l'interrupteur, il finit par déplacer l'actionneur jusqu'à la limite où les contacts changent d'état [8].

On les trouve dans les vérins



Figure 2-11 : Capteur de fin de course [8]

### c) Capteur de rotation TOR

Un capteur tout ou rien de rotation est un type de capteur qui détecte si un objet est en mouvement ou immobile, sans fournir d'informations précises sur la vitesse de rotation.

Lorsque l'objet est en rotation, le capteur émet un signal "ON" pour indiquer le mouvement, et lorsqu'il est immobile, il émet un signal "OFF" pour indiquer l'arrêt.

Ce type de capteur est utilisé pour des applications où seule la détection de la présence ou de l'absence de mouvement est nécessaire, par exemple dans le contrôle de l'état de fonctionnement d'un moteur dans notre cas [9].

## 2.4.2 Actionneurs

Un actionneur (**Figure 2-12**) est un dispositif capable de produire une action physique à partir de l'énergie qu'il reçoit.

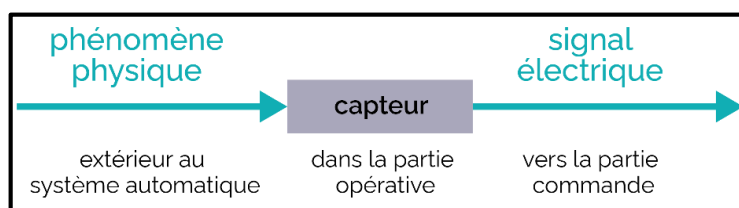


Figure 2-12 : Principe d'un actionneur [9]

Les différents actionneurs qu'on les trouve dans l'échangeur sont :

### a) Vérins pneumatiques à double effets

Un vérin pneumatique est un actionneur linéaire dans lequel l'énergie de l'air comprimé est transformée en travail mécanique.



Un vérin double effet a deux directions de travail. Il comporte deux orifices d'alimentation et la pression est appliquée alternativement de chaque côté du piston, ce qui entraîne son déplacement dans un sens puis dans l'autre [10] (**Figure 2-13**).

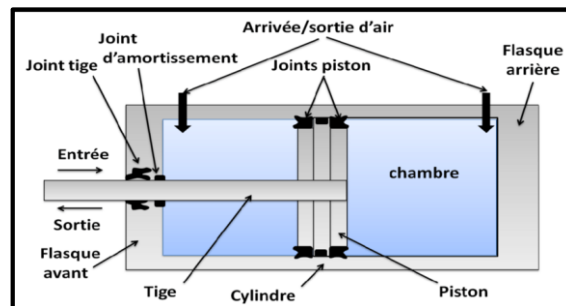


Figure 2-13 : Vérin à double effet [10]

### b) Les électrovannes

Une électrovanne est un dispositif électromécanique utilisé pour contrôler le débit d'un fluide/air en fonction d'un signal électrique. Elle est composée d'une bobine électromagnétique et d'un piston ou d'un obturateur. Lorsque le courant électrique est appliqué à la bobine, elle crée un champ magnétique qui déplace le piston ou l'obturateur, permettant ainsi l'ouverture ou la fermeture du passage du fluide/air [11] (**Figure 2-14**).



Figure 2-14 : Electrovanne [11]

### c) Les ventilateurs

Le rôle d'un ventilateur est de déplacer l'air d'un emplacement à un autre en créant une pression différentielle qui crée un courant d'air (**Figure 2-15**).

Chaque ventilateur est commandé par un moteur triphasé qui entraîne le rotor du ventilateur.





Figure 2-15 : Vue d'un ventilateur (SCMI)

#### d) Moteurs asynchrones triphasés

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie en raison de sa construction simple, de sa fiabilité et de sa faible nécessité d'entretien.

Il se compose de deux parties principales : le stator, qui abrite l'enroulement du moteur, et le rotor. Le stator et le rotor sont fabriqués en empilant des tôles métalliques fines pour réduire les courants de Foucault indésirables.

Cette conception permet d'éviter les pertes d'énergie dues à la circulation de courants induits, ce qui améliore l'efficacité globale du moteur. Grâce à cette construction, le moteur asynchrone triphasé offre un fonctionnement efficace et fiable dans diverses applications industrielles [12] (**Figure 2-16**).



Figure 2-16 : Moteur asynchrone triphasé

On trouve deux différents types des moteurs asynchrones triphasés dans notre atelier, soient :

- Moteurs qui commandent les ventilateurs :  
Marque : Siemens

Type : 1LA6 283 8AB 280M-Z

Puissance : 45 KW

Vitesse : 735 tr/min

➤ Moteurs qui commandent les chaînes de poussière :

Marque : Enel

Type : 890-120-1356-0041

Puissance : 5,5 KW

Vitesse : 1000 tr/min

## 2.5 Analyse fonctionnelle de l'échangeur

La liste de tous les consommateurs et les capteurs qui se trouvent dans la séquence 318S02 est donnée comme suit :

### 2.5.1 Liste des consommateurs

Le tableau suivant présente la liste des consommateurs qui se trouve au niveau de l'échangeur :

Etiquette (TAG)	Description	Conso. Essentiel	Ordre Marche	Ordre Arrêt	Remarques
318DG05MT10	CHAINE METALLIQUE INTERMÉDIAIRE	E	1	15	
318DG04MT10	CHAINE MÉTALLIQUE SOUS ECHANGEUR	E	2	14	
318HE03VN11	TRÉMIE 1 VANNE SUPERIEURE	NE	3	13	Cycle de marche Cf. Fonctions spéciales
318HE03VN12	TRÉMIE 1 VANNE INFÉRIEURE	NE	3	13	
318HE03VN21	TRÉMIE 2 VANNE SUPERIEURE	NE	3	13	Cycle de marche Cf. Fonctions spéciales
318HE03VN22	TRÉMIE 2 VANNE INFÉRIEURE	NE	3	13	
318HE03VN31	TRÉMIE 3 VANNE SUPERIEURE	NE	3	13	Cycle de marche Cf. Fonctions spéciales
318HE03VN32	TRÉMIE 3 VANNE INFÉRIEURE	NE	3	13	
318HE03VN41	TRÉMIE 4 VANNE SUPERIEURE	NE	3	13	Cycle de marche Cf. Fonctions spéciales

Etiquette (TAG)	Description	Conso. Essentiel	Ordre Marche	Ordre Arrêt	Remarques
318HE03VN4 2	TRÉMIE 4 VANNE INFÉRIEURE	NE	3	13	
318FA13MT10	VENTILATEUR 3 ECHANGEUR AIR/AIR	E	4	12	Fonctionnement sur seuil de température.
318FA23MT10	VENTILATEUR 6 ECHANGEUR AIR/AIR	E	5	11	
318FA33MT10	VENTILATEUR 9 ECHANGEUR AIR/AIR	E	6	10	
318FA43MT10	VENTILATEUR 12 ECHANGEUR AIR/AIR	E	7	9	
318FA12MT10	VENTILATEUR 2 ECHANGEUR AIR/AIR	E	8	8	Fonctionnement sur seuil de température.
318FA22MT10	VENTILATEUR 5 ECHANGEUR AIR/AIR	E	9	7	
318FA32MT10	VENTILATEUR 8 ECHANGEUR AIR/AIR	E	10	6	
318FA42MT10	VENTILATEUR 11 ECHANGEUR AIR/AIR	E	11	5	
318FA11MT10	VENTILATEUR 1 ECHANGEUR AIR/AIR	E	12	4	Fonctionnement sur seuil de température.
318FA21MT10	VENTILATEUR 4 ECHANGEUR AIR/AIR	E	13	3	
318FA31MT10	VENTILATEUR 7 ECHANGEUR AIR/AIR	E	14	2	
318FA41MT10	VENTILATEUR 10 ECHANGEUR AIR/AIR	E	15	1	

**a) Désignation de légendes mentionnées dans le tableau**

- Etiquette (TAG) : c'est une codification par exemple : '318 DG 04 MT10'
  - '3' : Représente le numéro de la zone cuisson dans l'usine.
  - '1' : représente le numéro de ligne de production.

- ‘8’ : Représente le numéro de la séquence.
- DG04: c’est la codification chaine sous échangeur.
- MT10 : moteur électrique numéro 10.

- Cons. Essentiel : définie si le consommateur a un rôle essentiel ou pas
  - NE : n’est pas essentiel
  - E : Essentiel

### 2.5.2 Listes des capteurs

Le tableau suivant présente la liste des capteurs qui se trouve au niveau de l’échangeur :

Etiquette (Tag)	Ext	Description Tag	Description Défaut	Interlock(Asservissement)	
				Equipement/Séquence	Type Action
318DG04XZ11		Rupture de Chaîne Métallique sous Echangeur		318DG04MT10	ESVG
318DG05XZ11		Rupture de Chaîne Métallique intermédiaire		318DG05MT10	ESVG
318DG05XS11		Rotation de chaine métallique intermédiaire		318DG05MT10	0
318DG04XS11		Rotation de chaine métallique sous échangeur		318DG04MT10	0
318DG05XT11	H	Température de chaine métallique intermédiaire	Haut	318DG05MT10	0
318DG04XT11	H	Température de chaine métallique sous échangeur	Haut	318DG04MT10	0
318HE03XT11		Température batterie 1			0

Etiquette (Tag)	Ext	Description Tag	Description Défaut	Interlock(Asservissement)	
				Equipement/Séquence	Type Action
318HE03XT12	H	Température batterie 2	Haut		0
318HE03XT13	HH	Température batterie 3	Haut Haut		0
318FA11XT11		Température de ventilateur 1		318FA11MT10	ESVG

Note : Chaque ventilateur a un capteur de température similaire à « 318FA11XT11 » donc on a autre 11 capteurs ne sont pas mentionnés dans le tableau.

- **ESVG** : Interlock sécurité permanent, cette action provoque l'arrêt et le passage de l'icône objet en rouge (sans apparition d'alarme, l'alarme devra être générée par la condition qui provoque l'interlock).

### 2.5.3 La commande locale

La commande locale est conçue pour permettre le contrôle manuel des équipements. Elle est située à proximité de ces derniers. Chaque commande d'équipement comprend un interrupteur pour activer la commande locale, ainsi que deux boutons poussoirs : un pour le démarrage et un autre pour l'arrêt.

Dans le cas où un équipement possède plusieurs modes de fonctionnement, sa commande comprend plusieurs boutons poussoirs de démarrage. L'activation de l'interrupteur ne suffit pas pour activer la commande locale, elle nécessite une autorisation de l'opérateur en charge de l'équipement.

L'avantage de cette commande est qu'elle facilite la maintenance des équipements.

### 2.5.4 Description du mode opératoire

Le mode opératoire se déroule comme suit :

#### a) Démarrage Séquence et description de la marche

- 318DG05MT10 : CHAINE METALLIQUE INTERMÉDIAIRE

Démarre si :  
319DG01MT10 en marche  
ET  
La séquence démarre  
S'arrête si:

La séquence s'arrête  
OU  
319DG01MT10 s'arrête

- 318DG04MT10 : CHAINE MÉTALLIQUE SOUS ECHANGEUR

Démarre si :  
318DG05MT10 en marche  
ET  
La séquence démarre  
S'arrête si:  
La séquence s'arrête  
OU  
318DG05MT10 s'arrête

- CLAPET SOUS ECHANGEUR: 318HE03VN11

Voir fonctions spéciales (ci-dessous)

- CLAPET SOUS ECHANGEUR: 318HE03VN12

Voir fonctions spéciales

- CLAPET SOUS ECHANGEUR: 318HE03VN21.

Voir fonctions spéciales

- CLAPET SOUS ECHANGEUR: 318HE03VN22.

Voir fonctions spéciales

- CLAPET SOUS ECHANGEUR: 318HE03VN31.

Voir fonctions spéciales

- CLAPET SOUS ECHANGEUR: 318HE03VN32.

Voir fonctions spéciales

- CLAPET SOUS ECHANGEUR: 318HE03VN41.

Voir fonctions spéciales

- CLAPET SOUS ECHANGEUR: 318HE03VN42.

Voir fonctions spéciales

Étage 1:

318FA13MT10 : VENTILATEUR 3 ECHANGEUR AIR/AIR

Voir Fonctions Spéciales.

318FA23MT10 : VENTILATEUR 6 ECHANGEUR AIR/AIR

Voir Fonctions Spéciales.

318FA33MT10 : VENTILATEUR 9 ECHANGEUR AIR/AIR

Voir Fonctions Spéciales.

318FA43MT10 : VENTILATEUR 12 ECHANGEUR AIR/AIR  
Voir Fonctions Spéciales.

Étage 2:

318FA12MT10 VENTILATEUR 2 ECHANGEUR AIR/AIR  
Voir Fonctions Spéciales.

318FA22MT10 : VENTILATEUR 5 ECHANGEUR AIR/AIR  
Voir Fonctions Spéciales.

318FA32MT10 : VENTILATEUR 8 ECHANGEUR AIR/AIR  
Voir Fonctions Spéciales.

318FA42MT10 : VENTILATEUR 11 ECHANGEUR AIR/AIR  
Voir Fonctions Spéciales.

Étage 3:

318FA11MT10 : VENTILATEUR 1 ECHANGEUR AIR/AIR  
Voir Fonctions Spéciales.

318FA21MT10 : VENTILATEUR 4 ECHANGEUR AIR/AIR  
Voir Fonctions Spéciales.

318FA31MT10 : VENTILATEUR 7 ECHANGEUR AIR/AIR  
Voir Fonctions Spéciales.

318FA41MT10 : VENTILATEUR 10 ECHANGEUR AIR/AIR  
Voir Fonctions Spéciales.

Arrêt de la séquence

- Arrêt des équipements dans l'ordre inverse du sens de démarrage.

**b) Fonctions spéciales**

- Les ventilateurs : Les ventilateurs de l'échangeur démarrent par batterie (1, 2 et 3) suivant les seuils de température de sortie échangeur (90 °C, 100°C et 110 °C) et un par un avec 10 s entre chacun et la séquence démarrée.

Si un ventilateur tombe en défaut, on passe au suivant sans bloquer le processus. Et ils s'arrêtent par étage (3, 2, 1) suivant les seuils de démarrage – 5°C ou si la séquence s'arrête.

- Les clapets : Les clapets sous échangeur fonctionnent simultanément. Les clapets supérieurs s'ouvrent en même temps pour 10 s. Une fois fermés, les clapets inférieurs s'ouvrent pour 10 s et ainsi de suite. Si un clapet tombe en défaut, on passe au suivant sans blocage.

Le cycle démarre si :

- 318DG04MT10 est en marche ET la séquence démarre

Le cycle s'arrête si :

- 318DG04MT10 s'arrête ou la séquence s'arrête

## 2.6 Problématique

Au niveau de l'échangeur air/air, nous sommes confrontés à deux facteurs gênants qui entravent son bon fonctionnement.

- Tout d'abord, on utilise des thermistances C.T.P pour démarrer les batteries de ventilation. Bien que ces thermistances soient couramment utilisées, elles peuvent présenter certains inconvénients.

Leur sensibilité élevée aux variations de la température peut entraîner des fluctuations inattendues dans la mise en marche des ventilateurs, ce qui peut avoir un impact sur la régulation de la température dans la sortie de l'échangeur. Aussi, ces thermistances C.T.P ne donnent pas des valeurs de température en temps réel ce qui nous empêche de surveiller et de visualiser les variations de la température dans l'échangeur.

- Un autre problème se présente au niveau du système d'évacuation de la poussière : l'ouverture simultanée des vannes des trémies de poussière peut entraîner des problèmes dans le système de transport, notamment des surcharges sur les chaînes métalliques.

Lorsque toutes les vannes des trémies de poussière s'ouvrent en même temps, une augmentation de la quantité de poussière à transporter peut survenir. Cela peut entraîner une pression et une tension supplémentaires sur les chaînes métalliques et les composants du système de transport.

Ainsi, des accumulations et des obstructions de poussière peuvent se former dans les zones sensibles du système, ce qui peut finalement entraîner une défaillance ou des dommages aux composants, affectant ainsi la sécurité et l'efficacité globale du système.

## 2.7 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté le sous-atelier échangeurs air/air ainsi que ses différents composants et son analyse fonctionnel, afin de poser la problématique qui entrave le bon fonctionnement de l'échangeur.

Dans le chapitre suivant, nous allons proposer des solutions et présenter le matériel nécessaire pour atteindre un bon fonctionnement de l'échangeur.



## **Chapitre 3**

### **Solutions proposées & Automatisation**

## 3.1 Introduction

Au niveau de ce chapitre, nous allons proposer des solutions pour résoudre la problématique mentionnée dans le chapitre précédent. Puis, on va présenter des généralités sur les automates programmables industriels afin d'indiquer l'API utilisé dans notre projet, soit le SIMATIC S7-400 et sa constitution ainsi que les protocoles de communication industriels.

## 3.2 Solutions suggérées

Comme il a été mentionné dans le chapitre précédent, notre problématique est constituée de deux parties principales. Nous allons donc essayer de proposer des solutions pour résoudre ces problèmes.

### 3.2.1 Système de ventilation

L'utilisation actuelle de capteurs logiques de type CTP pour surveiller la température des gaz sortants de l'échangeur et pour démarrer les batteries de ventilation présente plusieurs problèmes et des inconvénients.

### 3.2.2 Inconvénients des capteurs CTP

Les capteurs (ou thermistances) CTP (à Coefficient de Température Positif) présentent certains inconvénients potentiels, notamment :

- La non-linéarité : Les capteurs CTP ont une réponse non linéaire à la température, ce qui signifie que la relation entre la résistance du capteur et la température n'est pas proportionnelle de manière constante. Cela peut nécessiter une correction supplémentaire pour obtenir des mesures précises.
- La sensibilité aux variations de la température ambiante : Les capteurs CTP peuvent être sensibles aux variations de la température ambiante. Les changements de température environnante peuvent entraîner des variations de la résistance du capteur, ce qui peut affecter la précision des mesures.
- La plage de mesure limitée : Les capteurs CTP ont généralement une plage de mesure plus restreinte par rapport à certains autres capteurs de température. Ils peuvent ne pas être adaptés aux applications nécessitant une mesure précise sur une large plage de températures.

- Le temps de réponse : Les capteurs CTP peuvent avoir un temps de réponse plus lent par rapport à certains autres capteurs de température. Cela signifie qu'ils peuvent nécessiter plus de temps pour détecter et signaler les changements de température [7].

Pour cela, on propose de remplacer les capteurs CTP par un autre type de capteurs analogiques de température pour un meilleur fonctionnement du système de ventilation.

### 3.2.3 Capteurs analogique de température

Un capteur de température analogique est un dispositif électronique qui mesure la température et fournit une sortie électrique proportionnelle à la variation de température.

Contrairement aux capteurs de température numériques qui fournissent une valeur numérique discrète, les capteurs de température analogiques fournissent une sortie continue sous forme d'un signal électrique analogique.

Les capteurs de température analogiques sont largement utilisés dans diverses applications telles que les systèmes de contrôle de la température, les dispositifs de surveillance de l'environnement, les applications médicales, les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, et bien d'autres encore [13].

On peut trouver deux types de sondes analogiques de température qui peuvent nous aider à résoudre le problème au niveau du système de ventilation et qui sont :

#### a) Les thermocouples

Un thermocouple est un type de capteur de température qui utilise le principe de l'effet Seebeck pour mesurer les variations de température. Il se compose de deux conducteurs métalliques différents, généralement soudés ensemble aux extrémités pour former une jonction.

Lorsque cette jonction est soumise à une différence de température, une force électromotrice (FEM) est générée, créant ainsi un courant électrique proportionnel à la différence de température entre la jonction de mesure (jonction chaude) et la jonction de référence (jonction froide) (**Figure 3-1**).

Les thermocouples sont appréciés pour leur large plage de mesure de température, leur durabilité, leur réponse rapide et leur capacité à fonctionner dans des environnements extrêmes, tels que des températures élevées, des atmosphères corrosives ou des zones à haute pression.

Ils sont largement utilisés dans diverses applications industrielles, telles que le contrôle de processus, la surveillance de température des moteurs, les systèmes de chauffage, les fours industriels et les systèmes de climatisation [14].

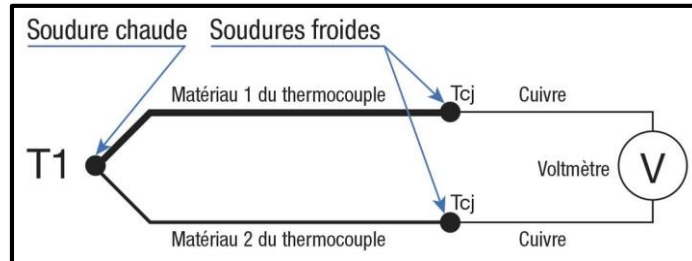


Figure 3-1: Schéma simplifié d'un thermocouple [14]

### b) Les sondes PT100 (RTD)

Les sondes PT100 RTD (L'abréviation anglaise RTD signifie « Resistance Temperature Detector ») sont des capteurs de température qui utilisent une résistance de platine (Pt) comme élément de détection. Le chiffre "100" dans le nom fait référence à la résistance nominale à 0°C, qui est de 100 ohms.

Les sondes PT100 fonctionnent sur le principe que la résistance électrique d'un fil de platine change de manière linéaire en fonction de la température. La résistance de la sonde PT100 augmente avec l'augmentation de la température selon une relation précise et bien connue. Cette variation de résistance est mesurée à l'aide d'un circuit de mesure approprié, généralement en utilisant un pont de Wheatstone.

Les sondes PT100 offrent plusieurs avantages, notamment une grande précision et une stabilité à long terme. Elles sont connues pour leur linéarité et leur reproductibilité, ce qui les rend idéales pour les applications qui nécessitent des mesures de température précises et fiables. De plus, les sondes PT100 peuvent couvrir une large plage de températures, allant généralement de -200 °C à environ 600 °C [13].

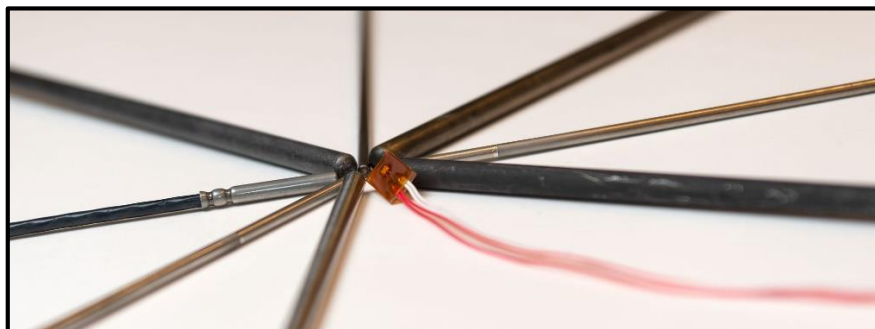


Figure 3-2 : Sondes PT100 [13]

**c) Les thermocouples versus les sondes PT100**

Il n'est pas approprié de faire une comparaison générale entre les sondes PT100 et les thermocouples. Cependant, en évaluant leurs performances selon des critères spécifiques, nous pouvons déterminer quel capteur est le plus adapté à notre application :

- Les thermocouples :
  - peuvent être utilisés pour mesurer des températures beaucoup plus élevées
  - sont très robustes
  - son bon marché
  - ne nécessitent pas d'excitation externe ni d'alimentation
  - ne sont pas très précis
  - nécessitent une compensation de soudure froide
  - doivent avoir des fils d'extension dans un matériau adapté à leur type et une attention toute particulière doit être portée à l'homogénéité de la température au niveau des soudures tout au long du circuit.
  - peuvent présenter des erreurs inattendues à cause de l'inhomogénéité dans leur fils.
  
- Les PT100 :
  - sont plus précises, linéaires et stables que les thermocouples
  - ne nécessitent pas de compensation de soudure froide au contraire des thermocouples
  - peuvent avoir des fils d'extension en cuivre
  - sont plus coûteuses que les thermocouples
  - nécessitent un courant d'excitation connu en fonction de leur type
  - sont plus fragiles
  
- Comme la précision est le facteur le plus important dans notre application, on opte pour les sondes PT100 pour remplacer les capteurs CTP au niveau de la sortie de l'échangeur air \ air.

### 3.2.4 Système d'évacuation de poussière

Dans le but d'améliorer le fonctionnement (ouverture et fermeture) des clapets d'évacuation de poussière, on propose un nouveau type de fonctionnement où les clapets sous échangeur fonctionnent en cycle.

Partant du principe qu'on ne peut avoir qu'un seul clapet ouvert à la fois, chaque clapet présente un temps  $T_x$  d'ouverture et un temps  $T_y$  de repos. Et si un clapet tombe en défaut, on passe au suivant sans bloquer le processus de fonctionnement général.

Exemple : au début du cycle, le clapet 1 s'ouvre pour  $T_x$  et après sa fermeture le clapet 2 s'ouvre puis le clapet 3 et ainsi de suite jusqu'au clapet 8, et le cycle redémarre à nouveau.

L'ordre et le sens d'ouverture des clapets sont présentés sur la **Figure 3-3** :

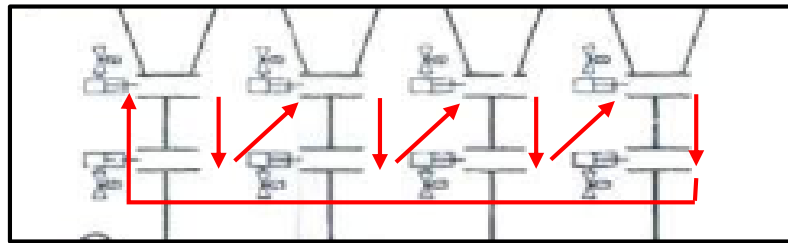


Figure 3-3 : Nouveau Fonctionnement de clapets

La **figure 3-4** présente le chronogramme qui explique l'ouverture et le repos de chaque clapet et son ordre en fonction du temps du cycle.

Temps total du cycle : 80 s

Temps d'ouverture de chaque clapet : 10 s

Temps de repos de chaque clapet : 70 s

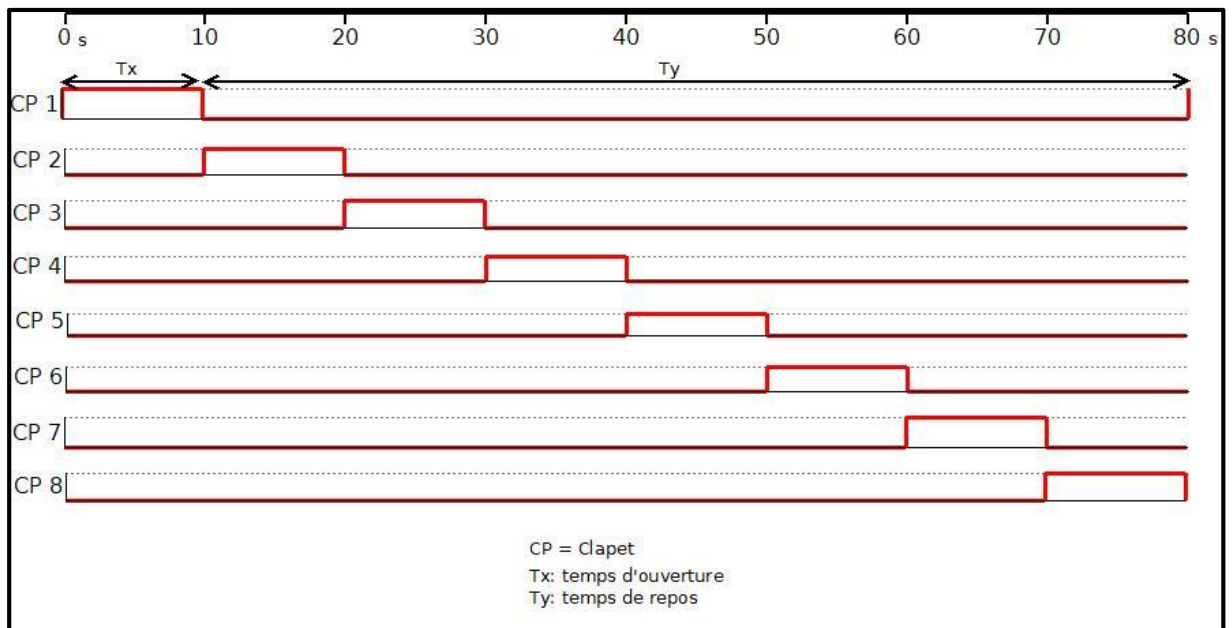


Figure 3-4: Chronogramme du nouveau fonctionnement des clapets

### 3.3 Généralités sur l'automatisme

L'automatique est la branche de l'ingénierie qui traite de la conception, de l'analyse, de la fabrication et de l'exploitation de systèmes dynamiques, tels que les systèmes de contrôle automatique, les robots et les systèmes d'automatisation industrielle.

Ainsi, l'automatisme est un processus où un système automatique fonctionne sans intervention humaine directe.

#### 3.3.1 Système automatisé

Un système automatisé est un ensemble de composants matériels et logiciels interconnectés qui fonctionnent de manière autonome pour effectuer des tâches spécifiques sans intervention humaine directe.

Ces systèmes peuvent être programmés pour prendre des décisions en fonction de conditions prédéfinies ou d'entrées de capteurs, ce qui leur permet de répondre de manière dynamique à des situations en temps réel.

#### 3.3.2 Les parties d'un système automatisé

L'exécution d'un système automatisé dépend des consignes et des ordres actuels, sachant qu'ils sont répartis sur 3 parties principales :

- Partie commande : qui est constituée d'une unité de traitement et donne les ordres à la partie opérative
- Partie opérative : qui est composée d'actionneurs et d'effecteurs pour l'exécution des ordres reçus de la partie commande.
- Partie dialogue : elle représente une interface homme machine, qui assure une communication entre l'opérateur et le système automatisé.

### 3.4 Automate programmable industriel (API)

L'Automate Programmable Industriel (API) est un appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logiques, analogiques ou numériques [15].

#### 3.4.1 Historique

Les automates programmables industriels ou A.P.I. comme on les appelle le plus souvent ou encore Programmable Logic Controller (PLC en anglais), sont apparus aux Etats-Unis vers 1969 où ils répondaient aux désirs des industries de l'automobile de développer des chaînes de fabrication automatisées qui pourraient suivre l'évolution des technologies et des modèles fabriqués. L'A.P.I. s'est ainsi substitué aux armoires à relais en raison de sa souplesse, mais aussi parce que dans les automatismes de commande complexe, les coûts de câblage et de mise au point devenaient trop élevés. Les premiers constructeurs américains étaient les entreprises Modicon et Allen-Bradley [15].

#### 3.4.2 Définition d'un API

Un Automate Programmable Industriel (API) est une machine électronique programmable par un personnel non informaticien et destiné à piloter en ambiance industrielle et en temps réel des procédés industriels. Il est adaptable à un maximum d'application, d'un point de vue traitement, composants, langage. C'est pour cela qu'il est de construction modulaire.

Il est en général manipulé par un personnel électromécanicien. Le développement de l'industrie a entraîné une augmentation constante des fonctions électroniques présentes dans un automatisme c'est pour ça que l'API s'est substitué aux armoires à relais en raison de sa souplesse dans la mise en œuvre, mais aussi parce que dans les coûts de câblage et de maintenance devenaient trop élevés [16].



### 3.4.3 Les avantages des API

Les A.P.I. offrent de nombreux avantages par rapport aux dispositifs de commande câblés, comme [15] :

- La fiabilité.
- La simplicité de mise en œuvre (pas de langage de programmation complexe).
- La souplesse d'adaptation (système évolutif et modulaire).
- La maintenance et le dépannage possibles par des techniciens de formation électromécanique.
- L'Intégration dans un système de production (implantation aisée).

### 3.4.4 Architecture des API

Les API présentent deux architectures : extérieure et intérieure.

#### a) Aspect extérieur

Les automates peuvent être de type compact ou modulaire.

- Les automates de type compact ou micro automates (**Figure 3-5**) intègrent le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties.

Selon les modèles et les fabricants, ils peuvent réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques ...) et recevoir des extensions en nombre limité. Exemples : LOGO de Siemens, ZELIO de Schneider, S7-200 de Siemens... Ces automates sont de fonctionnement simple et sont généralement destinés à la commande de petits automatismes.



Figure 3-5: Automate compact (LOGO) [14]

- Pour les automates de type modulaire (**Figure 3-6**), le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le "fond de panier" (bus plus connecteurs).

Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes où puissance, capacité de traitement et flexibilité sont nécessaires [15].



Figure 3-6 : Automate modulaire (Modicon) [14]

#### b) Structure externe

Un API modulaire est constitué de modules séparés pour : l'alimentation, le processeur, les entrées/sortie, les interfaces de communication. Les modules sont branchés les uns à la suite des autres dans un rack. Il suffit d'insérer un module sur le rack et de le configurer dans le logiciel pour l'ajouter. Le rack de fond fournit le bus de communication et l'alimentation du module [17] (**Figure 3-7**).

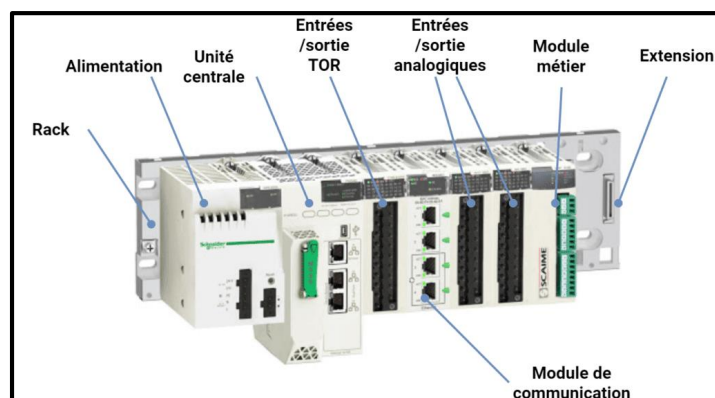


Figure 3-7: Structure externe d'un API [16]

#### c) Structure interne

De manière générale, l'automate programmable industriel est composé de plusieurs éléments de base décrite ci-dessous (**Figure 3-8**).

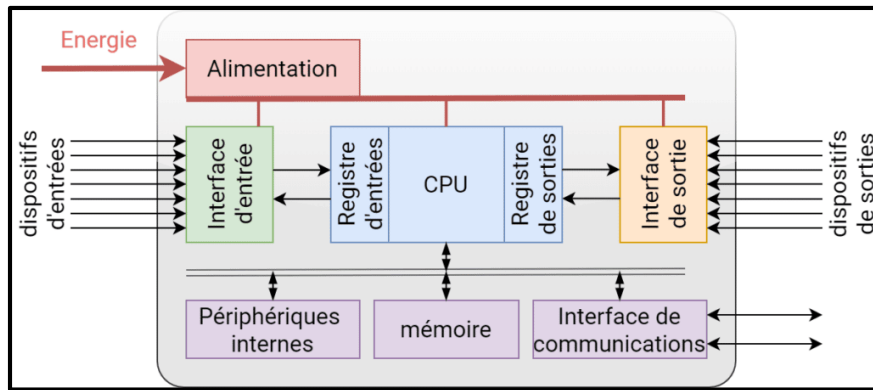


Figure 3-8 : Structure interne d'un API [17]

- **Un processeur** (ou Central Processing Unit, CPU) : Son rôle consiste à traiter les instructions qui constituent le programme de fonctionnement de l'application, à gérer les entrées et sorties, à surveiller et diagnostiquer l'automate, à mettre en place un dialogue avec le terminal de programmation.
- **Une mémoire** : Elle permet le stockage des instructions constituant le programme de fonctionnement ainsi que diverses informations. Il peut s'agir de mémoire vive RAM (modifiable à volonté, mais perdue en cas de coupure de tension) ou de mémoire morte EEPROM (où seule la lecture est possible).
- **Des interfaces entrées/sorties** : Elles permettent au processeur de recevoir et d'envoyer des informations. Ces dispositifs d'entrée et sortie peuvent produire des signaux discrets, numériques (ce sont des sorties de type « tout ou rien ») ou analogiques.
- **L'alimentation** : est indispensable puisqu'elle convertit une tension alternative en une basse tension continue (24V) nécessaire au processeur et aux modules d'entrées-sorties. L'alimentation ne fait pas toujours partie de l'automate qui sera donc directement alimenté par une basse tension.
- **Interface de communication** : est utilisée pour recevoir et transmettre des données sur des réseaux de communication qui relient l'API à d'autres API distants ou à des équipements en fonction des protocoles choisis.
- **Périphérique de programmation** : est utilisé pour introduire le programme dans la mémoire du processeur. Ce programme est développé sur le périphérique, puis transféré dans la mémoire de l'API [17].

### 3.4.5 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 expériences vécues sont déjà un point de départ.

- Les grandes sociétés privilégieront deux fabricants pour faire jouer la concurrence et pouvoir "se retourner" en cas de "perte de vitesse" de l'une d'entre elles.
- Le personnel de maintenance doit toutefois être formé sur ces matériels et une trop grande diversité des matériels peut avoir de graves répercussions.
- 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 [18].

A tout cela, on doit considérer un certain nombre de critères importants, tels que :

- Le 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.
- La nature des entrées/sorties (numériques, analogiques et booléennes).
- Le 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.
- Les fonctions ou modules spéciaux : certaines cartes (commande d'axe, pesage ...) permettront de soulager le processeur et devront offrir les caractéristiques souhaitées (résolution, ...).
- Les 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 ...).
- La fiabilité et la robustesse et le dialogue (la console détermine le langage de programmation).
- La qualité de service après-vente.
- Et enfin, la durée de garantie.

## 3.5 Les API SIEMENS

Siemens est une entreprise de renommée mondiale dans le domaine de la fabrication d'automates programmables industriels. Elle propose différents types d'API, les plus célèbres étant la famille SIMATIC S5 et SIMATIC S7.

Les API SIMATIC S5 comprennent les modèles tels que S5-90U, S5-95U, et d'autres encore.

Quant aux API SIMATIC S7, Siemens a développé plusieurs nouvelles générations, notamment les S7-200, S7-300, S7-400, S7-1200 et S7-1500.

### 3.5.1 Le SIMATIC S7-400

Dans notre projet, on va utiliser le SIMATIC S7-400 qui est un automate programmable industriel (API) fabriqué par Siemens. C'est un système d'automatisation puissant et fiable utilisé principalement dans des applications industrielles complexes nécessitant des performances élevées et des capacités de contrôle à grande échelle (**Figure 3-9**).

Ainsi donc, le S7-400 est l'API utilisé dans notre projet vue à cause de sa disponibilité au niveau de l'usine.



Figure 3-9: Vue extérieure du Simatic S7-400

### 3.5.2 Description du S7-400

Le SIMATIC S7-400 est un système d'automatisation modulaire qui offre une gamme de modules pouvant être associés en fonction des besoins spécifiques.

Les différents composants qui constituent cet automate programmable sont :

**a) Module d'alimentation (PS)**

Le module d'alimentation PS 407 du S7-400 est conçu pour fournir une alimentation électrique d'une capacité maximale de 10A. Il est conçu pour convertir l'alimentation électrique de la source principale en une tension appropriée et stable pour alimenter le système. Il est généralement installé dans le rack central du S7-400 et est connecté à l'alimentation électrique externe.

Il est équipé de fonctionnalités de surveillance et de protection pour assurer la sécurité et la stabilité de l'alimentation électrique [19].

**b) Unité de traitement centrale (CPU)**

Le CPU 416-3 DP est un processeur central (CPU) utilisé dans les systèmes de contrôle automatisé. Il fait partie de la famille de produits S7-400 de Siemens.

Le CPU 416-3 DP offre une puissance de traitement élevée et est capable d'exécuter des tâches complexes de contrôle et de communication. Il dispose de différentes interfaces de communication, notamment Ethernet et Profibus DP, permettant une intégration flexible dans un large éventail d'applications industrielles [19].

**c) Processeur de communication (CP)**

Le CP 443-1 est conçu pour permettre la communication entre le système de contrôle central et d'autres équipements ou systèmes externes. Il offre des fonctionnalités avancées de connectivité réseau, permettant l'échange de données et la coordination des processus entre les différents composants d'un système automatisé.

Ce module de communication prend en charge plusieurs protocoles de communication industriels tels que Profibus DP, Profinet IO et TCP/IP [19].

**d) Les modules d'entrées/sorties (SM)**

Ils assurent le rôle d'interface entre la CPU et le processus, en récupérant les informations sur l'état de ce dernier et en coordonnant les actions. Plusieurs types de modules sont disponibles sur le marché selon l'utilisation souhaitée:

- Modules TOR: l'information traitée ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1) C'est le type d'information délivrée par une cellule photoélectrique, un bouton poussoir ...etc.
- Modules analogiques: l'information traitée est continue et prend une valeur qui évolue dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (débit, niveau, pression, température...etc.).

### e) Coupleur (IM)

L'IM 153-1 est un module d'interface utilisé dans les systèmes d'automatisation industrielle. Il fait partie de la famille de produits ET200 de Siemens.

Il est conçu pour permettre la communication entre le système de contrôle central et les périphériques décentralisés. Il agit comme un module d'interface entre le réseau de communication et les modules d'E/S décentralisés.

L'IM 153-1 prend en charge plusieurs protocoles de communication industriels, tels que Profibus DP (Decentralized Peripherals) ou Profinet, pour assurer une connectivité fiable et rapide avec le système de contrôle central. Il permet également d'étendre facilement le nombre de périphériques décentralisés en ajoutant des modules supplémentaires [19].

## 3.6 Communications avec l'API

L'API offre des possibilités de communication qui vont au-delà de l'interaction avec le processus contrôlé par le biais de ses modules d'E/S. Nous pouvons identifier d'autres types de relations qui peuvent être établies [19] :

- Communication avec un opérateur par un pupitre ou un terminal industriel.
- Affichage local de valeurs numériques ou de messages.
- Échanges d'informations avec d'autres API ou systèmes de commande.
- Échanges d'informations avec une supervision.
- Échanges d'informations avec un processeur maître, ou, au contraire, avec des esclaves, dans le cadre d'un réseau.

### 3.6.1 Réseaux de communication

Différents réseaux sont disponibles pour répondre aux exigences de la communication industrielle (**Figure 3-10**), soient :

- MPI
- PROFIBUS
- Ethernet industriel

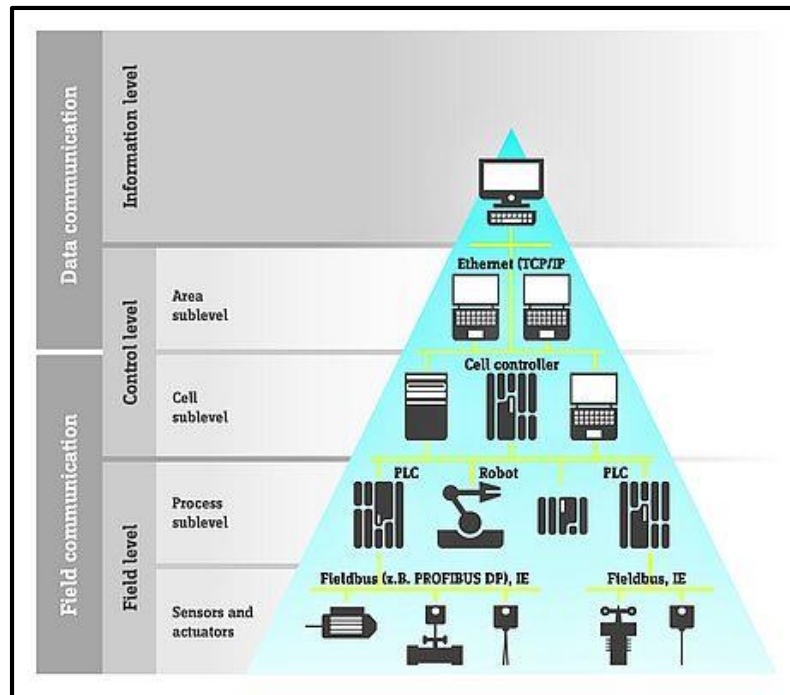


Figure 3-10 : Protocoles de réseaux industriels [20]

#### a) MPI

MPI (Multi-Point Interface) est un protocole de communication utilisé dans les systèmes d'automatisation industrielle, notamment dans les automates programmables Siemens S7-300 et S7-400.

Il permet d'établir une connexion entre plusieurs CPUs (processeurs) au sein d'un système automatisé. La vitesse maximale de communication supportée par MPI est de 187,5 kBaud [19].

#### b) PROFIBUS

PROFIBUS (PROcess Field BUS) est un protocole de communication largement utilisé dans l'automatisation industrielle.

Il est utilisé pour connecter et échanger des données entre les capteurs, les actionneurs, les automates programmables et d'autres dispositifs dans un environnement industriel. Il est utilisé dans une variété d'applications, telles que la commande de processus, la surveillance et le contrôle de l'usine, les systèmes de supervision et de gestion, etc.

PROFIBUS offre des avantages tels qu'une grande vitesse de transmission, une configuration flexible du réseau, une compatibilité avec une large gamme de dispositifs et une fiabilité élevée [19].



**c) Ethernet industriel**

L'Ethernet industriel est un réseau de communication utilisé au niveau des cellules et de la supervision dans le domaine de l'automatisation industrielle. Il permet l'échange de grandes quantités de données sur de longues distances entre de nombreuses stations.

Il s'agit du réseau le plus puissant pour la communication industrielle, nécessitant peu de manipulations de configuration et offrant une extensibilité facile [19].

**3.7 Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons proposé des solutions pour atteindre le bon fonctionnement de l'échangeur air\air.

Nous avons ensuite présenté l'automate programmable industriel S7-400 que nous allons utiliser dans notre projet.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter le logiciel PCS7 puis on va détailler toutes les étapes nécessaires pour programmer notre projet.

# **Chapitre 4**

## **Programmation et Supervision**

## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter le logiciel de programmation Simatic PCS7 qu'on a utilisé dans notre projet, ainsi que la configuration matérielle nécessaire pour assurer le bon fonctionnement de notre séquence.

Ensuite nous allons introduire le système SCADA utilisé pour la supervision le Simatic WinCC et ses différents vues.

## 4.2 La programmation des API

La programmation d'un API consiste à traduire dans le langage spécifique de l'automate, les équations de fonctionnement du système à automatiser. Parmi les langages normalisés, on cite :

- **IL** : Instruction List ou liste d'instructions  
Ce langage textuel de bas niveau est un langage à une instruction par ligne. Il ressemble, Dans certains aspects, au langage assembleur employé pour la programmation des microprocesseurs.
- **ST** : Structured Text ou texte structuré  
Ce langage textuel de haut niveau est un langage évolué. Il permet la programmation de tout type d'algorithme plus ou moins complexe.
- **LD** : Ladder Diagram ou schéma à contacts  
Ce langage graphique est essentiellement dédié à la programmation d'équations booléennes (true ou false).
- **SFC** : Sequential Function Chart  
Issu du langage GRAFCET, ce langage de haut niveau permet la programmation aisée de tous les procédés séquentiels.
- **FBD** : Function Block Diagram ou diagrammes de schémas fonctionnels.  
C'est un langage graphique qui permet la construction d'équations complexes

Il existe deux méthodes possibles pour la programmation des API :

- avec une console de programmation (PG) reliée par un câble spécifique.
- avec un PC et un logiciel approprié.

### 4.3 Le Simatic PCS 7

Le PCS 7 est le logiciel de programmation utilisé dans notre projet. C'est un système de contrôle distribué (DCS - Distributed Control System) utilisé dans l'automatisation industrielle. Développé par Siemens, il offre une plateforme complète pour la surveillance et le contrôle des processus industriels.

Le système PCS7 utilise une architecture distribuée, avec des contrôleurs décentralisés et une communication réseau entre les différents modules. Il permet une gestion efficace des processus industriels complexes, offrant des fonctionnalités telles que la surveillance en temps réel, la collecte de données historiques, la gestion des alarmes, la planification de la production, etc.

L'une de ces caractéristiques clés est son environnement de développement convivial, qui permet aux ingénieurs de configurer et de programmer le système de contrôle en utilisant des outils graphiques et des langages de programmation tels que le langage graphique SIMATIC S7 et le langage de programmation CFC (Continuous Function Chart) [18].

#### 4.3.1 Architecture du système Simatic PCS7

L'architecture du système SIMATIC PCS 7 (**figure 4-1**) est conçue de manière à permettre une configuration optimale du contrôle-commande, adaptée aux dimensions de l'installation.

De plus, il est possible à tout moment d'augmenter les capacités ou de procéder à des modifications technologiques pour développer ou reconfigurer le contrôle - commande SIMATIC PCS 7.

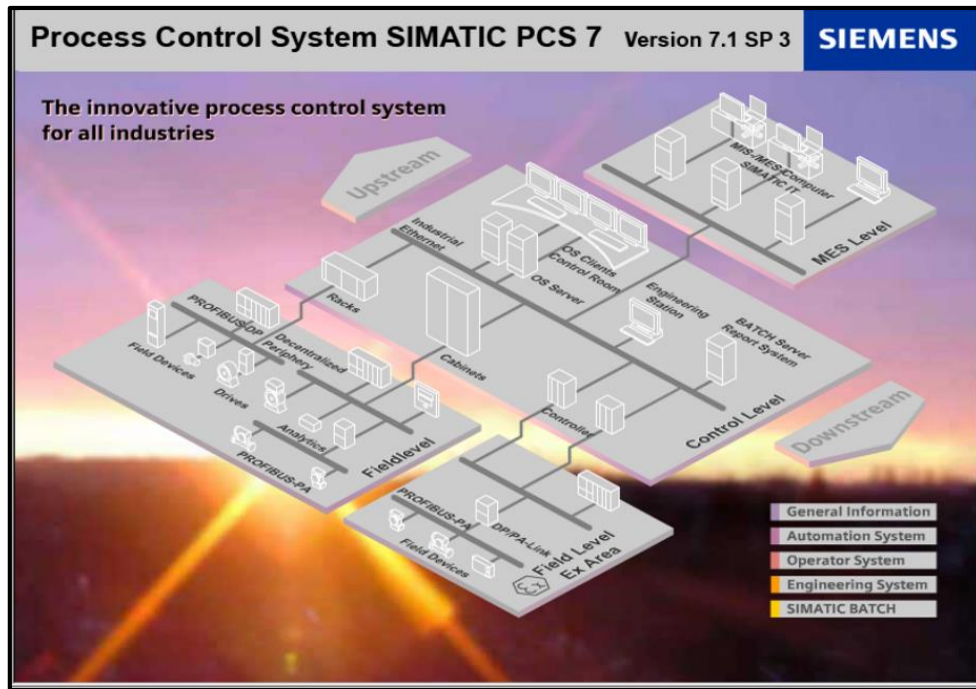


Figure 4-1 : L'architecture du système SIMATIC PCS 7

### 4.3.2 Le pack CEMAT

CEMAT est une technologie logicielle fidèle pour l'exploitation des cimenteries, qui offre des diagnostics faciles à utiliser pour réduire les temps d'arrêt. Il améliore la productivité des opérateurs grâce à des interfaces qui fournissent des informations de diagnostic précises avant le démarrage des entraînements ou des groupes d'appareils.

Grâce au pack CEMAT, SIMATIC PCS7 devient un système de contrôle de procédé capable de répondre à toutes les exigences de l'industrie du ciment.

Il facilite un échange rapide de données à l'intérieur de l'installation, ainsi qu'à travers les réseaux d'entreprise. Son intégration à PCS7 a apporté de nombreuses améliorations, notamment la création de la bibliothèque "ILS\_CEM" qui regroupe tous les blocs nécessaires à la création d'un programme de commande pour une industrie du ciment.

### 4.3.3 SIMATIC Manager

L'application centrale de SIMATIC Manager, souvent considérée comme le "cœur" de PCS 7, est utilisée pour ouvrir toutes les autres applications nécessaires aux paramétrages du projet PCS 7 (Figure 4-2).

SIMATIC Manager et les autres applications sont interconnectées, ce qui nous permet de visualiser tous les blocs que nous avons insérés dans un diagramme CFC (Continuous Function Chart) depuis l'éditeur CFC.

Un autre avantage important de cette interconnexion est la facilité d'accès à toutes les données que nous avons créées dans SIMATIC Manager et les applications correspondantes lors de la configuration de la station opératrice. Lors de la configuration de l'OS (station opératrice), nous pouvons rapidement et facilement visualiser un point de mesure dans un diagramme CFC [20].

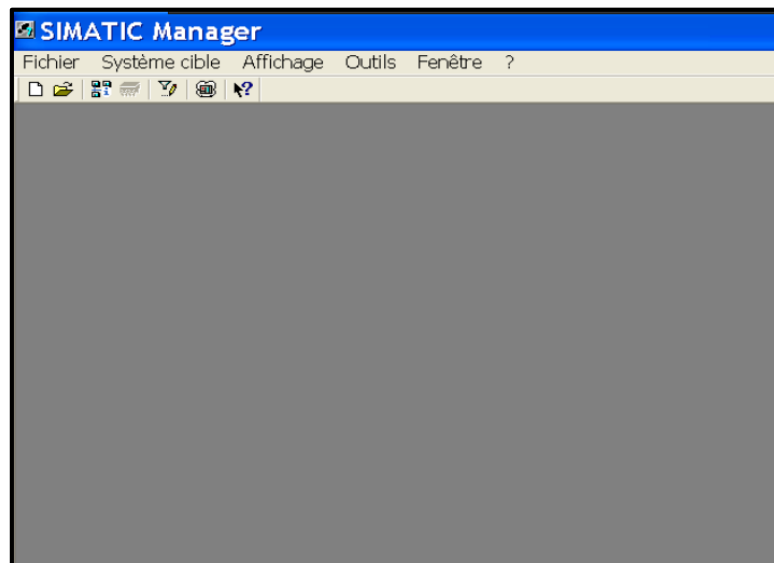


Figure 4-2 : Présentation de SIMATIC Manager

#### 4.3.4 Les différents vues de Simatic Manager

SIMATIC Manager constitue l'écran d'accueil de la programmation avec PCS7. Cette application offre trois vues différentes pour la gestion du projet (**Figure 4-3**).

**a) Vue de composants**

Elle présente la disposition physique des objets individuels, tels que les diagrammes, les blocs ou le matériel utilisé comme le CPU ou le module de communication.

**b) Vue technologique**

Elle illustre la structure hiérarchique précise de notre installation. Cela nous permet de diviser notre installation en sous-ensembles clairement définis et de visualiser quels diagrammes ou synoptiques appartiennent à chaque sous-ensemble.

c) **Vue d'objets de processus**

Elle présente des informations détaillées sur les objets individuels de la vue technologique. Cette vue est particulièrement adaptée lorsque nous avons besoin de configurer, commenter ou connecter les objets de notre projet.

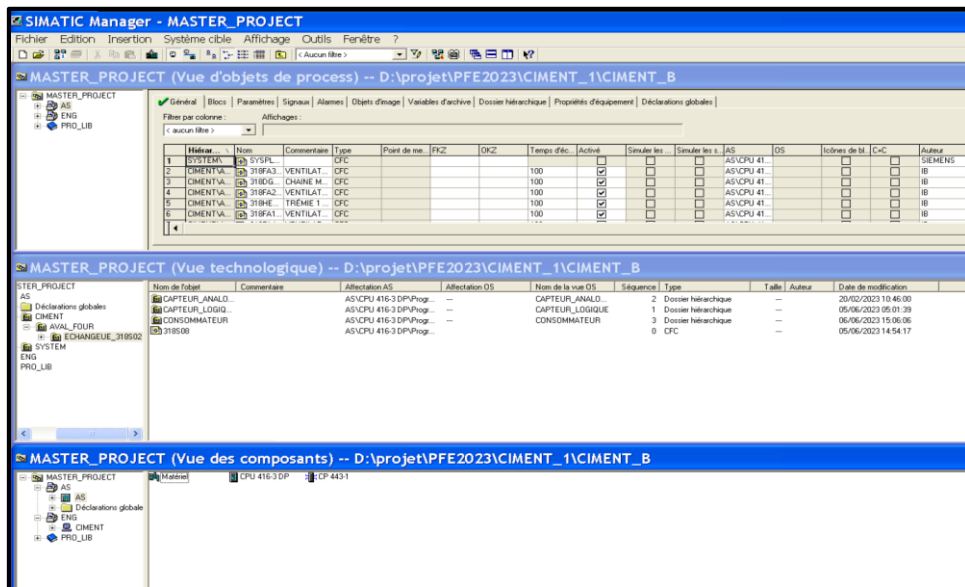


Figure 4-3 : Les différents vues de Simatic Manager

**4.3.5 Un multi projet**

Un multi projet fait référence au répertoire qui regroupe tous les projets et bibliothèques d'une solution d'automatisation. Il peut contenir un ou plusieurs projets STEP 7 et bibliothèques associées.

**4.4 Création d'un multi projet MASTER\_PROJECT**

Nous allons maintenant, expliquer les différentes étapes suivies pour créer notre projet qu'on a nommé : MASTER\_PROJECT.

Pour créer un nouveau projet dans PCS7, on démarre le Simatic Manager puis on ouvre Fichier » Nouveau, on lui donne un nom, on choisit multi projet et une destination où on va le sauvegarder comme illustré dans la Figure 4-4.

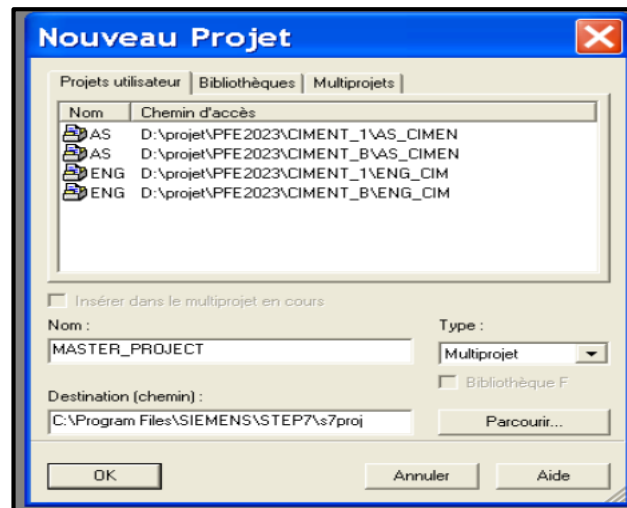


Figure 4-4 : Création d'un multi projet

Après avoir créé et nommé le multi projet, il est nécessaire de configurer une station AS (Station Automate) ainsi qu'une station ENG (station ingénieur), en fonction de la configuration matérielle de l'usine.

Pour la station AS, on utilise le matériel SIMATIC 400 (Figure 4-5), tandis que pour la station ENG, on utilise le matériel SIMATIC PC.

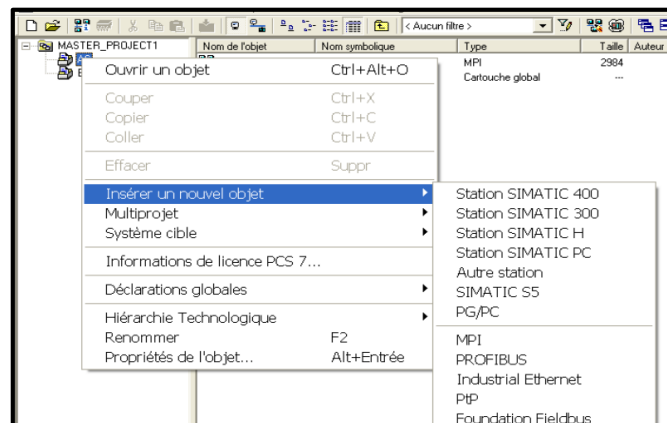


Figure 4-5 : L'insertion de la station SIMATIC 400 dans le projet AS

En suivant les mêmes étapes pour créer un projet, on ajoute la bibliothèque « PRO\_LIB » (figure 4-6) et on la définit comme bibliothèque principale.



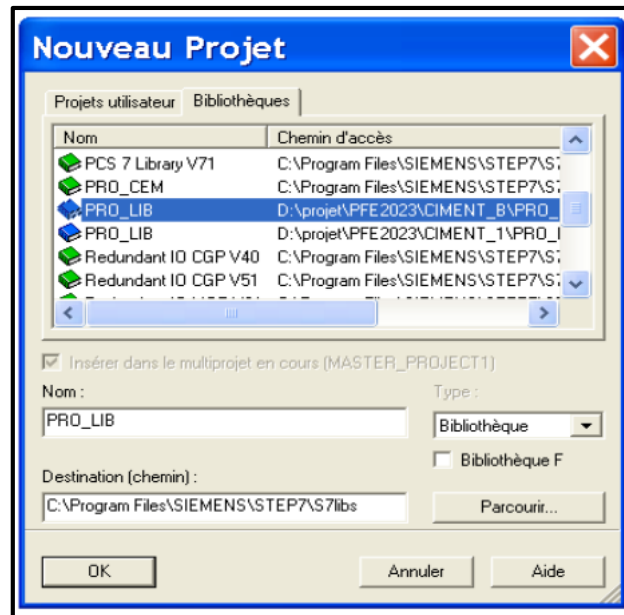


Figure 4-6 : Insertion d'une bibliothèque

#### 4.4.1 La configuration dans la station AS

Dans la vue de composant au niveau de la station AS, on ouvre la configuration matérielle (HWCONFIG) d'AS qui est vide, et on la configure comme suit (**Figure 4-7**) :

- Le premier matériel que nous allons créer est le RACK(UR2) de S7-400, qui contient 9 emplacements. Ceci est possible à partir de la Fenêtre "Catalogue du matériel" sur SIMATIC 400 > RACK-400 > UR2.
- Le deuxième matériel que nous allons générer est l'alimentation PS407 10A, on le place à la première position du rack à partir de "Catalogue du matériel" sur (SIMATIC-400>PS-400> Standard PS-400> PS 407 10A).
- Le troisième matériel à configurer est la CPU 416-3 DP, dans la troisième position du rack, on l'engendre à partir du "Catalogue du matériel" sur (SIMATIC-400>CPU-400> CPU 416-3 DP>6ES7 416-3XR05-0AB0 > V5.3).
- Le quatrième matériel à configurer est le module de communication Ethernet Cp 443-1. Pour cela, on sélectionne la cinquième position du rack à partir de "Catalogue du matériel" sur (SIMATIC400>CP-400> Industriel Ethernet >CP 443-1> 6GK 443-1EX20- 0XE0>double clic sur V2.0).

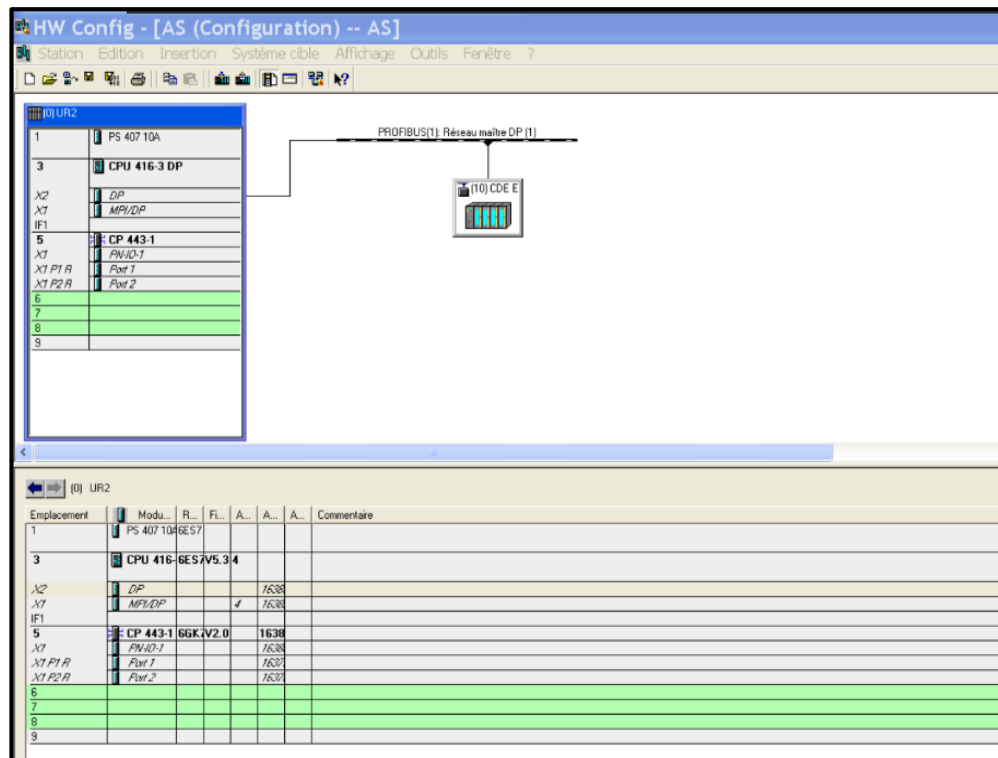


Figure 4-7: Configuration matérielle de la station AS

#### 4.4.2 La configuration dans la station ENG

Dans la vue des composants de la station ENG, on insère une nouvelle station SIMATIC PC et on la configure comme suit (**Figure 4-8**) :

1. On sélectionne le rack, puis on choisit dans le "Catalogue du matériel" l'option PC SIMATIC > IHM > WINCC Application.
2. Le deuxième composant à ajouter et à configurer est le Cp 443-1 pour la communication via le protocole industriel Ethernet :
  - On sélectionne la position (2) du rack, puis on choisit dans le "Catalogue du matériel" l'option station PC SIMATIC > CP-industriel Ethernet > Générale IE > SW V6.2 SP1.
  - Ensuite, on choisit le réseau approprié et on confirme en cliquant sur OK.
3. Enfin, il est important de vérifier la cohérence de la configuration, de la compiler, de l'enregistrer et de fermer la configuration.

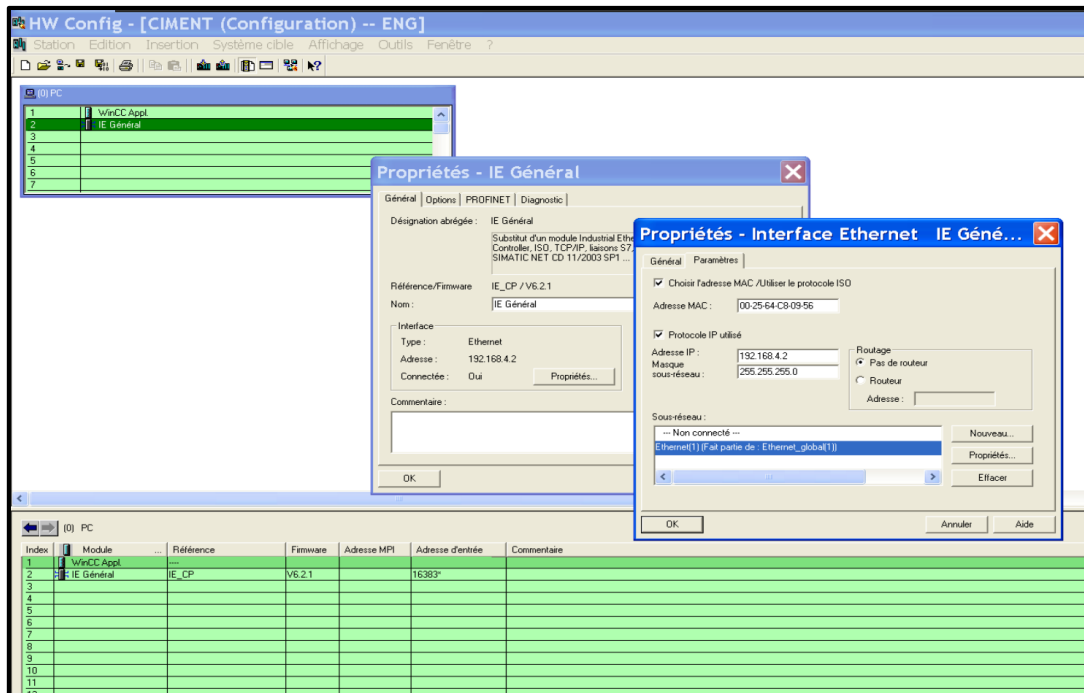


Figure 4-8 : La configuration dans la station ENG

### 4.4.3 Configuration des connexions réseau

Pour permettre des connexions réseau entre les différentes configurations réseau, on doit fusionner les bus.

Dans le SIMATIC Manager, on peut trouver la fonction de fusion en choisissant le Multi Project, puis en sélectionnant l'option Multi Project avec le bouton droit de la souris et en ajustant les projets (synchroniser les projets) comme illustré dans la **Figure 4-9**.

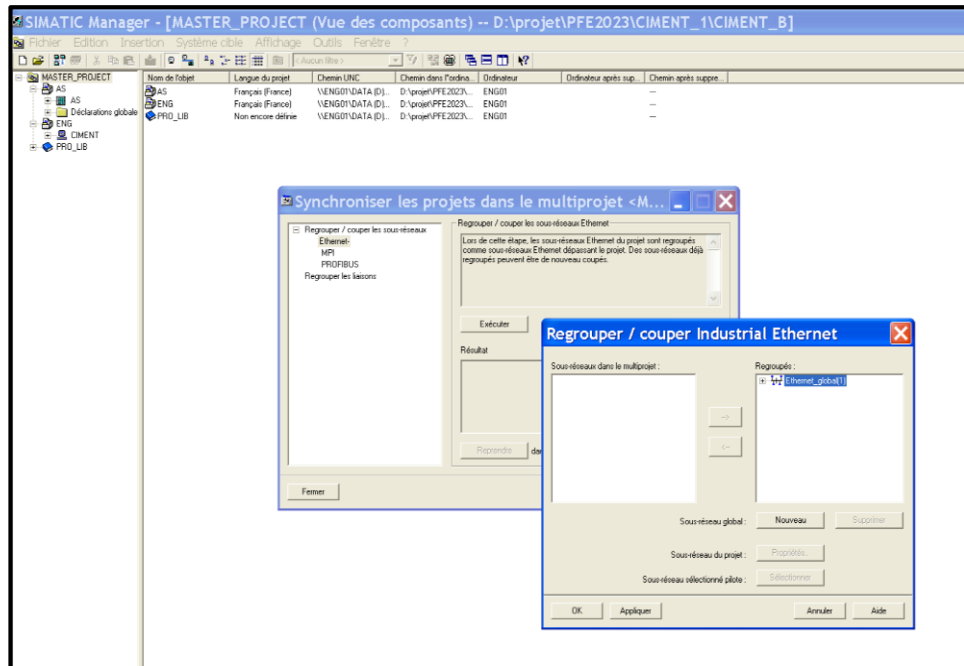


Figure 4-9 : Synchronisation de projets

## 4.5 Graficets de fonctionnement

Avant de commencer à programmer, il faut connaître le déroulement du programme et son fonctionnement.

Les graphicets suivants (**Figures 4-10 et 4-11**) décrivent le fonctionnement de notre programme avec ses deux parties (ventilation et évacuation).

### 4.5.1 Graphicet du système d'évacuation de poussière

Le système d'évacuation de poussière commence par le démarrage de la séquence qui va exciter le moteur 0, quand le capteur DG01XZ indique le démarrage de moteur 0, le moteur 1 se démarre et qui va démarrer le moteur 2 par le capteur DGO5XZ. Si le capteur DG04XZ indiquera le démarrage de moteur 2 le cycle des vannes va commencer. Vanne 1 s'ouvre et après 10s elle ferme et la 2eme vanne ouvre et ferme après 10s ainsi de suite jusqu'à la vanne 8. Et le cycle se recommence à nouveau.

M pour moteurs de chaines sous échangeur

VN pour les vannes

DGOXXZ pour les capteurs de rotation des moteurs

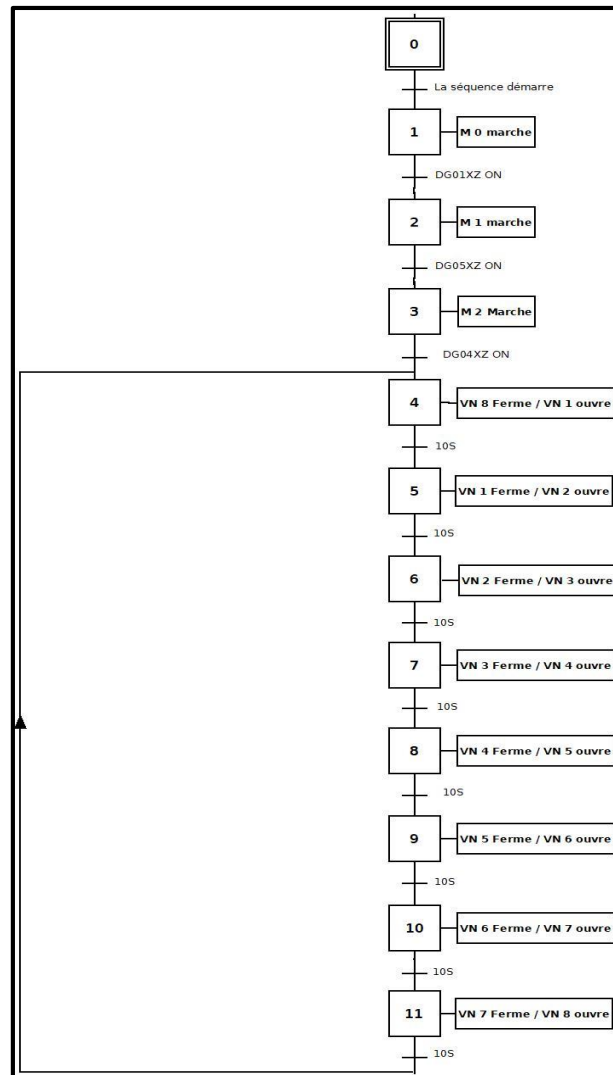


Figure 4-10 : Grafset de fonctionnement du système d'évacuation poussière

## 4.5.2 Grafset du système de ventilation

Le fonctionnement du système de ventilation commence par le démarrage de la séquence, le système attend :

- si la température dépasse  $90^{\circ}$  C le capteur YT13 va envoyer un signal 1 aux ventilateurs de batterie 1 pour démarrer, la batterie arrête si la température se diminue de moins de  $85^{\circ}$
- si la température augmente à plus de  $100^{\circ}$  C la batterie 2 va démarrer, s'arrête si la température diminue de moins de  $95^{\circ}$
- si la température dépasse  $110^{\circ}$  C le capteur YT13 va envoyer un signal 1 aux ventilateurs de batterie 3 pour démarrer, la batterie arrête si la température se diminue de moins de  $105^{\circ}$

YT13 pour le capteur pt100 dans la sortie d'échangeur.

B1, B2, B3 pour les batteries 1, 2,3.

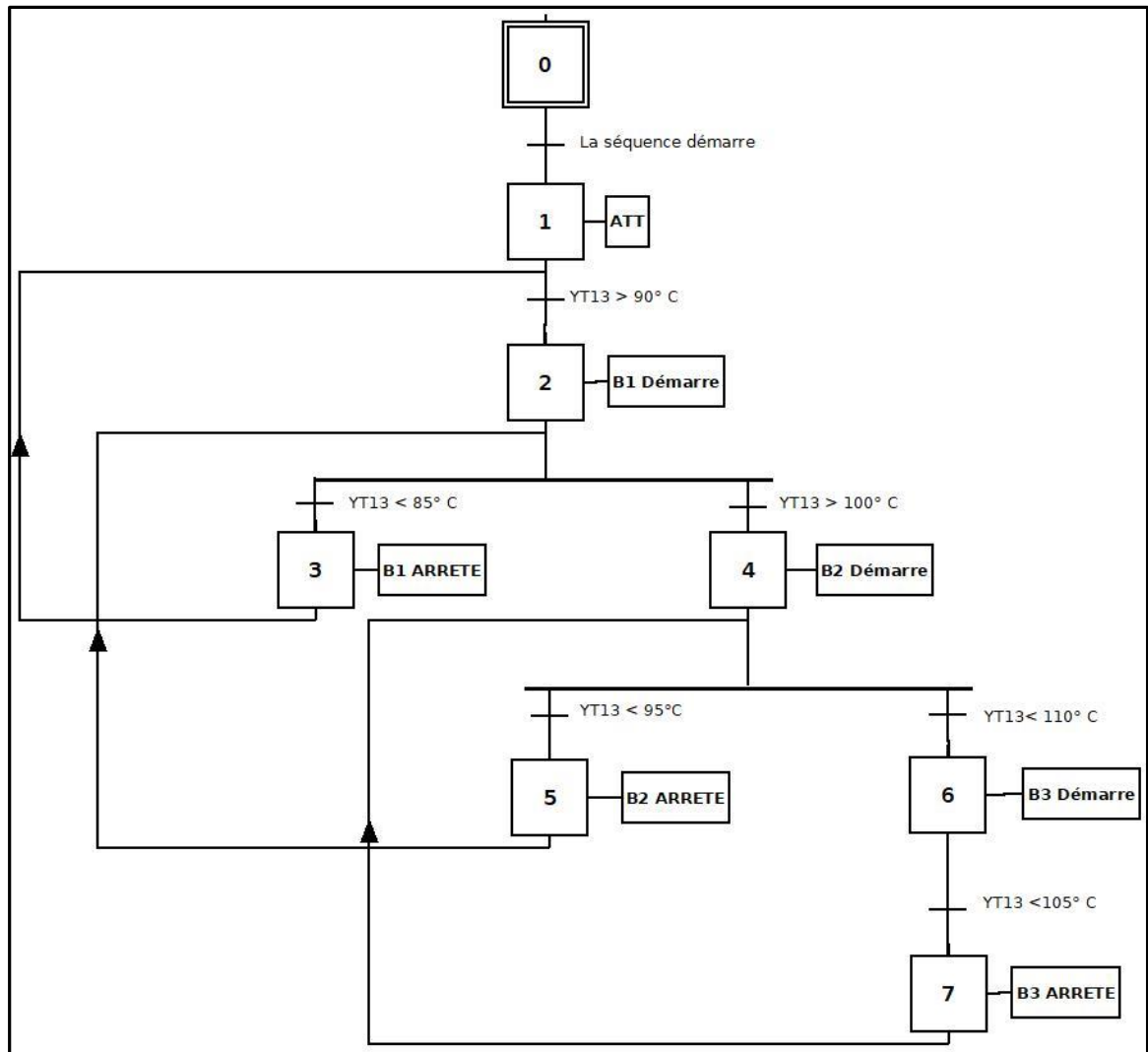


Figure 4-11: Grafset du système de ventilation

## 4.6 Mise au point de la programmation de l'échangeur

Le processus de développement du programme est principalement effectué dans la vue technologique du SIMATIC MANAGER. La configuration matérielle utilisée nous permet d'effectuer une programmation conforme aux exigences spécifiées dans notre cahier des charges pour le système de l'échangeur air\air.

On insère un dossier hiérarchique dans la station AS et le nommer « Ciment », dans lequel on crée un dossier hiérarchique « Aval four » qui contient un autre dossier « ECHANGEUR\_318S02 » pour bien organiser le travail (**figure 4-12**).

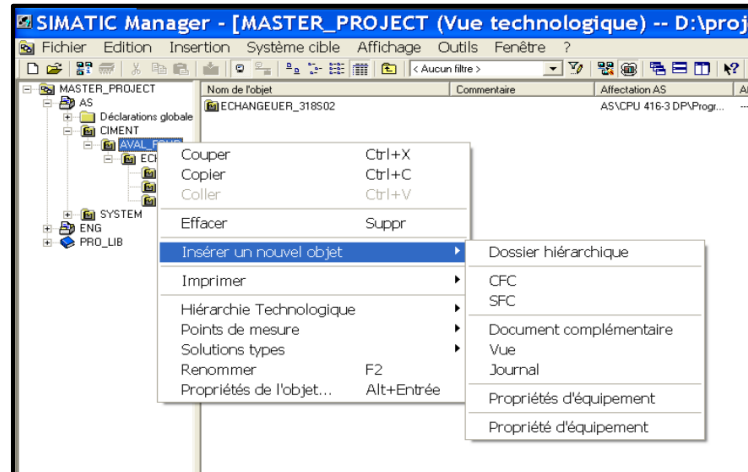


Figure 4-12 : Insertion des dossiers hiérarchiques dans AS

Le dossier hiérarchique qui représente l'échangeur comporte un CFC du groupe de cette séquence ainsi que trois dossiers hiérarchiques à savoir :

- Consommateurs : qui contient tous les diagrammes CFC des consommateurs (moteurs et vannes) qu'on peut trouver dans l'échangeur.
- Capteurs\_logiques : qui contient tous les diagrammes CFC des capteurs logiques de la séquence échangeur
- Capteurs\_analogiques : qui contient tous les diagrammes CFC des capteurs analogiques

#### 4.6.1 Le diagramme CFC

CFC (Continuous Function Chart) est un éditeur graphique basé sur le progiciel STEP 7. Il permet d'élaborer une architecture logicielle globale pour une CPU à partir de blocs préprogrammés.

Pour ce faire, les blocs sont insérés dans des diagrammes fonctionnels et interconnectés. Connecter alors, signifie transmettre des valeurs d'une sortie de bloc vers une ou plusieurs entrées d'autres blocs, par exemple pour permettre la communication entre ces blocs [20].

Par défaut, l'éditeur CFC présente la structure suivante :

- La partie droite de l'éditeur : affiche un diagramme CFC vide, sur cette surface nous insérons les blocs dont nous avons besoin pour décrire notre processus.
- La partie gauche de l'éditeur : contient le catalogue avec les blocs les bibliothèques et les diagrammes.

Chaque diagramme comporte jusqu'à 26 partitions. Lorsque nous créons un nouveau diagramme, il comporte une seule partition où chaque partition comporte six feuilles. La disposition des feuilles individuelles dans la vue d'ensemble (6 feuilles) s'effectue dans l'ordre indiqué (**Figure 4-13**).

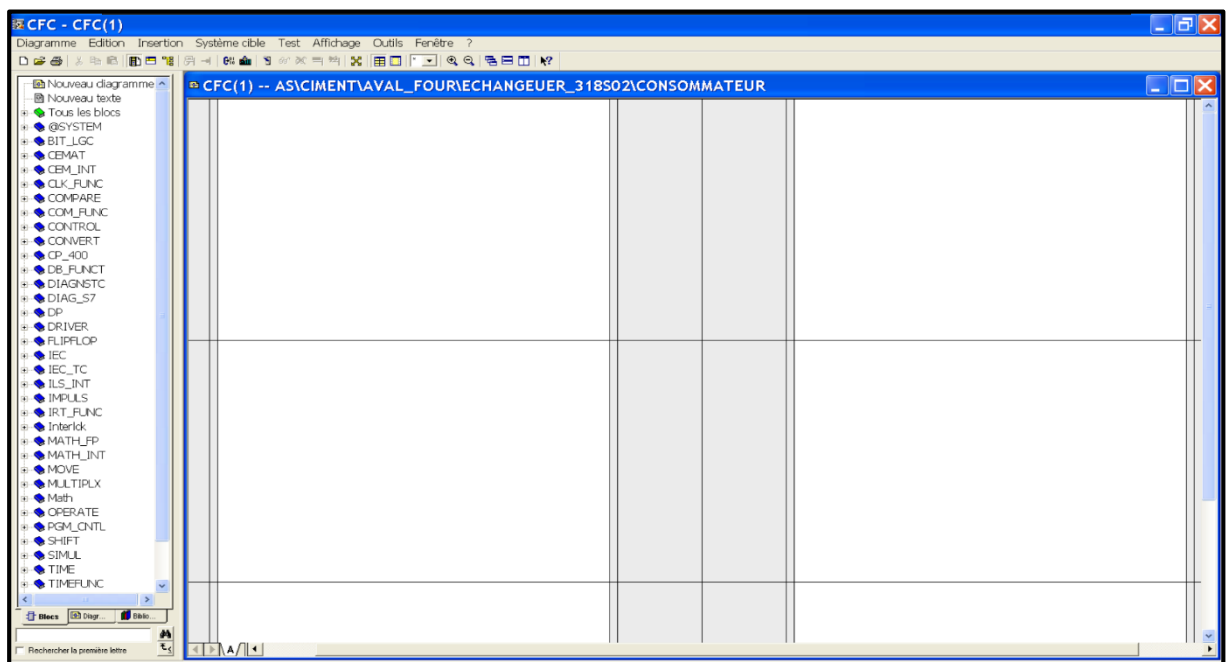


Figure 4-13: L'éditeur CFC

## 4.6.2 La table des mnémoniques

La création de la table mnémonique (**Figure 4-14**) implique l'attribution de désignations symboliques et de commentaires aux adresses des modules d'E/S.

Cette table permet de gérer toutes les variables globales utilisées dans le processus. L'éditeur mnémonique présente l'avantage de rendre le programme plus compréhensible et plus facile à utiliser.



Etat	Mnémorique	Opérande	Type de d	Commentaire
1	318DG04MT10AV	E 2.6	BOOL	Disponibilité de moteur Chaîne Métallique sous Echangeur
2	318DG04MT10B1	E 2.7	BOOL	réponse de marche de moteur Chaîne Métallique sous Echangeur
3	318DG04MT10C1	A 0.1	BOOL	ordre de marche de moteur Chaîne Métallique sous Echangeur
4	318DG04MT10L1	E 3.0	BOOL	marche locale de moteur Chaîne Métallique sous Echangeur
5	318DG04MT10LS	E 3.1	BOOL	arrêt local de moteur Chaîne Métallique sous Echangeur
6	318DG04XS11	E 1.4	BOOL	ROTATION CHAINE METALLIQUE SOUS ECHANGEUR
7	318DG04XT11	E 1.5	BOOL	TEMPERATURE de moteur Chaîne Métallique sous Echangeur
8	318DG04XZ11	E 1.6	BOOL	Rupture de Chaîne Métallique sous Echangeur
9	318DG05MT10AV	E 2.2	BOOL	Disponibilité de moteur chaîne métallique intermédiaire
10	318DG05MT10B1	E 2.3	BOOL	réponse de marche de moteur chaîne métallique intermédiaire
11	318DG05MT10C1	A 0.0	BOOL	ordre de marche de de moteur chaîne métallique intermédiaire
12	318DG05MT10L1	E 2.4	BOOL	marche locale de moteur chaîne métallique intermédiaire
13	318DG05MT10LS	E 2.5	BOOL	arrêt local de moteur chaîne métallique intermédiaire
14	318DG05XS11	E 1.7	BOOL	Rotation Chaîne Métallique intermédiaire
15	318DG05XT11	E 2.0	BOOL	TEMPERATURE de moteur CHAINE METALLIQUE INTER
16	318DG05XZ11	E 2.1	BOOL	Rupture de Chaîne Métallique intermédiaire
17	318FA11XT11	E 0.0	BOOL	Température Ventilateur 1
18	318FA12XT11	E 0.1	BOOL	Température Ventilateur 2
19	318FA13XT11	E 0.2	BOOL	Température Ventilateur 3
20	318FA21XT11	E 0.3	BOOL	Température Ventilateur 4
21	318FA22XT11	E 0.4	BOOL	Température Ventilateur 5
22	318FA23XT11	E 0.5	BOOL	Température Ventilateur 6
23	318FA31XT11	E 0.6	BOOL	Température Ventilateur 7
24	318FA32XT11	E 0.7	BOOL	Température Ventilateur 8
25	318FA33XT11	E 1.0	BOOL	Température Ventilateur 9
26	318FA41XT11	E 1.1	BOOL	Température Ventilateur 10
27	318FA42XT11	E 1.2	BOOL	Température Ventilateur 11
28	318FA43XT11	E 1.3	BOOL	Température Ventilateur 12
29	318HE03VN11AV	E 3.2	BOOL	Disponibilité Vanne 1
30	318HE03VN11C1	A 0.2	BOOL	ordre d'ouverture Vanne 1
31	318HE03VN11FDC1	E 3.3	BOOL	fermeture Vanne 1
32	318HE03VN11FDC2	E 3.4	BOOL	Ouverture Vanne 1
33	318HE03YT11	EW 512	WORD	Température 1 dans la sortie d'échangeur
34	318HE03ZT11	EW 512	WORD	Température 2 dans la sortie d'échangeur

Figure 4-14 : Éditeur de mnémoniques

Le tableau suivant présente le bilan de toutes les entrées et les sorties utilisées dans notre projet :

Type	Quantité	Reserve	totale	Signal
Entrée TOR	124	36	160	24V DC
Sortie TOR	22	10	32	120-230V AC/1A
Entrée analogique	4	4	8	RTD

Tableau 4-1 : Bilan d'E/S

### 4.6.3 Structure de programme

Le programme de commande est organisé en plusieurs blocs, chacun d'eux contenant une liste de paramètres d'entrée et de sortie. Ces paramètres peuvent être connectés à des signaux ou configurés avec une valeur spécifique. Chaque bloc est identifié par un code qui l'identifie.

Les blocs qu'on a utilisés dans notre programme sont :

#### a) Groupe de séquence

Le bloc de type **C\_GROUP** (Figure 4-15) super ordonné pour le démarrage et l'arrêt et pour le contrôle des parties de l'installation technologique groupés. Il permet de visualiser les conditions de fonctionnement d'une partie de l'installation qui affiche à l'écran un affichage

de l'état, et un diagnostic de défaut détaillé (appel d'état). Le module de groupe génère des messages d'exploitation pour commencer et s'arrêter.

On le trouve dans la bibliothèque CEMAT sous le nom de « C\_GROUP » puis on lui donne le nom de « Groupe échangeur ».

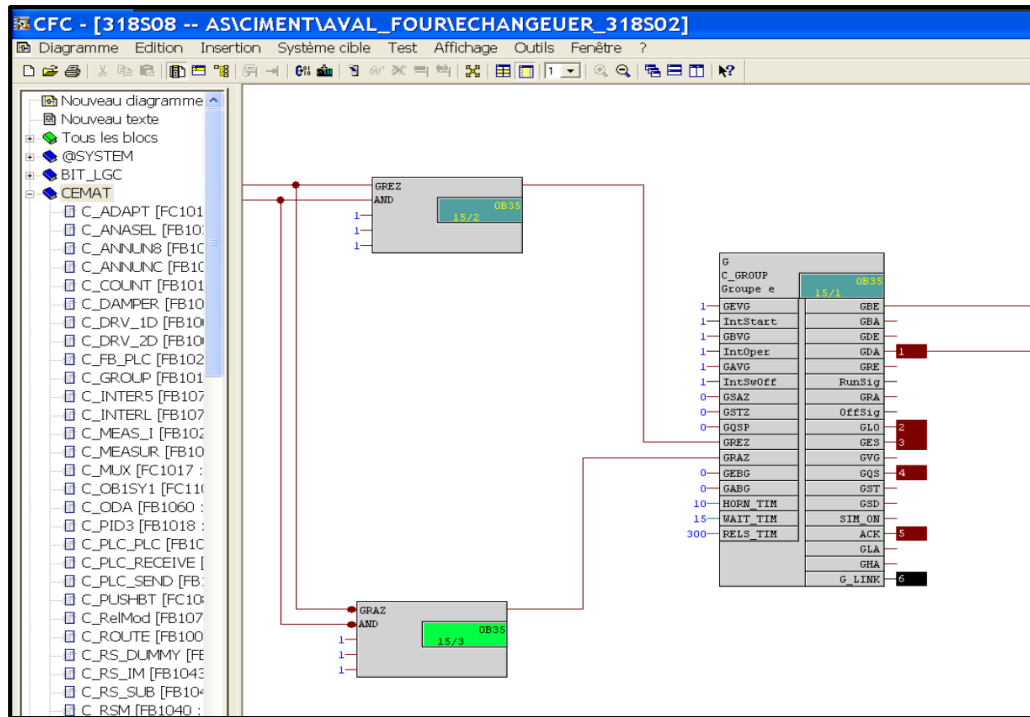


Figure 4-15: Groupe de la séquence échangeur et ses connexions

Les entrées disponibles dans un bloc groupe sont résumées dans le tableau suivant :

Entrée	Désignation
GEVG	Conditions de démarrage de groupe
GBVG	Conditions de marche
GAVG	Conditions d'arrêt
GREZ	Un « 1 » logique à l'entrée GREZ indique que tous les équipements sont en marche
GRAZ	Un « 1 » logique à l'entrée GRAZ indique que tous les équipements sont à l'arrêt

Tableau 4-2 : Les entrées d'un bloc groupe

On n'a utilisé que les entrées GREZ et GRAZ dans notre programmation car le groupe n'a pas des conditions de démarrage et de marche/arrêt.

Les sorties du bloc de groupe utilisées dans la programmation sont données dans le Tableau 4-3.

Sortie	Désignation
GBE	un signal de marche permanent qui permet de démarrer tous les équipements du groupe en mode automatique
GDA	un signal d'arrêt permanent qui permet d'arrêter tous les équipements du groupe en mode automatique
GLO	active le mode local pour les équipements connectés
GES	active le mode individuel pour les équipements connectés
GQS	active l'arrêt immédiat des équipements connectés
G_LINK	Connexion aux équipements commandés par le groupe

Tableau 4-3 : Les sorties d'un bloc groupe

**b) Le bloc moteur unidirectionnel C\_DRV\_1D**

Le bloc C\_DRV\_1D (Figure 4-16) est utilisé pour commander tous les moteurs unidirectionnels dans une cimenterie.

Dans notre cas, on l'a utilisé pour commander les moteurs des chaînes de transports sous échangeur (2 moteurs) ainsi que les moteurs de ventilateurs (12 moteurs). On le trouve dans la bibliothèque CEMAT sous le nom de « C\_DRV\_1D ».

La Figure 4-16 présente un exemple de programmation d'un moteur unidirectionnel :

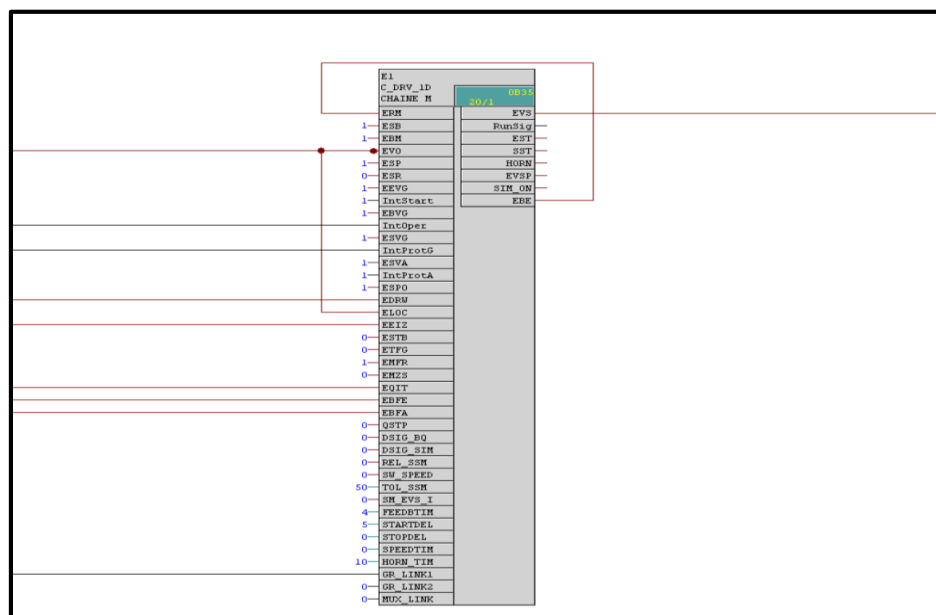


Figure 4-16 : Bloc moteur unidirectionnel et ses connexions

Les entrées utilisées du bloc moteur 1d sont données dans le tableau suivant :

Entrée	Désignation
ERM	Retour de marche active
EVO	Commutateur local
IntOper	interlock de condition de marche
IntProtG	interlock de sécurité général
EDRW	contrôle de rotation
ELOC	Activation du mode local
EEIZ	Activation du mode individuel
EBFE	Commande marche automatique
EBFA	Commande arrêt automatique
GR_LINK	liaison avec le groupe de commande

Tableau 4-4 : Les entrées d'un bloc moteur unidirectionnel

Et les sorties utilisées d'un bloc moteur unidirectionnel sont données ci-dessous :

Sortie	Désignation
EVS	Signal de marche booléen
EBE	Commande ON de contacteur

Tableau 4-5 : Les sorties d'un bloc moteur unidirectionnel

### c) Le bloc « C\_VALVE »

Le bloc C\_VALVE (**Figure 4-17**) est utilisé pour commander toutes les vannes TOR dans une cimenterie.

Nous avons utilisé ce bloc pour la commande des huit vannes qui se trouvent au-dessus de l'échangeur dans la section de récupération de la poussière. On le trouve dans la bibliothèque CEMAT sous le nom de « C\_VALVE».

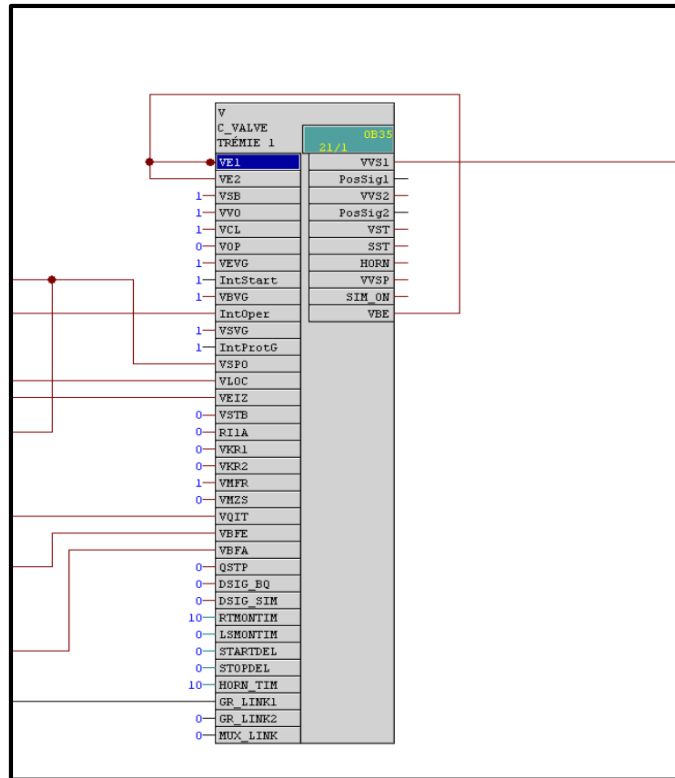


Figure 4-17 : Bloc de vanne TOR et ses connexions

Les entrées d’un bloc de vanne TOR sont comme suite :

Entrée	Désignation
VE1	position 1 (fermeture)
VE2	position 2 (ouverture)

Sachant que le reste des entrées sont les mêmes que ceux avec le bloc moteur unidirectionnel C\_DRV\_1D avec seulement un changement dans la première lettre.

Les sorties d’un bloc vanne TOR sont aussi désignées ci-dessous :

Sortie	Désignation
VVS1	Vanne en position 1
VVS2	Vanne en position 2
VBE	Commande ON de contacteur

**d) Le bloc mesure « C\_MEASUR »**

Ce bloc est utilisé pour lire une valeur physique (format réel) ou bien pour lire la valeur analogique formée directement du module d’entrée analogique AI.

On a utilisé ce bloc pour lire les mesures des capteurs analogiques pt100 dans la sortie d'échangeur. On le trouve dans la bibliothèque CEMAT sous le nom de « C\_MEASUR». Pour un exemple de programmation d'un bloc mesure voir **annexe**.

**e) Le bloc message « C\_ANNUNC »**

Ce bloc permet d'afficher un signal de processus binaire. Le signal d'entrée est comparé avec le signal OK, en cas de défaut un message d'avertissement est donné.

On a utilisé ce bloc pour les capteurs TOR existants dans l'échangeur. On le trouve dans la bibliothèque CEMAT sous le nom de « C\_ANNUNC». Pour un exemple de programmation d'un bloc message voir **annexe**.

**f) Les autres blocs utilisés dans la programmation**

Pour assurer le bon fonctionnement de chaque équipement, on a utilisé aussi des sous blocs comme :

- Le bloc des interlocks (Intlk) : Ce bloc sert à calculer un verrouillage standardisé pouvant être affiché sur l'OS. Il est possible de fournir au bloc deux signaux d'entrée au maximum pouvant être combinés entre eux par une logique binaire. L'état du signal de sortie est également déterminé par INTERLCK » INTLK02
- Le bloc des entrées analogiques (CH\_AI) : Ce bloc sert à traiter le signal d'une entrée analogique pour les modules d'entrées analogiques. On l'utilise pour simuler des valeurs des entrées analogiques des capteurs pt100 par DRIVER » CH\_DI
- Le bloc Générateur d'horloge (AFP) : Ce bloc génère des impulsions avec une durée et un temps de pause paramétrables. La durée et le temps de pause sont exprimés en ms. On l'utilise pour indiquer le temps d'ouverture et de fermeture de chaque vanne par IMPULS »AFP.

#### **4.6.4 Configuration de la simulation par S7-PLCSIM**

L'outil de simulation des modules S7-PLCSIM (**Figure 4-18**) nous offre la possibilité d'exécuter et de tester notre programme dans un automate programmable (API) simulé sur notre ordinateur ou console de programmation.

La simulation est entièrement réalisée à l'intérieur du logiciel PCS7, ce qui signifie qu'aucune connexion avec du matériel S7 réel (CPU ou module de signaux) n'est nécessaire.

Le S7-PLCSIM est doté d'une interface conviviale qui nous permet de visualiser et de modifier différents paramètres utilisés par le programme, tels que l'activation ou la désactivation des entrées.

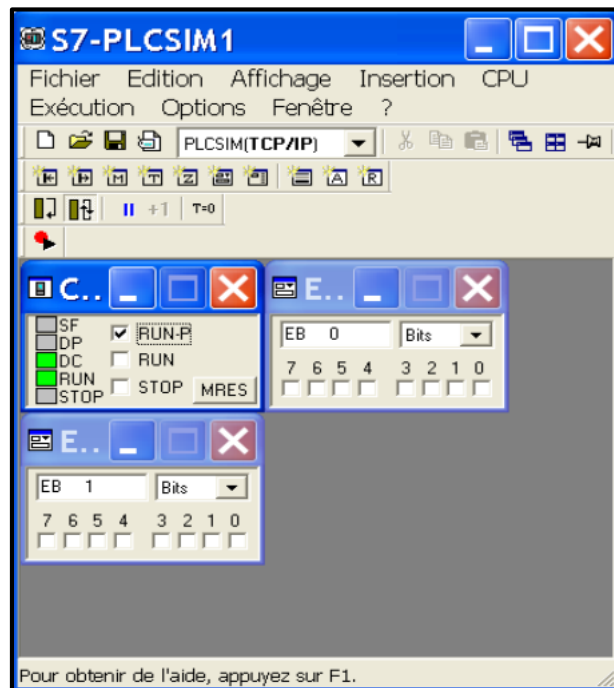


Figure 4-18 : L'outil de simulation S7-PLCSIM

## 4.7 La supervision

La supervision du système revêt une importance primordiale dans notre projet, car elle nous permettra de surveiller en temps réel notre système d'échangeur air \ air et d'avoir un affichage dynamique présentant les diverses alarmes, les défauts et les événements qui se produisent pendant le fonctionnement du processus.

Elle est donc essentiellement nécessaire pour toutes les installations automatisées complexes.

### 4.7.1 Les systèmes SCADA

Un système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) est un système utilisé dans l'industrie pour surveiller et contrôler à distance des processus industriels.

Il collecte des données à partir de capteurs, les transmet à un système de contrôle centralisé, et fournit une interface utilisateur pour la supervision en temps réel des processus.

Les systèmes SCADA permettent également la collecte, le stockage et l'analyse des données historiques, facilitant ainsi la génération de rapports et les analyses de tendances. Ils

sont essentiels pour automatiser les opérations, améliorer l'efficacité et optimiser les performances industrielles.

### 4.7.2 Simatic WINCC

SIMATIC WinCC, développé par Siemens, est un système SCADA ainsi qu'une interface homme-machine largement utilisée pour la surveillance des processus industriels et des infrastructures.

Il est spécialement conçu pour être compatible avec Siemens PCS7. Le WinCC est optimisé pour fonctionner sur des systèmes Windows. Dans notre projet on a utilisé le WinCC Runtime V7.0 (**Figure 4-19**) qui est inclus dans le PCS7.

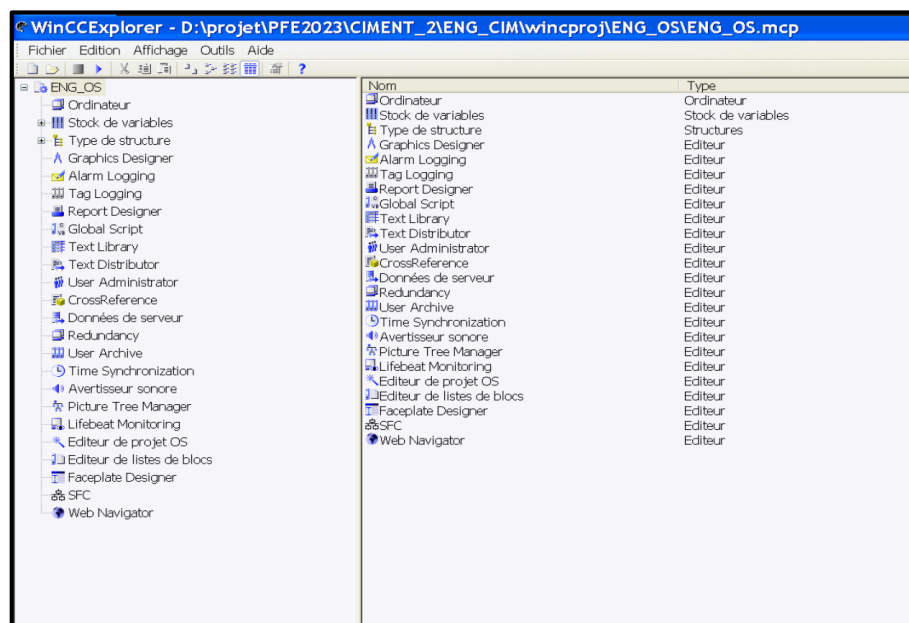


Figure 4-19 : Vue générale de WinCC explorer

### 4.7.3 Graphics designer

L'outil graphique designer, nous permet de créer les vues nécessaires du processus dans la station ENG.

Pour notre projet, on a créé 3 vues : vue d'accueil, vue globale, et vue échangeur.

#### a) Présentation du graphics designer

Avec graphics designer, on peut insérer des objets statiques de dessins de base : des lignes, des cercles, texte statique et des objets dynamiques qui sont des objets dynamisés par des variables par exemple moteurs, alarmes et des boutons.

La vue générale de graphics designer (**Figure 4-20**) se compose de :



- Une barre d'outils contenant des couleurs qu'on peut rajouter aux objets.
- Une surface du dessin.
- Une palette où on peut trouver les objets statiques et dynamiques.

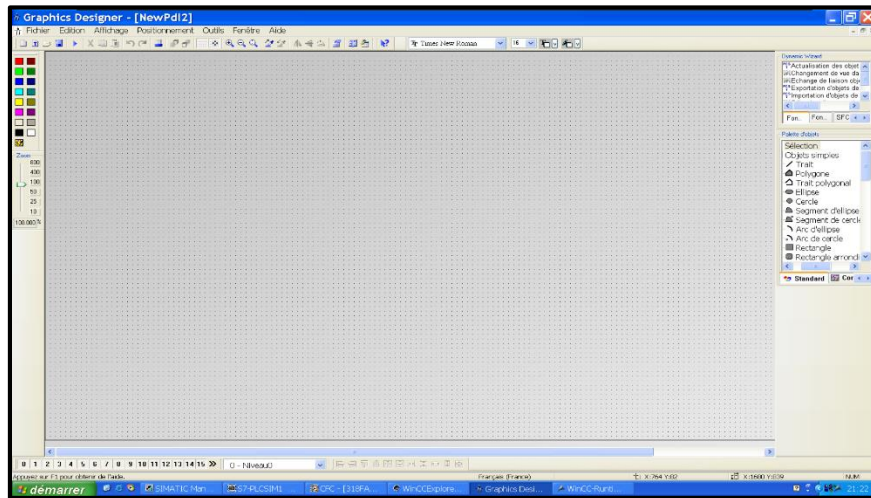


Figure 4-20 : La vue de graphics designer

#### b) La bibliothèque PCS7 Typicals

Le logiciel de supervision WinCC Explorer inclut plusieurs bibliothèques d'utilisateurs qui fournissent un accès à de nombreux objets statiques et dynamiques essentiels pour chaque projet.

Dans notre projet, lors du développement de nos vue du processus, nous utilisons la bibliothèque PCS7 Typicals (**Figure 4-21**).

Cette bibliothèque fournit des symboles dynamiques qui représentent les blocs fonctionnels prédéfinis des diagrammes CFC.

Ces symboles incluent des moteurs unidirectionnels et bidirectionnels, des vannes, ainsi que des capteurs logiques et analogiques.

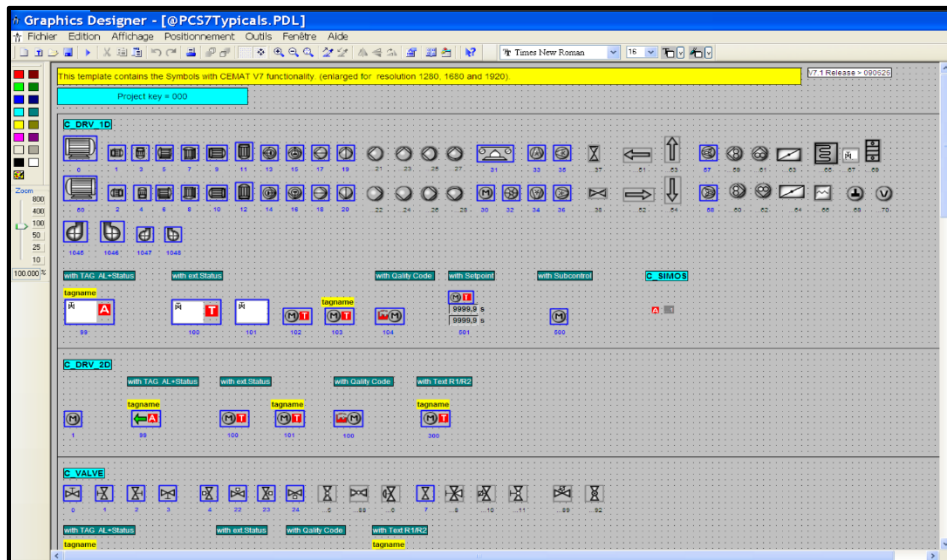


Figure 4-21 : La bibliothèque PCS7 Typicals

#### 4.7.4 Développement des vues sur graphics designer

Une fois que nous avons inséré les objets, les textes et les graphiques statiques nécessaires pour caractériser notre processus dans le graphics designer, nous procédons à la configuration des objets dynamiques en les associant aux variables du PCS7.

Cela se fait à l'aide du Dynamic Wizard, qui permet de lier un prototype à une structure ou de renommer le lien (Figure 4-22).

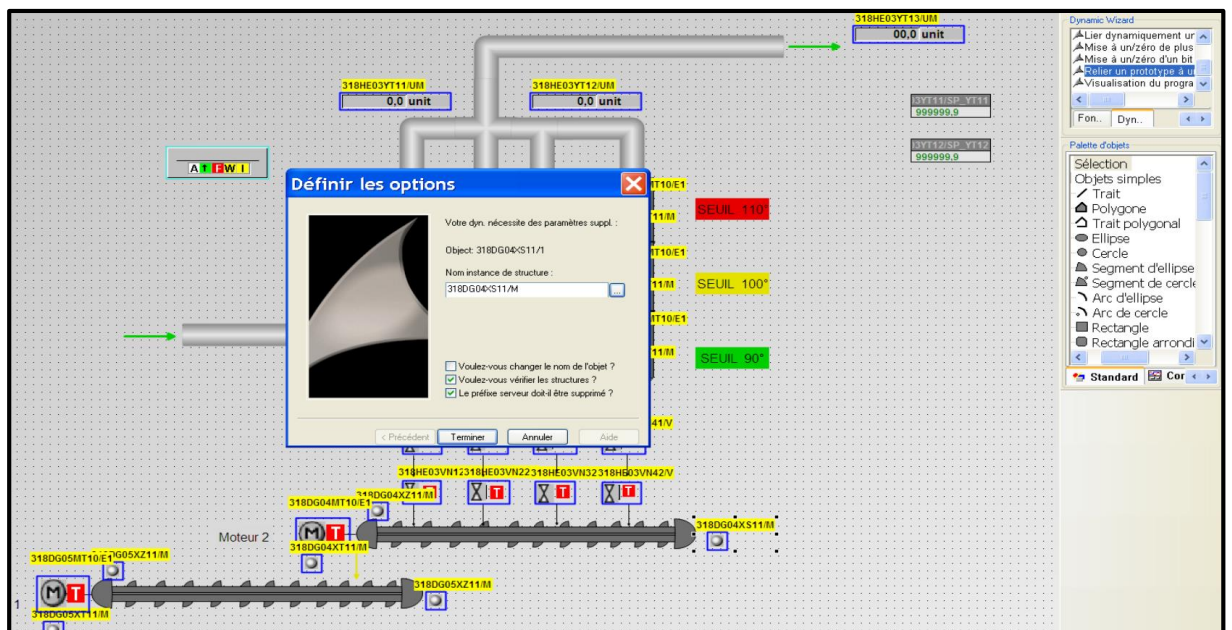


Figure 4-22 : Liaison d'un variable avec un objet dynamique

### 4.7.5 Présentation de nos vues sur le Runtime

Le RUNTIME est un logiciel très performant pour visualiser et commander les procédés des projets que nous avons créé dans le WINCC explorer, avec le temps court de ces réponses le RUNTIME est une excellente solution pour la commande des machines

Pour une visualisation rapide et facile on a choisi de créer trois vues pour notre projet :

- L'accueil : c'est la première fenêtre qui apparaît après le lancement de Runtime où on trouve 2 boutons pour un accès rapide aux autres vues ainsi qu'un bouton pour accéder à la liste des alarmes et un bouton EXIT pour quitter le Runtime (**Figure 4-23**).
- La vue globale : qui présente l'atelier aval-four et tous ses équipements (c'est juste un dessin statique) pour bien définir l'emplacement et le rôle de l'échangeur air\air (le cœur de notre projet) dans notre atelier avec un bouton pour y accéder (**Figure 4-24**).
- L'échangeur : cette vue est la plus importante dans notre projet, elle contient tous les équipements à commander dans la séquence de l'échangeur air\air ainsi que le groupe et les capteurs logiques & analogique (**Figure 4-25**).

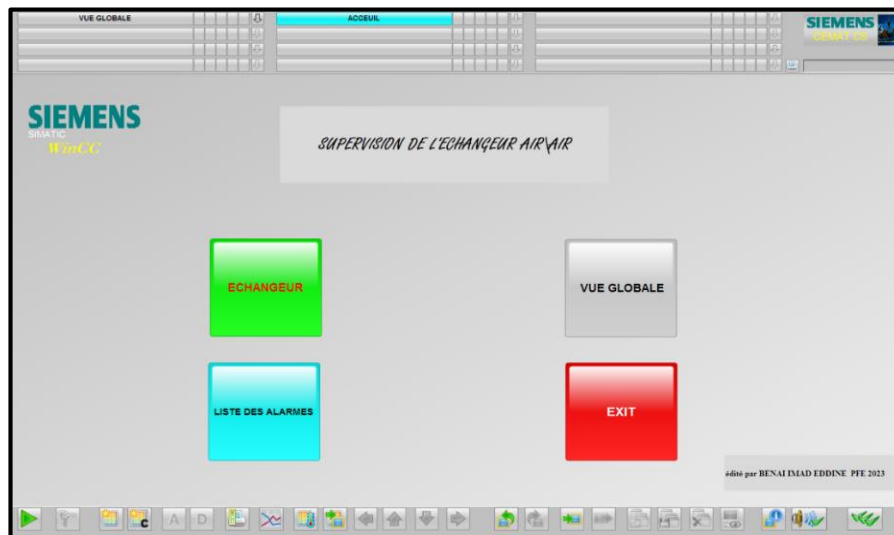


Figure 4-23 : Vue d'accueil

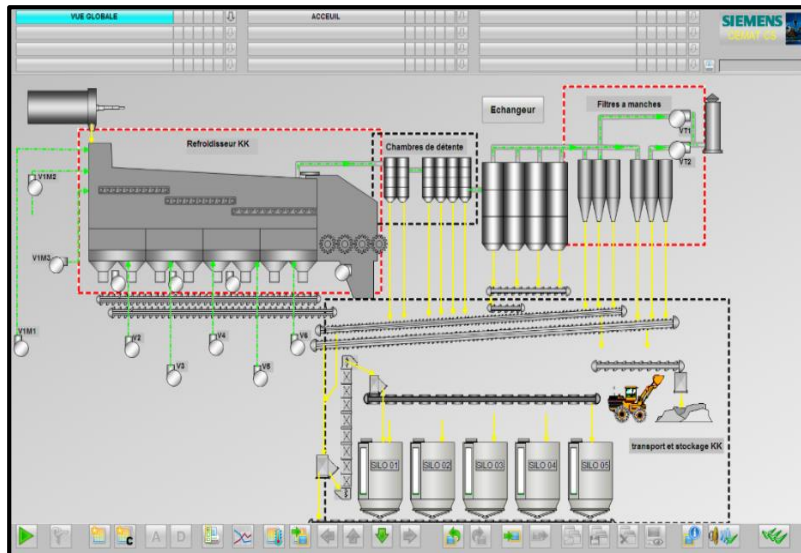


Figure 4-24 : Vue globale

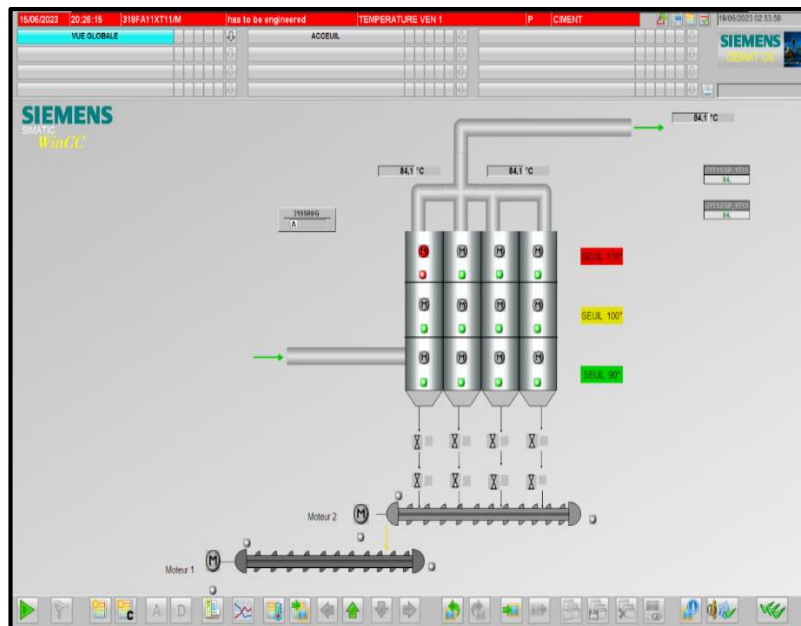


Figure 4-25 : Vue échangeur

### 4.7.6 Les faces-avant

La sélection et l’affichage de l’état des équipements se font via des faces-avant qui apparaîtront lorsqu’on clique sur l’élément approprié.

#### a) Face-avant de séquence

Quand on clique sur le groupe (la séquence) la face avant suivante apparaît (**Figure 4-26**) :

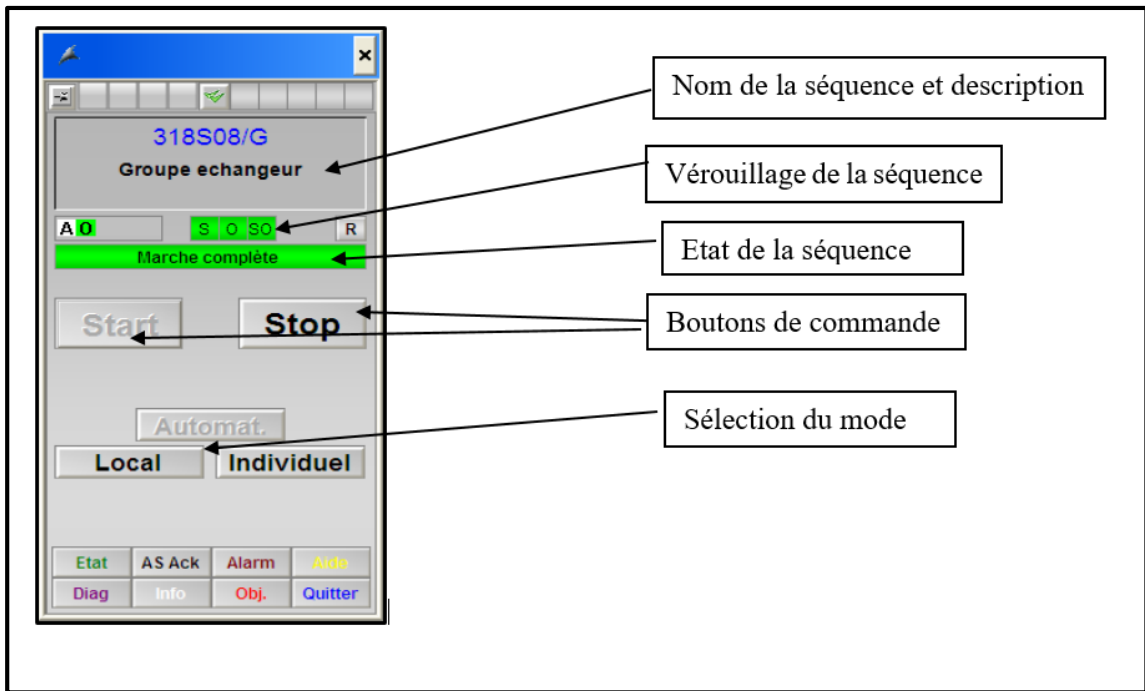


Figure 4-26 : Face avant du groupe

➤ État de la séquence :

Le tableau 4-7 présente tous les modes de fonctionnement possibles pour une séquence.

	Séquence en mode automatique est arrêtée sans défaut ou verrouillage
	Séquence en train de démarrer en mode automatique
	Si O clignote, cela signifie que la séquence a été complètement démarrée, mais que depuis l'état de certains consommateurs ou sélection a changé, un nouveau démarrage de la séquence est alors requis
	Séquence en train de s'arrêter en mode automatique
	Séquence dont le démarrage a été interrompue sur défaut ou sur dépassement du temps d'enveloppe de la séquence. Un nouveau démarrage est requis
	Si F est rouge, cela veut dire qu'un défaut minimum est présent. Si F clignote, le ou les défauts n'est pas acquitté Si I est jaune, le groupe est interloqué il n'est pas possible de démarrer la séquence. (Un F n'empêche pas de démarrer contrairement à I)


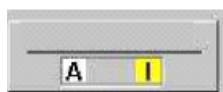
	Identique au précédent, sauf que le défaut est apparu durant le démarrage et l'a interrompu
	Si le I jaune est clignotant, la séquence doit être acquittée. Tant qu'il clignote, il est impossible de démarrer la séquence

Tableau 4-6 : États de la séquence

➤ Modes de fonctionnement de la séquence :



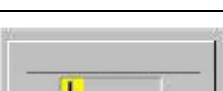
	Mode de marche automatique(en séquence): Les consommateurs sont contrôlés via la séquence. Tous les verrouillages sont pris en compte.
	Mode de marche individuel (single): Correspond à un mode de marche libre pour chaque équipement, (les asservissements procès sont conservés). Le passage des équipements en mode single passe par la séquence (tous les équipements sont mis en mode single simultanément).
	Mode de marche local : le passage des équipements en mode local passe par la séquence (tous les équipements sont mis en mode local simultanément).

Tableau 4-7 : Modes de fonctionnement de la séquence

b) Face-avant d'un moteur

La figure suivante représente la face-avant d'un moteur :

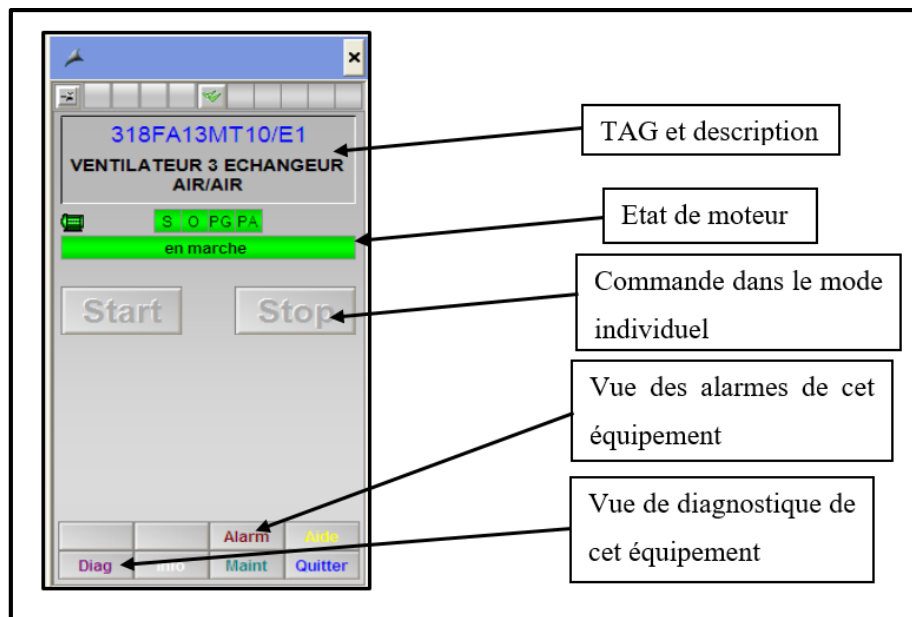


Figure 4-27 : face avant d'un moteur



Le tableau 4-8 présente les différents états d'un moteur.






	Moteur en marche en mode automatique.
	Moteur à l'arrêt en mode automatique.
	Moteur en défaut, un acquittement est nécessaire si l'objet est clignotant.
	Moteur en mode local. En marche si l'objet est clignotant.
	Moteur en mode manuel. En marche si l'objet est clignotant.

Tableau 4-8 : États d'un moteur

c) Face-avant d'une vanne

La face-avant d'une vanne (Figure 4-28) est similaire à la face-avant d'un moteur sauf que dans la commande du mode individuel, on trouve les 2 boutons D1 et D2 pour commander la vanne en direction 1 (fermeture) ou direction 2 (ouverture).

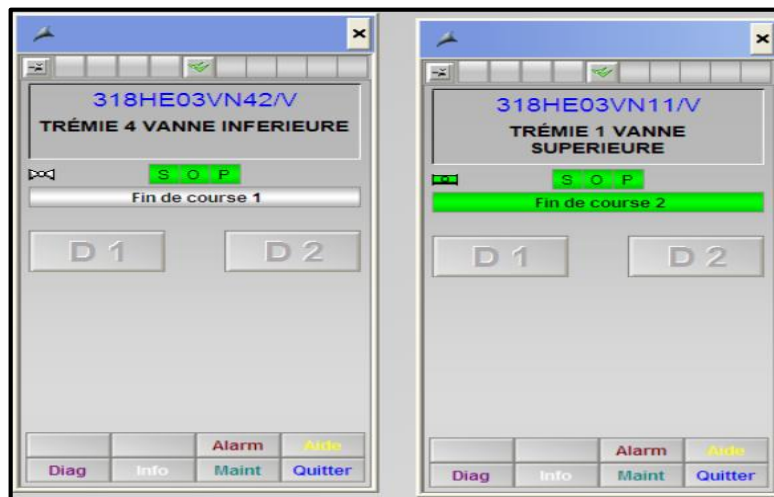


Figure 4-28 : Faces-avant des deux vannes dans un état différent

d) Mesures analogiques

On relie les sorties des capteurs analogiques aux afficheurs des mesures en fonction de l'unité de mesure.

Les états de ces afficheurs sont donnés dans le tableau suivant :

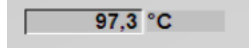
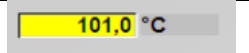
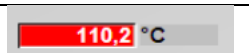
	Valeur de la mesure, aucun défaut n'est présent
	Un seuil d'avertissement a été atteint
	Un seuil d'alarme a été atteint

Tableau 4-9 : Les états d'une mesure analogique

### 4.7.7 Vue de diagnostic

Si un défaut apparaît dans un équipement, on peut accéder à la vue de diagnostic pour définir la nature du défaut et connaître sa source pour intervenir.

La vue de diagnostic se présente comme suit (**Figure 4-29**):

- Mot interface: L'état des entrées est indiqué en utilisant des rectangles de couleur.
- État de signal: "0" = gris, "1" = vert. Les entrées "préférées" sont celles dont le nom est lui aussi inscrit en vert. Ces entrées "préférées" sont celles qui sont nécessaires au fonctionnement de base de l'équipement.
- Paramètre procédé: Les valeurs affichées en noir sur fond blanc sont les entrées de paramètre procédé (on peut les modifier), tandis que celles sur fond gris sont les paramètres procédé de sortie (uniquement consultables en lecture).
- Champ paramètre: Affiche l'état des entrées/sorties physiques de l'équipement.
- Sortie Module / Conditions: Affiche l'état des signaux de sortie importants au diagnostic du bloc.
- Validé: Dépend du type de l'objet. Affiche des fonctions et des alarmes. Défaut: Indique le ou les défauts actifs.
- État : "0" = gris (état correct), "1" = rouge (en défaut).

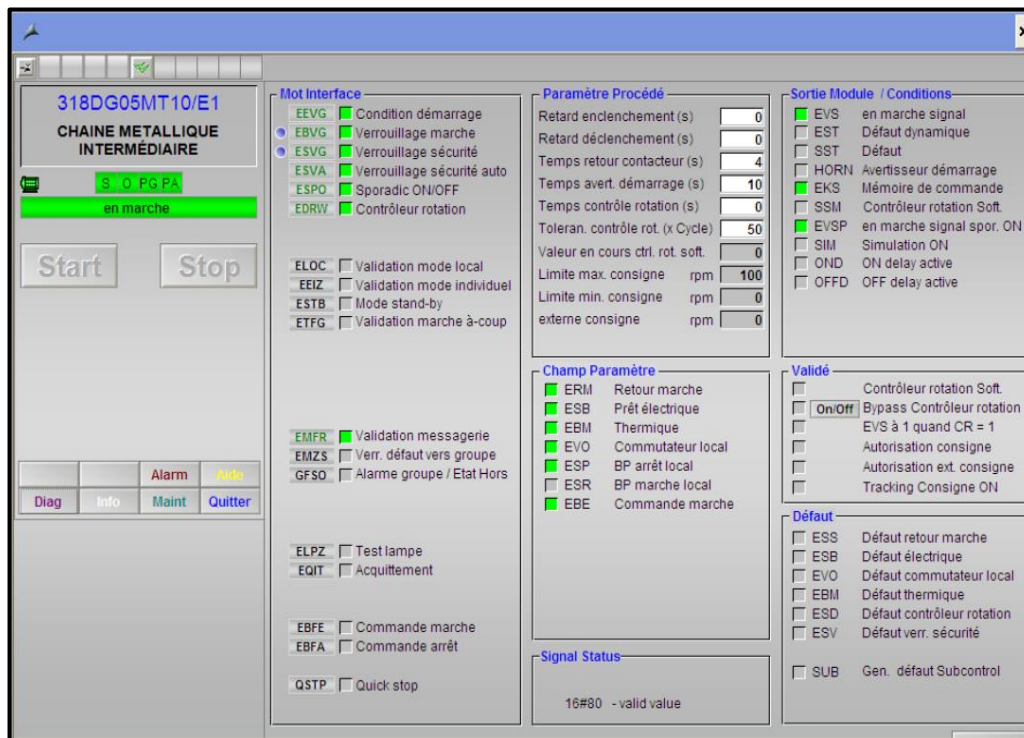


Figure 4-29 : Vue de diagnostic d'un équipement



### 4.7.8 Tracé de la variation de température

Il est possible de créer et de sauvegarder des courbes. Pour cela, on a utilisé la fonction «Système des Courbes » pour tracer les courbes de changement de température dans la sortie de l'échangeur à partir de les sorties des capteurs analogiques (**Figure 4-30**).

Il est possible de changer la période affichée, ainsi que les échelles selon les besoins.

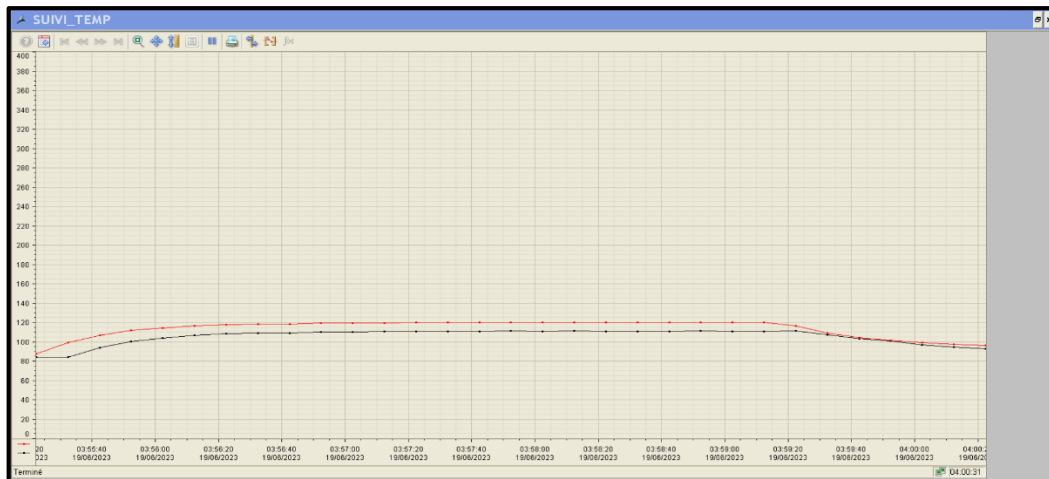


Figure 4-30 : Changement de température dans un intervalle de temps de 5 min

### 4.7.9 Vue des alarmes

La vue des alarmes est représentée par une liste en temps réel fournie par la fenêtre des alarmes.

Cette liste affiche les événements ou les états de fonctionnement qui se produisent sur l'installation, permettant ainsi de diagnostiquer les erreurs de type logique en cas de modification d'état dans le processus déclenché par l'automate programmable (AS), ainsi que les erreurs analogiques en cas de dépassement des valeurs limites pouvant endommager le processus.

Cette vue (**Figure 4-31**) donne à l'opérateur, disposant des droits d'utilisateur appropriés, la possibilité d'acquiescer les alarmes et d'intervenir rapidement pour résoudre les défaillances.

Date	Heure	Priorité	Origine	Evénement	Etat	A propi	Comménon de lot	Zone	Loop et Type
15/06/23	12:40:36.261	0	318DG04MT10E1	Contrôleur rotation	AP			CIMENT	X Alarm High
15/06/23	12:40:36.161	0	318DG04XS11M	ROTATION MOTEUR CHAINE METALLIQUE SOUS E	AP			CIMENT	X Alarm High
15/06/23	12:38:25.861	0	318FA22XT11M	has to be engineered	AP			CIMENT	X Alarm High
15/06/23	12:38:16.061	0	318HE03YT13UM	Tres Haut 110.00 °C	AP			CIMENT	X Alarm High
15/06/23	12:38:15.961	0	318HE03YT10UM	Tres Haut 110.00 °C	AP			CIMENT	X Alarm High
15/06/23	12:38:45.961	0	318FA31XT11M	has to be engineered	AP			CIMENT	X Alarm High
15/06/23	12:38:31.761	0	318FA32XT11M	has to be engineered	AP			CIMENT	X Alarm High
15/06/23	12:38:19.051	0	318HE03YT12UM	Haut 100.00 °C	AP			CIMENT	X Warning High
15/06/23	12:38:16.990	0	318HE03YT12UM	Haut 100.00 °C	AP			CIMENT	X Warning High

Figure 4-31 : Vue des alarmes

### 4.8 Simulation

Après avoir configuré notre interface de supervision et l’avoir relié au programme, on a lancé la simulation afin de vérifier le démarrage du groupe de commande.

La Figure 4-32 montre le bon déroulement du fonctionnement de l’échangeur avec aucun problème ou erreur.

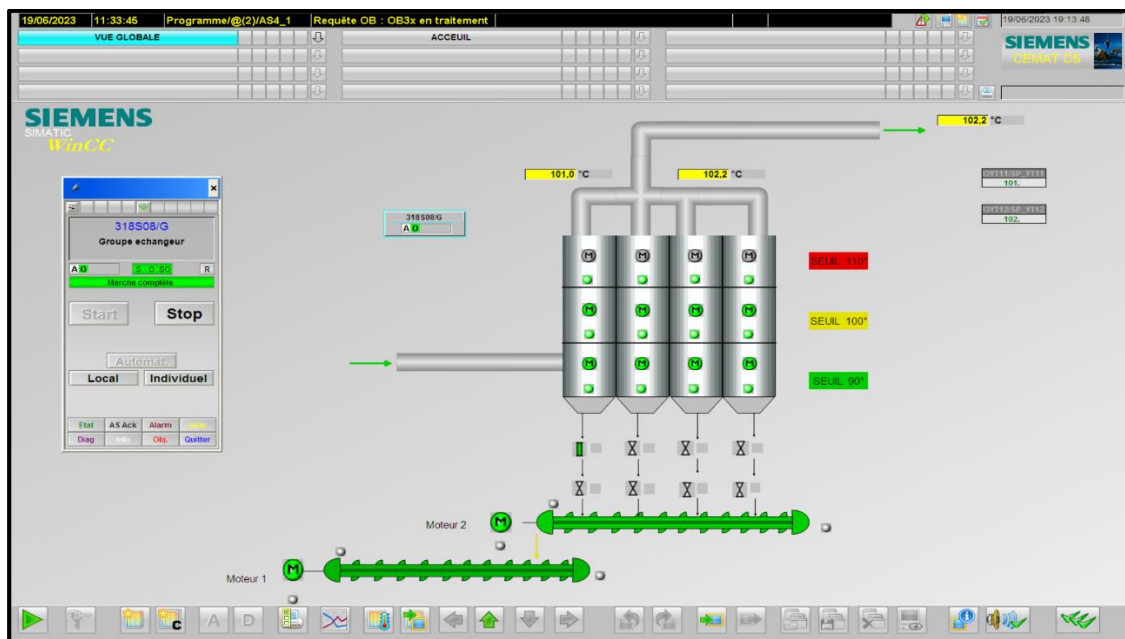


Figure 4-32 : Vérification fonctionnement de la simulation

### 4.9 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté le logiciel de programmation Simatic PCS7 et les différentes étapes de configuration pour la programmation de notre séquence.

Ensuite, On a exposé les étapes à suivre pour créer une interface homme-machine avec WinCC. Nous avons aussi introduit l'utilisation du Runtime pour assurer la conduite et la surveillance en temps réel de notre processus.

**Conclusion Générale**  
**et**  
**Perspectives**

## Conclusion Générale et Perspectives

---

Dans le cadre de notre projet de fin d'études au sein de l'entreprise SCMI Meftah, nous avons eu l'occasion d'approfondir notre compréhension du processus de fabrication du ciment. Cette expérience nous a permis de nous familiariser avec l'ensemble des techniques d'automatisation utilisées dans cette industrie.

Le but de notre travail été porté sur l'automatisation et la programmation de l'échangeur thermique de la zone cuisson, par un automate programmable SIEMENS de la gamme SIMATIC S7-400.

Ainsi, on a proposé des modifications matérielles et logicielles pour atteindre le bon fonctionnement de cet équipement.

Afin d'atteindre les objectifs de notre projet, nous avons commencé par prendre connaissance du fonctionnement actuel de l'échangeur en identifiant ses composants. Ensuite, nous avons effectué des recherches pour trouver les instruments appropriés pour les modifications proposées. Par la suite, nous avons utilisé le logiciel PCS7 pour configurer et programmer l'API (Automate Programmable Industriel) et le logiciel PLCSIM pour simuler le programme.

Pour conclure, nous avons procédé à la conception d'une interface homme-machine (HMI) permettant la supervision de notre système. Cette HMI nous offre un suivi amélioré du processus et facilite le diagnostic rapide de toute panne éventuelle.

Au cours de la réalisation de ce projet, nous avons rencontré les difficultés suivantes :

- Apprendre le logiciel de programmation car on l'utilise pour la première fois.
- Danger de l'accès à la zone cuisson.

Grâce au projet que nous avons développé, nous avons pu acquérir une compréhension approfondie des techniques d'automatisation industrielle, des instruments et des équipements utilisés, de leurs configurations et de leurs installations. Cela nous a permis de consolider nos connaissances préalablement acquises dans ce domaine.

## Conclusion Générale et Perspectives

---

En tant que perspective, une proposition consiste à créer une base de données en ligne pour stocker les archives de données de l'échangeur, telles que les alarmes, les défauts et l'historique des variations de température, et les sauvegarder automatiquement dans le Cloud pour y accéder à distance.

A la fin, nous espérons que notre travail servira à améliorer la conduite des équipements de l'atelier de l'échangeur air/air et qu'il sera d'un grand apport pour la SCMI.

# **Références Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

---

- [1] Groupe GICA, « Présentation groupe GICA », <https://www.gica.dz/presentation-de-gica/> , (consulté le 12 janvier 2023).
- [2] SCMI, « nous », <https://scmidz.com/#nous> , (consulté le 12 janvier 2023).
- [3] Ciment Calcia, « La fabrication du ciment », [La fabrication du ciment | Ciments Calcia \(ciments-calcia.fr\)](http://ciments-calcia.fr) , (consulté le 23 mars 2023).
- [4] « La fabrication du ciment », [http://ressources.unit.eu/cours/RMDI/RMDI6/co/grain3\\_1.html](http://ressources.unit.eu/cours/RMDI/RMDI6/co/grain3_1.html) (consulté le 23 mars 2023).
- [5] « Camion à Benne Basculante dans la Machinerie Lourde d'Extraction de Calcaire », [https://fr.freepik.com/photos-premium/camion-benne-basculante-dans-machinerie-lourde-extraction-calcaire-exploitation-mini%C3%A8re-dans-carri%C3%A8re\\_26599721.htm](https://fr.freepik.com/photos-premium/camion-benne-basculante-dans-machinerie-lourde-extraction-calcaire-exploitation-mini%C3%A8re-dans-carri%C3%A8re_26599721.htm), (consulté le 27 mars 2023).
- [6] « Broyeur à boulets de cimenterie », <https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/le-ciment-composition-et-fabrication/>, (consulté le 2 Avril 2023).
- [7] « Sonde à thermistance PTC de détection de surchauffe », <https://www.guilcor.fr/675-sonde-a-thermistance-ptc> , (consulté le 5 mai 2023).
- [8] « Comprendre les interrupteurs de fin de course et capteurs », <https://www.eaton.com/ca/fr-ca/products/controls-drives-automation-sensors/sensors---limit-switches/understanding-sensors-and-limit-switches--.html> , (consulté le 15 avril 2023).
- [9] Roman Malaric, « Instrumentation and Measurement in Electrical Engineering », 20 Avril 2011.
- [10] « Les vérins pneumatiques », <http://geea.org.pagesperso-orange.fr/PNEUM/verin.htm>, (consulté le 15 avril 2023).
- [11] M. P. Boursier, « Principes et applications des électrovannes », Revue des Energies Renouvelables N°6, 2006.
- [12] I. L. Kosow, « Electric Machinery and Transformers », éd Subsequent, 1991.
- [13] R. Muthu, « Analog Temperature Sensors: Theory, Design and Applications », éd CRC Press, 2019.
- [14] H. Laurila, « Les thermocouples », 2019 <https://blog.beamex.com/fr/les-thermocouples>, (consulté le 20 mai 2023).
- [15] S. HAMMOUMI, « Automatismes Logiques & Industriels », cours GE1, Université Sidi Mohammed Ben Abdallah de Fès, 2017, <http://www.est-usmba.ac.ma/coursenligne/GE-S2-M8.1-Automatismes%20logiques%20Industriels-CRS-EI%20Hammoumi.pdf> (consulté le 29 avril 2023).

## Références Bibliographiques

---

- [16] « Les Automates Programmables Industriels (API) », 2019, <https://www.technologuepro.com/cours-automate-programmable-industriel/Les-automates-programmables-industriels-API.htm> (consulté le 15 avril 2023).
- [17] « Architectures des Automates programmables industriels » 2021, <https://scietech.fr/architectures-des-automates-programmables-industriels-sciotech/> (consulté le 20 mai 2023).
- [18] H. Ayad, « Automate Programmable », cours Master 1 automatique & système, département d'électronique Université Saad Dahlab Blida 1, 2017.
- [19] Siemens, « SIMATIC S7-400 Advanced Controller », 2017, [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/825/109767825/att\\_987474/v1/ST400\\_2017\\_en\\_Web.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/825/109767825/att_987474/v1/ST400_2017_en_Web.pdf), (consulté le 12 juin 2023).
- [20] C. Sas, « Protocoles réseaux industriels », 2019, <https://www.pei-france.com/article/protocoles-reseaux-industriels/>, (consulté le 15 juin 2023).
- [21] Siemens, « Système de conduite de processus PCS 7 CFC pour SIMATIC S7 », 2009, [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/752/27002752/att\\_81831/v1/s7jcfcac\\_fr-FR.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/752/27002752/att_81831/v1/s7jcfcac_fr-FR.pdf), (consulté le 18 juin 2023).



# **Annexes**

## Le bloc mesure « C\_MEASUR »

Voici un exemple de programmation d'un bloc mesure (capteur analogique) :

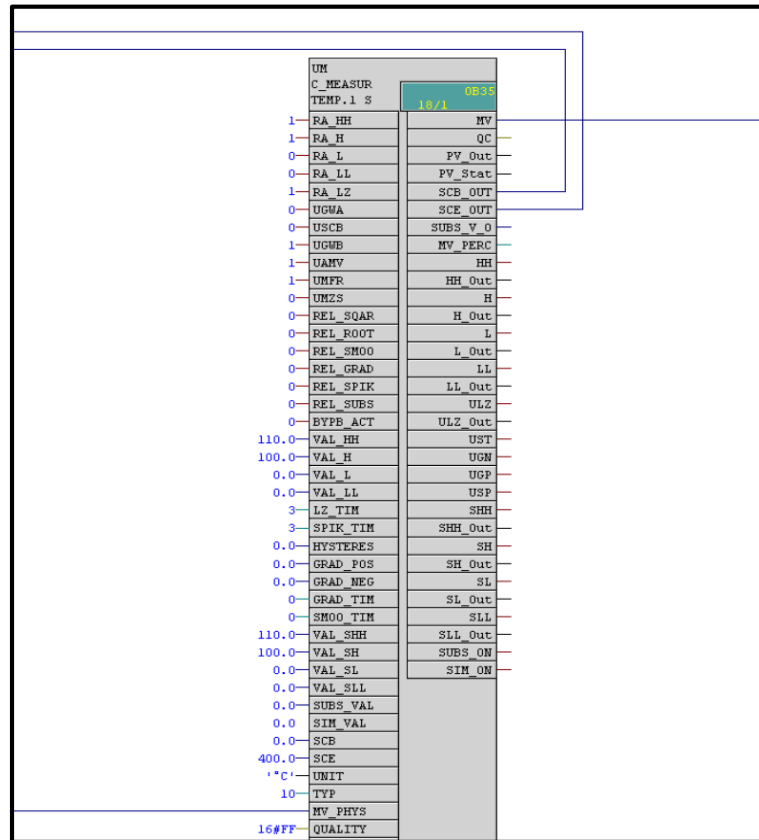


Figure A-1 : le bloc C\_MEASUR

Les entrées utilisées dans la programmation d'un bloc C\_MEASUR sont dans le tableau suivant :

Entrée	Désignation
VAL_HH	La valeur ou le capteur indique une alarme (High High)
VAL_H	La valeur ou le capteur indique un avertissement
SCE	La valeur max
MV_PHYS	La valeur mesurée réel (là on la simule)
UNIT	Unité de mesure

Tant que on n'a pas de capteurs réel on simule les valeurs utilisons le bloc CH\_DI pour faire entrer une valeur dans MV\_PHYS

Les sorties utilisées dans la programmation d'un bloc C\_MESUR :

Sortie	Désignation
MV	La valeur Mesurée
SCB_OUT	Début de l'échelle de mesure
SCE_OUT	Fin de l'échelle de mesure

### Le bloc « C\_ANNUNC »

Voici un exemple de programmation d'un bloc annonce (capteur logique) :

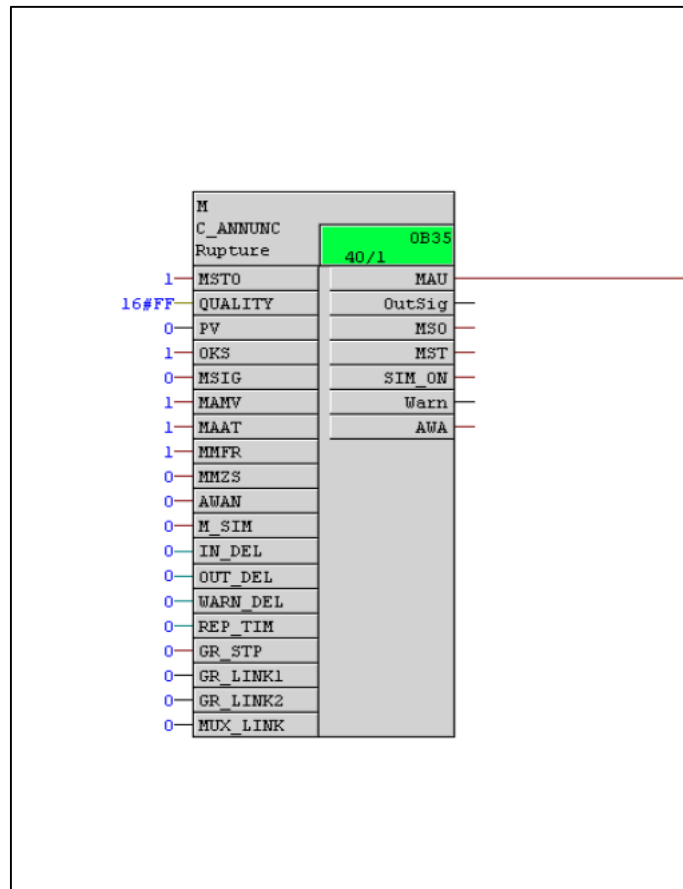


Figure A-2 : Le bloc "C\_ANNUNC"

L'entrée utilisé dans le bloc annonce est :

Entrée	Désignation
MSTO	Signal d'entrée

La sortie utilisé dans le bloc annonce est :

Sortie	Désignation
MAU	signal de sortie : si « 1 » défaut si « 0 » pas de défaut