

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION  
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES  
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Automatique  
Spécialité : Automatique

Présenté par : M. KERKAR Abdelmadjid  
M. ZERGA Abdelhamid Ali

Thème

**Régulation automatique de la pression du capot de  
chauffe par la variation de la vitesse du ventilateur  
d'Exhaure**

Soutenu publiquement, le 10/09/2020, devant le jury composé de :

Dr CHIALI Anisse	M.C.B.	ESSA. Tlemcen	Président
Dr ABDI S.Mohammed	M.C.B.	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M BOUZIANE Hichem	Ingénieur	SCI.Zahana	Co- Directeur de mémoire
Dr MEGNAFI Hichem	M.C.B.	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
Dr BRAHAMI Mustapha	M.A.A.	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2019 /2020

# Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à :

- Mes parents, qui m'ont toujours encouragée et soutenue, que Dieu leur prête longue vie.
- Mes frères et mes deux neveux.
- A toute ma famille.
- A l'équipe pédagogique de l'**ESSAT** qui nous a assuré une formation de qualité.
- A toute l'équipe de **SCIZ** qui nous a aidés à développer et améliorer nos savoir-faire dans le domaine d'automatique.
- A tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin à accomplir ce travail

**M. KERKAR Abdelmadjid**

# Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à :

- Mes parents, qui m'ont toujours encouragée et soutenue, que Dieu leur prête longue vie.
- A Mes sœurs.
- A toute ma famille.
- A l'équipe pédagogique de l'**ESSAT** qui nous a assuré une formation de qualité.
- A toute l'équipe de **SCIZ** qui nous a aidés à développer et améliorer nos savoir-faire dans le domaine d'automatique.
- A tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin à accomplir ce travail

**M. ZERGA Abdelhamid Ali**

# Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement Monsieur **Ahmed BLIDI** de nous avoir introduits et faciliter l'accès à la société des ciments de Zahana (S.C.I.Z.) pour la réalisation de ce stage pratique.

Nos remerciements iront aussi aux personnes suivantes qui n'ont ménagé aucun effort pour assurer la réussite de notre stage pratique :

Notre Co-encadrant:

- **M. Hichem BOUZIANE**

Pour ses remarques, ses directives, et l'intérêt qu'il nous a porté. Nous tenons à lui exprimer nos sincères remerciements pour son suivi et sa disponibilité.

Ainsi notre encadrant :

- **Dr. Sidi Mohamed ABDI**

Pour ses conseils précieux ainsi pour son orientation.

Ainsi qu'à toute l'équipe de la ligne de production.

- **M. Ahmed LARBI**
- **M. Abdelmalek FIZI**

Et au personnel de chargé de la formation et de l'apprentissage.



## ملخص :

تتكون الأطروحة الحالية من دراسة التنظيم الآلي للتحكم في ضغط غطاء الفرن من خلال تغيير سرعة مروحة العادم. تم تطوير هذه اللائحة من خلال البدء أولاً بأتمتة منطقة الطهي في مصنع أسمنت زهانة (SCIZ) ، ثم إجراء محاكاة لتشغيل اللائحة من خلال تحديد معالم PID المثلى وأخيراً دراسة استجابة نظامنا لتفسيرات النتيجة. يتكون هذا العمل من ثلاثة أجزاء: الوصف التكنولوجي والتحليل الوظيفي لمنطقة الطهي ، التنظيم الآلي والتطبيق مع المحاكاة.

**الكلمات المفاتيح:** 'التنظيم الصناعي' ، 'PID' ، 'Tia Portal V15'.

## Résumé :

Le mémoire présent consiste à l'étude de la régulation automatique pour la commande de la pression du capot de chauffe par la variation de la vitesse du ventilateur d'Exhaure. La mise au point de cette régulation à été effectuée en commençant d'abord par l'automatisation de l'atelier cuisson de la cimenterie de Zahana (SCIZ), ensuite réaliser une simulation du fonctionnement de la régulation en déterminant les paramètres **PID** optimaux et enfin l'étude de la réponse de notre système avec les interprétations du résultat.

Ce travail est composé de trois parties : description technologique et l'analyse fonctionnelle de l'atelier cuisson, la régulation automatique et l'application avec simulation.

**Mots clés :** 'Régulation industriel', 'PID', 'Tia Portal V15',

## Abstract:

The present thesis consists of the study of the automatic regulation for the control of the pressure of the kiln hood by the variation of the speed of the exhaust fan. The development of this regulation was carried out by starting first with the automation of the cooking zone of the Zahana cement plant (SCIZ), then carrying out a simulation of the operation of the regulation by determining the optimal PID parameters and finally the study of the response of our system with the interpretations of the result.

This work is composed of three parts: technological description and functional analysis of the cooking zone, automatic regulation and application with simulation.

**Keywords:** 'Industrial regulation', 'PID', 'Tia Portal V15'.

# Sommaire

<b>Index des figures</b> .....	i
<b>Liste des tableaux</b> .....	iii
<b>Liste des abréviations</b> .....	iv
<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Description technologique et l'analyse fonctionnelle de l'atelier cuisson</b> .....	2
1- Introduction .....	3
2- Description du processus de la zone cuisson .....	3
2.1- La tour de préchauffage .....	3
2.2- Four rotatif .....	4
2.2.1- Alimentation four .....	4
2.2.2- Four.....	4
2.2.3- Brûleur.....	5
2.2.4- Les joints du four .....	5
2.3- Refroidisseur .....	6
2.3.1- Filtres à manche .....	7
2.3.2- Ventilateur d'Exhaur .....	7
3- Description du circuit des gazs chauds dans l'atelier de cuisson .....	7
3.1- L'influence de l'air exhaur (excès d'air) sur la température de la flamme .....	9
3.2- L'influence de l'air exhaur (excès d'air) sur le capôt de chauffe .....	10
4- Instrumentations de l'atelier cuisson .....	10
4.1- Les capteurs .....	10
4.1.1- Les capteurs TOR .....	11
4.1.1.1- Détecteurs inductifs .....	11
4.1.1.2- Détecteurs à membrane .....	12
4.1.1.3- Détecteurs de niveau .....	12
4.1.1.4- Les fins de courses .....	13
4.1.2- Les capteurs analogiques .....	13
4.1.2.1- La sonde platine PT100 .....	13
4.1.2.2- Transmetteur de pression .....	14
4.1.2.3- Débitmètre .....	14
4.1.2.4- Capteur de pesage .....	15
4.1.2.5- Capteur de niveau (Silopilot) .....	15
4.1.2.6- Le positionneur .....	15
4.2- Les actionneurs .....	16
4.2.1- Moteur asynchrone triphasé .....	16
4.2.2- Réducteur de vitesse .....	17
4.2.3- Variateur de vitesse .....	17
4.2.4- Ventilateur de tirage .....	17
4.2.5- Servomoteur .....	18
4.2.6- Electrovanne .....	18
4.2.7- Compresseur .....	18
4.3- Les équipements de protection .....	19
4.3.1- Les disjoncteurs .....	19
4.3.2- Les contacteurs .....	19
4.3.3- Les relais thermiques .....	20

## Sommaire

4.3.4-	Les sectionneurs .....	20
4.3.5-	SITOP alimentation .....	20
4.4-	Les auxiliaires de commande .....	21
4.4.1-	Les commutateurs à cames .....	21
4.4.2-	Les boutons poussoirs .....	21
4.4.3-	Les armoires de commande .....	21
5-	Problématique .....	22
6-	Solution .....	22
7-	Analyse fonctionnelle .....	22
7.1-	Séquence 01 : Dépoussiérage Refroidisseur .....	23
7.1.1-	Atelier Echangeur .....	23
7.1.2-	Atelier Exhaure .....	25
7.2-	Séquence 02 : Dépoussiérage Tour de préchauffage .....	27
7.3-	Séquence 03 : Refroidisseur .....	29
7.3.1-	Atelier Evacuation Clinker .....	29
7.3.2-	Atelier Ventilateurs de soufflage .....	31
7.4-	Séquence 04 : Combustible Gaz .....	33
7.5-	Séquence 05 : Pré-Calcinateur .....	34
7.6-	Séquence 06 : Four .....	36
7.7-	Séquence 07 : Alimentation four .....	38
7.8-	Asservissement des séquences.....	39
7.9-	Boucle de régulation.....	40
8-	L'automatisation de l'atelier .....	40
9-	Conclusion .....	40
	<b>Chapitre II : La régulation automatique</b> .....	<b>41</b>
1-	Introduction .....	42
2-	Système de commande asservis .....	42
3-	Performance d'un système asservis .....	42
4-	Organisation fonctionnelle d'un système asservi .....	43
5-	La régulation automatique .....	44
5.1-	Les modes de la régulation .....	44
5.2-	Le sens d'action de la régulation .....	45
5.3-	Les correcteurs .....	45
5.4-	Les correcteurs PID .....	45
5.5-	Ajustage des paramètres d'un régulateur PID .....	48
5.5.1-	Méthode de la réponse indicielle .....	48
5.5.2-	Méthode du point critique .....	48
6-	Conclusion .....	49
	<b>Chapitre III : Application</b> .....	<b>50</b>
1-	Introduction .....	50
2-	Programme utilisateur .....	50
3-	Supervision et simulation .....	57
4-	Régulation automatique .....	59
4.1-	Les résultat .....	63
4.2-	L'interprétation des résultats .....	63

## Sommaire

5- Conclusion .....	64
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>65</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>66</b>

## Index des figures

### Chapitre I : Description technologique et l'analyse fonctionnelle de l'atelier cuisson

Figure I.1 : La tour de préchauffage .....	2
Figure I.2 : Four rotatif .....	3
Figure I.3 : Les étapes de la cuisson .....	4
Figure I.4 : Combustible Gaz .....	4
Figure I.5 : La boîte à fumée (joint amont).....	4
Figure I.6 : Le capot de chauffe (joint aval) .....	5
Figure I.7 : Vue technique refroidisseur .....	5
Figure I.8 : Refroidisseur .....	6
Figure I.9 : Les zones d'un refroidisseur .....	7
Figure I.10 : Les gazs chauds .....	7
Figure I.11 : Circulation des gazs dans le four .....	8
Figure I.12 : L'influence de l'air exhaure sur la flamme .....	8
Figure I.13 : L'influence de l'air exhaure sur le capot de chauffe .....	9
Figure I.14 : Fonctionnement du capteur .....	10
Figure I.15 : Capteur inductif .....	10
Figure I.16 : Contrôleur de rotation .....	11
Figure I.17 : Capteur à membrane .....	11
Figure I.18 : Capteur de niveau .....	12
Figure I.19 : Les fins de courses .....	12
Figure I.20 : Capteur de température PT100 .....	13
Figure I.21 : Transmetteur de pression .....	13
Figure I.22 : Débitmètre .....	13
Figure I.23 : Jauge de contrainte de pesage .....	14
Figure I.24 : Silopilot .....	14
Figure I.25 : Positionneur .....	15
Figure I.26 : Moteur asynchrone triphasé .....	15
Figure I.27 : Réducteur de vitesse .....	16
Figure I.28 : Variateur de vitesse (ABB ACS) .....	16
Figure I.29 : Servomoteur .....	17
Figure I.30 : Electrovanne .....	17
Figure I.31 : Compresseur d'air .....	18
Figure I.32 : Disjoncteur .....	18
Figure I.33 : Conctacteur .....	18
Figure I.34 : Relais thermique .....	19
Figure I.35 : Sectionneur .....	19
Figure I.36 : SITOP Alimentation .....	19
Figure I.37 : Les commutateurs à cames .....	20
Figure I.38 : Les boutons poussoirs .....	20
Figure I.39 : Armoire de commande .....	20
Figure I.40 : P&ID atelier échangeur .....	22
Figure I.41 : P&ID Exhaure .....	23
Figure I.42 : P&ID dépoussiérage tour de préchauffage .....	24
Figure I.43 : P&ID atelier évacuation clinker .....	26
Figure I.44 : P&ID ventilateurs de soufflage .....	27

## Index des figures

Figure I.45 : P&ID combustible gaz .....	29
Figure I.46 : P&ID pré-calciateur .....	30
Figure I.47 : P&ID four .....	31
Figure I.48 : P&ID alimentation four .....	32
Figure I.49 : Atelier automatisé .....	34
<b>Chapitre II : La régulation automatique</b>	
Figure II.1 : Système en boucle ouverte .....	35
Figure II.2 : Système en boucle fermée .....	35
Figure II.3 : Chaînes et éléments fondamentaux d'un asservissement .....	36
Figure II.4 : Fonctionnement du régulateur .....	37
Figure II.5 : Boucle avec correcteur .....	38
Figure II.6 : Boucle avec correcteur PID parallèle .....	39
Figure II.7 : Correcteur PID série .....	40
Figure II.8 : Correcteur PID parallèle .....	41
Figure II.9 : Correcteur PID mixte .....	41
<b>Chapitre III : Application</b>	
Figure III.1 : Vue d'ensemble du programme .....	42
Figure III.2 : L'objet technologique CONT_C (FB41) .....	43
Figure III.3 : Le bloc régulateur continu (CONT_C).....	43
Figure III.4 : Le schéma fonctionnel du CONT_C .....	44
Figure III.5 : Création d'un bloc cyclique .....	45
Figure III.6 : La différence entre [OB1] et [OB35] .....	45
Figure III.7 : Le bloc cyclique [OB35] .....	46
Figure III.8 : Le bloc de donnée du régulateur DB41 .....	46
Figure III.9 : L'influence des ventilateurs de tirage .....	47
Figure III.10 : Calcul de la mesure de la pression .....	47
Figure III.11 : Perturbation des ventilateurs de soufflage .....	48
Figure III.12 : Permutation entre les deux modes .....	48
Figure III.13 : Vue d'ensemble des vues .....	49
Figure III.14 : Boucle de régulation .....	49
Figure III.15 : Boucle de régulation (simulation) .....	50
Figure III.16 : Correcteur PID .....	50
Figure III.17 : Correcteur PID (mode manuel) .....	51
Figure III.18 : Correcteur PID (mode auto) .....	51
Figure III.19 : Correcteur P .....	52
Figure III.20 : Correcteur PD .....	53
Figure III.21 : Correcteur PI .....	53
Figure III.22 : Correcteur PI .....	54
Figure III.23 : Correcteur PID .....	54
Figure III.24 : Présence des perturbations .....	55

## Liste des tableaux

### Chapitre I : Description technologique et l'analyse fonctionnelle de l'atelier cuisson

<b>Tableau I.1</b> : La liste des consommateurs atelier échangeur .....	22
<b>Tableau I.2</b> : La liste des capteurs logiques atelier échangeur .....	22
<b>Tableau I.3</b> : La liste des capteurs analogiques atelier échangeur .....	23
<b>Tableau I.4</b> : Verrouillage de l'équipement atelier échangeur .....	23
<b>Tableau I.5</b> : La liste des consommateurs atelier exhaure .....	23
<b>Tableau I.6</b> : La liste des capteurs logiques atelier exhaure .....	23
<b>Tableau I.7</b> : La liste des capteurs analogiques atelier exhaure .....	24
<b>Tableau I.8</b> : Verrouillage de l'équipement atelier exhaure .....	24
<b>Tableau I.9</b> : La liste des consommateurs dépoussiérage tour de préchauffage .....	25
<b>Tableau I.10</b> : La liste des capteurs logiques dépoussiérage tour de préchauffage .....	25
<b>Tableau I.11</b> : La liste des capteurs analogiques dépoussiérage tour de préchauffage .....	25
<b>Tableau I.12</b> : Verrouillage de l'équipement dépoussiérage tour de préchauffage .....	25
<b>Tableau I.13</b> : La liste des consommateurs atelier évacuation clinker .....	26
<b>Tableau I.14</b> : La liste des capteurs logiques atelier évacuation clinker .....	27
<b>Tableau I.15</b> : La liste des capteurs analogiques atelier évacuation clinker .....	27
<b>Tableau I.16</b> : Verrouillage de l'équipement atelier évacuation clinker .....	27
<b>Tableau I.17</b> : La liste des consommateurs ventilateurs de soufflage .....	28
<b>Tableau I.18</b> : La liste des capteurs logiques ventilateurs de soufflage .....	28
<b>Tableau I.19</b> : La liste des capteurs analogiques ventilateurs de soufflage .....	28
<b>Tableau I.20</b> : Verrouillage de l'équipement ventilateurs de soufflage .....	28
<b>Tableau I.21</b> : La liste des consommateurs combustible gaz .....	29
<b>Tableau I.22</b> : La liste des capteurs logiques combustible gaz .....	29
<b>Tableau I.23</b> : La liste des capteurs analogiques combustible gaz .....	30
<b>Tableau I.24</b> : Verrouillage de l'équipement combustible gaz .....	31
<b>Tableau I.25</b> : La liste des consommateurs pré-calciateur .....	31
<b>Tableau I.26</b> : La liste des capteurs logiques pré-calciateur .....	31
<b>Tableau I.27</b> : La liste des capteurs analogiques pré-calciateur .....	31
<b>Tableau I.28</b> : Verrouillage de l'équipement pré-calciateur .....	32
<b>Tableau I.29</b> : La liste des consommateurs four .....	32
<b>Tableau I.30</b> : La liste des capteurs logiques four .....	32
<b>Tableau I.31</b> : La liste des capteurs analogiques four .....	33
<b>Tableau I.32</b> : Verrouillage de l'équipement four .....	33
<b>Tableau I.33</b> : La liste des consommateurs alimentation four .....	33
<b>Tableau I.34</b> : La liste des capteurs logiques alimentation four .....	33
<b>Tableau I.35</b> : La liste des capteurs analogiques alimentation four .....	33
<b>Tableau I.36</b> : Verrouillage de l'équipement alimentation four .....	34
<b>Tableau I.37</b> : Asservissement des séquences .....	34
<b>Tableau I.38</b> : Boucle de régulation .....	35
<b>Chapitre II : La régulation automatique</b>	
<b>Tableau II.1</b> : Effets des correcteurs P, I, et D sur les régimes statique et dynamique du système en boucle fermée .....	39
<b>Tableau II.2</b> : Réglage du contrôleur par la méthode d'oscillation de Ziegler-Nichols .....	42

## Liste des abréviations

<b>Cont_C</b>	Continu controller.
<b>CPU</b>	Computer Processing unit.
<b>DB</b>	Bloc de données.
<b>E/S</b>	Entrée/Sortie.
<b>FB</b>	Bloc fonctionnel.
<b>FB</b>	Bloc fonctionnel.
<b>FC</b>	Fonction.
<b>IHM</b>	Interface Homme Machine.
<b>LMN</b>	Loi de commande.
<b>OB</b>	Bloc d'Organisation.
<b>PID</b>	Proportionnel-intégral-dérivée.
<b>PT100</b>	Platine 100 ohms.
<b>PV_IN</b>	Process Value (mesure).
<b>SIMATIC</b>	Système d'automatisation industriel.
<b>SP_INT</b>	Set point (consigne).
<b>TIA Portal</b>	Totally Integrated Automation Portal.
<b>TOR</b>	Tout ou rien.
<b>Win CC</b>	Windows control command.



## Introduction générale

L'industrie du ciment, dont la production mondiale ne cesse de s'accroître, constitue par ses tonnages, les quantités d'énergie mécanique et de combustible qu'elle utilise, les capitaux qu'elle immobilise, une des plus importantes branches de l'économie industrielle. Cette dernière a connu une évolution remarquable ces derniers temps, avec l'apparition de nouvelles unités.

Dans le cadre de la mise en œuvre du programme de formation pour l'obtention du **diplôme Master académique** dans la spécialité **Automatique** à l'**Ecole Supérieure en Sciences Appliquées de Tlemcen**, nous avons souhaité de réaliser notre stage de fin d'étude dans une entreprise répondant aux enjeux du futur, qui encourage l'innovation et le développement des processus de fabrication, particulièrement dans le domaine industriel, tout en les automatisant pour faciliter les tâches et obtenir un rendement plus important en un peu de temps.

Ce stage pratique de cinquième année a pour objectif d'acquérir une expérience en milieu industriel au sein d'une grande entreprise.

Pour ce stage (conventionné) de trois (03) mois, nous avons sollicité la direction de l'entreprise **SCIZ** pour nous permettre d'effectuer ce stage au sein de son usine et que je remercie vivement pour son accord favorable.

Avant de réaliser la régulation automatique, nous étions dans l'obligation de concevoir le programme d'automatisation de l'atelier cuisson avec la supervision dédiée à cette zone. Puis nous avons fait l'analyse de son fonctionnement pour maîtriser sa commande et le développement de la régulation automatique pour **la commande de la pression au niveau du capot de chauffe par la variation du ventilateur d'Exhaure**.

Le mémoire présent se porte sur la réalisation d'un système de régulation automatique par l'implémentation des algorithmes des boucles de régulations et l'étude de la réponse de notre système qui répond à nos exigences.

Le plan de notre travail se constitue par les parties suivantes :

Dans le premier chapitre, nous allons décrire le processus technologique et l'analyse fonctionnelle de la zone cuisson.

Le second chapitre présente la définition de la régulation automatique avec les méthodes utilisées pour ajuster les paramètres PID.

Dans le dernier chapitre, nous allons programmer la boucle de régulation avec l'étude de l'évolution du système avec une supervision.

---

# Chapitre I

Processus technologique et analyse  
fonctionnelle de l'atelier cuisson

---

## 1- Introduction :

Dans le présent chapitre nous allons présenter l'atelier cuisson de la cimenterie sujet de notre étude puis nous allons détailler l'ensemble des équipements qui le constituent ainsi que, leurs rôles et leurs spécificités.

Ce chapitre consiste à étudier le système et de faire l'analyse de son fonctionnement afin de développer des algorithmes de commande et régulation adéquats qui répondent à nos exigences et besoins.

## 2- Description du processus de la zone cuisson :

Cette zone est constituée essentiellement d'un four et d'un refroidisseur, mais avant que la farine n'arrive à l'entrée du four, elle passe par la tour de préchauffage, cette tour a été conçu dans le but de diminuer le taux de l'humidité et de la pré-décarbonatation de la farine.

### 2.1- La tour de préchauffage :

L'échangeur de chaleur est constitué de plusieurs étages (05 étages dans notre cas d'étude) de cyclones ayant pour rôle essentiel, le dépoussiérage des gaz après qu'ils aient transmis une partie de leurs calories à la poussière lors d'un bref séjour dans la gaine reliant un étage à un autre. Notons que 80% de l'échange thermique a lieu dans la gaine de gaz et 20% dans le cyclone, où il y a séparation du gaz et de la matière.

Les gaz dépoussiérés quittent le cyclone par la gaine pour reprendre à nouveau la matière plus froide de l'étage du dessus. La farine quittant le cyclone par la descente matière se retrouve finalement dans le four.

Les descentes matières sont connectées dans la partie la plus basse de la gaine gaz et cela afin de garantir un temps de séjour maximum de la farine pour assurer son préchauffage et ultérieurement sa décarbonatation partielle (35 à 40 % de taux de décarbonatation).

Notons que le préchauffage dans la tour se fait à courant parallèle, c.à.d. les gaz parcourent l'édifice de bas en haut alors que la matière le parcourt en sens inverse [2].

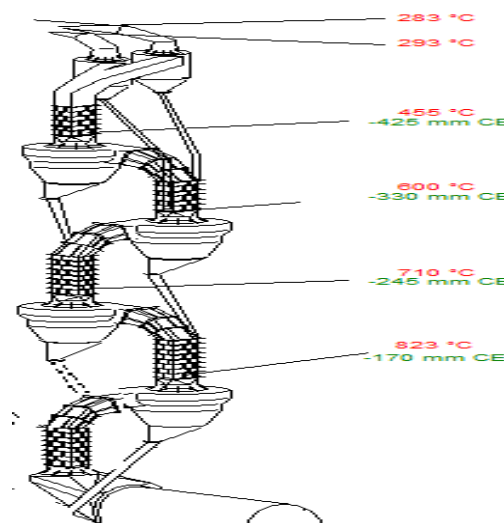


Figure II.1 : La tour de préchauffage

Une décarbonatation plus complète peut être obtenue par l'ajout d'un foyer complémentaire situé dans le cyclone inférieur « **Pré-Calcinat** ». La poudre est ainsi portée à une température comprise entre 800 °C et 1000 [2].

## 2.2- Four rotatif :

Que le four soit raccordé à un préchauffeur avec ou sans Pré-Calcinat, il est quand même divisé en plusieurs zones plus ou moins longues, en rapport directe avec le procédé et assurant le reste de la décarbonatation puis la cuisson du cru en clinker.

### 2.2.1-Alimentation four :

La farine est extraite des silos de stockage ou homogénéisation par équipement composé de : vanne à casque (tout ou rien) ou Aéroglisseur + souffleur d'air.

A travers cet équipement, la farine sera acheminée vers la trémie peseuse pour être transportée, à l'aide d'un élévateur vers la tour de préchauffage où elle subit des transformations physico-chimiques.

Au travers des cyclones le tirage des fumées réalisés par les ventilateurs, ces derniers extraient les gaz chauds du four.

La farine passe dans les cyclones à étages puis par la boîte à fumée pour gagner en calorie par l'élévation de la température progressivement, pour être prête aux réactions du « Clinkerisation » dans le four.

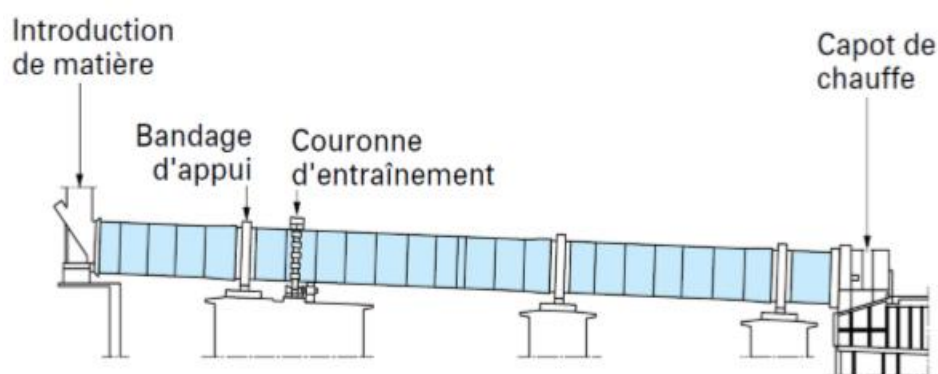
Les gaz tirés par le ventilateur « IDFAN » en passant par un filtre à manche afin de filtrer les gaz poussiéreux.

### 2.2.2-Four :

Le four est un cylindre de 63 m de longueur et de 4.4 m de diamètre, il a un degré d'inclinaison de 3% par rapport à l'horizontal avec une vitesse de rotation de 3.5 tr/mn, à environ 20 minutes et trois bondages d'appui qui reposent sur des galets.

Le four est entraîné en rotation par un moteur et réducteur, agissant sur un pignon engrainé avec la couronne d'entraînement [2].

Avec un système hydraulique de graissage qui assure le bon fonctionnement mécanique, et une pompe butée afin de bien positionner le four.



**Figure II.2 : Four rotatif**

La cuisson se produit dans le four, ce dernier est constitué de quatre zones ; la zone de décarbonatation (à 900°C), la zone de transition, la zone de cuisson (à 1450°C) qui

représente l'étape de « clinkérisation » au milieu du four, et il vient par la suite à la sortie du four la zone de refroidissement (à 1200°C) [2].

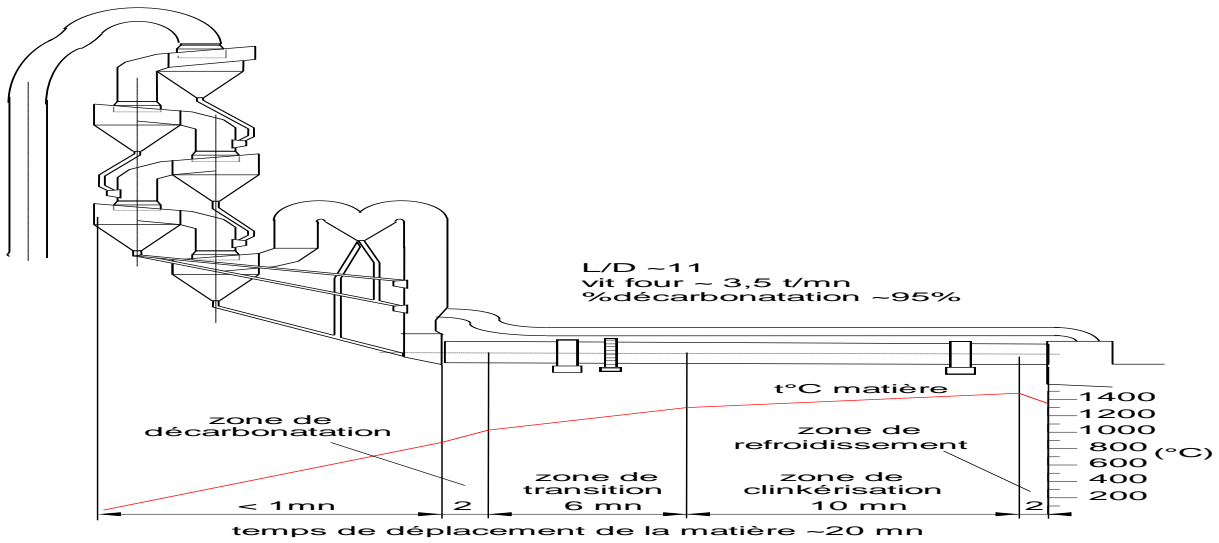


Figure II.3 : Les étapes de la cuisson

**2.2.3-Brûleur :**

La tuyère a pour but d'injecter le combustible dans le four, d'assurer au mieux son mélange avec l'air secondaire et de définir la forme de la flamme.

Le brûleur à une importance capitale dans le déroulement de la combustion. Il permet en effet de produire une flamme constamment stable pour tous les débits, ce qui a pour conséquence un croûtage stable et par la même, une protection du réfractaire [2].



Figure II.4 : Combustible Gaz

**2.2.4-Les joints du four :**

En amont, la liaison entre le four et le préchauffeur, est réalisée par le biais de la boîte à fumée qui est une gaine en chaudronnerie, revêtue intérieurement de matériaux réfractaires.

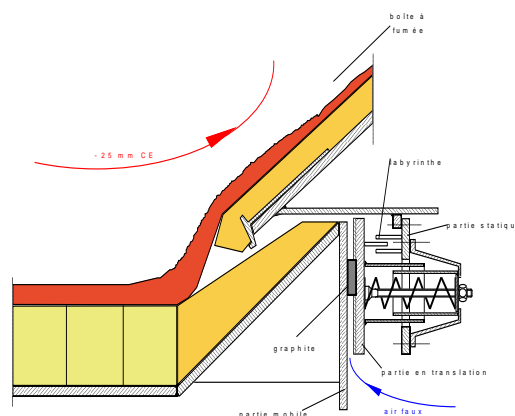


Figure II.5 : La boîte à fumée (joint amont)

En aval, il est relié avec le refroidisseur par le capot de chauffe, réalisé aussi en chaudronnerie, il est revêtu intérieurement de matériaux réfractaires.

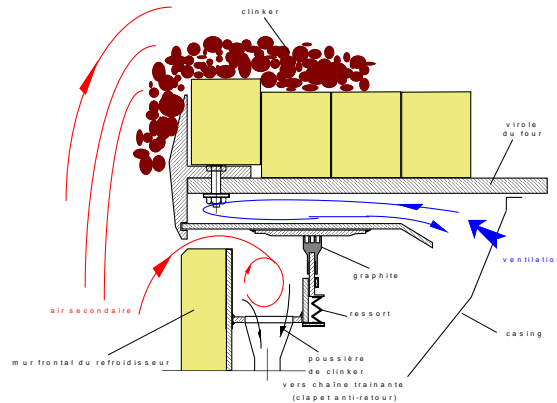


Figure II.6 : Le capot de chauffe (joint aval)

Dans le capot de chauffe, le clinker est déversé du four rotatif au refroidisseur de clinker. Simultanément, les gaz de processus sont dirigés du refroidisseur au four rotatif par le capot de chauffe. Les conduites d'air tertiaire sont principalement raccordées au capot de chauffe.

Le rôle principal des joints du four est d'assurer l'étanchéité du four face à l'entrée d'air faux, qui peut entraîner des problèmes de qualité de la matière à cuir [2].

### 2.3- Refroidisseur :

Le clinker sortant du four à une température de 1450°C et tombe sur les grilles où il est refroidit par une batterie de ventilateurs de soufflage dans les chambres de la partie basse du refroidisseur qui ramène cette température à 60°C.

Le clinker avance avec le mouvement de va et vient des grilles. Chaque grille est commandée par deux vérins tandis que l'air passe à travers.

L'air passe à travers la couche de clinker et s'échauffe. La partie la plus chaude est aspirée par le four et sert d'air secondaire. L'excès d'air est aspiré à l'Exhaure du refroidisseur.

A l'extrémité des grilles, le clinker est concassé par un concasseur à rouleaux, de manière à avoir une granulométrie convenable pour être transporté, stocké dans les silos de clinker et introduit dans le broyeur à ciment.

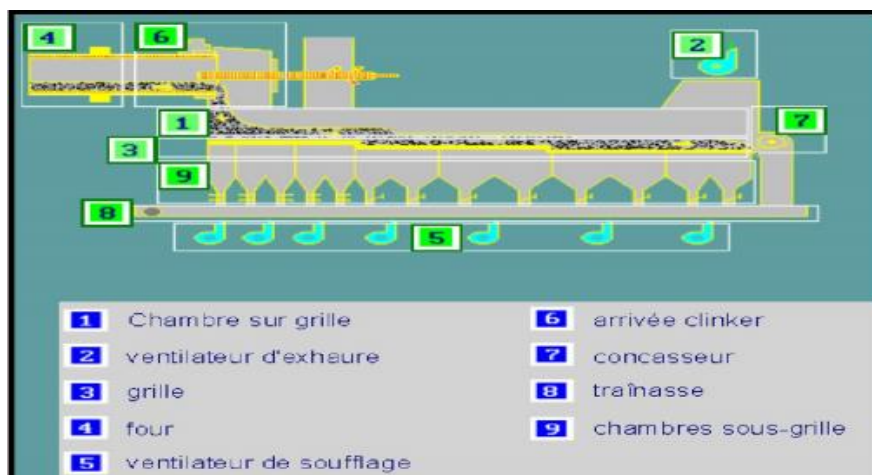


Figure II.7 : Vue technique refroidisseur

### 2.3.1-Filtre à manche :

Les filtres à manches sont des collecteurs de poussières à air pulsé les plus utilisés pour l'extraction des particules sèches de l'air du processus et de ventilation générale.

La tendance aujourd'hui est à l'utilisation des manches verticales plutôt longues (> 5 m), avec un décolmatage par air pulsé, une captation des poussières côté externe et des gaz qui circulent de bas en haut.

L'instrumentation nécessaire à une bonne conduite des filtres consiste d'abord en un capteur de pression différentielle, un capteur de température qui pourra servir à déclencher un by-pass d'urgence et, éventuellement, un analyseur de CO dans la trémie pour prévenir tout risque d'incendie.

### 2.3.2-Ventilateur d'Exhaure :

L'air exhaure tiré par le ventilateur d'Exhaure, sorti du refroidisseur passe par un échangeur en diminuant sa température et un filtre pour séparer la poussière ascendante et le gaz, les éléments major qui réalisent cette opération sont les ventilateurs d'exhaure permettant:

- De régler le débit d'air exhaure à l'aide des registres d'entrée des ventilateurs de soufflages.
- D'assurer la régulation entre pression capot de chauffe (joint aval) pour une valeur de **-3 mbar** et le % d'ouverture des registres qui permettent de régler le débit de ce ventilateur en fonction de la température de sortis en laissant sa vitesse constante.

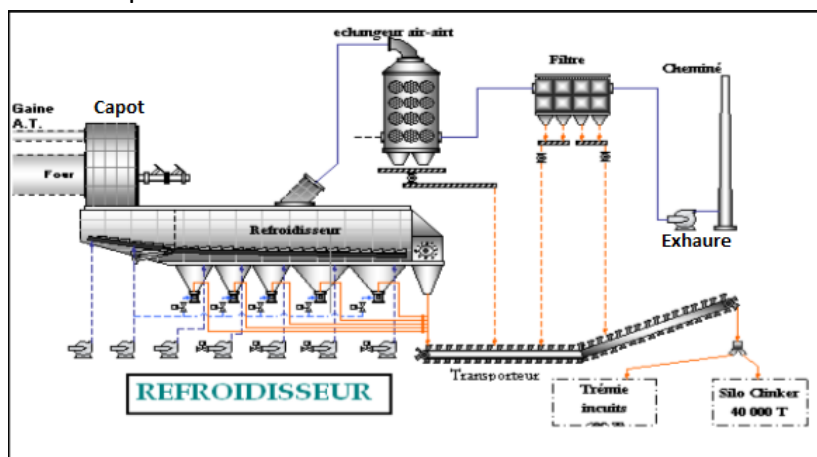


Figure II.8 : Refroidisseur

### 3- Description du circuit des gaz chauds dans l'atelier de cuisson :

Le procédé de fabrication repose sur la voie sèche qui est la plus rentable et plus optimale au niveau énergétique. Ce procédé a permis d'atteindre les avantages suivants :

- Récupération optimale de la chaleur.
- Faible consommation thermique.

La récupération de l'énergie thermique (gazs chauds) libérée par le clinker sortant du four tournant se fait grâce au refroidisseur à grilles jouant le rôle d'un échangeur de chaleur, qui fonctionne selon le principe du courant transversal, c'est-à-dire que la matière traverse horizontalement le refroidisseur tandis que l'air est soufflé verticalement.

Des ventilateurs de soufflage fournissent l'air de refroidissement nécessaire à l'obtention de la température finale désirée, chaque chambre est soufflée de l'air frais de l'extérieur par son ventilateur [5].

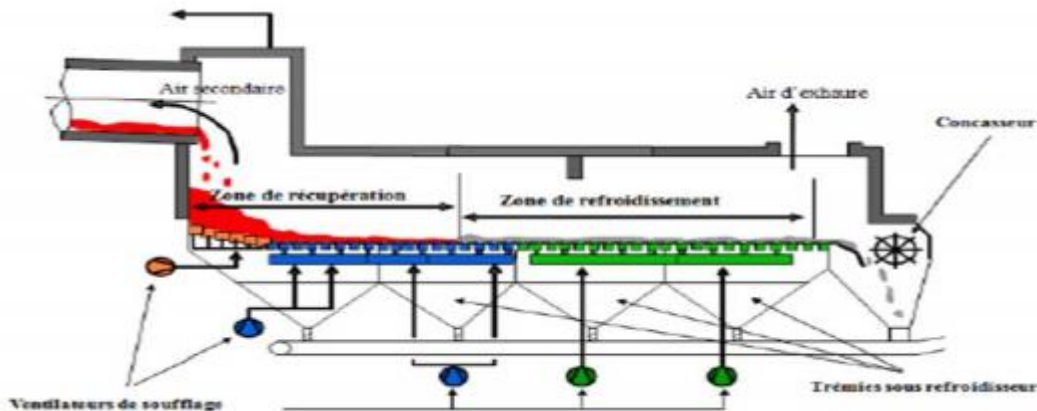


Figure II.9 : Les zones d'un refroidisseur

Ce schéma de refroidisseur présente deux zones :

- La zone de refroidissement : assure le refroidissement optimale du clinker et aussi réduire l'impact chaleur sur les processus suivants (transport de clinker et broyage de ciment).
- La zone de récupération : Permet la récupération des calories pour minimiser la consommation thermique et obtenir la température d'air de combustion, qui doivent être recyclées au four grâce aux petites chambres de soufflages.

Le refroidissement brusque du clinker sortant du four de cuisson permet le réchauffement de l'air ambiant de soufflage qui va se diviser selon divers processus :

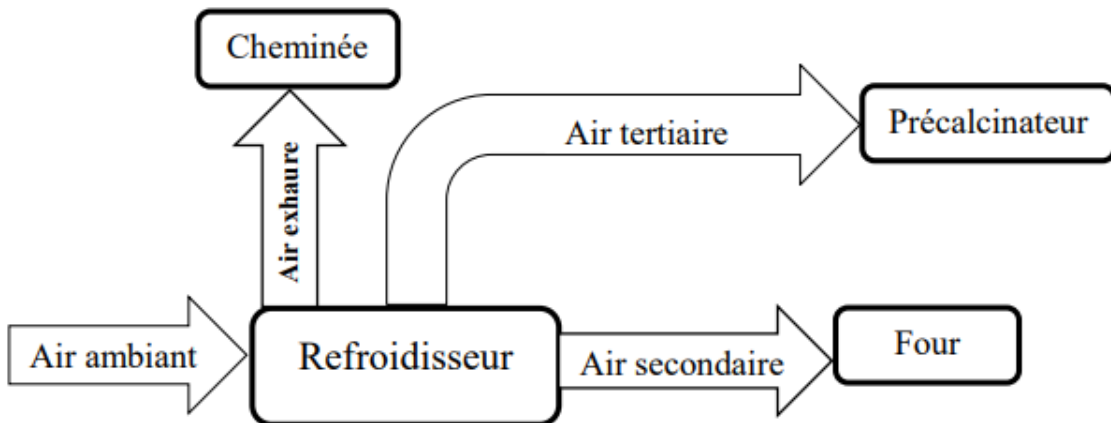


Figure II.10 : Les gazs chauds

**a) L'air secondaire :**

L'air récupéré dans la première partie de la grille sert comme air secondaire de combustion pour le four. Il pénètre par la zone du capot de chauffe.

Le mélange de l'air secondaire et l'air primaire permettant une combustion immédiate du combustible gaz. La flamme résultante se trouve à l'extrémité plus basse du four, ainsi que la matière est introduite à l'autre extrémité, et avance lentement sous l'effet de la rotation et l'inclinaison de ce dernier.



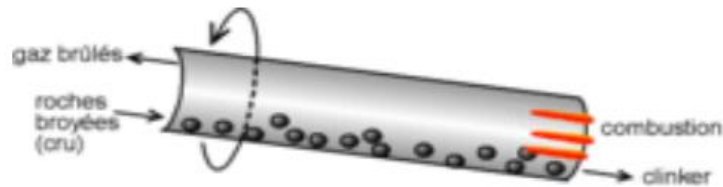


Figure II.11 : Circulation des gaz dans le four

Au fur et à mesure de l'avancement de la matière, des réactions chimiques (décarbonatation et clinkérisation) se produisent à haute température s'accompagnant par une libération des gaz pour qu'ils traversent par la suite le four à contre-courant avec la matière, afin de s'évacuer au niveau de pré-calciateur.

#### b) L'air tertiaire :

C'est l'air provenant de la deuxième partie de la grille, en traversant une conduite vers le pré-calciateur qui représente le bruleur secondaire, conçus pour mélanger le combustible et l'air tertiaire ainsi que les gaz chauds ascendant du four.

La température des gaz à ce point (pré-calciateur) est élevée varie entre 800 à 1000°C, favorisant la calcination et la décarbonatation partielle de la matière.

#### c) L'air exhaure :

C'est l'air qui est en excès et qui n'a plus d'utilisation, il sera acheminé vers l'échangeur air/air qui assure son refroidissement, afin de diminuer sa température de 200°C à 100°C.

Donc il est refroidi, puis évacué dans l'atmosphère par la cheminée après un dépoussiérage dans un filtre à manches.

Le mode de cette circulation des gaz s'appelle le **mode direct**, il existe un autre qui est le **mode composé** dans lequel ils sont transportés vers le broyeur vertical (zone cru) passant par le four et la tour de préchauffage qui servent à sécher la farine cru au niveau du broyeur. Dans le mode composé, les gaz circulent par le même parcours du mode direct, mais la seule différence est que les gaz traversent avant sa filtration le broyeur cru parce qu'il est en marche.

### 3.1- L'influence de l'air exhaure (excès d'air) sur la température de la flamme :

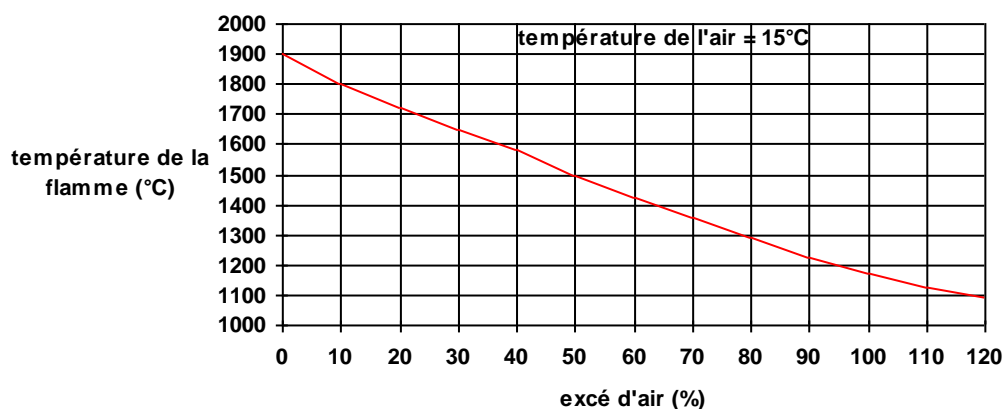


Figure II.12 : L'influence de l'air exhaure sur la flamme

A partir de cette courbe, nous constatons que chaque fois que l'air augmente de 10% la température chute de 100°C pour les hautes températures.

Ceci implique que des consignes de tirage excessif des ventilateurs de soufflage, en provoquant une augmentation de l'excès d'air abaisse assez fortement la flamme pour que le four se retrouve à la limite des possibilités de la cuisson et parfois même assez froid pour produire des incuits, et qu'alors, par simple diminution du tirage (ventilateur Exhaure), le four se réchauffe.

Notons aussi que la température de la flamme augmente avec l'augmentation de la température de l'air secondaire. Qu'à ce niveau aussi, pour une faible couche de clinker dans le refroidisseur, la température de l'air secondaire chute et fait chuter la température de la flamme d'où parfois un refroidissement du four.

### 3.2- L'influence de l'air exhaure (excès d'air) sur le capôt de chauffe :

Dans la courbe ci-après est représentée la chaleur contenue dans l'air secondaire en fonction de la température :

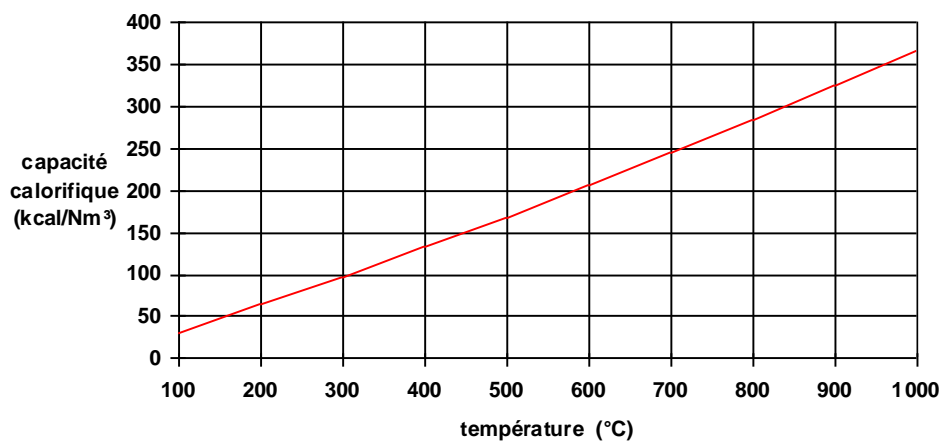


Figure II.13 : L'influence de l'air exhaure sur le capôt de chauffe

L'excès d'air augmente la température de l'air secondaire par accumulation de la chaleur, donc cette dernière va augmenter la capacité calorifique qui provoque la mise en pression du capôt de chauffe du four qui peut entraîner une explosion.

## 4- Instrumentations de l'atelier cuisson :

### 4.1- Les capteurs :

Ce sont les constituants de l'automatisme. Dans une ligne de production automatisée, les capteurs forment le lien entre la machine et le monde extérieur. Ils transmettent au système de traitement de l'information les conditions de fonctionnement d'une machine. Les capteurs sont donc des éléments indispensables à tout projet d'automatisation d'où leur nombre important dans diverses applications.

Les capteurs sont les premiers éléments rencontrés dans une chaîne de mesures, Ils transforment les grandeurs physiques ou chimiques d'un processus ou une installation en signaux électriques.



Figure II.14 : Fonctionnement du capteur

Le capteur est le composant qui permet d'informer la partie commande d'un état de la partie opérative ou du milieu extérieur.

La grande diversité des informations à mesurer fait que la grandeur de sortie du capteur peut varier :

- De manière binaire (vraie ou fausse), l'information est sous la forme Tout ou Rien (TOR).
- De manière progressive, l'information est sous une forme analogique.

#### 4.1.1-Les capteurs TOR :

Ces capteurs génèrent une information électrique de type binaire (vraie ou fausse) qui caractérise le phénomène à détecter ou capter.

Les détecteurs délivrent donc un signal binaire (deux états possibles : 0 ou 1) à la partie commande.

L'atelier cuisson contient les capteurs de type TOR suivants :

##### 4.1.1.1- Détecteurs inductifs :

S'utilise pour détecter une position ou une rotation dans notre cas d'étude. Les détecteurs inductifs utilisent l'effet physique du changement d'état d'un circuit résonnant dû aux pertes de courant de Foucault dans des pièces conductrices. Un circuit oscillant génère un champ alternatif de haute fréquence qui se dégage de la face active du détecteur. Lorsqu'une pièce conductrice pénètre dans ce champ, les courants de Foucault sont formés selon la loi relative à l'induction et enlèvent de l'énergie au circuit oscillant. De ce fait, l'amplitude d'oscillation est réduite. Ce changement est converti en un signal de commutation. Par ce principe, tous les matériaux métalliques peuvent être détectés qu'ils soient en mouvement ou non [9].

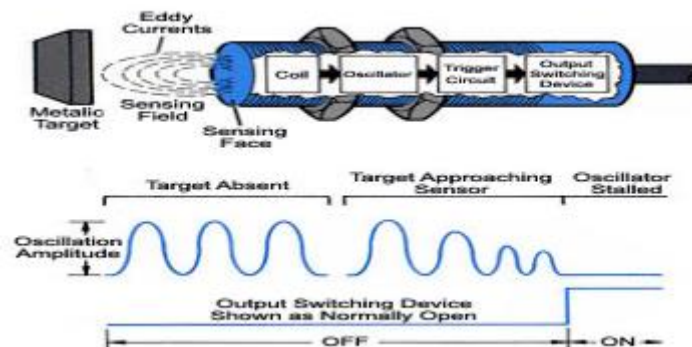


Figure II.15 : Capteur inductif

Dans notre processus le capteur de proximité inductif est un contrôleur de rotation :



Figure II.16 : Contrôleur de rotation

#### 4.1.1.2- Détecteurs à membrane :

S'utilise pour détecter un bourrage de matière en sortie de vis, pied d'élévateur à godets, jetée d'aéroglossière, goulotte ... par simple pression de la matière sur la membrane. Les détecteurs de niveau et de bourrage sont des instruments simples et économiques pour le contrôle des niveaux de produit par mise en marche ou arrêt des systèmes d'alimentation. Ils sont constitués d'un boîtier en aluminium fondu, muni d'une membrane flexible en acier ou en néoprène. Ils sont utilisés dans le contrôle des niveaux minimum et maximum de produit en vrac, poussiéreux, granuleux ou poudreux.

Le fonctionnement du contrôleur est très fiable, à condition que, lors du remplissage, les produits se répartissent sur la surface et que l'angle à la base du cône soit suffisamment grand pour que la pression exercée sur la membrane permette le basculement du contact [9].



Figure II.17 : Capteur à membrane

#### 4.1.1.3- Détecteurs de niveau :

La technologie de l'arrêt de remplissage de silos par détecteurs de niveau à fonctionnement mécanique constitue un système très simple, fiable et particulièrement économique pour la détection de niveau de multiples solides et pulvérulents.

Il suffit de suspendre le détecteur de niveau en position verticale pour obtenir le contact lorsque la poussée des grains provoque sur l'appareil une inclinaison d'environ  $10^\circ$  par rapport à la verticale. L'appareil retrouve sa position verticale lors de la disparition des produits [9].



Figure II.18 : Capteur de niveau

#### 4.1.1.4- Les fins de courses :

Les fins de course mécaniques sont les capteurs de position les plus simples, ils permettent de contrôler la position d'un élément de machine.

C'est un commutateur, commandé par le déplacement d'un organe de commande (corps d'épreuve). Lorsque le corps d'épreuve est actionné, il ouvre ou ferme un contact électrique solidaire du corps d'épreuve. De nombreux modèles peuvent être associés au corps: tête à mouvement rectiligne, angulaire ou multi direction associée à différents dispositifs d'attaque (à poussoir, à levier ....etc.) [9].

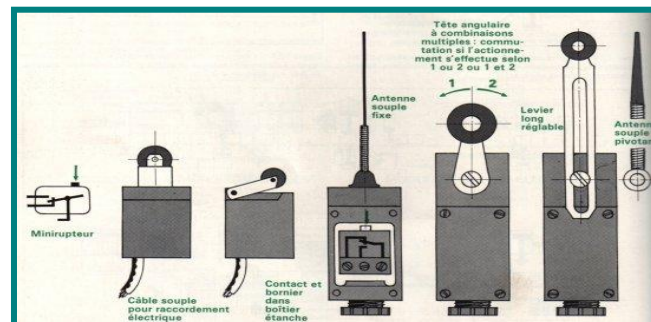


Figure II.19 : Les fins de courses

#### 4.1.2- Les capteurs analogiques :

La grandeur électrique délivrée par ce type de capteur est en relation directe avec la grandeur physique à capter. Ces grandeurs peuvent avoir plusieurs valeurs comprises entre deux bornes (supérieures et inférieures).

Les capteurs analogiques existant dans notre processus sont présentés ci-dessous.

##### 4.1.2.1- La sonde platine PT100 :

La sonde Pt 100 est un capteur de température qui est utilisée dans le domaine industriel pour mesurer la température.

Ce capteur est constitué d'une résistance en Platine (Pt). La valeur initiale du Pt100 est de 100 ohms correspondant à une température de 0°C. La pt100 fait (100 ohms à 0°C), (119,4 ohms à 50°C), (138,5 ohms à 100°C) et ainsi de suite. Ce n'est pas parfaitement linéaire, mais à chaque température sa résistance avec une plage qui varie entre -200°C à 1000°C [9].



Figure II.20 : Capteur de température PT100

#### 4.1.2.2- Transmetteur de pression :

Un capteur de pression est un système qui permet de convertir une pression mécanique en une valeur électrique.

Un fluide va agir sur une membrane qui va se déformer, cette déformation est ensuite mesurée par un élément sensible comme une jauge de déformation (montage en pont complet), un élément piézo-électrique ou autre.

Cette valeur peut être lue directement (exemple capteur en mV/V) ou plus généralement, conditionnée par une électronique interne. Le signal est alors exploitable en tension (0-10 Vcc) ou courant (4-20 mA). Il existe également des capteurs à sortie numérique. L'unité de la pression est le Pascal (Pa) suivant le système International, 100 000 Pa = 1 bar [9].



Figure II.21 : Transmetteur de pression

#### 4.1.2.3- Débitmètre :

Un débitmètre est un appareil conçu pour mesurer le débit d'un fluide (liquide ou gazeux). Les débitmètres massiques et volumétriques utilisent le principe de la pression différentielle dans un champ de flux laminaire pour déterminer le débit massique.

Ils expriment un volume par rapport à une unité de temps : Nm<sup>3</sup>/h. Ce débit est dépendant des conditions de température et de pression (un gaz pouvant se dilater ou se compresser en fonction des paramètres de température et de pression) [9].



Figure II.22 : Débitmètre

#### 4.1.2.4- Capteur de pesage :

Un capteur de pesage est un système qui convertit une charge ou un effort en signal électrique (Pont de Wheatstone). Précaution doit être prise de ne pas exposer le capteur de pesage à une charge dépassant sa capacité. La gamme du capteur de pesage en compression sélectionnée doit être appropriée à la charge maximale (incluant les forces transitoires) qui peut lui être appliquée [9].



Figure II.23 : Jauge de contrainte de pesage

#### 4.1.2.5- Capteur de niveau (Silopilot) :

Le Silopilot est un palpeur électromécanique. En fonction du contrepois, le niveau peut être mesuré dans des trémies, des silos de solides pulvérulents, à faible ou à forte granulométrie.

Il mesure le niveau du solide dans une plage, plutôt qu'à un seul point, ce qui produit une sortie analogique qui est directement corrélée au niveau du silo. Pour créer un système de gestion de niveau, le signal de sortie est relié à une boucle de commande de procédé et à un indicateur visuel [9].



Figure II.24 : Silopilot

#### 4.1.2.6- Le positionneur :

Le positionneur est intéressant lorsqu'une vanne est rarement utilisée. Ce dispositif est utilisé pour vérifier la disponibilité de la vanne motorisée de manière régulière.

Le positionneur consiste à réaliser un très court déplacement. La position de départ ainsi que l'amplitude du positionneur sont programmables. La commande peut être soit manuelle soit transmise par le bus de terrain [9].





Figure II.25 : Positionneur

#### 4.2- Les actionneurs:

Un actionneur est un organe de commande qui permet de changer l'état d'un paramètre agissant directement sur le procédé. Il peut être à commande électrique, pneumatique ou hydraulique.

Les différents actionneurs utilisés dans notre atelier sont les suivants :

##### 4.2.1- Moteur asynchrone triphasé :

C'est un moteur qui se caractérise par le fait qu'il est constitué d'un stator (inducteur) alimenté en courant alternatif et d'un rotor (induit) soit en court-circuit, soit bobiné aboutissant à des bagues dans lesquelles le courant est créé par induction. Ces moteurs ont la particularité de fonctionner grâce à un champ tournant.

On distingue 2 catégories de moteur asynchrones en fonction du type de rotor :

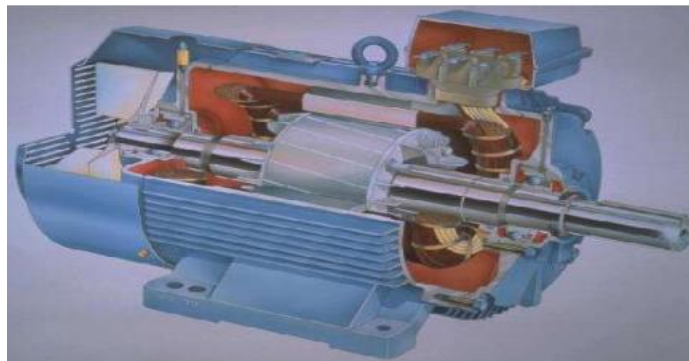


Figure II.26 : Moteur asynchrone triphasé

- Les moteurs asynchrones à rotor en court-circuit, de faible puissance.
- Les moteurs asynchrones à rotor bobiné à bagues dans lesquelles l'enroulement du rotor aboutit à des bagues par l'intermédiaire desquelles on peut insérer des résistances. Ils sont de grande puissance.
- Les moteurs asynchrones peuvent démarrer par leurs propres moyens s'ils sont polyphasés.
- Le couple de démarrage des moteurs asynchrones est faible.

C'est un moteur dont la vitesse est proportionnelle à la fréquence du courant :

$$N = F / P$$

Où : N = fréquence de rotation ; F = fréquence du courant et P = nombre de paires de pôles [9].



#### 4.2.2-Réducteur de vitesse :

Le réducteur de vitesse est un organe mécanique qui permet de transmettre le mouvement de rotation de l'arbre du moteur jusqu'à l'arbre de sortie. La réduction de la vitesse est assurée par la différence des diamètres des roues dentées [9].

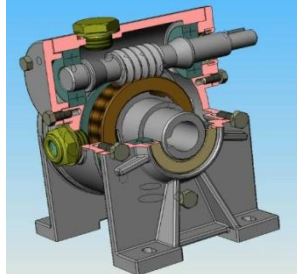


Figure II.27 : Réducteur de vitesse

#### 4.2.3-Variateur de vitesse :

Un variateur de vitesse est un dispositif électronique destiné à commander la vitesse d'un moteur électrique. Il est constitué principalement d'un convertisseur statique et d'une électronique de Commande.

L'électronique de commande réalise la régulation et l'asservissement du ventilateur à travers le convertisseur statique de sorte que l'utilisateur puisse commander directement une vitesse.

Sa conception dépend essentiellement de la stratégie de commande choisie. Dans le cas de notre atelier, on trouve les variateurs de vitesse ABB de type ACS [9].



Figure II.28 : Variateur de vitesse (ABB ACS)

#### 4.2.4- Ventilateur tirage :

Le ventilateur centrifuge est constitué de deux parties principales : une roue à aubes entraînée par un moteur tourne dans un stator épousant la roue, ce stator comporte deux ouvertures, la première alimente la partie centrale de la roue en fluide, lequel pénètre par dépression et est soufflé par effet centrifuge par le deuxième orifice. Ils permettent d'atteindre une pression par accélération de l'air dans des roues à aubes en rotation puis par décélération dans les diffuseurs à large rayon de courbure. Ces ventilateurs permettent une régulation modulée du débit d'air en maintenant une pression constante par simple action d'une vanne en aspiration [9].

#### 4.2.5- Servomoteur :

Un servomoteur est un moteur capable de maintenir une opposition à un effort statique et dont la position est vérifiée en continu et corrigée en fonction de la mesure. C'est donc un système asservi.

Le servomoteur intègre dans un même boîtier, la mécanique (moteur et engrenage), et l'électronique, pour la commande et l'asservissement du moteur. La position est définie avec une limite de débattement d'angle de 180 degrés, mais également disponible en rotation continue. Il est répandu pour les vannes industrielles.



Figure II.29 : Servomoteur

#### 4.2.6- Electrovanne :

Ce sont des dispositifs qui transforment le signal d'entrée en un signal pneumatique de sortie. Elles sont équipées des bobines et des plongeurs qui déplacent le clapet à l'intérieur de la vanne.

La bobine est alimentée, sous l'action de champ magnétique ainsi créée, le noyau plongeur soulève le clapet du côté de la membrane, ce qui permet le passage du fluide [9].

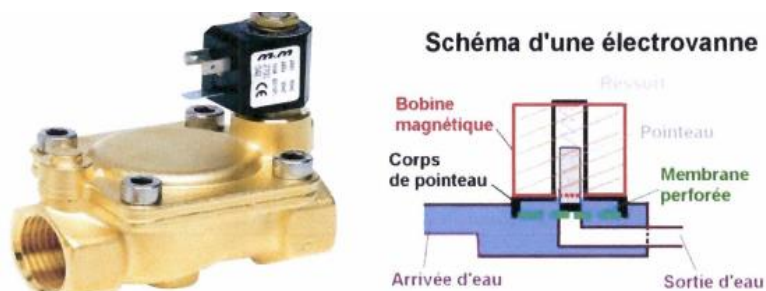


Figure II.30 : Electrovanne

#### 4.2.7- Compresseur :

Le principe de fonctionnement du compresseur est basé sur l'aspiration de l'air de l'atmosphère qui passe par un filtre puis entre dans le bloc à vis basse pression où elle est comprimée et chauffée jusqu'à une température très élevée, et pour refroidir l'air il faut passer par un échangeur intermédiaire, on peut trouver des compresseurs avec un marge de pression à 7 bar pour les airs chocs, et d'autres d'une marge de 2.5 bar pour le système de refroidissement [9].



Figure II.31 : Compresseur d'air

#### 4.3- Les équipements de protection :

##### 4.3.1- Les disjoncteurs :

Un disjoncteur est un interrupteur très perfectionné maintenu fermé par un verrouillage, mais capable de s'ouvrir automatiquement en cas de défaut et de couper les courants de court-circuit, il constitue l'appareil de protection par excellence, permet la protection des machines et des réseaux contre tous les défauts [9].



Figure II.32 : Disjoncteur

##### 4.3.2- Les contacteurs :

L'intérêt du contacteur est de pouvoir être commandé à distance au moyen de contacts, peu encombrants et sensibles, actionnés manuellement ou automatiquement. Le contacteur est un appareil mécanique de connexion ayant une seule position repos, commandé autrement qu'à la main, capable d'établir, y compris les conditions de surcharge en service.



Figure II.33 : Contacteurs

##### 4.3.3- Les relais thermiques :

Les relais thermiques comprennent un bilame qui s'échauffe sous l'effet du courant qui va le parcourir, son rôle est de protéger le circuit de puissance de toute surcharge en coupant

l'alimentation au niveau du contacteur pour éviter la charge ne soit soumise à un échauffement inadmissible.

Les relais thermiques sont toujours équipés d'un contact d'ouverture et d'un contact de fermeture, l'actionnement de ces contacts est effectué par l'intermédiaire d'un mécanisme de que les éléments de commande de la bobine de contacteur, donc de déclencher celui-ci et le contact de fermeture est utilisé pour la commande d'éléments de signalisation



Figure II.34 : Relais thermique

#### 4.3.4- Les sectionneurs :

Le sectionneur est un appareil mécanique de connexion capable d'ouvrir et de fermer un circuit lorsque le courant n'est nul ou pratiquement nul afin d'isoler la partie de l'installation en aval du sectionneur.



Figure II.35 : Sectionneur

#### 4.3.5- SITOP alimentation :

Les SITOP smart monphasées et triphasées sont des alimentations standard performantes et universelles pour la construction de machines et d'installations. En dépit de leur forme compacte, elles présentent un excellent comportement en surcharge et permettent d'avoir:

- Alimentations monphasées, 24 V CC/2,5 A, 5 A, 10 A et 20 A ainsi que 12 V/7A et 14 A.
- Alimentations triphasées, 24 V CC/5 A, 10 A, 20 A et 40 A.
- Tension de sortie réglable pour la compensation des chutes de tension.

Pour alimenter les composants de l'armoire électrique (API, E/S déportée, ...) [9].



Figure II.36 : SITOP Alimentation

#### 4.4- Les auxiliaires de commande :

##### 4.4.1- Les commutateurs à cames :

Ces commutateurs comprennent une série de contacts fixes et autant de contacts mobiles Actionnés par la rotation manuelle d'un arbre à cames. On les utilise pour la commande Manuelle des moteurs (Mode local).



Figure II.37 : Les commutateurs à cames

##### 4.4.2- Les boutons poussoirs :

Les boutons poussoirs sont des commutateurs actionnés par une pression du doigt et qui ouvrent ou ferment deux ou plusieurs contacts. Habituellement, ils ouvrent ou ferment momentanément un circuit.



Figure II.38 : Les boutons poussoirs

##### 4.4.3- Les armoires de commande :

Cet équipement est destiné à la commande et contrôle de l'atelier. Les armoires électriques sont des boîtiers robustes utilisés pour protéger les composants électriques ou électroniques et les appareillages de commutation. Ils protègent ainsi l'alimentation électrique contre l'eau, la poussière et la chaleur, mais aussi contre le vandalisme par des personnes non autorisées.



Figure II.39 : Armoire de commande

### 5- Problématique :

Lorsque le combustible gaz et le refroidisseur sont en marche, l'air secondaire est envoyé vers le four passant par le capot de chauffe (joint aval) afin d'assurer la combustion du gaz, mais quand le refroidisseur est en marche et le ventilateur d'Exhaure est à faible vitesse, l'excès d'air va s'accumuler sous forme des gaz chauds au niveau du capot qui peut engendrer l'arrachement de la flamme.

Dans le cas où le ventilateur d'Exhaure est à grande vitesse, Le four se refroidit à cause de la diminution de la flamme avec possibilité de faire un retour vers le joint aval de cette dernière.

La gestion de la quantité de l'air secondaire est liée avec celui du ventilateur d'Exhaure (Air exhaure).

Ces cas peuvent provoquer beaucoup de dégâts, en citant quelqu'une :

- la mise en pression du capot de chauffe et du refroidisseur qui peuvent entraîner une explosion.
- L'arrêt du combustible gaz.
- Des arrêts fréquents du four qui peuvent avoir de mauvaises conséquences.
- Le retardement de la production.
- L'endommagement des équipements chers.
- L'élévation du cout de la maintenance.

### 6- Solution :

Suite à ce problème-là, il faut faire une boucle de régulation, donc la solution est comme suite :

- Une boucle de régulation fermée pour contrôler la dépression du capot de chauffe via la variation de la vitesse du ventilateur d'Exhaure.

### 7- Analyse fonctionnelle :

Dans cette partie, on va aborder et détailler la chronologie et le fonctionnement de chaque équipement et de chaque séquence.

Le principe de fonctionnement de la zone cuisson est basé sur sept (07) séquences :

- ❖ Séquence 01 : Dépoussiérage Refroidisseur
  - Atelier Echangeur
  - Atelier Exhaure
- ❖ Séquence 02 : Dépoussiérage Tour de préchauffage
- ❖ Séquence 03 : Refroidisseur
  - Atelier Ventilateur de soufflage
  - Atelier Evacuation clinker
- ❖ Séquence 04 : Combustible gaz
- ❖ Séquence 05 : Pré-Calcinateur
- ❖ Séquence 06 : Four
- ❖ Séquence 07 : Alimentation Four

Après avoir présenté brièvement ce que la zone cuisson dispose comme matériel et équipement, on va entamer par la suite le détail de la zone par le développement de chaque séquence, en détaillant ainsi ces équipements.

**7.1- Séquence 01 : Dépoussiérage Refroidisseur**

**7.1.1-Atelier Echangeur :**

**a) P&ID :**

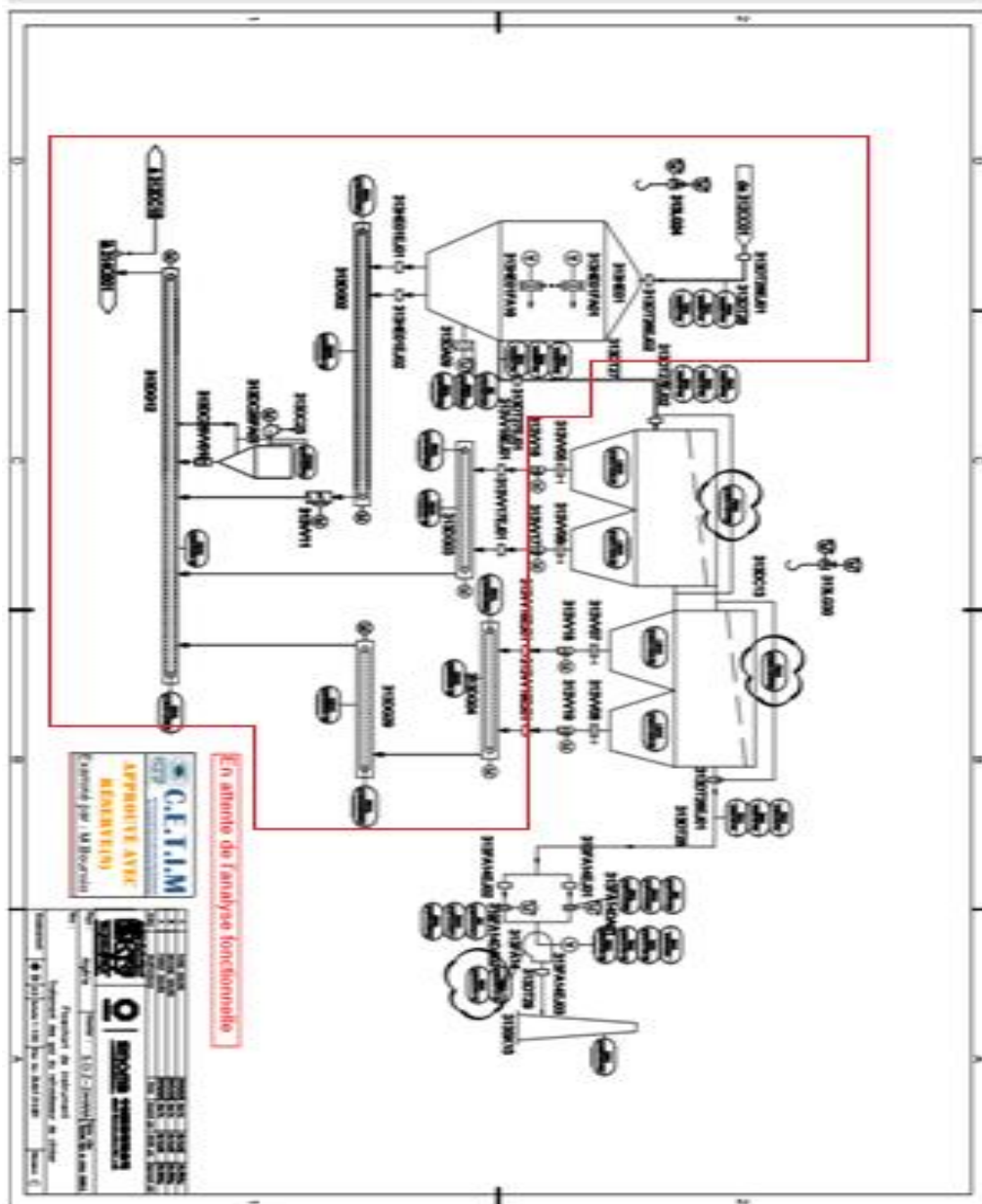


Figure II.40 : P&ID Echangeur

**b) Consommateur et instrument :**

❖ Consommateur :

Code	Description	Début	Arrêt	Remarque
313. DG12.MT01	Moteur Vis	1	9	
313. HE.FA01.MT01	Moteur ventilateur Echangeur	2	8	
313. HE.FA02.MT02	Moteur ventilateur Echangeur	3	7	

313. HE.FA03.MT03	Moteur ventilateur Echangeur	4	6	
313. HE.FA04.MT02	Moteur ventilateur Echangeur	5	5	
313. HE.FA05.MT05	Moteur ventilateur Echangeur	6	4	
313. HE.FA06.MT06	Moteur ventilateur Echangeur	7	3	
313. HE.FA07.MT07	Moteur ventilateur Echangeur	8	2	
313. HE.FA08.MT08	Moteur ventilateur Echangeur	9	1	

**Tableau II.1 :** La liste des consommateurs atelier échangeur

❖ Capteur (numérique ou analogique) :

➤ Numérique :

Code	True=1	False=0	Remarque
313DG12_CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
313DG12_AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
313DG12_AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
313DG12_MR	Marche local OK	Marche local ALARME	
313HE.FA_CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
313HE.FA_AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
313HE.FA_AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
313HE.FA_MR	Marche local OK	Marche local ALARME	

**Tableau II.2 :** La liste des capteurs logiques atelier échangeur

➤ Analogique :

Code	Description	Eng.units			Alarm limits				Remarque
		Low	High	Unit	LL	L	H	HH	
313HE.FA_YT1	Température entrée Ech	0	280	°C			280	300	
313HE.FA_YP1	Dépression entrée Ech	-8	0	mbar					

**Tableau II.3 :** La liste des capteurs analogiques atelier échangeur

c) Sélection de l'opérateur :

d) Description du mode de fonctionnement :

- Détails de démarrage: Démarrer en tant que séquence de démarrage de la liste de consommateurs.
- Détails de fermeture: Arrêter en tant que séquence d'arrêt de liste de consommateurs.

e) Verrouillage de l'équipement :

Code	CD	ASSERV	SG	SA	Remarque

**Tableau II.4 :** Verrouillage de l'équipement atelier échangeur



7.1.2-Atelier Exhaure :

a) P&ID :

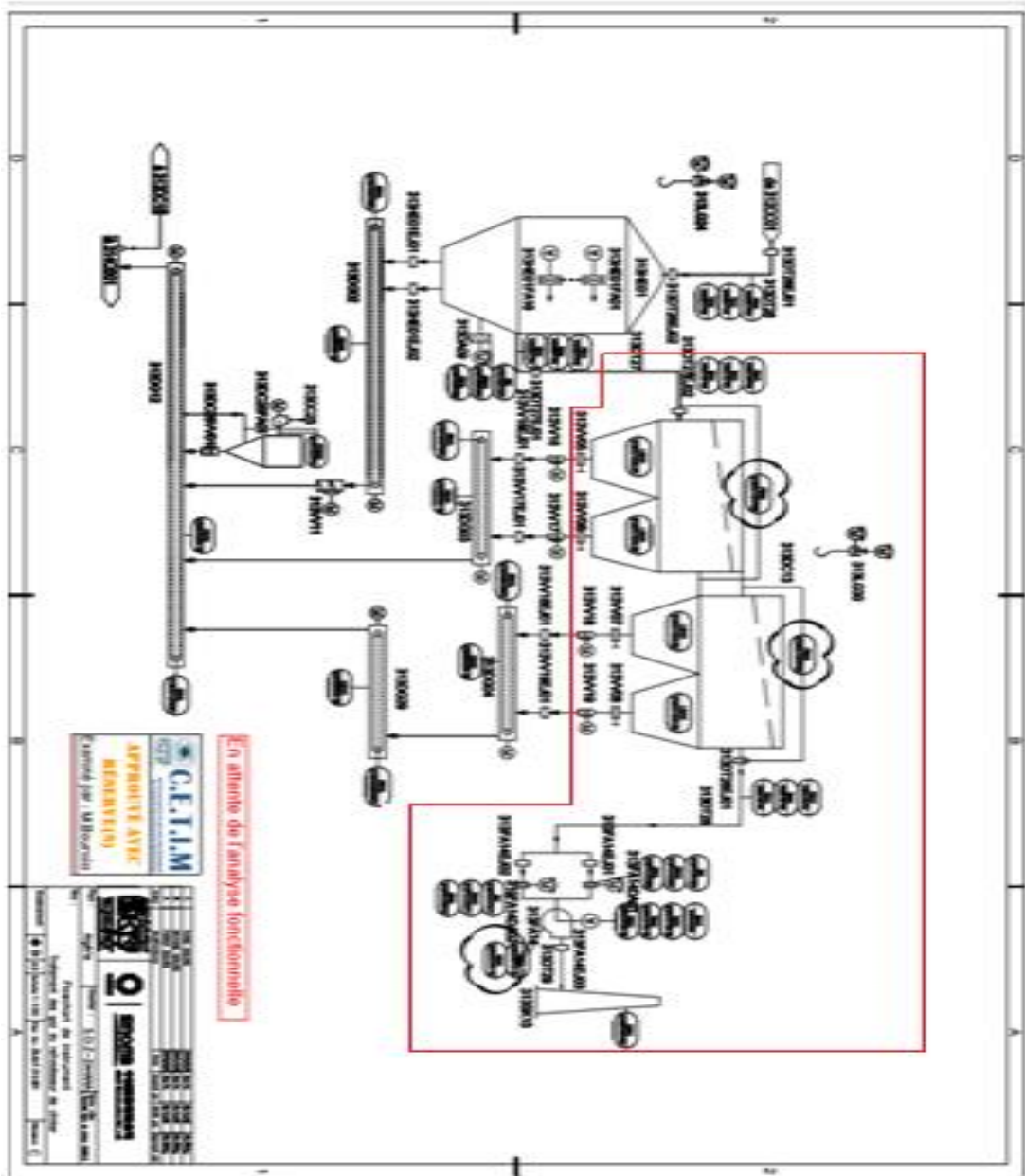


Figure II.41 : P&ID Exhaure

b) Consommateur et instrument :

❖ Consommateur :

Code	Description	Début	Arrêt	Remarque
313. DC13	Armoire Filtre de processus	1	2	
313. FA14.MT01	Moteur ventilateur Exhaure	2	1	

Tableau II.5 : La liste des consommateurs atelier exhaure

❖ Capteur (numérique ou analogique) :

➤ Numérique :

Code	True=1	False=0	Remarque
313FA14_CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
313FA14_AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
313FA14_AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
313FA14_MR	Marche local OK	Marche local ALARME	

**Tableau II.6** : La liste des capteurs logiques atelier exhaure

➤ Analogique :

Code	Description	Eng.units			Alarm limits				Remarque
		Low	High	Unit	LL	L	H	HH	
313FA14_YV1	Vitesse Ventilateur Exhaure	0	1000	t/m			900	950	
313FA14_YF2	Débit Air Ventilateur Exhaure	0	100K	Nm <sup>3</sup> / h					
313FA14_YI1	Intensité Ventilateur Exhaure	0	300	A					
313FA14_YV2	Vibration Ventilateur Exhaure	0	6	mm/s			5	6	
313DC13_YT1	Température entrée Filtre	26.5	140	°C				140	
313DC13_YT2	Température sortie Filtre	27.2	136	°C				136	
313DC13_YP1	Dépression entrée Filtre	-15	0	mbar				-14.7	
313DC13_YP2	Dépression sortie Filtre	-21	0	mbar				-20.2	
313DC13_YP3	Différence de Dépression	0	6	mbar				5.5	ΔP=E-S
313SK15_YX01	Analyseur de CO	0	10	Mg/h <sup>3</sup>			0.5		

**Tableau II.7** : La liste des capteurs analogiques atelier exhaure

**c) Sélection de l'opérateur :**

**d) Description du mode de fonctionnement :**

- Détails de démarrage: Démarrer en tant que séquence de démarrage de la liste de consommateurs.
- Détails de fermeture: Arrêter en tant que séquence d'arrêt de liste de consommateurs.

**e) Verrouillage de l'équipement :**

Code	CD	ASSERV	SG	SA	Remarque
313. HE.FA08.MT08		✓			

**Tableau II.8** : Verrouillage de l'équipement atelier exhaure

7.2- Séquence 02 : Dépoussiérage Tour de préchauffage

a) P&ID :

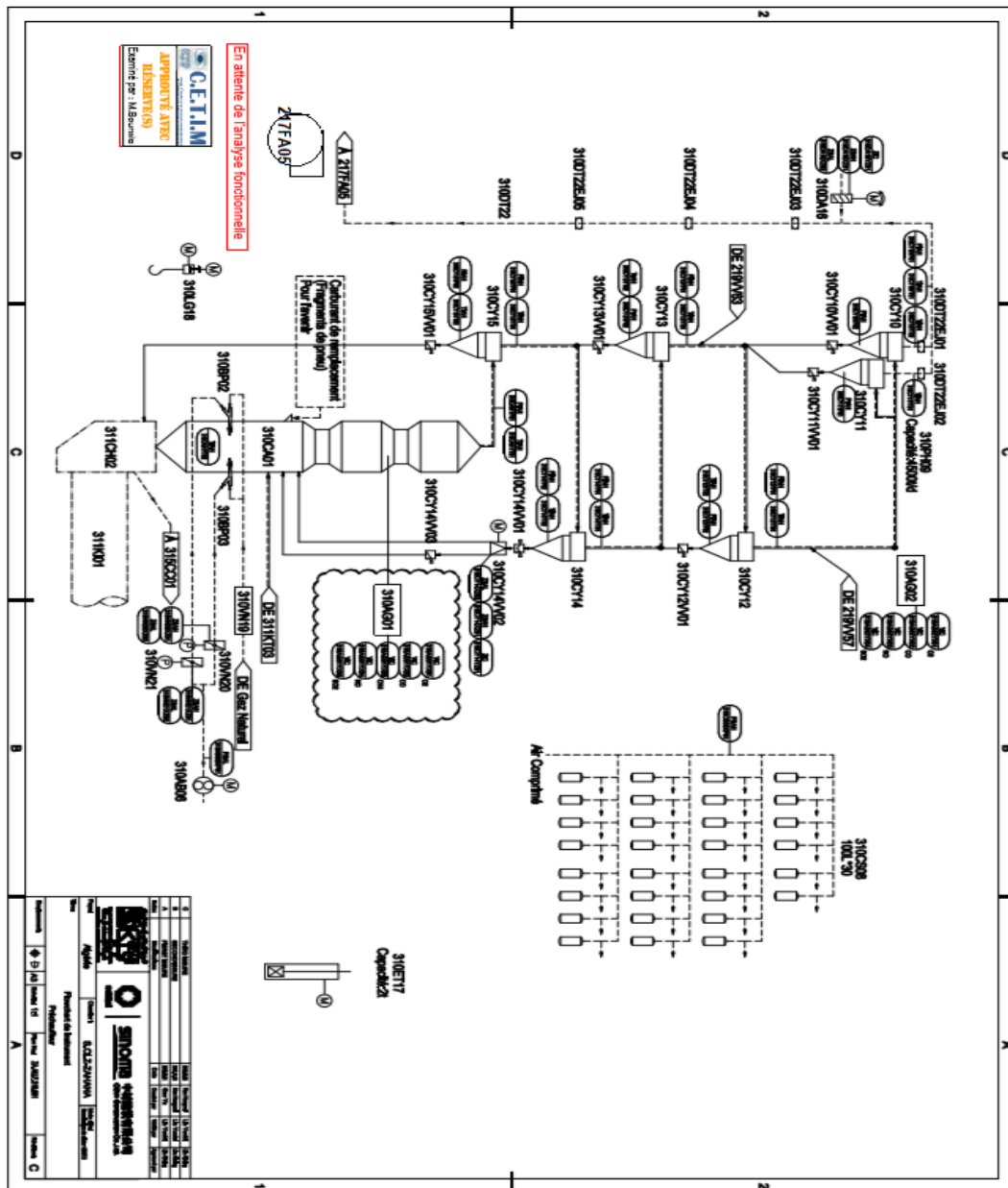


Figure II.42 : P&ID dépoussiérage tour de préchauffage

b) Consommateur et instrument :

❖ Consommateur :

Code	Description	Début	Arrêt	Remarque
217. FA05.MT01	Moteur ventilateur IDFAN	1	1	

Tableau II.9 : La liste des consommateurs dépoussiérage tour de préchauffage

❖ Capteur (numérique ou analogique) :

➤ Numérique :

Code	True=1	False=0	Remarque
217FA05_CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
217FA05_AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
217FA05_AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
217FA05_MR	Marche local OK	Marche local ALARME	

**Tableau II.10** : La liste des capteurs logiques dépoussiérage tour de préchauffage

➤ Analogique :

Code	Description	Eng.units			Alarm limits				Remarque
		Low	High	Unit	LL	L	H	HH	
217FA05_YV1	Vitesse Ventilateur IDFAN	0	1000	t/m			900	950	
217FA05_YF2	Débit Air Ventilateur IDFAN	0	100K	Nm <sup>3</sup> /h					
217FA05_YV3	Vibration Ventilateur IDFAN	0	6	mm/s			5	6	
217FA05_YI1	Intensité Ventilateur IDFAN	0	300	A					
310CY11_YT01	Température cyclone 01	0	600	°C			400	520	
310CY11_YP01	Dépression cyclone 01	-150	0	mbar					
310CY12_YT01	Température cyclone 02	0	800	°C					
310CY12_YP01	Dépression cyclone 02	-150	0	mbar					
310CY13_YT01	Température cyclone 03	0	800	°C					
310CY13_YP01	Dépression cyclone 03	-150	0	mbar					
310CY14_YT01	Température cyclone 04	0	1000	°C					
310CY14_YP01	Dépression cyclone 04	-150	0	mbar					
310CY15_YT01	Température cyclone 05	0	1200	°C					
310CY15_YP01	Dépression cyclone 05	-150	0	mbar					

**Tableau II.11** : La liste des capteurs analogiques dépoussiérage tour de préchauffage

**c) Sélection de l'opérateur :**

**d) Description du mode de fonctionnement :**

- Détails de démarrage: Démarrer en tant que séquence de démarrage de la liste de consommateurs.
- Détails de fermeture: Arrêter en tant que séquence d'arrêt de liste de consommateurs.

**e) Verrouillage de l'équipement :**

Code	CD	ASSERV	SG	SA	Remarque

**Tableau II.12** : Verrouillage de l'équipement dépoussiérage tour de préchauffage

7.3- Séquence 03 : Refroidisseur

7.3.1-Atelier Evacuation clinker :

a) P&ID :

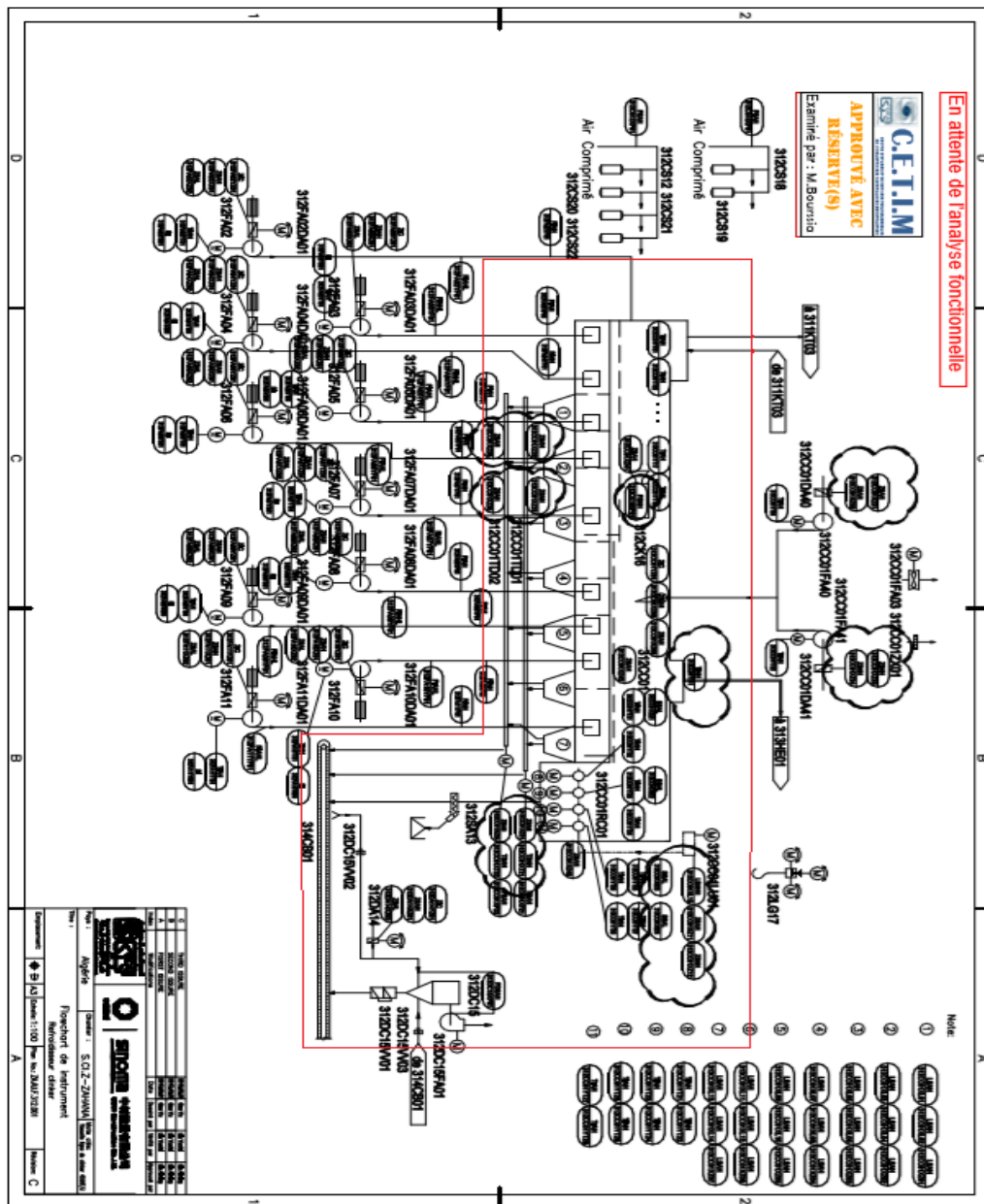


Figure II.43 : P&ID atelier évacuation clinker

b) Consommateur et instrument :

❖ Consommateur :

Code	Description	Début	Arrêt	Remarque
314.CB01.MT01	Moteur Chaîne Remplissage Clinker	1	4	
312.CC01.TD01.MT01	Moteur Chaîne Trainante	2	3	
312.CC01.RC01.MT01	Moteur Concasseur	3	2	
312.CC01.MT01	Moteur Grille	4	1	

Tableau II.12 : Verrouillage de l'équipement dépolluissage tour de préchauffage

❖ Capteur (numérique ou analogique) :

➤ Numérique :

Code	True=1	False=0	Remarque
314CB01_.CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
314CB01_.AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
314CB01_.AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
314CB01_.MR	Marche local OK	Marche local ALARME	
312CC01.TD01_.CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
312CC01.TD01_.AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
312CC01.TD01_.AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
312CC01.TD01_.MR	Marche local OK	Marche local ALARME	
312CC01.RC01_.CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
312CC01.RC01_.AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
312CC01.RC01_.AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
312CC01.RC01_.MR	Marche local OK	Marche local ALARME	
312CC01_.CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
312CC01_.AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
312CC01_.AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
312CC01_.MR	Marche local OK	Marche local ALARME	
314SO20_.XL01	Détecteur de niveau OK	Détecteur de niveau ALARME	
314SO21_.XL01	Détecteur de niveau OK	Détecteur de niveau ALARME	
314SO22_.XL01	Détecteur de niveau OK	Détecteur de niveau ALARME	

Tableau II.13 : La liste des consommateurs atelier évacuation clinker

➤ Analogique :

Code	Description	Eng.units			Alarm limits				Remarque
		Low	High	Unit	LL	L	H	HH	
314SO20_.YL01	Niveau Silo 1	0	20	m				20	
314SO21_.YL01	Niveau Silo 2	0	20	m				20	
314SO22_.YL01	Niveau Silo 3	0	20	m				20	
314CB01_.YF01	Débit Clinker	0	300	t/h			180		

Tableau II.14 : La liste des capteurs logiques atelier évacuation clinker

**c) Sélection de l'opérateur :**

- S1: sélection pour le transport vers le silo 314SO20.
- S2: sélection pour le transport vers le silo 314SO21.
- S3: sélection pour le transport vers le silo 314SO22.

**d) Description du mode de fonctionnement :**

- Détails de démarrage: Démarrer en tant que séquence de démarrage de la liste de consommateurs.

Démarrer en tant que séquence de démarrage de la liste de consommateurs. Si 314SO20\_YL01 >= H, alors basculement vers 314SO21.

- Détails de fermeture: Arrêter en tant que séquence d'arrêt de liste de consommateurs.

e) Verrouillage de l'équipement :

Code	CD	ASSERV	SG	SA	Remarque
312. FA01.MT01		✓			
312. FA02.MT01		✓			

Tableau II.15 : La liste des capteurs analogiques atelier évacuation clinker

7.3.2- Atelier ventilateurs de soufflage :

a) P&ID :

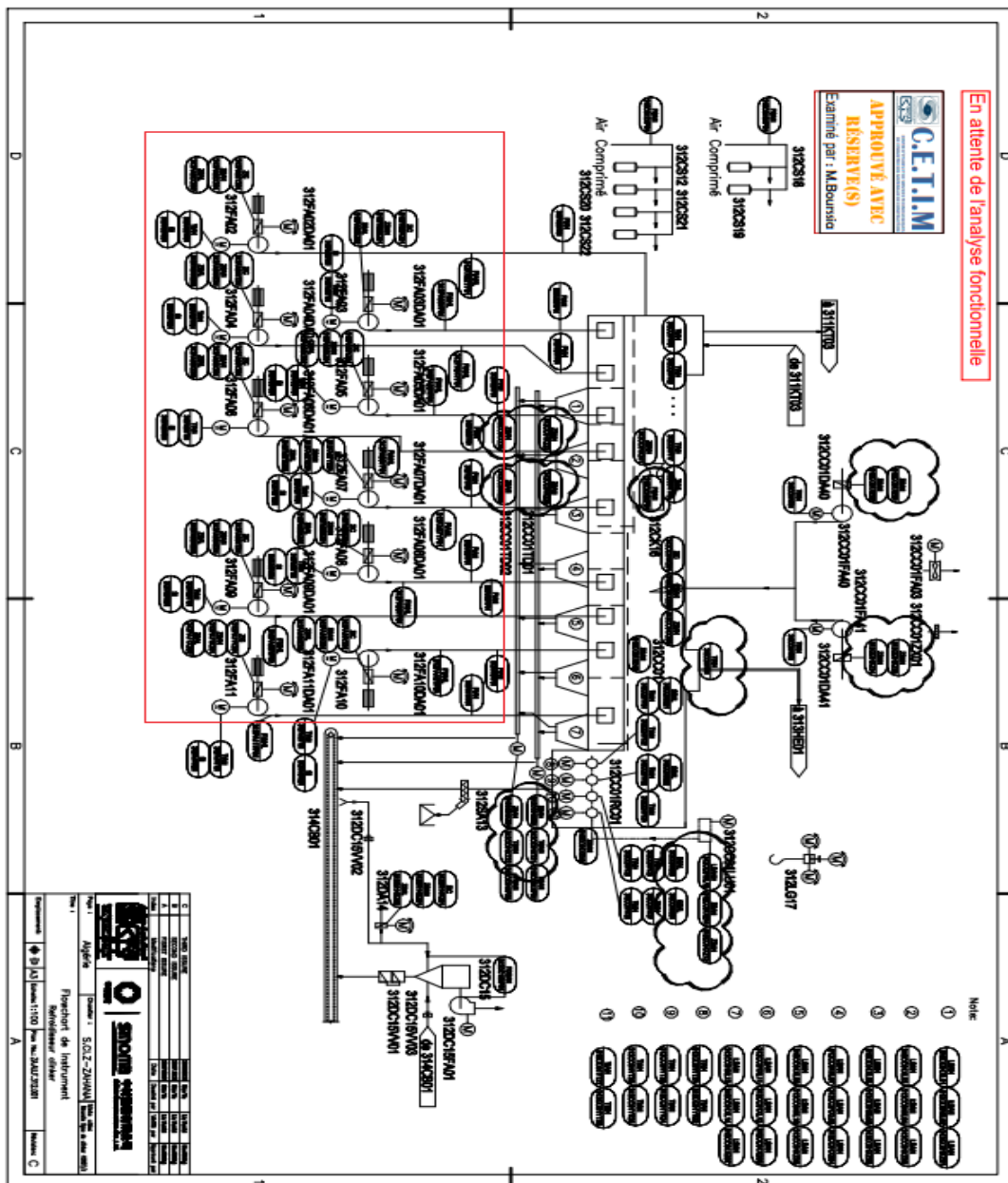


Figure II.44 : P&ID ventilateurs de soufflage

**b) Consommateur et instrument :**

❖ Consommateur :

Code	Description	Début	Arrêt	Remarque
312. FA01.MT01	Moteur du ventilateur soufflage	1	4	
312. FA02.MT01	Moteur du ventilateur soufflage	2	3	
312. FA03.MT01	Moteur du ventilateur soufflage	3	2	
312. FA04.MT01	Moteur du ventilateur soufflage	4	1	

**Tableau II.17 :** La liste des consommateurs ventilateurs de soufflage

❖ Capteur (numérique ou analogique) :

➤ Numérique :

Code	True=1	False=0	Remarque
312FA_CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
312FA_AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
312FA_AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
312FA_MR	Marche local OK	Marche local ALARME	

**Tableau II.18 :** La liste des capteurs logiques ventilateurs de soufflage

➤ Analogique :

Code	Description	Eng.units			Alarm limits				Remarque
		Low	High	Unit	LL	L	H	HH	

**Tableau II.19 :** La liste des capteurs analogiques ventilateurs de soufflage

**c) Sélection de l'opérateur :**

- V1: sélection pour le transport vers le silo 312. FA01.MT01
- V2: sélection pour le transport vers le silo 312. FA02.MT01
- V3: sélection pour le transport vers le silo 312. FA03.MT01
- V4: sélection pour le transport vers le silo 312. FA04.MT01

**d) Description du mode de fonctionnement :**

- Détails de démarrage: Démarrer en tant que séquence de démarrage de la liste de consommateurs.
- Détails de fermeture: Arrêter en tant que séquence d'arrêt de liste de consommateurs.

**e) Verrouillage de l'équipement :**

Code	CD	ASSERV	SG	SA	Remarque

**Tableau II.20 :** Verrouillage de l'équipement ventilateurs de soufflage



7.4- Séquence 04 : Combustible Gaz

a) P&ID :

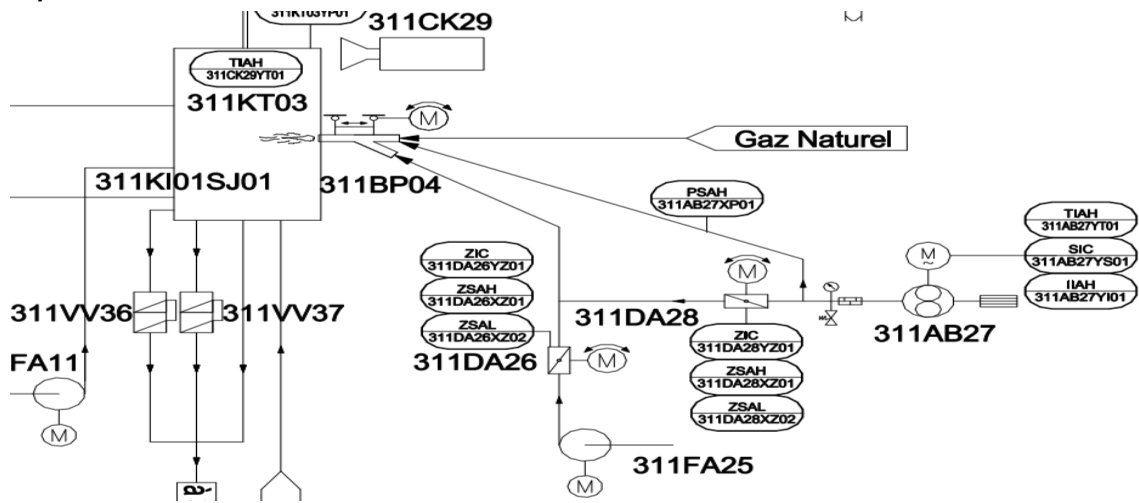


Figure II.45 : P&ID combustible gaz

b) Consommateur et instrument :

❖ Consommateur :

Code	Description	Début	Arrêt	Remarque
311.FA25.MT01	Moteur ventilateur Air primaire	1	5	
311.EV09	Electrovanne Gaz	2	4	
311.EV10	Electrovanne Gaz	3	3	
311.EV11	Electrovanne Echappement Gaz	4	2	
311.DA28	Servomoteur Gaz	5	1	

Tableau II.21 : La liste des consommateurs combustible gaz

❖ Capteur (numérique ou analogique) :

➤ Numérique :

Code	True=1	False=0	Remarque
311FA25_CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
311FA25_AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
311FA25_AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
311FA25_MR	Marche local OK	Marche local ALARME	

Tableau II.22 : La liste des capteurs logiques combustible gaz

➤ Analogique :

Code	Description	Eng.units			Alarm limits				Remarque
		Low	High	Unit	LL	L	H	HH	
311FA25_YF01	Débit Gaz	0	10K	Nm <sup>3</sup> / h					
311DA28_XZ01	Position register	0	100	%					
311KT03_YP01	Dépression Capôt	-4.5	0	mbar			1	4	
311KT03_YT01	Température Capôt	0	1200	°C					

Tableau II.23 : La liste des capteurs analogiques combustible gaz

c) Sélection de l'opérateur :

- o Autorisation d'allumage par l'opérateur.

d) Description du mode de fonctionnement :

- o Détails de démarrage: Démarrer en tant que séquence de démarrage de la liste de consommateurs.
- o Détails de fermeture: Arrêter en tant que séquence d'arrêt de liste de consommateurs.

e) Verrouillage de l'équipement :

Code	CD	ASSERV	SG	SA	Remarque
313. FA14.MT01	✓				
217. FA05.MT01	✓				
312. FA01.MT01				✓	
312. FA02.MT01				✓	

Tableau II.24 : Verrouillage de l'équipement combustible gaz

7.5- Séquence 05 : Pré-Calcinateur

a) P&ID :

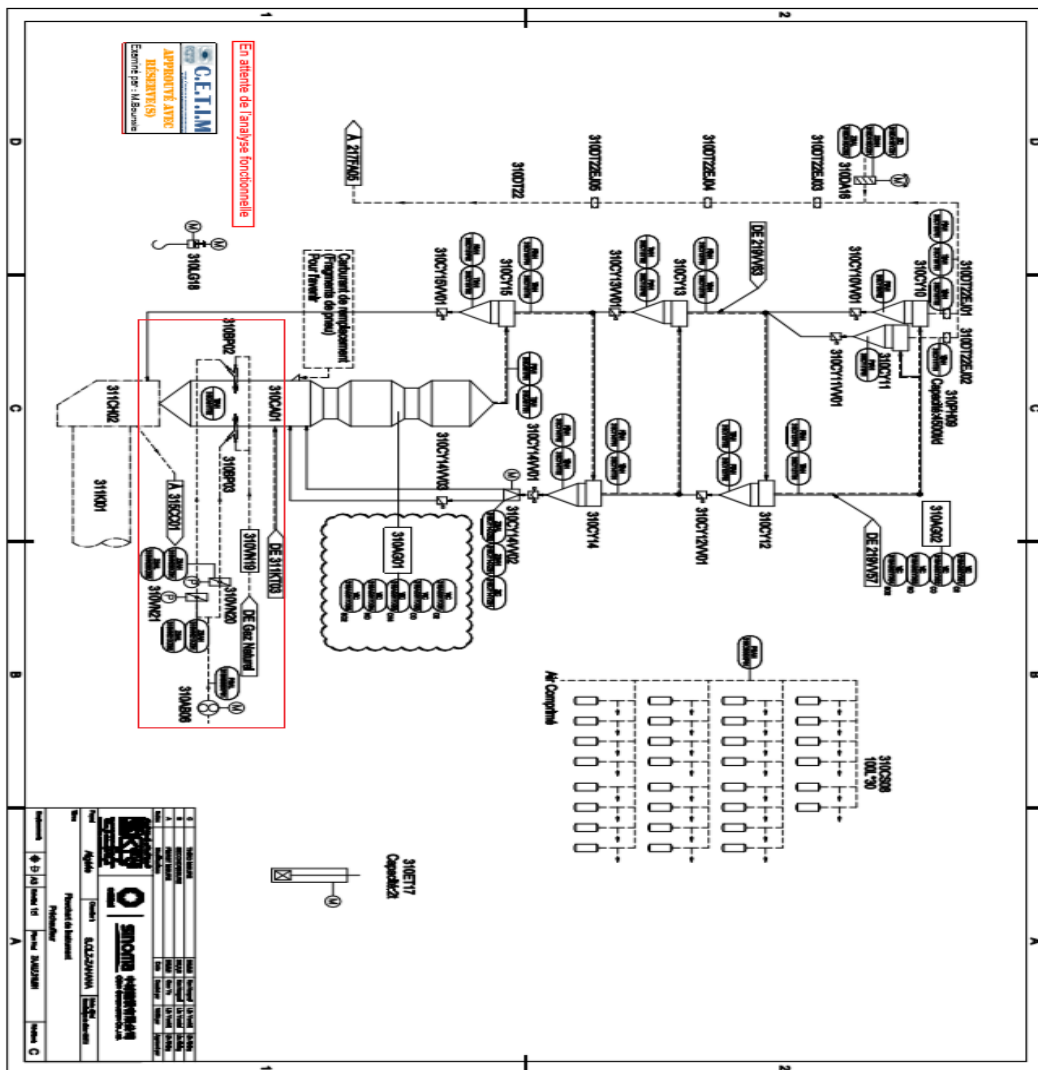


Figure II.46 : P&ID pré-calcinateur

**b) Consommateur et instrument :**

❖ Consommateur :

Code	Description	Début	Arrêt	Remarque
310.DA06.MT01	Servomoteur Gaz	1	1	

**Tableau II.25 :** La liste des consommateurs pré-calciateur

❖ Capteur (numérique ou analogique) :

➤ Numérique :

Code	True=1	False=0	Remarque

**Tableau II.26 :** La liste des capteurs logiques pré-calciateur

➤ Analogique :

Code	Description	Eng.units			Alarm limits				Remarque
		Low	High	Unit	LL	L	H	HH	
310CA01_YF01	Débit Gaz	0	10K	$Nm^3/h$					
310CA01_XZ01	Position register	0	100	%					

**Tableau II.27 :** La liste des capteurs analogiques pré-calciateur

**c) Sélection de l'opérateur**

**d) Description du mode de fonctionnement**

- Détails de démarrage: Démarrer en tant que séquence de démarrage de la liste de consommateurs.
- Détails de fermeture: Arrêter en tant que séquence d'arrêt de liste de consommateurs.

**e) Verrouillage de l'équipement**

Code	CD	ASSERV	SG	SA	Remarque
311FA25_YF01 > =500				✓	

**Tableau II.28 :** Verrouillage de l'équipement pré-calciateur

7.6- Séquence 06 : Four

a) P&ID :

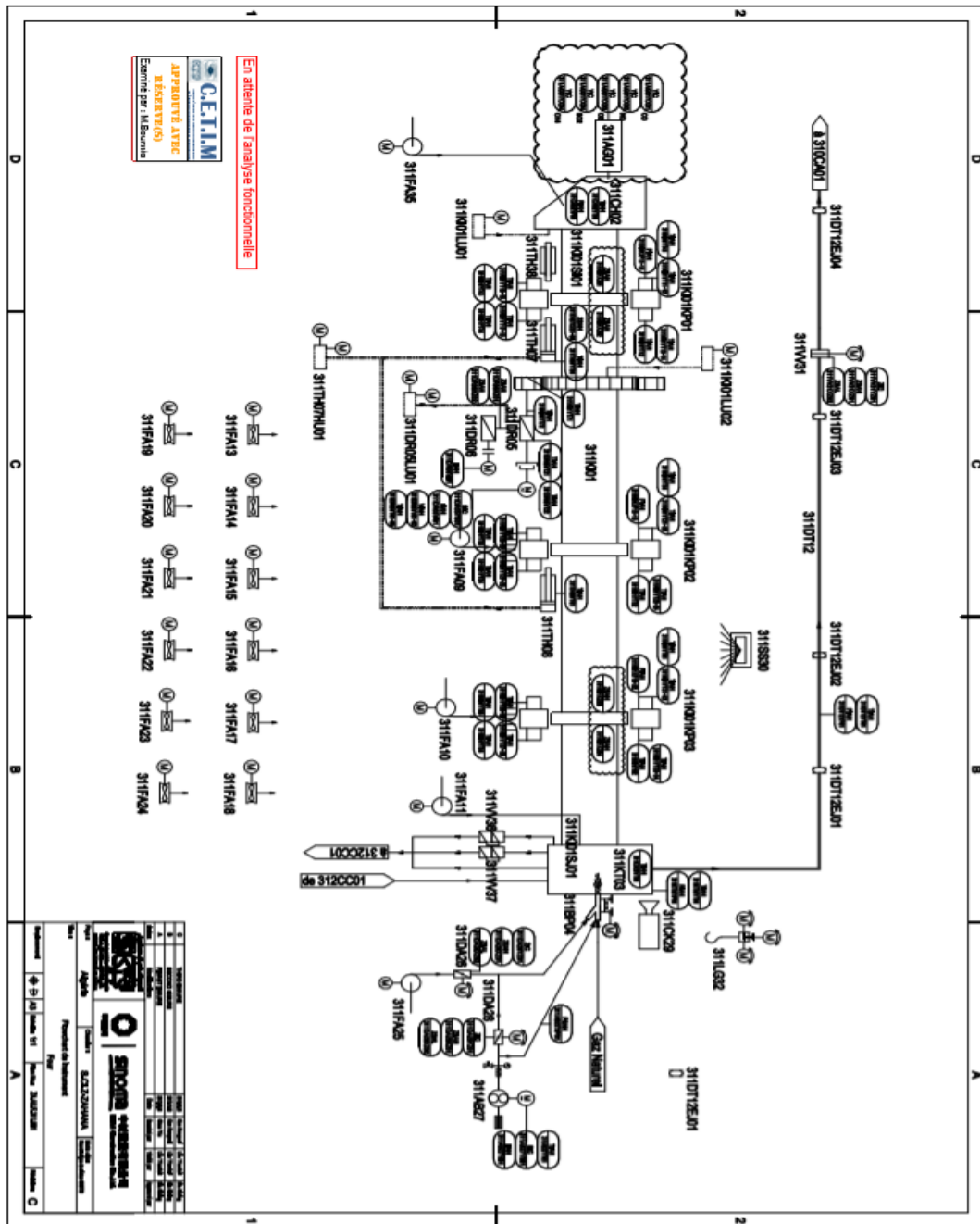


Figure II.47 : P&ID four

b) Consommateur et instrument :

❖ Consommateur :

Code	Description	Début	Arrêt	Remarque
311.DR04.MT01	Moteur graissage galets du four	1	3	
311.DR05.MT02	Moteur graissage réducteur entrainement	2	2	
311.DR05.MT01	Moteur entrainement four	3	1	
Hors de la sequence				
311.TH07.MT01	Moteur pompe butée			
311.TH07.VA01	Electrovanne de purge			

**Tableau II.29** : La liste des consommateurs four

❖ Capteur (numérique ou analogique) :

➤ Numérique :

Code	True=1	False=0	Remarque
311DR04_CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
311DR04_AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
311DR04_AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
311DR04_MR	Marche local OK	Marche local ALARME	
311DR05_CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
311DR05_AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
311DR05_AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
311DR05_MR	Marche local OK	Marche local ALARME	
311DR05_XZ01	Commutateur de position OK	Commutateur de position ALARME	

**Tableau II.30** : La liste des capteurs logiques four

➤ Analogique :

Code	Description	Eng.units			Alarm limits				Remarque
		Low	High	Unit	LL	L	H	HH	
311DR05_YV01	Vitesse four	0	5	Tr/m					
311DR05_YI01	Intensité moteur four	0	600	A					

**Tableau II.31** : La liste des capteurs analogiques four

c) Sélection de l'opérateur :

d) Description du mode de fonctionnement :

- Détails de démarrage: Démarrer en tant que séquence de démarrage de la liste de consommateurs.
- Détails de fermeture: Arrêter en tant que séquence d'arrêt de liste de consommateurs.

e) Verrouillage de l'équipement :

Code	CD	ASSERV	SG	SA	Remarque
313. FA14.MT01		✓			
217. FA05.MT01		✓			
312. FA01.MT01	✓				
312. FA02.MT01	✓				
312.CC01.MT01	✓				
310CY11_YT01			✓		T_CY1 > 380°C
314. CB01. MT01				✓	Après 5 min
311.DA28			✓		

**Tableau II.32** : Verrouillage de l'équipement four

7.7- Séquence 07 : Alimentation four

a) P&ID :

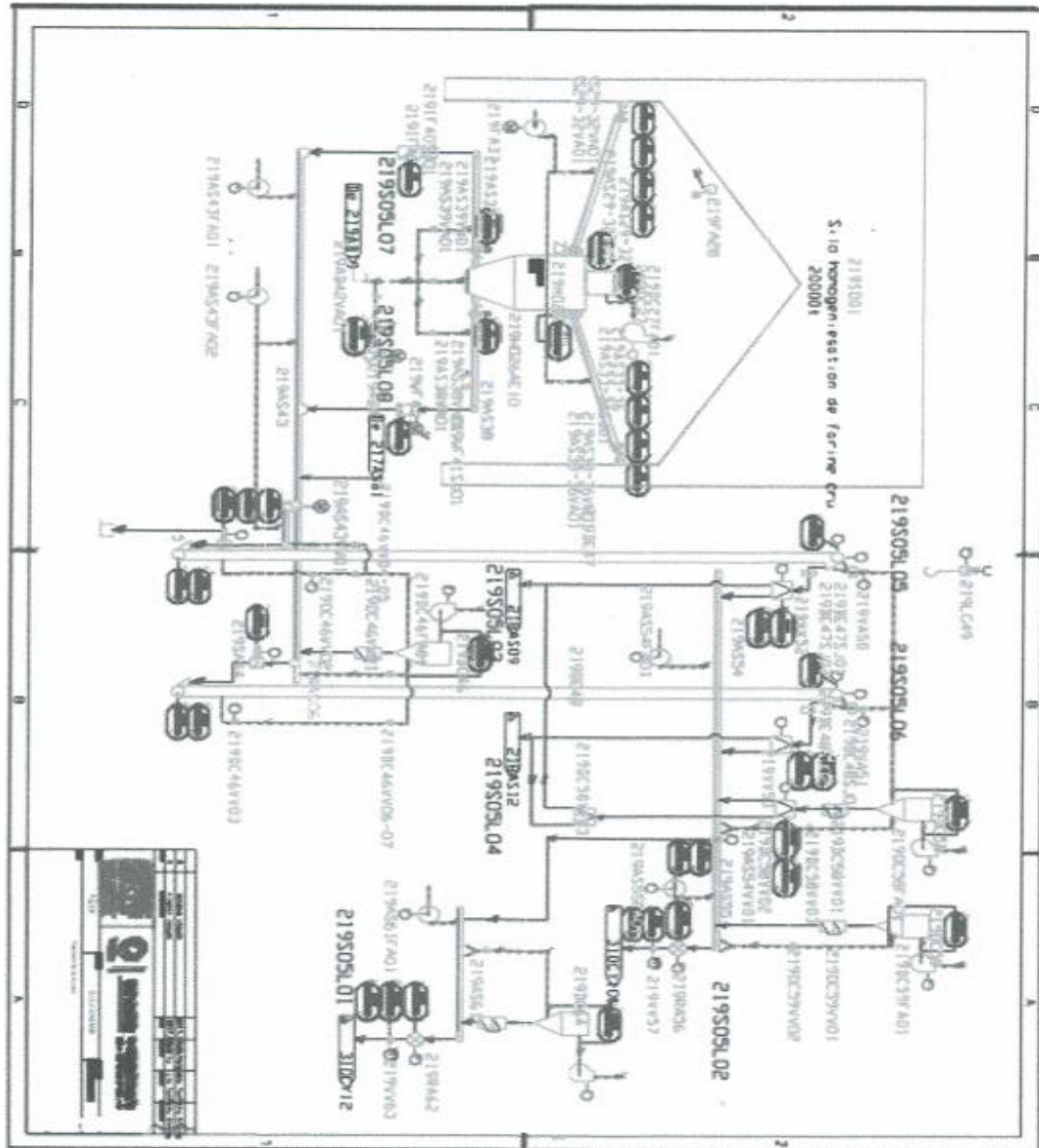


Figure II.48 : P&ID alimentation four

b) Consommateur et instrument :

❖ Consommateur :

Code	Description	Début	Arrêt	Remarque
219.BE48.MT01	Moteur Elévateur à Godets	1	2	
219.IF40.EC10	Doseur	2	1	

Tableau II.33 : La liste des consommateurs alimentation four

❖ Capteur (numérique ou analogique) :

➤ Numérique :

Code	True=1	False=0	Remarque
219BE48_CR	Contrôleur rotation OK	Contrôleur rotation ALARME	
219BE48_AL	Arrêt local OK	Arrêt local ALARME	
219BE48_AU	Arrêt d'urgence OK	Arrêt d'urgence ALARME	
219BE48_MR	Marche local OK	Marche local ALARME	
219BE48_XL01	Détecteur de bourrage OK	Détecteur de bourrage ALARME	

Tableau II.34 : La liste des capteurs logiques alimentation four

➤ Analogique :

Code	Description	Eng.units			Alarm limits				Remarque
		Low	High	Unit	LL	L	H	HH	
219IF40_YF01	Débit matière	0	300	t/h				312	
219BE48_YZ01	% Amperage élévateur	0	100	%					

Tableau II.35 : La liste des capteurs analogiques alimentation four

c) Sélection de l'opérateur :

d) Description du mode de fonctionnement :

- Détails de démarrage: Démarrer en tant que séquence de démarrage de la liste de consommateurs.
- Détails de fermeture: Arrêter en tant que séquence d'arrêt de liste de consommateurs.

e) Verrouillage de l'équipement :

Code	CD	ASSERV	SG	SA	Remarque
311.DR05.MT01		✓			

Tableau II.36 : Verrouillage de l'équipement alimentation four

### 7.8- Asservissement des séquences :

Le démarrage des séquences de la zone cuisson est présenté dans le tableau suivant :

Séquence	Description	Début	Arrêt	Remarques
01	Atelier Echangeur	1	9	
01	Atelier Exhaure	2	8	
02	Dépoussiérage Tour de préchauffage	3	7	
03	Atelier Ventilateur de soufflage	4	6	
03	Atelier Evacuation clinker	5	5	
04	Combustible gaz	6	4	
05	Pré-Calcinateur	7	3	
06	Four	8	2	
07	Alimentation four	9	1	

Tableau II.37 : Asservissement des séquences

Ces étapes de démarrage ne sont utilisées que par l'opérateur comme référence. De toute façon, l'opérateur prendra une décision en fonction de la situation du site [3].

7.9- Boucle de régulation :

Description	Mode manuel		Mode automatique	
	SP	PV	SP	PV
Régulation de la pression capot de chauffe par la variation de la vitesse du ventilateur d'Exhaure.	La vitesse ventilateur par l'opérateur	La pression 311KT03_YP01	La pression ventilateur Par l'opérateur	La pression 311KT03_YP01

Tableau I.38 : Boucle de régulation

8- L'automatisation de l'atelier :

Dans le mémoire précédant, l'analyse fonctionnelle nous a permis de réaliser le programme et l'interface final de la supervision que l'opérateur va se servir d'elle pour assurer la conduite du processus de fabrication, comme il est représenté dans la figure suivante :

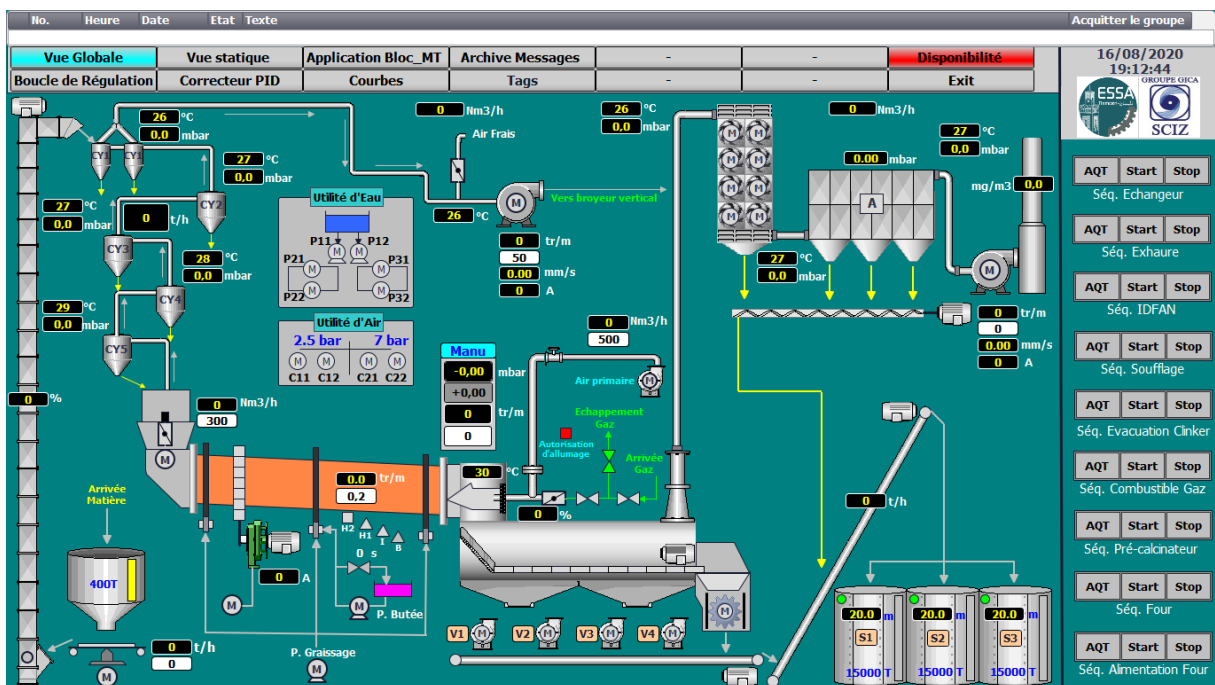


Figure I.49 : Atelier automatisé

A partir de cette réalisation, nous allons implémenter la régulation automatique dans notre projet afin de concevoir la meilleure commande possible.

9- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté notre système qui est une ligne de cuisson et leurs principaux composants, avec l'instrumentation utilisée concernant le type des capteurs et actionneurs, et nous avons aussi expliqué l'analyse de fonctionnement de l'atelier afin d'élaborer un cahier des charges pour développer sa commande.

La solution proposée pour contrôler cet atelier afin d'améliorer son fonctionnement du système, sera présentée dans le prochain chapitre.



---

# Chapitre II

La régulation automatique

---

### 1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les définitions théoriques, objectives et les caractéristiques sur la régulation dans le domaine industriel ainsi que leur application.

### 2- Système de commande asservis :

D'une façon générale, un système de commande a pour but de transmettre aux grandeurs caractéristique de l'état du système (sortie) la loi de variation en fonction du temps imposé par une autre grandeur appelée grandeur de commande ou de l'entrée. On distingue alors deux sortes de système de commande :

- **Système en boucle ouverte :**

C'est un système de commande où le signal d'entrée est indépendant du signal de sortie. La grandeur d'entrée contrôle directement la grandeur de sortie. Ce système a l'avantage d'être simple. En revanche, ses performances sont médiocres, car il n'existe pas de circuit de retour permettant de comparer la grandeur de sortie à la grandeur de référence [6].

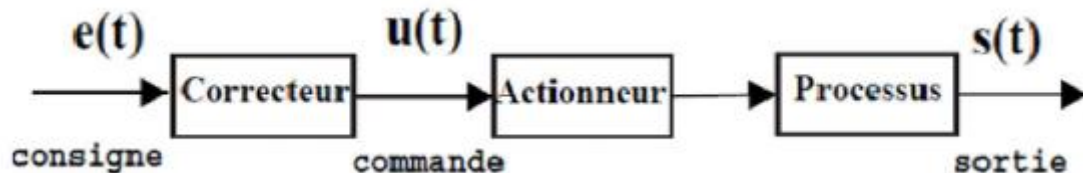


Figure II.1 : Système en boucle ouverte

- **Système en boucle fermée :**

Une correction continue est déterminée par une mesure continue, ceci est le résultat d'une structure en boucle fermée. Par conséquent, la grandeur de sortie est comparée à chaque instant à la grandeur d'entrée la différence joue le rôle d'un signal de correction. Ces systèmes possèdent l'avantage d'être plus précis et limitent l'influence des perturbations. En général, on considère qu'un système de commande en boucle fermée est un système où le signal de commande dépend d'une façon ou d'une autre du signal de sortie [6].

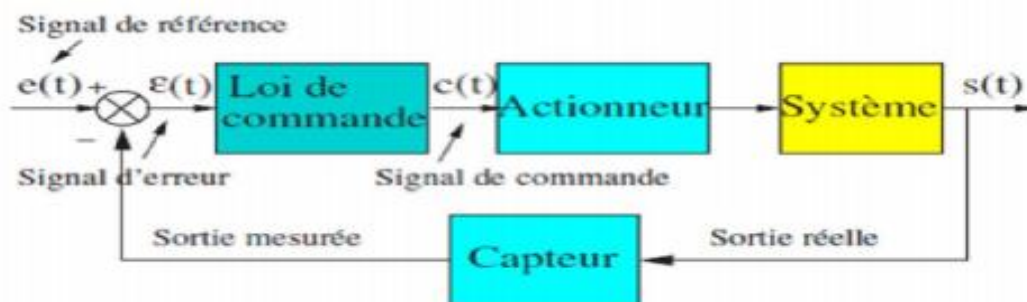


Figure II.2 : Système en boucle fermée

### 3- Performance d'un système asservis :

Pour définir l'objectif global d'une régulation, les critères qualitatifs du cahier des charges sont traduits par des critères quantitatifs. Les qualités exigées les plus rencontrées industriellement sont la stabilité, la précision et la rapidité. Pour les systèmes asservis la loi d'évolution de la consigne en fonction du temps est à d'écrire avec attention, mais le résultat sera décrit par les trois premiers critères cités ci-dessus [14].

#### a) Rapidité :

La rapidité d'un système régulé s'évalue par le temps de réponse ( $t_r$ ), temps de montée ( $t_m$ ), temps de pic ( $t_p$ ). Le système régulé est d'autant plus rapide que le temps de réponse, temps de montée, temps de pic sont courts.

#### b) Précision :

La précision d'un système est définie à partir de l'erreur, entre la grandeur de consigne et la grandeur de sortie, on distingue la précision statique qui caractérise la limite de l'erreur au bout d'un temps défini pour une entrée donnée, c'est-à-dire le régime permanent et la précision dynamique qui tient compte des caractéristiques d'évolution du système en régime transitoire.

#### c) Stabilité :

Un système est stable si et seulement si toute entrée bornée génère une sortie bornée.

### 4- Organisation fonctionnelle d'un système asservi:

A la lumière de la définition précédente du système de commande, il est possible de mettre en évidence des éléments que l'on retrouve dans le schéma fonctionnel des systèmes asservis ou, une grandeur de sortie est commandée par l'intermédiaire d'une chaîne directe ou chaîne d'action, l'entrée de celle-ci est la différence entre un signal élaboré à partir du signal d'entrée, et un signal de retour élaboré à partir du signal de sortie, par le canal d'une chaîne de retour ou chaîne de réaction. On symbolise ce comportement par le schéma suivant :

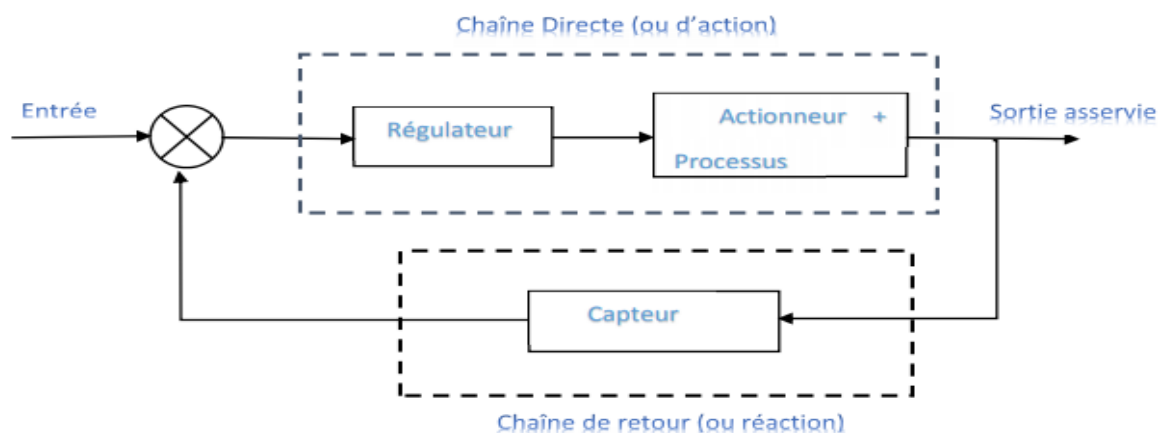


Figure II.3 : Chaînes et éléments fondamentaux d'un asservissement

- a) **Capteur** : Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, généralement électrique, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle commande
- b) **Actionneur** : il maîtrise la puissance à fournir au processus à partir du signal issu du régulateur.
- c) **Régulateur** : il élabore un signal de commande à partir de l'écart entre l'entrée et la mesure et permet d'améliorer les performances du système.

### 5- La régulation automatique:

La régulation automatique permet de maintenir une grandeur physique à une valeur constante quelques soient les perturbations extérieures. L'objectif global de la régulation peut se résumer par ces trois mots clefs : Mesurer, Comparer et Corriger.

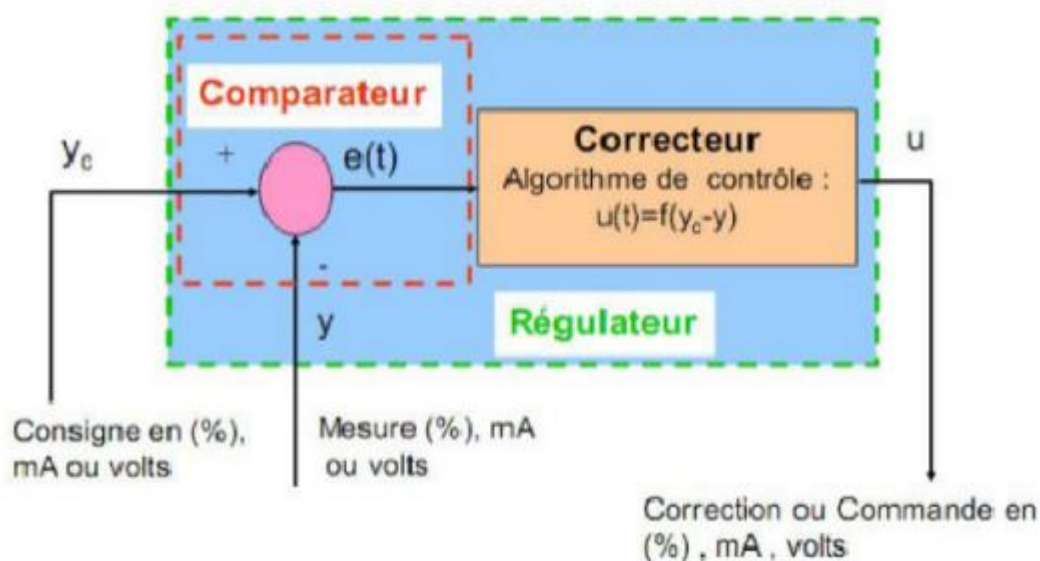


Figure II.4 : Fonctionnement du régulateur

Lorsque des perturbations ou un changement de consigne se produisent, la régulation automatique provoque une action correctrice sur une autre grandeur physique, parmi les grandeurs d'entrée du procédé (grandeur réglant), afin de ramener la grandeur réglée vers sa consigne initiale (cas de perturbations) ou vers sa nouvelle consigne (cas de changement de consigne c'est-à-dire changement de point de fonctionnement).

Nous sommes donc amenés à effectuer des mesures pour obtenir certaines connaissances avant d'entreprendre une action. Ces mesures seront obtenues par l'intermédiaire d'appareillages spécifiques.

#### 5.1- Les modes de la régulation :

Pour la régulation d'un système asservis, on distingue deux modes :

- **Mode manuel** : Lorsque le régulateur est en mode manuel, la boucle de régulation est ouverte, le régulateur joue le rôle de générateur, ce qui permet de régler la sortie à la valeur désirée.

- **Mode automatique :** Lorsque le régulateur est en mode automatique, la boucle de régulation est fermée, on règle la consigne à la valeur souhaitée et le régulateur travaille pour annuler l'écart entre consigne et mesure.

### 5.2- Le sens d'action de la régulation :

On choisit le sens d'action de la régulation après l'étude du système asservi.

- **Sens d'action direct :** Le régulateur est dit à sens d'action direct lorsqu'une augmentation de la mesure entraîne une augmentation du signal réglant.
- **Sens d'action inverse :** Le régulateur est dit à sens d'action inverse lorsqu'une augmentation de la mesure entraîne une diminution du signal réglant.

### 5.3- Les correcteurs :

Les systèmes asservis peuvent présenter des défauts, tel que : une précision insuffisante, une mauvaise stabilité, un temps de réponse trop lent, un dépassement trop important.

Il est donc souvent nécessaire d'intégrer dans le système asservi un réseau correcteur, dont l'objectif est d'améliorer un ou plusieurs de ces différents paramètres.

Le correcteur permet alors d'améliorer les caractéristiques de précision, de stabilité et de rapidité du système et il est nécessaire de l'introduire dans la boucle de commande.

A partir du schéma bloc représenté, on cherche les valeurs des coefficients du régulateur  $C(s)$  qui permettent d'obtenir la réponse désirée pour  $S(s)$  lors d'un changement de consigne  $E(s)$ .

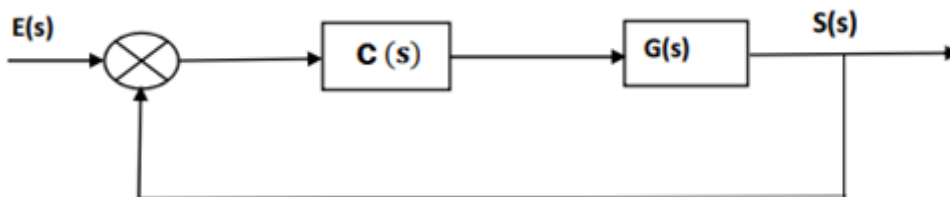


Figure II.5 : Boucle avec correcteur

### 5.4- Les correcteurs PID :

Le régulateur standard le plus utilisé dans l'industrie est le régulateur PID (proportionnel, intégral et dérivé), car il permet de régler à l'aide de ses trois paramètres les performances (amortissement, temps de réponse, ...) d'un processus modélisé par un deuxième ordre. Nombreux sont les systèmes physiques qui, même en étant complexes, ont un comportement voisin de celui d'un deuxième ordre.

Par conséquent, le régulateur PID est bien adapté à la plupart des processus de type industriel et est relativement robuste par rapport aux variations des paramètres du procédé.

Si la dynamique dominante du système est supérieure à un deuxième ordre, ou si le système contient un retard important ou plusieurs modes oscillants, le régulateur PID n'est plus adéquat et un régulateur plus complexe (avec plus de paramètres) doit être utilisé, au dépend de la sensibilité aux variations des paramètres du procédé [14].

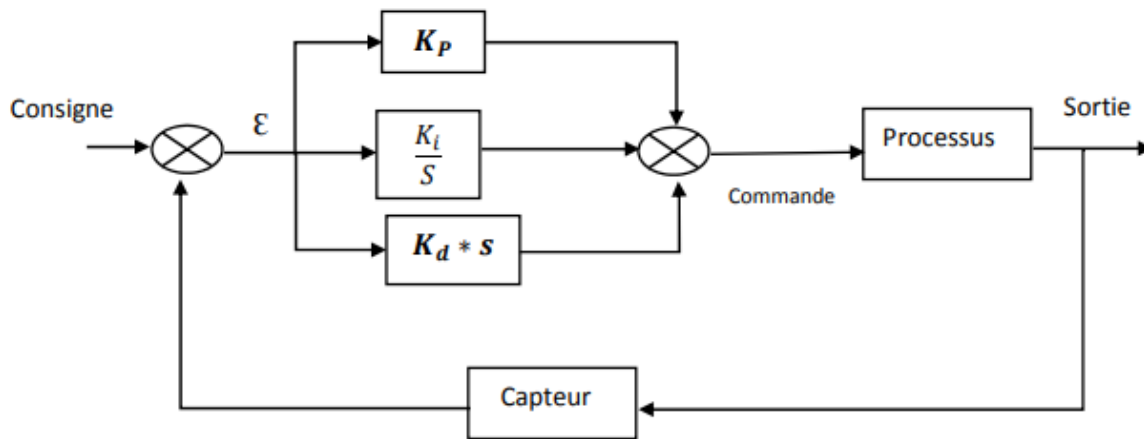


Figure II.6 : Boucle avec correcteur PID parallèle

Un correcteur PID assure une transmission instantanée du signal d'erreur  $\mathcal{E}(t)$  augmente de son intégrale et de sa dérivée. Ce correcteur, facile à réaliser, permet d'annuler le signal d'erreur statique et d'avoir une réponse relativement rapide et bien amortie. En effet, le correcteur PID, fait croître la classe du système d'une unité et introduit 2 zéros qui peuvent être utilisés pour améliorer la réponse transitoire.

L'action proportionnelle le  $K_p$  apporte de la rapidité au système en réduisant le temps de montée. Il réduit également l'erreur statique, mais ne l'élimine pas. L'action intégrale  $K_i$  aura pour effet d'éliminer l'erreur statique. Elle ramené donc de la précision, mais dégrade la réponse transitoire. L'action dérivée  $K_d$  améliore la stabilité du système, réduit les dépassements et améliore le régime transitoire.

Les effets de chaque correcteur  $K_p$ ,  $K_i$  et  $K_d$  sur la réponse en boucle fermée du système sont regroupés sur le tableau suivant :

	Temps de montée	Dépassement	Erreur statique
Si $K_p$ croît	Diminue	Augmente	Diminue
Si $K_i$ croît	Diminue	Augmente	Elimine
Si $K_d$ croît	Peu de changement	Diminue	Peu de changement

Tableau II.1 : Effets des correcteurs P, I, et D sur les régimes statique et dynamique du système en boucle fermée.

- Où :
- $K_p$  est l'action proportionnelle.
  - $K_i = \frac{K_p}{T_i}$  est l'action intégrale.
  - $K_d = T_d * K_p$  est l'action dérivée.

Il est à noter que ces corrélations ne sont pas exactement précises, car  $K_p$ ,  $K_i$  et  $K_d$  sont dépendants les uns des autres. En fait, le changement de l'une de ces variables peut modifier l'effet de l'autre. Le tableau précédent n'est à utiliser que comme référence lorsqu'il s'agit de déterminer les valeurs de  $K_p$ ,  $K_i$  et  $K_d$ .

Il existe des méthodes analytiques permettant de calculer les composantes du correcteur PID, mais elles sont assez complexes et sont peu utilisées. Des méthodes empiriques existent et permettent de faciliter amplement la détermination du correcteurs PID (méthode de **Ziegler-Nichols**).

L'équation temporelle de correcteur PID :

$$C(t) = K_p(\epsilon(t)(1 + \frac{1}{T_i} \int_0^t \epsilon(t)dt + T_d \frac{d\epsilon(t)}{dt})$$

Avec l'écart déni comme suit :

$$\text{Erreur} = \text{Consigne} - \text{Mesure}$$

Dont la transformée de Laplace vaut

$$C(s) = K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s) = K_p(\frac{T_d T_i s^2 + T_i s + 1}{s T_i})$$

Le régulateur PID possède 2 zéro et un pôle nul.

Système irréalisable car le degré de dénominateur inférieur à degré de numérateur, donc on utilise un PID filtré comme suit :

$$C(s) = K_p(1 + T_i \frac{1}{s} + T_d \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}})$$

Il existe plusieurs architectures possibles pour combiner les trois effets (série, parallèle ou mixte), on présente ici une architecture parallèle :

- **Série :**

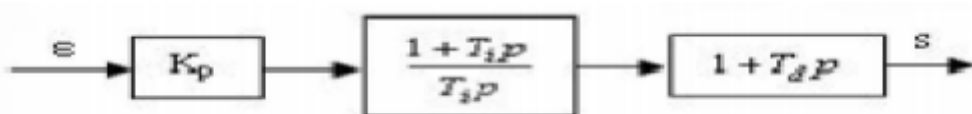


Figure II.7 : Correcteur PID série

Loi de commande s'écrit :

$$\frac{S(p)}{\epsilon(p)} = K_p * (1 + \frac{1}{T_i p}) * (1 + T_d p)$$

- Parallèle :

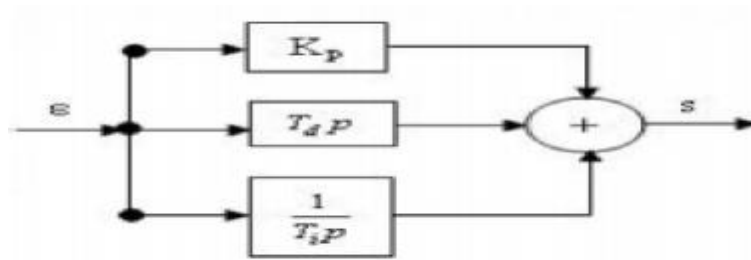


Figure II.9 : Correcteur PID parallèle

Loi de commande s'écrit :

$$\frac{S(p)}{\varepsilon(p)} = K_p + T_d p + \frac{1}{T_i p}$$

- Mixte :

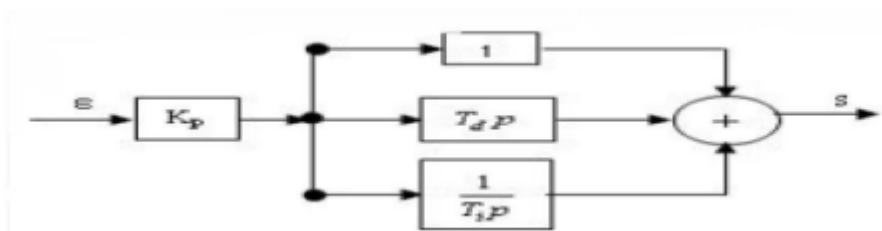


Figure II.10 : Correcteur PID mixte

On peut utiliser le régulateur comme régulateur PID de maintien mais aussi comme régulateur en cascade, de mélange ou de rapport dans des à plusieurs boucles. Ses méthode de travail se base sur l'algorithme PID du régulateur à échantillonnage à sortie analogique, complété le cas échéant par un étage conformateur d'impulsions assurant la formation des signaux de sortie et modulation de largeur d'impulsions pour régulations à deux ou trois échelons avec organes de réglage proportionnels.

### 5.5- Ajustage des paramètres d'un régulateur PID :

Des méthodes empiriques existent et permettent de faciliter amplement l'ajustement des paramètres du correcteurs PID (méthode de Ziegler-Nichols).

En 1942, Ziegler et Nichols ont proposé deux approches heuristiques basées sur leur expérience et quelques simulations pour ajuster rapidement les paramètres des régulateurs P, PI et PID.

La première méthode nécessite l'enregistrement de la réponse indicielle en boucle ouverte, alors que la deuxième demande d'amener le système bouclé à sa limite de stabilité [13].

#### 5.5.1- Méthode de la réponse indicielle :

Pour obtenir les paramètres du régulateur PID, il suffit d'enregistrer la réponse indicielle du processus seul (c'est-à-dire sans le régulateur) puis suivre des étapes afin de déterminer les paramètres [13].



Généralement, les gains  $K_p$  proposés par cette méthode sont trop élevés et conduisent à un dépassement supérieur à 20%. Il ne faut donc pas craindre de réduire  $K_p$  d'un facteur 2 pour obtenir une réponse satisfaisante.

### 5.5.2- Méthode du point critique :

Cette méthode est basée sur la connaissance du point critique du processus. Expérimentalement, on boucle le processus sur un simple régulateur proportionnel dont on augmente le gain jusqu'à amener le système à osciller de manière permanente, on se trouve ainsi à la limite de stabilité. Après avoir relevé le gain critique  $K_{cr}$  du régulateur et la période d'oscillation  $T_{cr}$  de la réponse, on peut calculer les paramètres du régulateur choisi à l'aide du tableau suivant.

	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5 * K_{cr}$	-	-
PI	$0.4 * K_{cr}$	$0.8 * T_{cr}$	-
PID	$K_{cr} / 1.7$	$0.5 * T_{cr}$	$0.125 * T_{cr}$

**Tableau II.2 :** Réglage du contrôleur par la méthode d'oscillation de Ziegler-Nichols

Dans notre projet, Nous allons ajuster nos paramètres par des essais empiriques en se basant de la méthode du point critique (Ziegler-Nichols) sauf qu'on ne peut pas obtenir la limite de stabilité car les mesures sont calculées dans notre cas d'étude, elles ne sont pas des mesures obtenues par des capteurs, c'est nous qui ont créé le modèle de comportement de ces derniers.

Par conséquent, on aura toujours une mesure qui va suivre la consigne après des oscillations (dépassement) [13].

## 6- Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini les notions de la régulation automatique utilisée dans l'industrie.

Nous avons présenté aussi les différentes méthodes de la régulation, toute en essayant de répondre au cahier des charges élaboré.

---

# Chapitre III

Application

---

## 1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons révéler à travers la programmation de l'analyse fonctionnelle et la supervision des résultats de la régulation automatique de notre système et de la simulation de la mesure.

## 2- Programme utilisateur :

Afin de répondre au besoin du cahier de charge et à l'exigence du processus, nous avons développé un programme afin d'arriver à la solution d'automatisation recherchée.

Pour cela, nous avons réparti le travail en cinq phases essentielles :

- La première phase : consiste à choisir la configuration matérielle requise en définissant la CPU (comme il est indiqué dans le chapitre précédent).
- La deuxième phase : concerne à attribuer une liste des mnémoniques à chaque adresse d'entrée/sortie (des mémentos dans notre cas d'étude).
- La troisième phase : est la plus importante, elle permet de développer le programme d'exécution en utilisant toutes les blocs fonctionnels et blocs de données nécessaires au déroulement du processus.
- La quatrième phase : consiste à réaliser une supervision. Cette dernière, sert à visualiser le processus de manière à être compréhensible par l'utilisateur.
- La dernière phase : comprend la phase de la régulation automatique.

Dans ce mémoire, nous allons développer la partie régulation car l'automatisation ou la programmation de l'analyse fonctionnelle est déjà réalisée dans le mémoire d'ingénieur.

La structure du programme est presque la même, nous avons ajouté deux blocs :

- Un bloc d'organisation spéciale à la régulation (Cyclic interrupt).
- Une fonction dédiée à la régulation.

Comme il est illustré dans la figure suivante :

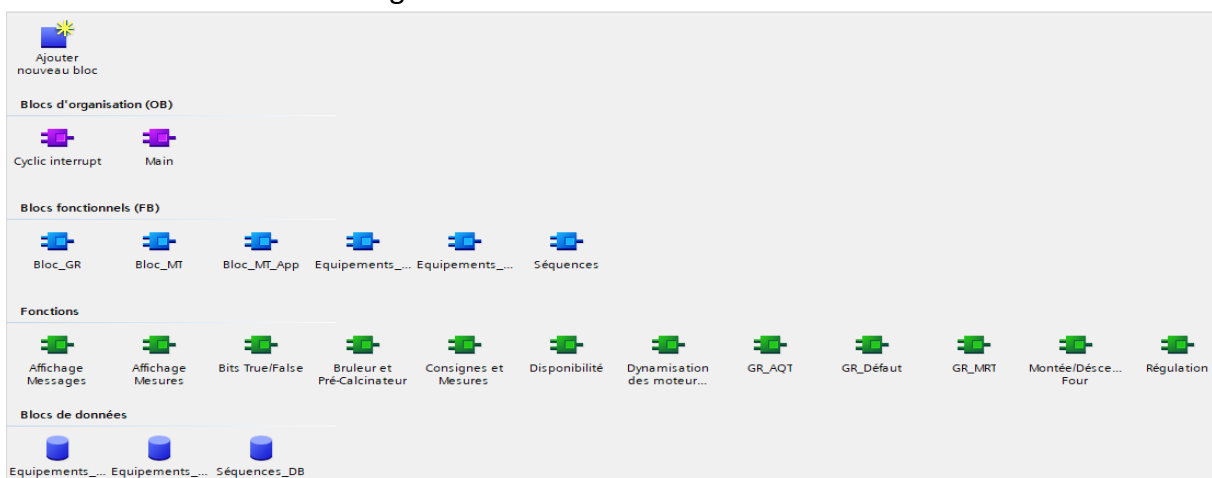


Figure III.1 : Vue d'ensemble du programme

Nous allons commencer par l'appel du correcteur (**FB41**) dans le bloc **[OB35]** et programmer la fonction Régulation (**FC9**) à partir du bloc de données du correcteur.

• **Le bloc fonctionnel (FB41) :**

Pour configurer un régulateur de logiciel, il faut une instruction avec l'algorithme de réglage et un objet technologique.

Dans notre projet, on a créé un FB41 qui contient un régulateur de type **CONT\_C**.



Figure III.2 : L'objet technologique CONT\_C (FB41)

L'objet technologique d'un régulateur de logiciel correspond au DB d'instance de l'instruction. La configuration du régulateur est enregistrée dans l'objet technologique. À la différence des DB d'instance d'autres instructions,

**L'instruction CONT\_C :**

- L'instruction CONT\_C ou le régulateur continu (**FB41**) sert à la régulation de processus techniques possédant des grandeurs d'entrée et de sortie continues sur les systèmes d'automatisation SIMATIC S7. En paramétrant ce bloc, vous pouvez activer ou désactiver des fonctions partielles du régulateur PID afin de l'adapter au système réglé. En complément des fonctions de la branche de consigne et de mesure, l'instruction réalise un régulateur PID opérationnel doté d'une sortie continue pour la grandeur réglante et de la possibilité de modifier manuellement la valeur de réglage.

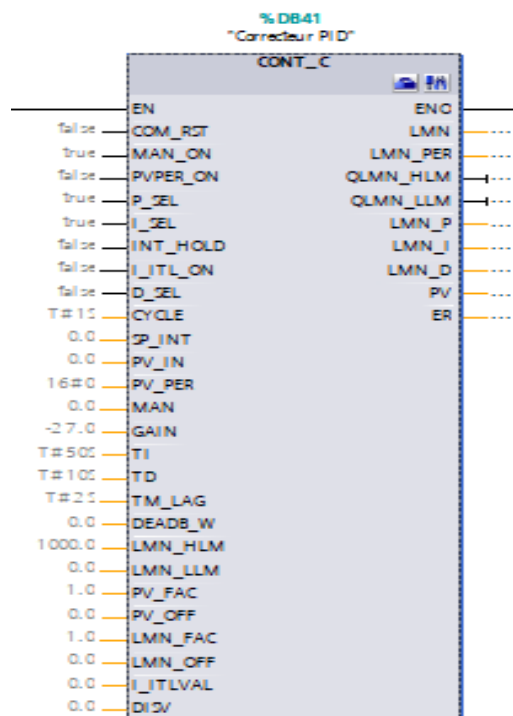


Figure III.3 : Le bloc régulateur continu (CONT\_C)

- La consigne est introduite en format à virgule flottante à l'entrée SP\_INT.
- La mesure peut être lue en format de périphérie ou en format à virgule flottante PV\_IN.
- La différence entre la consigne et la mesure est appelée signal d'écart. Pour supprimer une légère oscillation continue due à la quantification de la grandeur de réglage (par ex. en cas de modulation de largeur d'impulsion avec PULSEGEN), l'écart de régulation est appliqué à une bande morte (DEADBAND). Lorsque DEADB\_W = 0, la zone morte est désactivée.
- L'algorithme PID fonctionne comme un algorithme de position. Les actions proportionnelle, par intégration et par dérivation sont montées en parallèle et peuvent être activées et désactivées individuellement. Ceci permet de paramétrer des régulateurs P, PI, PD et PID. Toutefois, des régulateurs à action I seule peuvent également être paramétrés.
- Il est possible de commuter entre le mode manuel et le mode automatique. En mode manuel, la grandeur réglante est ajustée en fonction d'une valeur manuelle.
- La valeur de réglage possède toujours une limite supérieure et inférieure. La sortie "Limite supérieure ou inférieure de la valeur de réglage accostée" signale que la limite supérieure ou inférieure est atteinte.
- La valeur de réglage LMN est limitée à des valeurs paramétrables avec la fonction LMNLIMIT. Si la grandeur d'entrée dépasse ces limites, des bits le signalent.

Le schéma fonctionnel de ce régulateur est le suivant :

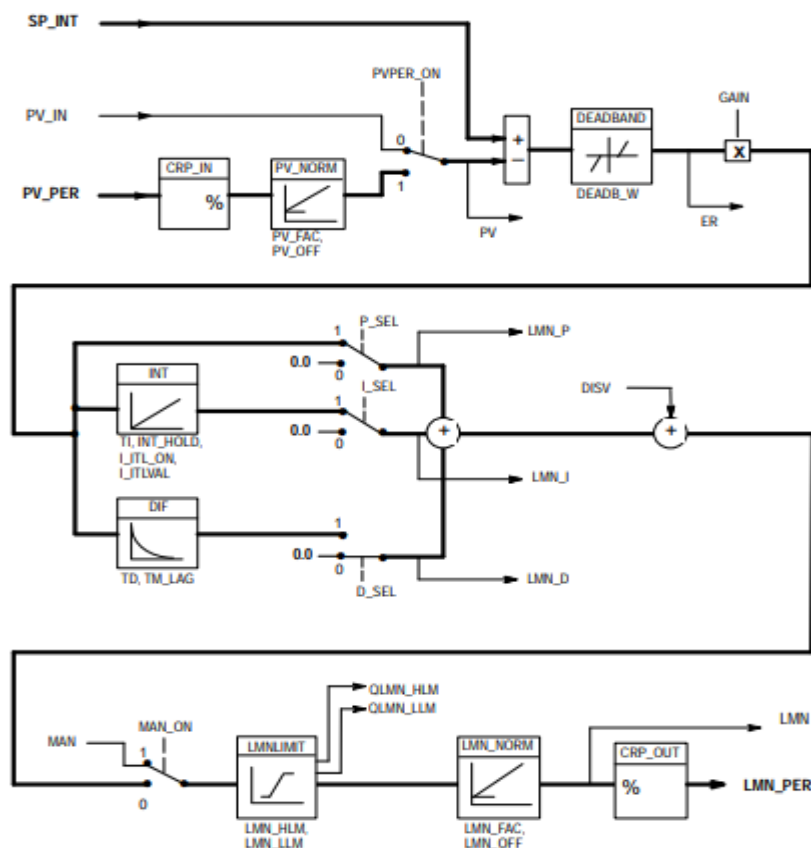


Figure III.4 : Le schéma fonctionnel du CONT\_C

Les valeurs des blocs de régulation ne sont calculées correctement que si le bloc est appelé à intervalles réguliers. C'est pourquoi il convient d'appeler les blocs de régulation dans un OB d'alarme cyclique (OB 30 à OB 38). En spécifiant le temps d'échantillonnage au paramètre CYCLE.

• **Le bloc d'organisation (OB35) :**

OB d'alarme cyclique permettant de démarrer des programmes indépendamment du traitement cyclique du programme, dans des intervalles de temps périodiques définis.

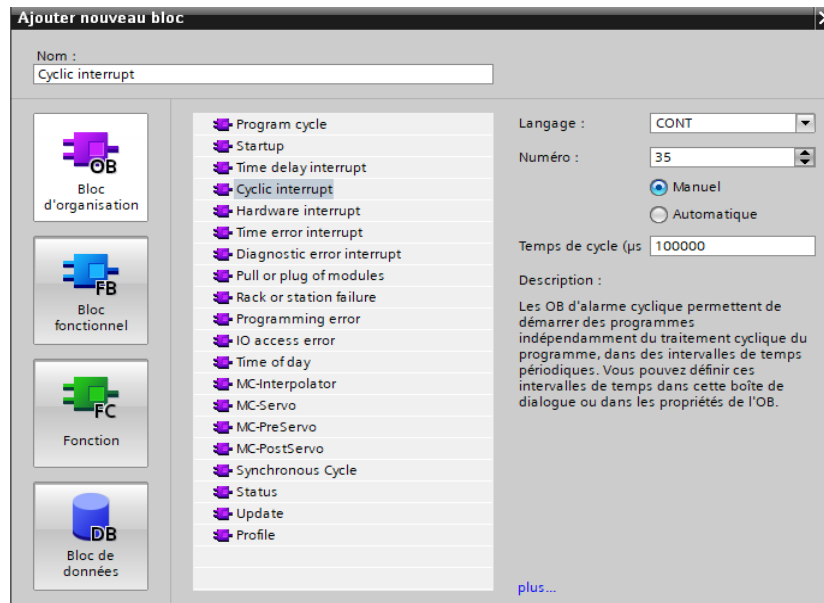


Figure III.5 : Création d'un bloc cyclique

Une alarme cyclique permet de lancer le traitement d'un bloc à intervalles réguliers. Le bloc d'organisation d'alarme cyclique [OB35]. Par défaut, l'intervalle de temps pour l'appel de l'OB est de 100 ms, la plage de réglage allant de 1 ms à 1 min.

L'OB1 est de la sorte interrompu toutes les 10 ms par l'OB35 pour une durée de 10 ms, c'est à dire que le cycle OB1 est rallongé de 10 ms toutes les 10 ms. Le cycle OB1 dure de ce fait 60 ms, comme illustré ci-dessous.

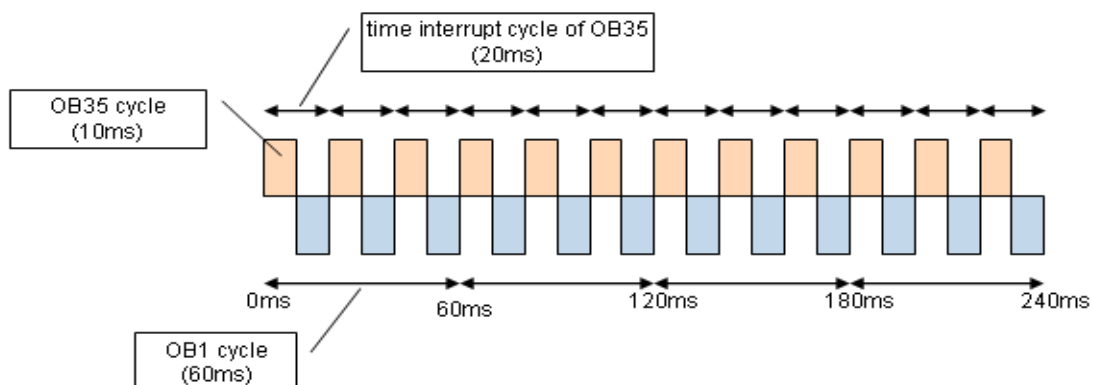


Figure III.6 : La différence entre [OB1] et [OB35]

Une fois le bloc [OB35] est crée, nous faisons appel du régulateur dans ce bloc d'exécution en créant aussi son propre bloc d'instance DB41.

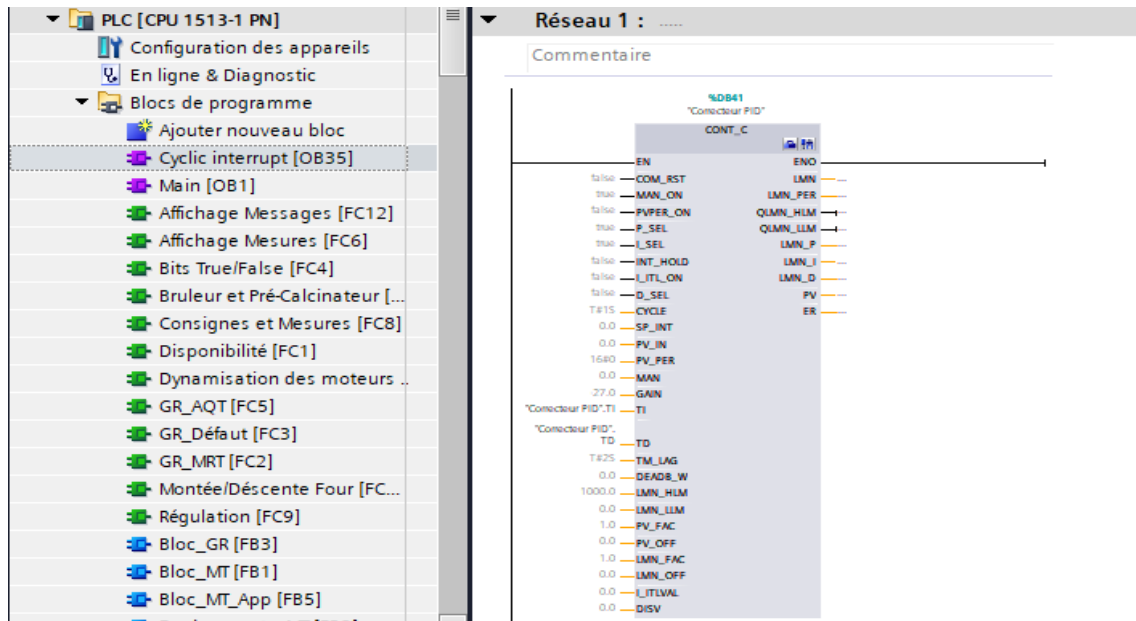


Figure III.7 : Le bloc cyclique [OB35]

Maintenant, Les valeurs des blocs de régulation seront calculées correctement avec un cycle adéquat.

Nous avons paramétré les limites supérieure QLMN\_HLM et inférieure QLMN\_LLM de 0 à 1000 pour avoir une valeur de réglage qui est la vitesse (grandeur réglante) entre 0 et 1000 tr/min. Comme il est indiqué dans la figure ci-dessous :

Correcteur PID (Instantané créé : 09/08/2020 11:57:52)										
Nom	Type de données	Valeur de départ	Rémanence	Accessible...	Ecritu...	Visible da...	Valeur de...	Survilla...	Commentaire	
1	Input									
2	COM_RST	Bool	false						complete restart	
3	MAN_ON	Bool	true						manual value on	
4	PVPER_ON	Bool	false						process variable peripherie on	
5	P_SEL	Bool	true						proportional action on	
6	I_SEL	Bool	true						integral action on	
7	INT_HOLD	Bool	false						integral action hold	
8	LITL_ON	Bool	false						initialization of the integral action	
9	D_SEL	Bool	false						derivative action on	
10	CYCLE	Time	T#15						sample time	
11	SP_INT	Real	0.0						internal setpoint	
12	PV_IN	Real	0.0						process variable in	
13	PV_PER	Word	16#0						process variable peripherie	
14	MAN	Real	0.0						manual value	
15	GAIN	Real	2.0						proportional gain	
16	TI	Time	T#205						reset time	
17	TD	Time	T#105						derivative time	
18	TM_LAG	Time	T#25						time lag of the derivative action	
19	DEADB_W	Real	0.0						dead band width	
20	LMN_HLM	Real	1000.0						manipulated value high limit	
21	LMN_LLM	Real	0.0						manipulated value low limit	
22	PV_FAC	Real	1.0						process variable factor	
23	PV_OFF	Real	0.0						process variable offset	
24	LMN_FAC	Real	1.0						manipulated value factor	
25	LMN_OFF	Real	0.0						manipulated value offset	
26	LITLVAL	Real	0.0						initialization value of the integral action	
27	DISV	Real	0.0						disturbance variable	
28	Output									
29	LMN	Real	0.0						manipulated value	
30	LMN_PER	Word	16#0						manipulated value peripherie	
31	QLMN_HLM	Bool	false						high limit of manipulated value reached	
32	QLMN_LLM	Bool	false						low limit of manipulated value reached	

Figure III.8 : Le bloc de donnée du régulateur DB41

- La fonction 'Régulation' (FC9) :

La figure ci-dessous représente les réseaux avec lesquels nous allons calculer la mesure de la pression, avec une grande influence de la mesure (vitesse) du ventilateur d'Exhaure qui représente la grandeur réglante et une petite influence du ventilateur de tirage IDfan considérée comme perturbations analogique sur la mesure de la pression.

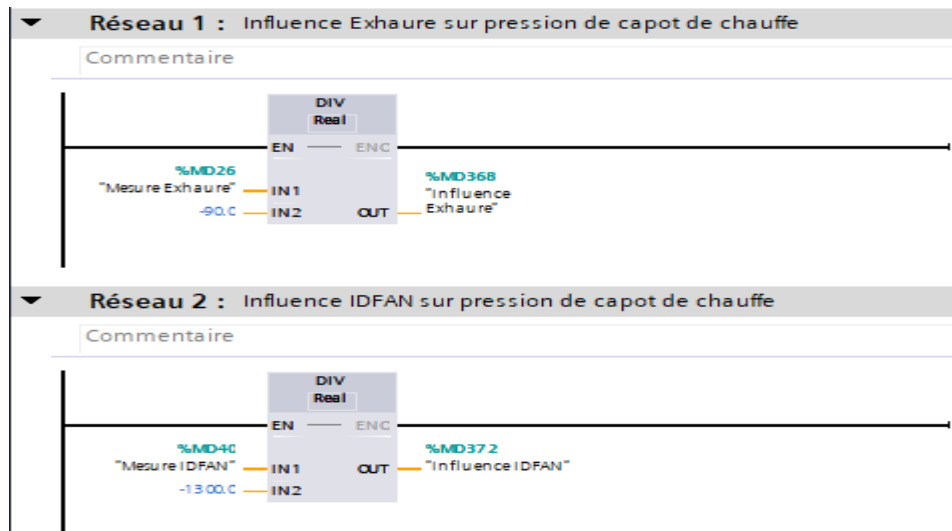


Figure III.9 : L'influence des ventilateurs de tirage

Par la suite, on fait l'addition des deux influences afin d'obtenir le modèle de comportement de la mesure de la pression (capteur de mesure).

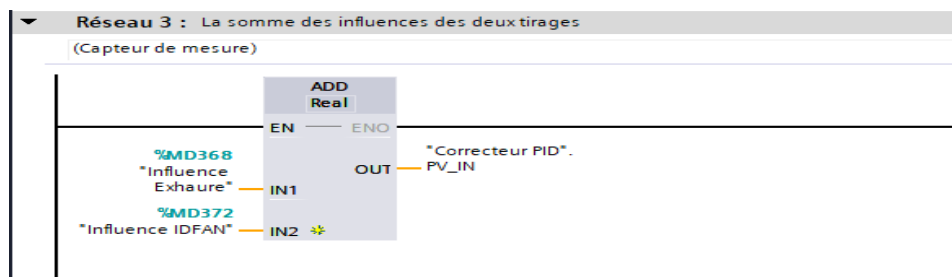


Figure III.10 : Calcul de la mesure de la pression

Nous introduisons d'autres influences comme des perturbations logiques sur la mesure de la pression qui sont le démarrage et l'arrêt des ventilateurs de soufflage (V3 et/ou V4), comme il est montré sur le réseau suivant :



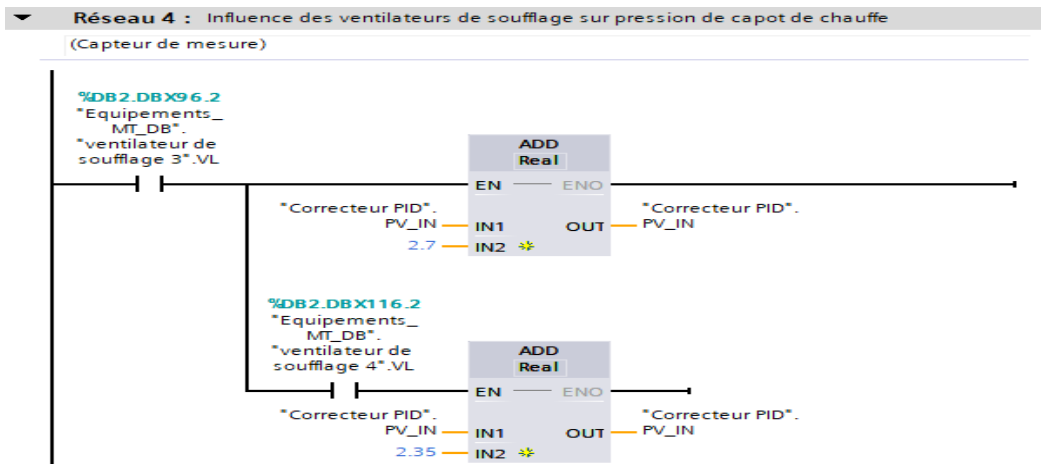


Figure III.11 : Perturbation des ventilateurs de soufflage

Pour passer d'un mode à un autre, nous avons programmé au niveau du correcteur la commande manuelle par l'entrée MAN du régulateur et le mode automatique par la commande du correcteur PID à travers la sortie LMN.

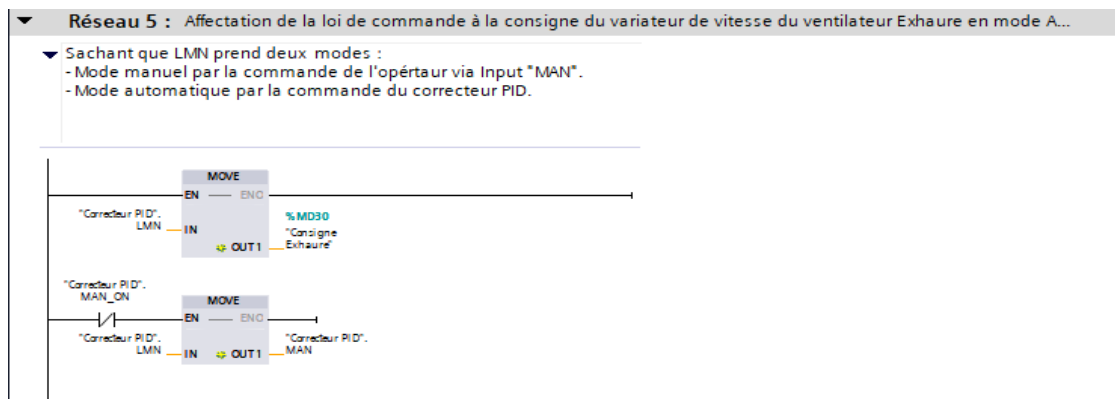


Figure III.12 : Permutation entre les deux modes

En copiant aussi la valeur de réglage (la commande) dans la consigne du ventilateur d'Exhaure dans les deux modes.

Sachant que la loi de commande « LMN », fonctionne sous deux modes, selon deux états différents :

- **En mode manuel (sans régulation PID) :** la commande sera donnée par l'opérateur ou l'ingénieur à travers l'entrée « MAN » du régulateur.
- **En mode automatique (présence de régulation PID) :** la commande sera donnée par le régulateur et affectée à la consigne de l'Exhaure.

De cette manière, pendant le processus de supervision, nous n'utiliserons qu'un seul champ de saisie pour saisir la consigne consacrée à l'Exhaure et ceci dans les deux modes.

### 3- Supervision et simulation :

Dans ce projet, nous allons garder les mêmes vues du mémoire précédant en ajoutant deux autres vues pour la régulation automatique.

Les vues créés sont :

- Boucle de régulation.
- Correcteur PID.

Par la suite, nous traiterons en détails toutes les vues citées précédemment.

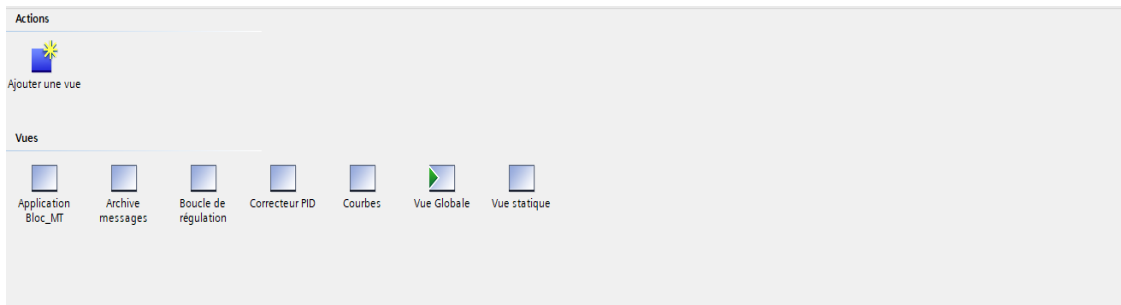


Figure III.13 : Vue d'ensemble des vues

- **Boucle de régulation :**

Dans cette vue, nous définissons la boucle fermée de la régulation avec un sens d'action inverse pour réguler la mesure de la pression par variation de la vitesse du ventilateur d'exhaure.

En citant aussi les perturbations qui régissent sur le processus « capot de chauffe ».

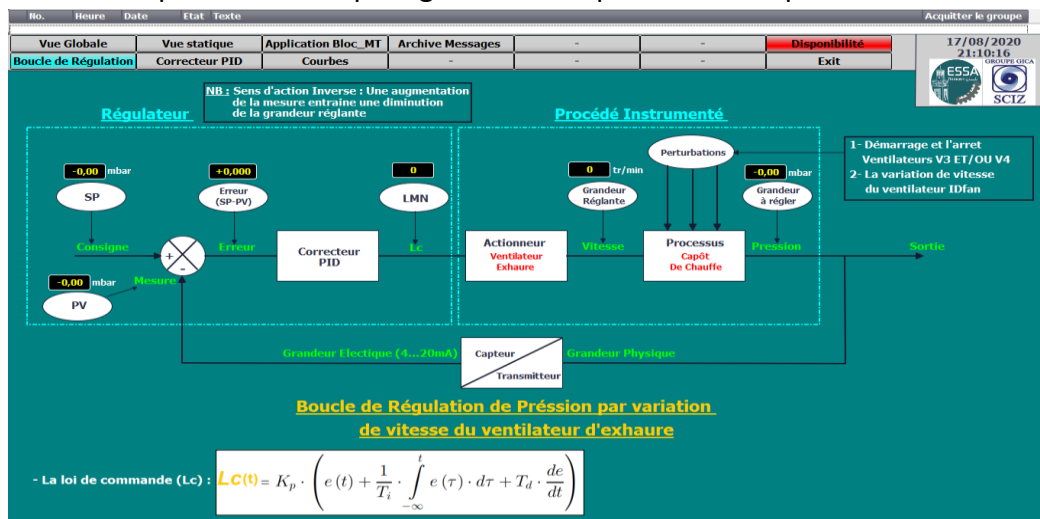


Figure III.14 : Boucle de régulation

Simulation :

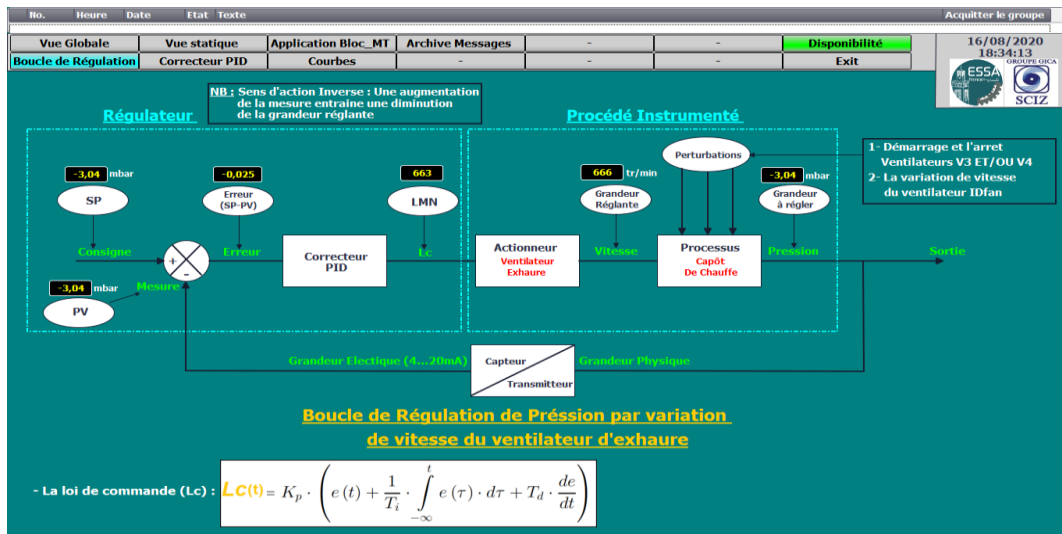


Figure III.15 : Boucle de régulation (simulation)

• **Correcteur PID :**

Depuis cette vue, l'utilisateur peut :

- Changer le mode du correcteur manuel ou automatique.
- Entrer les consignes (pression ou vitesse) tout dépend le mode.
- Ajuster les paramètres du contrôleur (Gain,  $T_i$  et  $T_d$ ).
- Voir la valeur de l'erreur.
- Donner une valeur pour la zone morte afin de fixer la mesure.
- Visualiser les courbes de la mesure et la consigne avec lecture.

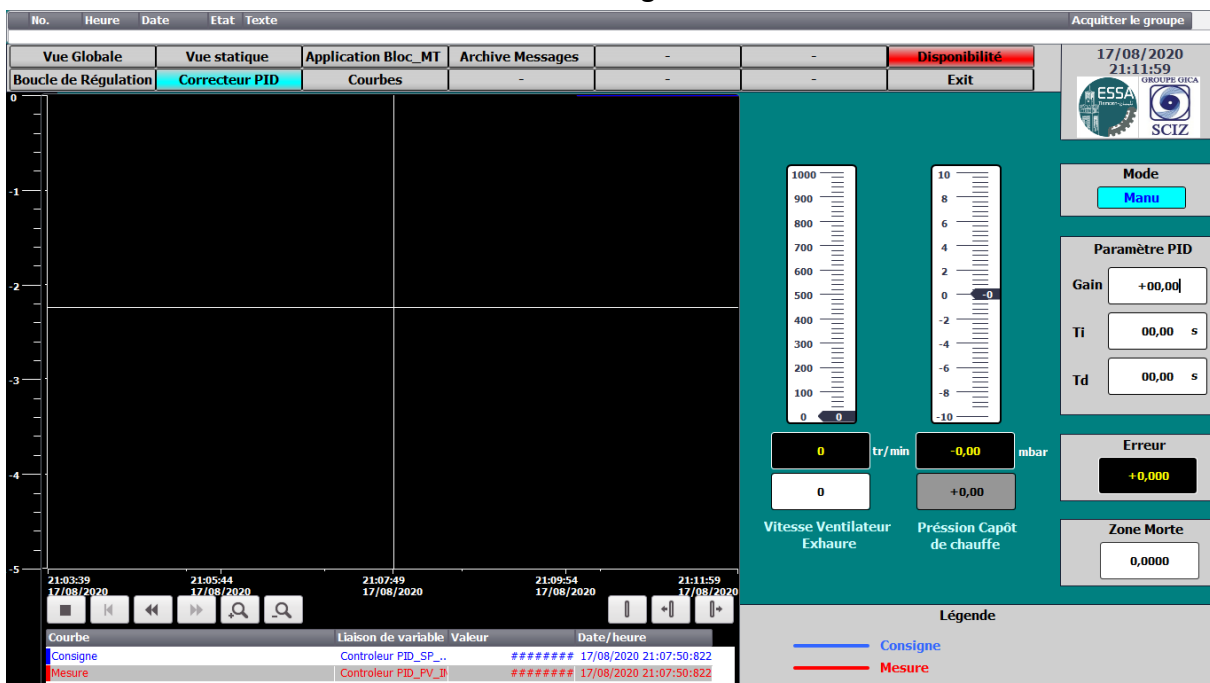


Figure III.16 : Correcteur PID

**Simulation :**

En mode manuel.

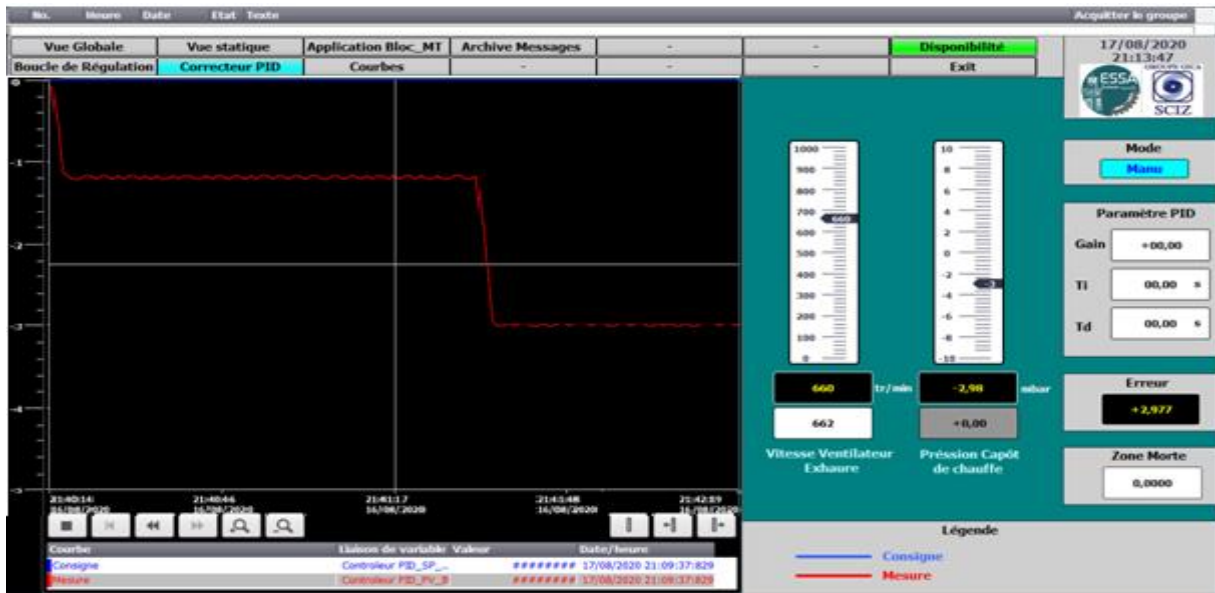


Figure III.17 : Correcteur PID (mode manuel)

En mode automatique

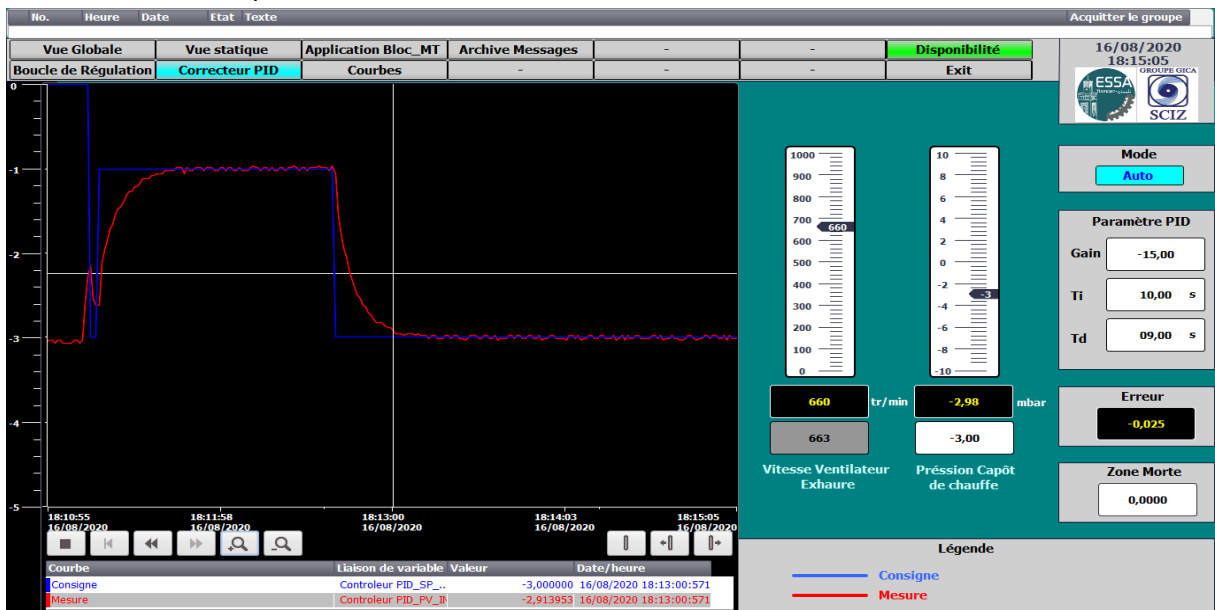


Figure III.18 : Correcteur PID (mode auto)

**4- Régulation automatique :**

Dans ce mémoire, La régulation de la pression du capot de chauffe par la variation de la vitesse du ventilateur d'Exhaure est faite en mode automatique.

L'opérateur donne une consigne pour la pression du capot de chauffe, le régulateur PID (sens d'action inverse) fait la régulation afin que la pression atteint la consigne désirée (une dépression). En parallèle, la consigne du ventilateur d'Exhaure varie pour donner une commande sous forme d'une valeur de réglage (calcul de la vitesse dans le variateur).

En prenant en considération les perturbations régissant sur notre système :

- Le démarrage et l'arrêt des ventilateurs de soufflage (V3 et/ou V4).
- La variation de la vitesse du ventilateur IDfan.

Pour une nouvelle consigne de la pression de la part de l'opérateur, la boucle s'exécute de nouveau en prenant en compte la nouvelle consigne saisie.

Par la suite, nous allons montrer les essais qu'on a fait afin d'ajuster les paramètres PID du régulateur :

- **Essai 01 : (Proportionnel)**

Pour un premier temps, on a essayé de régler d'abord l'action « P » seule pour avoir un dépassement de 10% à 15%, comme il est illustré sur la courbe ci-dessous.

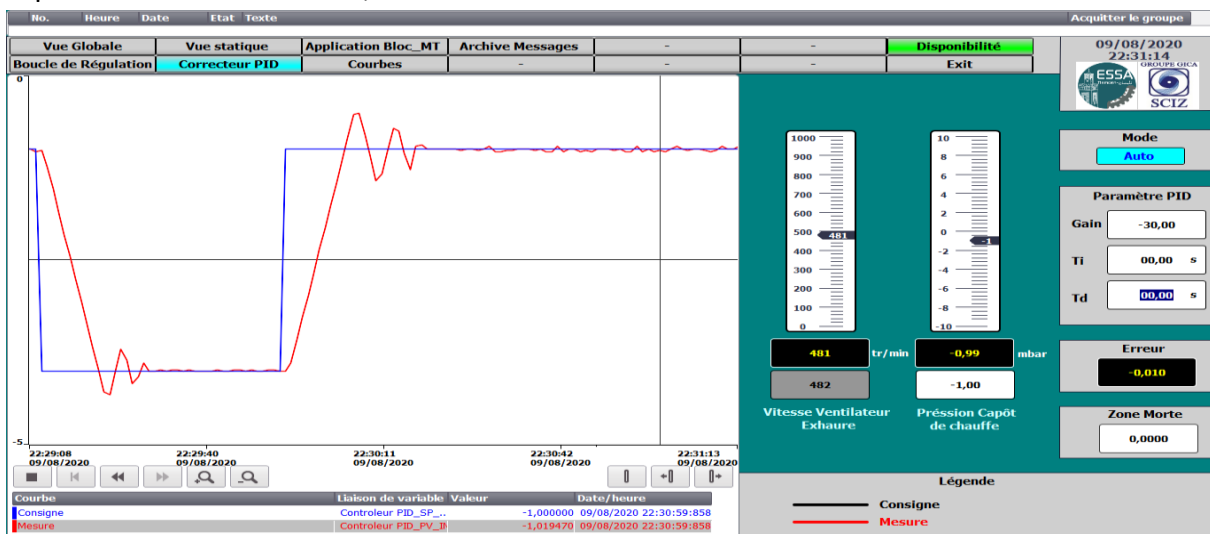


Figure III.19 : Correcteur P

D'après le graphe, nous avons obtenu un système instable qui oscille avec des dépassements.

**NB :**

- o Nous n'avons pas obtenu un système à la limite de stabilité car nous sommes en simulation c.à.d. les mesures sont calculées avec des programmes (des modèles de comportements) et non pas des capteurs réels, par conséquent, la mesure va suivre la consigne désirée.
- o Le signe (-) dans la valeur du gain signifie que le régulateur est en sens d'action inverse.

- **Essai 02 : (Proportionnel-Dérivé)**

Maintenant, nous ajoutons l'action « D » de façon de diminuer le dépassement.

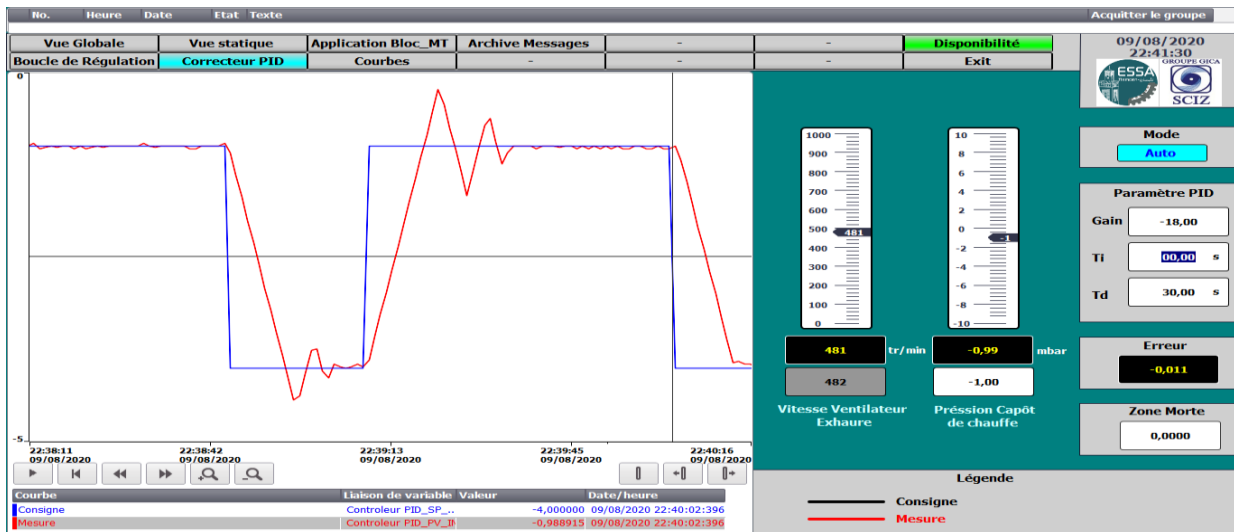


Figure III.20 : Correcteur PD

Nous constatons que l'action dérivée n'apporte pas grand-chose à notre système, pas de changement par rapport au résultat précédent.

- **Essai 03 : (Proportionnel-Intégral)**

Pour une sortie parfaite, on ajuste par l'action « I » pour éliminer l'erreur statique et un dépassement final entre 5% à 10%, en trouvant un compromis entre « P » et « I ».

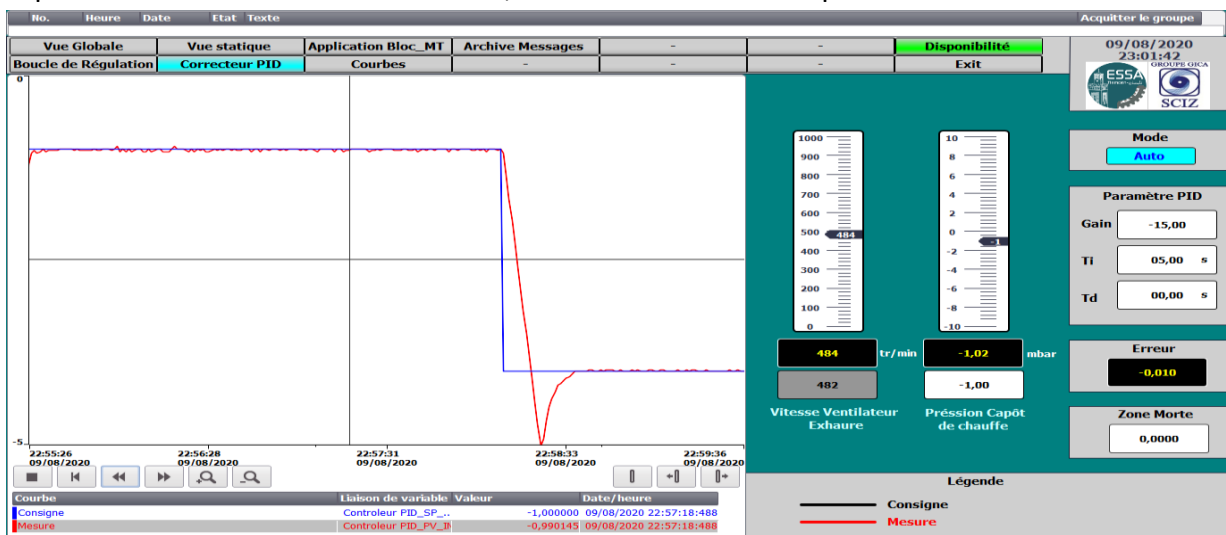


Figure III.21 : Correcteur PI

D'après la figure, on voit bien le résultat obtenu avec l'ajout de l'action intégral qui est l'annulation de l'erreur statique avec la présence d'un seul dépassement.

Par la suite, nous essayons de modifier les paramètres de I et D afin d'obtenir des résultats meilleurs.

- **Essai 04 : (Proportionnel-Intégral)**

Nous allons augmenter la valeur de l'action intégrale pour faire disparaître le dépassement précédent.

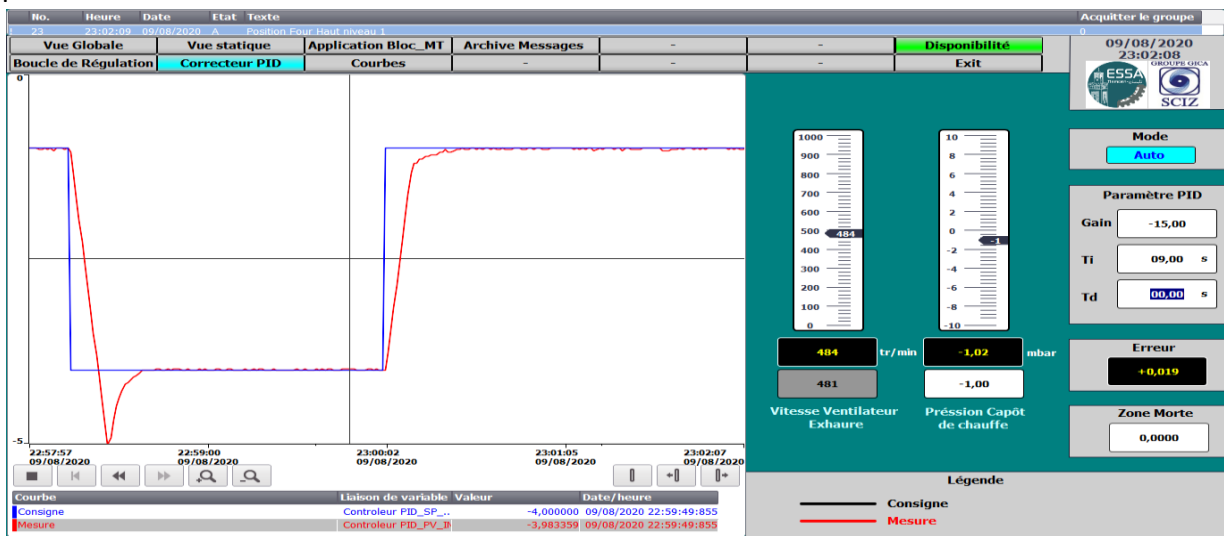


Figure III.22 : Correcteur PI

Pour un gain qui vaut **-15** et un  $T_i$  de **9 secs**, nous avons obtenu un système où la mesure poursuit la consigne désirée sans dépassement, donc un système plus rapide par rapport aux cas précédents où le temps de réponse est à **26 secs**, avec une erreur statique nulle.

- **Essai 05 : (Proportionnel-Intégral-Dérivée)**

Dans ce dernier ajustement, nous essayons de trouver un compromis entre les trois actions P, I et D.

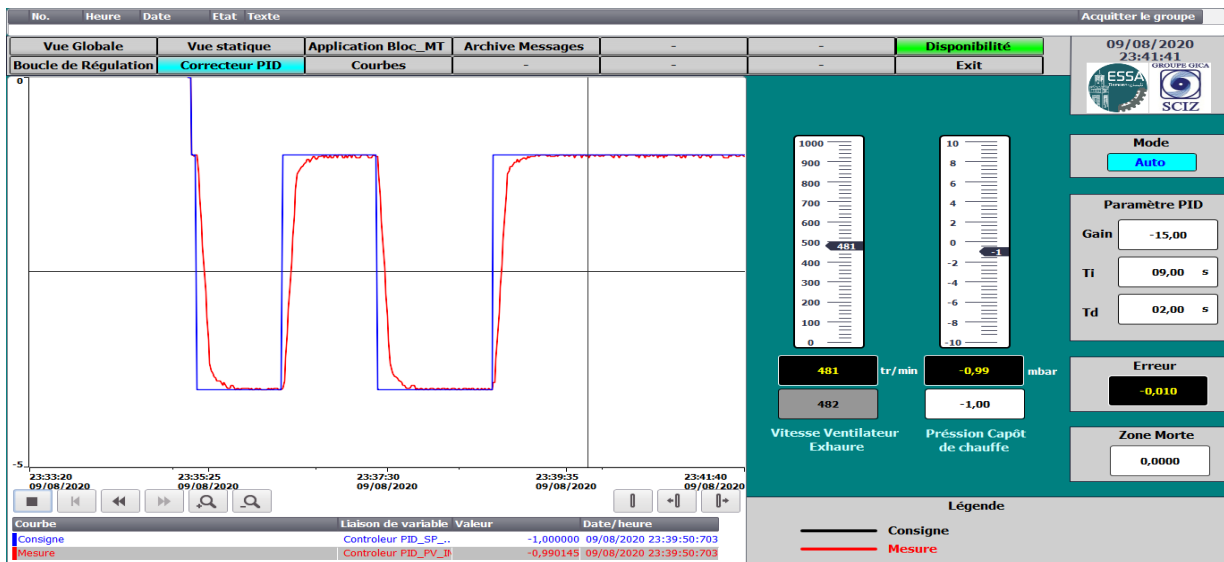


Figure III.23 : Correcteur PID

De la réponse indicielle du système avec un régulateur d'un gain qui vaut **-15**, un  $T_i$  de **09 secs** et un  $T_d$  de **02 secs**, nous constatons que les performances du système se sont améliorées, il en résulte une réponse indicielle sans dépassement, un temps de réponse de **25 secs** et un écart statique nulle. D'où une amélioration très sensible.

Nous remarquons aussi qu'on peut faire cette régulation sans l'action « D » parce qu'elle n'a pas une grande influence sur le comportement de notre système, donc nous utilisons un régulateur proportionnel intégral « PI ».

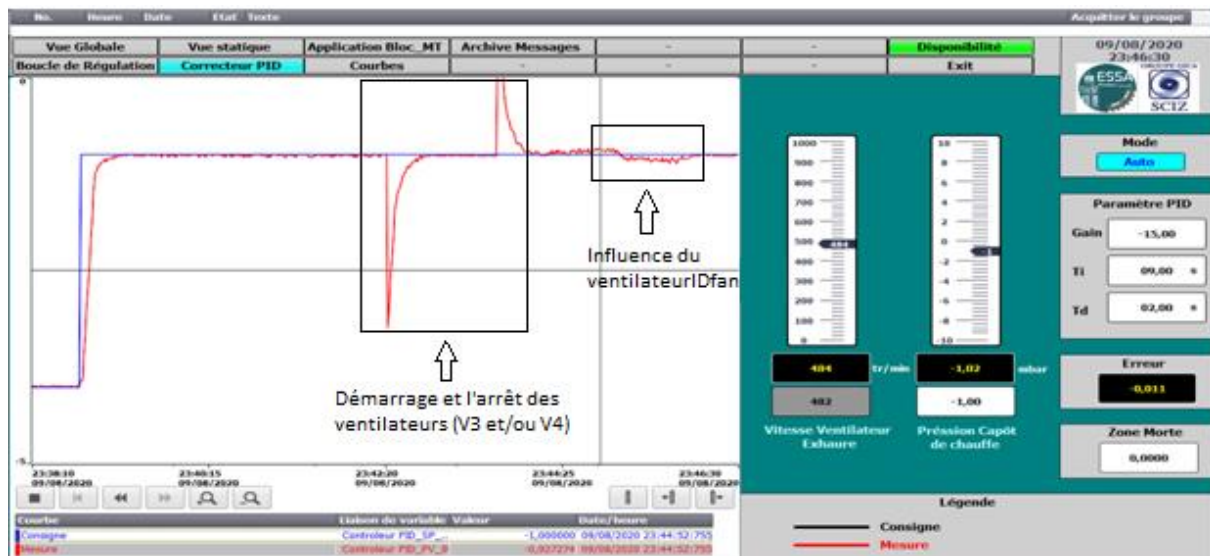


Figure III.24 : Présence des perturbations

Ce régulateur caractérise l'aptitude d'un système à maintenir la sortie constante pour une grandeur d'entrée constante, et ce malgré des perturbations sur la sortie. Nous avons constaté que notre système rejette parfaitement la perturbation.

#### 4.1- Les résultats :

- Le système réagit au changement de la consigne comme le montre la figure ci-dessus.
- La réponse du système est presque parfaite.
- La réponse du système est similaire à celle d'un système d'ordre 1 (un système sans un premier dépassement « Over shoot »).
- Un temps de réponse parfait.

#### 4.2- L'interprétation des résultats :

- La réaction du système pour le changement montre bien que le contrôleur fonctionne et il fait sa tâche qui consiste à ramener la sortie du système à la consigne saisie (désirée).
- Le fait que la réponse du système est presque parfaite revient au fait que le système en étude est un système simulé.
- Les variations au niveau de la mesure car elle est calculée avec un programme.
- La variation de l'erreur statique est due par la variation de la mesure.
- On peut avoir des systèmes plus rapides mais nous voulons des courbes progressivement rapides (pas directement vers la consigne désirée) afin de respecter le processus réel car la variation rapide de la commande peut engendrer un dysfonctionnement ou des défauts au niveau du variateur de vitesse du ventilateur d'Exhaure.
- On voit clairement que le temps de réponse est rapide, mais c'est parfaitement normal (même dans le cas réel). Car, dans ce type d'application demande une réponse rapide, il est dans notre intérêt la mesure de pression répond rapidement car elle est une



grandeur sensible qui varie rapidement par la vitesse d'Exhaure pour éviter la mise en pression du capot de chauffe.

**5- Conclusion :**

Lors de ce chapitre nous avons conçu, programmé la boucle de régulation et faire l'étude de la boucle et la réponse de notre système grâce a cette boucle.

Alors, d'après les résultats obtenus, nous pouvons dire qu'on est arrivé à satisfaire à 100% le cahier de charge qui est la programmation et la régulation de la pression du capot de chauffe par la variation de la vitesse du ventilateur d'Exhaure.

## Conclusion générale

En conclusion, nous devons avouer que rétrospectivement nous sommes satisfaits de cette mémoire puisque nous avons atteint les objectifs qu'on c'était fixés.

En effet ce projet de fin de cycle nous a permis de comprendre et apprendre à réaliser une régulation à l'aide d'un contrôleur PID dans un système qu'on a déjà modélisé et automatisé auparavant (Ingéniorat).

Du coup, on a conclu qu'un contrôleur PID, est un système qui a pour but de remplacer la manipulation humaine lors de la régulation d'une grandeur physique présente dans un processus. C'un dispositif de contrôle permettant d'améliorer les performances d'un asservissement, c'est-à-dire un système ou procédé en boucle fermée.

En gros, il permet de calculer l'erreur sur un système automatique donné. Cette erreur est la différence existante entre la variable mesurée physiquement sur le processus et la valeur de consigne réglée initialement. Il a comme objective de minimiser cette erreur en ajustant les variables d'entrée. Le calcul implique trois paramètres constants: les valeurs proportionnelles, intégrales et dérivées (PID ou proportionnel intégral dériver).

Le choix du type de boucle de régulation et leur mise au point impliquent une bonne connaissance du comportement du procédé.

Cependant, on s'aperçoit que La régulation des procédés industriels regroupe l'ensemble des moyens matériels et techniques mis en œuvre pour maintenir une grandeur physique à régler (**Pression de capot**), égale à une valeur désirée, appelé consigne. Lorsque des perturbations ou des changements de consigne se produisent, la régulation provoque une action correctrice sur une grandeur physique du procédé appelée grandeur réglante (**Vitesse Exhaure**). Dans le cas de la régulation, le point de consigne est fixe et le système doit compenser l'influence des interférences. L'important est de bien faire son étude afin d'avoir une régulation optimale.

En termes de perspectives, nous envisageons performer notre projet afin d'en faire un simulateur de système automatisé, supervisé et régulé, utile pour la formation du personnel interne de l'entreprise.

Nous sommes par ailleurs convaincus que le travail élaboré n'est qu'une étape primaire aussi bien pour une carrière professionnelle que pour des études plus approfondies.

## Bibliographie

- [1] : Documentation interne de la société des ciments Zahana (SCIZ) « Présentation de l'entreprise ».
- [2] : Documentation interne de la société des ciments Zahana (SCIZ) « Zone cuisson ».
- [3] : Documentation interne de la société des ciments Zahana (SCIZ) « Analyse fonctionnelle de la zone cuisson ».
- [4] : Les procédés de fabrication du ciment (Lafarge Ciments).
- [5] : Process book de refroidisseur (Lafarge Ciments).
- [6] : Documentation Siemens : <http://www.automation.siemens.com>
- [7] : Documentation Siemens « Guide utilisateur TIA PORTAL Version 15 » ID de la contribution : 109755202, Date de la contribution : 16/10/2018.
- [8] : Documentation Siemens « Manuel S7-1500 CPU 1513-1 PN »  
Code : 6ES7513-1AL01-0AB0 Edition : 09/2016.
- [9] : Documentation Siemens « régulation PID 'Régulateur continu Cont\_C' » ID de la contribution : A5E35300228-AA, Date de la contribution : 12/2014.
- [10] : Documentation Capteurs/Actionneurs et équipements : <https://fr.wikipedia.org>
- [11] : Régulation industriels : <https://fr.wikipedia.org>
- [12] : COURS ET EXERCICES DE REGULATION Mr. Djaaffar RACHED Maître de Conférences B, USTO-MB [2014]
- [13] : Ajustage des paramètres du Régulateur PID Prof. F. Mudry  
[http://freddy.mudry.org/public/NotesApplications/NAPidAj\\_06.pdf](http://freddy.mudry.org/public/NotesApplications/NAPidAj_06.pdf)
- [14] : Mr. ALLALI Ahmed Zaki Mr. ALLAM Abdelaziz, "Commande et supervision de la trémie d'alimentation d'un four de cuisson de clincker par un contrôleur flou sous Fuzzy control++ de Siemens" MEMOIRE DE FIN D'ETUDES Pour l'Obtention du Diplôme de Master.
- [15] : Mr. LAMINE Elbarka Mr.HAMMOUALI abdelhamid, "Conception d'une Régulation de Niveau avec un Automate Programmable" MEMOIRE DE FIN D'ETUDES Pour l'Obtention du Diplôme de Master académique.