

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

## Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et Informatique  
Industrielle

*Présentée par*

**Louiza HOUASSI**

**Dylia LAKRIB**

Thème

# Automatisation du système autonettoyant pour la turbine MS-5002D Avec MARK VIe

*Mémoire soutenu publiquement le 24/06/2024 devant le jury composé de :*

**M MELLAH**

Professeur, UMMTO, Président

**M Ahmed KASRI**

M. C. B, UMMTO, Encadrant

**M Nabil BOUFELGHA**

Ingénieure, Sonatrach, Co-Encadrant

**Mme CHILLALI**

M.C.A, UMMTO, Examineur

**Mme HAMRI**

M.C.A, UMMTO, Examineur

---

# REMERCIEMENTS

*Nos remerciements et reconnaissances vont à nos encadreurs  
Mr. BOUFELGHA Nabil, Mr. KASRI Ahmed pour leurs supports et  
orientation précieuse.*

*Nous remercions également Toute l'équipe de service  
Instrumentation pour leur assistance et disponibilité : Mr A. BALI,  
Mm S. TOUATI ,Mr F. BOUGHEZALA ,Mr. Khaled ,Mr  
A. YAHYAOUI. Sans oublier le service training ; Mr. ALLAOUA et  
Mr. DABOU.*

*On tient aussi à remercier les membres de jury qui nous feront  
l'honneur d'évaluer ce travail.*

---

---

## DÉDICACES

*Je dédie ce travail aux êtres les plus chers de ma vie : À mes parents, pour leur patience et leur soutien. À ma sœur Melissa, pour sa présence et ses conseils. À mes frères Massi et Samy, pour leur humour et leurs encouragements. À mon amie Dassine, pour son amitié et son soutien Et à toute ma famille.*

**H.LOUIZA**

*Ce travail est dédié à la mémoire de ma sœur Amel, ainsi qu'à mes chers parents, mes sœurs : Ouiza, Zaina, Souad et Mouna, à ma grand-mère et à mon beau-frère, qui ont tous contribué à façonner mon chemin et ont été une source d'inspiration inestimable tout au long de ma vie.*

**L.DYLIA**

*À Nawel CHEBBOUT, merci infiniment pour ton soutien et la chance précieuse que tu nous as offerte, rendant ce mémoire possible grâce à ta générosité .*

---

---

# Table des matières

Table des matières

Liste des tableaux

Table des figures

<b>1</b>	<b>PRÉSENTATION DU SITE TIGUENTOURINE</b>	<b>1</b>
1.1	Introduction . . . . .	1
1.2	Situation géographique de Tiguentourine . . . . .	1
1.3	Champs du site Tiguentourine . . . . .	2
1.4	Développement du site Tiguentourine . . . . .	3
1.5	Organisation et structure du site Tiguentourine . . . . .	4
1.5.1	Division Maintenance . . . . .	5
1.5.1.1	Service Instrumentation . . . . .	5
1.5.1.2	Service Électricité . . . . .	5
1.5.1.3	Service Mécanique . . . . .	5
1.5.1.4	Service TAR . . . . .	5
1.5.1.5	Service Planification . . . . .	5
1.5.1.6	Service Support . . . . .	6
1.5.2	Division HSE . . . . .	6
1.5.3	Division DEP . . . . .	6
1.5.4	Division TS . . . . .	6
1.5.5	Division Exploitation . . . . .	6
1.5.6	Division Logistique . . . . .	7

---

1.5.7	Division projet . . . . .	7
1.5.8	Division HR . . . . .	7
1.6	La politique HSE . . . . .	7
1.6.1	travail en hauteur . . . . .	8
1.6.2	Permis de travail (Autorisation de travail) . . . . .	8
1.6.3	Isolation des sources d'énergie . . . . .	9
1.6.4	Espace confiné . . . . .	9
1.6.5	Levage mécanique en toute sécurité . . . . .	9
1.6.6	Au volant . . . . .	9
1.6.7	Contourner les dispositifs de sécurité . . . . .	10
1.6.8	Travail à chaud . . . . .	10
1.6.9	Ligne de mire . . . . .	10
1.7	Conclusion . . . . .	11
<b>2</b>	<b>LA TURBINE À GAZ MS-5002D ET LE SYSTÈME DE CONTRÔLE MARK VIe</b>	<b>12</b>
<b>I</b>	<b>LA TURBINE A GAZ MS-5200D</b>	<b>13</b>
2.1	Introduction . . . . .	14
2.2	Définition . . . . .	14
2.3	Caractéristiques de la turbine à gaz MS-5002D . . . . .	15
2.4	Principe de fonctionnement . . . . .	16
2.5	Section principales d'une turbine à gaz MS- 5002D . . . . .	17
2.5.1	Section du compresseur . . . . .	17
2.5.2	Section de combustion . . . . .	17
2.5.3	Section de la turbine . . . . .	17
2.6	Les parties auxiliaires de la turbine . . . . .	18
2.6.1	Les paliers . . . . .	18
2.6.2	Engrenages . . . . .	19
2.6.3	Couplages . . . . .	19
2.7	Les systèmes de la turbine . . . . .	20
2.7.1	Système de démarrage . . . . .	20

---

2.7.2	Système d'admission . . . . .	20
2.7.3	Système d'échappement . . . . .	20
2.7.4	Système de l'huile de lubrification . . . . .	21
2.7.5	Système de refroidissement et d'étanchéité à air . . . . .	21
2.7.6	Système protection anti-feu (CO2) . . . . .	22
<b>II LE SYSTÈME DE CONTRÔLE MARK VIe</b>		<b>23</b>
2.8	Introduction . . . . .	24
2.9	Architecture du système . . . . .	24
2.9.1	Le Bornier . . . . .	25
2.9.2	Interface E/S . . . . .	25
2.9.3	Commutateur . . . . .	26
2.9.4	Contrôleur . . . . .	26
2.9.5	Interface de surveillance . . . . .	27
2.10	Types E/S . . . . .	28
2.10.1	Outils de l'interface opérateur et de maintenance . . . . .	28
2.10.1.1	Interface opérateur . . . . .	28
2.10.1.2	Outils de maintenance du logiciel (ToolboxST) . . . . .	29
2.11	La sélection . . . . .	30
2.11.1	Sélection analogique de valeur moyenne . . . . .	30
2.11.2	Sélectionneur logique deux sur trois . . . . .	31
2.11.3	Détecteur de désaccord . . . . .	31
2.12	Redondance . . . . .	32
2.12.1	Système Simple . . . . .	32
2.12.2	Systèmes doubles . . . . .	33
2.12.3	Systèmes triples (TMR) . . . . .	35
2.13	Conclusion . . . . .	36
<b>3 ÉTUDE ET MODÉLISATION DU SYSTÈME auto-nettoyant DE LA TURBINE MS-5002D</b>		<b>37</b>
3.1	Introduction . . . . .	37
3.2	Le Système auto-nettoyant . . . . .	37

---

3.2.1	Les composants d'un système auto-nettoyant . . . . .	37
3.2.1.1	Compartiment d'admission . . . . .	38
3.2.1.2	Le silencieux . . . . .	38
3.2.1.3	La conduite . . . . .	38
3.2.2	Les principaux filtres . . . . .	39
3.2.3	La description du système auto-nettoyant . . . . .	39
3.3	Mécanisme de filtration . . . . .	41
3.4	Principe de fonctionnement . . . . .	42
3.4.0.1	Mode automatique . . . . .	42
3.4.0.2	Mode horloge . . . . .	44
3.5	Description du système de commande . . . . .	44
3.6	Les éléments principaux du système de commande . . . . .	45
3.6.1	Carte programme/séquenceur . . . . .	45
3.6.2	Vanne pneumatique . . . . .	47
3.6.3	Pressostat Photohelic . . . . .	48
3.7	Problématique et raison pour la migration du système de contrôle . . . . .	49
3.8	Objectifs du travail . . . . .	50
3.9	Élaboration du cahier de charge . . . . .	50
3.10	Application des méthodes de la synthèse logique pour modéliser le système . . . . .	54
3.10.1	Chronogramme . . . . .	54
3.11	Conclusion . . . . .	57
<b>4</b>	<b>MÉTHODE D'IMPLÉMENTATION SOFTWARE ET HARDWARE</b>	<b>58</b>
4.1	Introduction . . . . .	58
4.2	Généralités . . . . .	58
4.3	Développement de la logique en utilisant ToolBox software . . . . .	59
4.3.1	Espace de travail . . . . .	59
4.3.2	Code d'application . . . . .	60
4.3.2.1	Blocs . . . . .	60
4.3.2.2	Macros . . . . .	61
4.3.2.3	Tâches . . . . .	61

---

4.3.2.4	Modules . . . . .	61
4.3.2.5	Fonctions . . . . .	61
4.3.3	Configuration matérielle . . . . .	62
4.3.4	Les différentes étapes de création du projet . . . . .	63
4.3.5	Déclaration des variables . . . . .	66
4.3.6	Élaboration du programme de contrôle du système autonettoyant . . . . .	67
4.3.6.1	Définition des blocs . . . . .	67
4.3.7	Le programme . . . . .	68
4.4	Développement de l'HMI en utilisant CIMPLICITY software. . . . .	70
4.4.1	Configuration de la nouvelle page graphique (CIMPLICITY) . . . . .	70
4.5	Élaboration des schémas de câblage . . . . .	73
4.5.1	Loop diagramme du pdsh . . . . .	73
4.5.2	Câblage du système auto-nettoyant (Filtre house) . . . . .	74
4.5.3	Ucs wiring . . . . .	77
4.6	Conclusion . . . . .	79

---

---

# Liste des tableaux

2.1	<i>Caractéristiques de la turbine MS-5002D</i>	15
2.2	<i>La Redondance.</i>	32
3.1	<i>Tableau des entrées soft.</i>	52
3.2	<i>Tableau des entrées hard.</i>	53
3.3	<i>Tableau des sortie soft.</i>	53
3.4	<i>Tableau des sortie hard.</i>	53
3.5	<i>Tableau des actionneurs.</i>	53
4.1	<i>Tableau des variables.</i>	66

---

# Table des figures

1.1	<i>Situation géographique du site gazier de Tiguentourine.</i>	2
1.2	<i>Les différents champs d'ILLIZI.</i>	3
1.3	<i>La structure du site Tiguentourine.</i>	4
1.4	<i>Life saving rules.</i>	8
2.1	<i>La turbine Ms-5200D</i>	15
2.2	<i>Schéma fonctionnel de la turbine.</i>	16
2.3	<i>Section combustion.</i>	17
2.4	<i>Rotor HP et rotor BP.</i>	18
2.5	<i>Vue des 4 paliers.</i>	19
2.6	<i>Système d'échappement.</i>	21
2.7	<i>Système de protection CO2</i>	22
2.8	<i>Architecture du système.</i>	24
2.9	<i>Vue réelle d'un bornier.</i>	25
2.10	<i>Interface E/S.</i>	26
2.11	<i>Contrôleur UCSA-H1A.</i>	27
2.12	<i>Écran opérateur typique.</i>	29
2.13	<i>Outil d'édition de la ToolboxST.</i>	30
2.14	<i>Exemples de sélection de valeur moyenne avec entrées normales</i>	31
2.15	<i>Système de contrôle de mark VIe simple.</i>	33
2.16	<i>Système de contrôle de mark VIe Double.</i>	34
2.17	<i>Système de contrôle de MARK VIe TMR.</i>	36
3.1	<i>Schéma du système auto-nettoyant.</i>	38

---

3.2	<i>Vue réel sur site IA du système de filtration.</i>	40
3.3	<i>Disposition des éléments filtrants du système auto-nettoyant à flux vertical.</i>	40
3.4	<i>Différentes étapes de filtration.</i>	41
3.5	<i>Opérations de filtrage.</i>	42
3.6	<i>Le système de nettoyage à l'état de repos.</i>	43
3.7	<i>Les cartouches filtrantes au moment du nettoyage.</i>	44
3.8	<i>Vue réelle des deux coffrets.</i>	45
3.9	<i>Vue réelle des cartes électroniques.</i>	47
3.10	<i>Vanne pneumatique.</i>	48
3.11	<i>Pressostat photohélioc.</i>	49
3.12	<i>Les zones du nettoyage.</i>	51
4.1	<i>Espace de travail de Toolbox.</i>	60
4.2	<i>Configuration matérielle.</i>	62
4.3	<i>Les modules ajoutés.</i>	63
4.4	<i>Bloc COMPARE_F.</i>	67
4.5	<i>Bloc CMDST.</i>	67
4.6	<i>Bloc TDPU_SEC</i>	68
4.7	<i>Bloc PULSE.</i>	68
4.8	<i>Bloc COMPTEUR.</i>	68

---

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

### CHAPITRE 1

**CPF** : Central Processing Facility

**DCS** : Distributed Control System

**DEP** : Division exploitation Puits

**ENI** : Ente Nazionale Idrocarburi

**ESD** : Emergency Shut Down system

**F&G** : Fire and Gas

**GPL** :Gaz Pétrol liquéfié

**GTG** :Gaz Turbine Generator

**HR** :Human Resource

**HSE** :Health, Safety and Environment

**IA** :In Amenas

**IAP** : In Amenas Project

**IGC** : Inlet Gas Compression

**JGC** : Japan Gasoline Corporation

**JV** : Joint-Venture

**KBR** : Kellogg Brown & Root

**PTW** : Permit To Work

**RGC** : Risiduel Gas Compressur

**TAR** : Turn Around

**TS** : Technical Support

---

## CHAPITRE 2

**E/S** : Entrée /Sortie

**EGV** :Exhaust guide valve

**GE** : General electric

**GCV** : Gaz control valve

**HMI** : Human Machine Interface

**IGV** : Inlet guide valve

**SRV** : Strock reference valve

**TMR** : Triple Modular Redundant

---

---

# *INTRODUCTION GÉNÉRALE*

Dans le domaine de la production d'énergie, les turbines à gaz jouent un rôle crucial en convertissant l'énergie du combustible en énergie mécanique. Pour assurer un fonctionnement optimal et une durabilité à long terme de ces turbines, il est essentiel de garantir un apport d'air propre et de qualité. C'est dans ce contexte que le système de filtration de l'air pour la turbine MS-5002D revêt une importance capitale. Cette étude vise à explorer en profondeur le fonctionnement, la conception et la performance du système de filtration de l'air pour la turbine MS-5002D .

Le système de contrôle actuel présente plusieurs défis notables : complexités lors des opérations de maintenance dues à la difficulté et au temps nécessaires pour ouvrir et fermer le coffret, dégradation des protections ATEX par l'ouverture répétée du coffret, absence d'historique des événements opérationnels, local d'intervention inadapté à cause du bruit généré et incertitude quant à la disponibilité future du système avec l'obsolescence imminente du séquenceur.

Nous examinerons les composants clés de ce système . En outre, nous aborderons les considérations de maintenance préventive nécessaires pour assurer un fonctionnement continu et fiable du système de filtration. En comprenant les défis et les meilleures pratiques associés à ce système, nous visons à proposer des recommandations pour son amélioration.

Le système de filtration d'air pour la turbine MS5002-D est crucial pour assurer un fonctionnement optimal en éliminant les contaminants atmosphériques à l'aide de 120 diaphragmes, 120 électrovannes et

---

480 litres. Il fonctionne en trois modes : manuel, automatique et horloge, chacun offrant des fonctionnalités spécifiques pour maintenir la performance et la durabilité de la turbine. Ces opérations sont contrôlées via des interfaces homme-machine (HMI) dédiées intégrées au système de contrôle.

Pour faciliter la compréhension de notre démarche, notre mémoire est structuré en 4 chapitres :Présentation du site Tigentourine, la turbine MS-5002D et le système de contrôle MARK VIe , Étude et modélisation du système autonettoyant de la turbine MS-5002D, Méthode d'implémentation software et hardware.

---

## Chapitre 1

# PRÉSENTATION DU SITE TIGUENTOURINE

### 1.1 Introduction

L'économie algérienne s'appuie sur un patrimoine énergétique où prédomine largement le gaz naturel, avec des réserves récupérables estimées à plus de 4.5 mille milliards m<sup>3</sup> [01]. Un des nombreux gisements de gaz naturel se situe dans le Sahara Algérien à Tiguentourine (In Amenas).

Dans ce chapitre nous présenterons le site de Tiguentourine, ainsi que le fonctionnement général du centre de traitement de gaz naturel CPF.

### 1.2 Situation géographique de Tiguentourine

Le site du projet se trouve au centre-est de l'Algérie, approximativement à 1300 Km de la capitale Alger et 40 Km au sud-ouest de la ville d'In Amenas, à une attitude de 27° 7' 60" Nord et à une longitude de 1° 52' 0" Est. Les amplitudes de température sont importantes, variant de -5 °C en hiver à 50 °C en été [2].



Figure 1.1 – Situation géographique du site gazier de Tiguentourine.

### 1.3 Champs du site Tiguentourine

L'ensemble du projet est détenu et exploité par une Joint-Venture entre la Sonatrach Algérien, le ENI Italien et le Equinor Norvégien. Le projet d'In Amenas comprend le développement de quatre champs de gaz primaire dans le bassin d'Illizi :

- Champ de Tiguentourine « 2581 Km<sup>2</sup> ».
- Champ de Hassi Farida « 243 Km<sup>2</sup> ».
- Champ de Hassi Ouan Abécheu « 149 Km<sup>2</sup> ».
- Champ de Hassi Ouan Taredert « 121 Km<sup>2</sup> » [04].

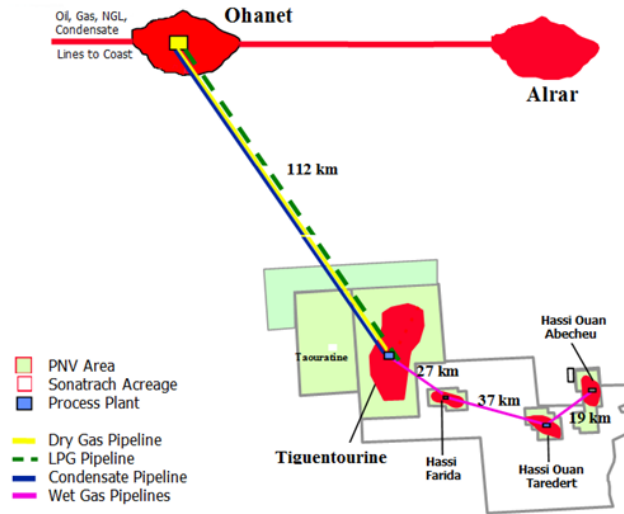


Figure 1.2 – *Les différents champs d'ILLIZI.*

#### 1.4 Développement du site Tiguentourine

Des réserves importantes sont révélées par le gisement découvert. Leur exploitation est passée par des étapes importantes qui ont marqué le développement du champ :

- En 2002 : Lancement du projet de construction du complexe Tiguentourine par une coentreprise entre le japonais JGC (Japan Gasoline Corporation) et KBR (Kellogg Brown & Root, ex-filiale de l'américain Halliburton).
- En fin 2005 : Le centre de traitement du gaz naturel et condensat est entré en production, avec une capacité de production d'environ 30 millions de Sm<sup>3</sup>/j de gaz humide et produit 25.8 millions de Sm<sup>3</sup>/j pour le gaz sec, 4.500 tonnes/j de condensat et 2700 tonnes/j pour le GPL [04].
- En 2013 : Une attaque terroriste sur l'installation d'In Amenas dans le début de l'année a considérablement fait baisser la production à environ 16 millions de Sm<sup>3</sup>/j. Les projets de développement prévus pour l'installation de production du gaz sont également ralentis.
- En 2016 : Le complexe retrouve sa pleine capacité de production avec le redémarrage du train 03,

après les dégâts qu'il a subis lors de l'attaque terroriste de Janvier 2013.

- En 2017 : La pression du réservoir a chuté à 110 bar, et le réservoir n'est plus en mesure de fournir le débit et la pression ( $\sim 70$  bar) nécessaires au bon fonctionnement du CPF. Un projet de l'unité de compression du gaz d'entrée IGC a été lancé en 2011 pour maintenir le plateau de production. Cette unité est mise en service au début de l'année 2017.

## 1.5 Organisation et structure du site Tiguentourine

La structure du site Tiguentourine se compose de 08 divisions dirigées par un directeur des opérations.

La figure (I.3) représente les différentes divisions avec ces services.

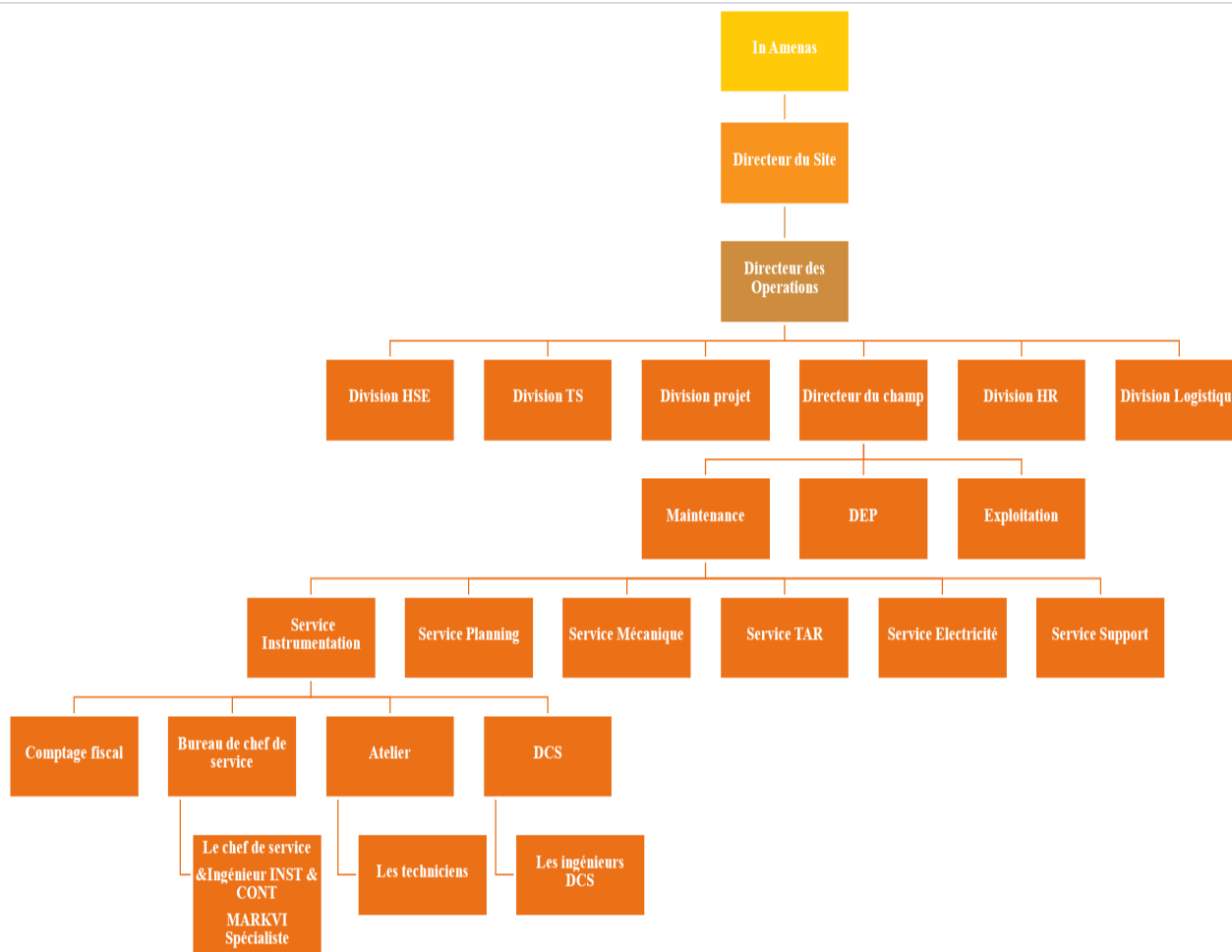


FIGURE 1.3 – *La structure du site Tiguentourine.*

### 1.5.1 Division Maintenance

Elle occupe une place très importante dans la structure, celle-ci se caractérise surtout par ses diverses activités pour le bon fonctionnement des équipements d'exploitation. Ses différents services sont chargés de faire toutes les réparations et l'entretien des différents équipements dans l'unité centrale de production (CPF) et au niveau du système de collecte tel que les puits. Cette division est composée de six services :

#### 1.5.1.1 Service Instrumentation

Il est chargé de la maintenance et de l'entretien des instruments pneumatiques et électroniques ainsi que les équipements de régulation (vannes, transmetteurs, ...etc.). Les principaux travaux de ce service sont :

- Effectuer les travaux préventifs sur les instruments de contrôle, du système ESD et du système F&G.
- Intervention en cas de panne d'un équipement.

#### 1.5.1.2 Service Électricité

Chargé de tous les travaux de nature électrique tel que le réseau d'alimentation en énergie électrique, sous station électrique, équipement, appareillage, ...etc.

#### 1.5.1.3 Service Mécanique

Ce service prend en charge tous les travaux de nature mécanique tel que : Accouplement, alignement, changement des parties défectueuses, réparation.

#### 1.5.1.4 Service TAR

Le service TAR est chargé de la préparation des arrêts programmés pour les différentes installations du site (Planification, logistique...).

#### 1.5.1.5 Service Planification

La fonction de ce service est de planifier et préparer les travaux de la maintenance (Préventive et

corrective), et de contrôler la réalisation de ces travaux. La gestion des travaux de cette division est assurée par un système GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur) .

#### **1.5.1.6 Service Support**

Ce service a le rôle de supporter et de donner l'aide à tous les autres services (mettre en place les échafaudages et participer lors d'une opération lourde).

#### **1.5.2 Division HSE**

La division HSE a le rôle d'assurer la sécurité du personnel, des installations et de l'environnement. Elle est chargée aussi de faire les évaluations des risques en participant à la délivrance du permis de travail avant d'entamer les tâches de maintenance préventive et corrective.

#### **1.5.3 Division DEP**

Cette division est chargée d'exploiter les puits, le système d'expédition et de collecte. Elle assure aussi l'acheminement du gaz issu des puits au CPF pour le traitement.

#### **1.5.4 Division TS**

Les taches principales de la division Technical Support sont les suivantes :

- Assure l'intégrité des installations vis-à-vis les normes et standards internationaux et les procédures de la JV.
- Étude et gestion de modifications MOC (Management Of Change) .
- Gestion des contrats avec les différents fournisseurs .
- Suivre la production et établir les bilans .
- Délivrer un support permanent aux différentes divisions.

#### **1.5.5 Division Exploitation**

La division exploitation est chargée de gérer toute l'unité centrale de production (CPF) et d'assurer le bon fonctionnement de tous les équipements et machines de traitement.

### 1.5.6 Division Logistique

Cette division est chargée de mettre à disposition et d'assurer tous les moyens de travail, transport, pièces de rechange ... etc. pour toutes les autres divisions.

### 1.5.7 Division projet

La division projet joue un rôle essentiel dans la planification, la coordination et la supervision des projets d'infrastructure et de développement.

### 1.5.8 Division HR

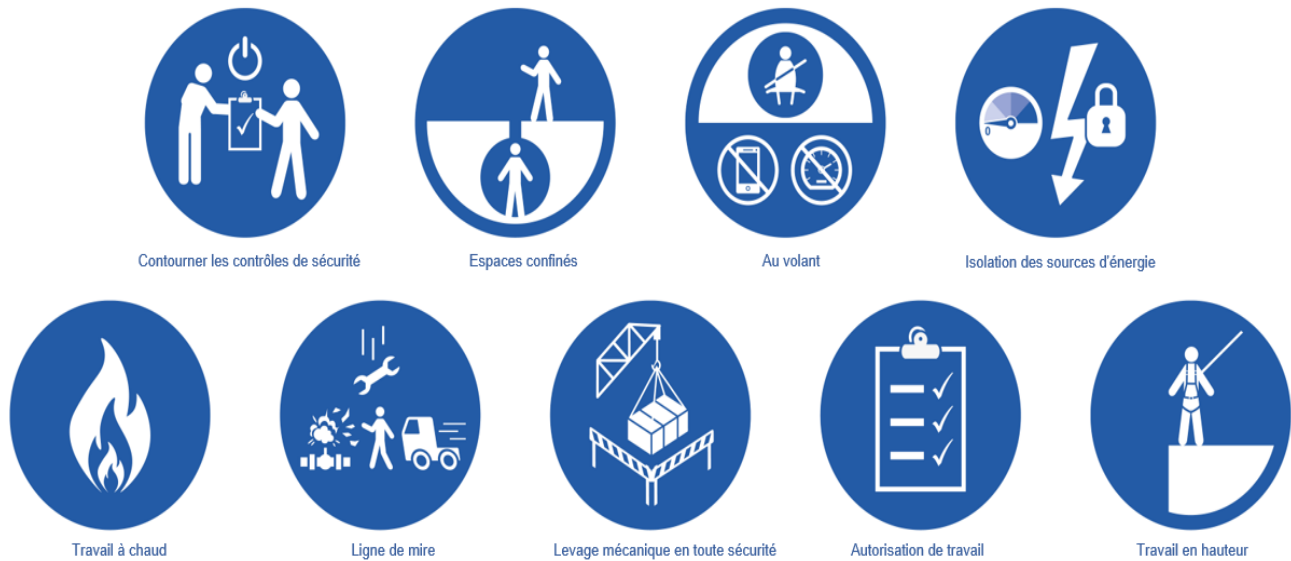
Le rôle de la division des ressources humaines est de gérer efficacement les aspects liés au personnel, tels que le recrutement, la formation, le développement professionnel, la gestion des performances, et les relations sociales au sein de l'organisation.

## 1.6 La politique HSE

La JV est engagées pour atteindre les plus hauts standards de HSE et à améliorer continuellement la performance HSE dans leurs opérations. Elle considère que la santé, la sécurité, la sûreté du personnel et l'environnement dans lequel il travaille sont essentiels à sa réussite. Les objectifs HSE sont :

- Pas d'accidents .
- Pas de blessures .
- Pas d'atteintes à l'environnement [05].

La JV a recours à un ensemble de règles, de directives et d'outils de compte rendu qui lui permettent d'assurer un haut niveau de professionnalisme et de conformité aux normes nationales et internationales. Cette figure résume les barrières de sécurité appliquées au sein de la JV, appelées "life saving rules "

FIGURE 1.4 – *Life saving rules.*

### 1.6.1 travail en hauteur

Les travaux en hauteur, lorsqu'ils présentent un risque de chute vers un niveau inférieur en l'absence de protections anti-chute, doivent être effectués depuis un plan de travail conçu et installé de manière à garantir la santé et la sécurité des travailleurs. Cela vise à prévenir tout risque de chute d'objets ou de personnes

### 1.6.2 Permis de travail (Autorisation de travail)

Le but de cette procédure est de définir la politique des opérations d'In Amenas (IAO) et la méthode de maîtrise et de coordination des travaux pour permettre aux personnels d'IA, des entrepreneurs et de la sous-traitance, d'effectuer leurs tâches en toute sécurité. Cette procédure garantira aussi des analyses de risques en ligne avec les risques qui peuvent avoir lieu durant les travaux. Tous les dangers seront ainsi identifiés et les risques seront gérés (éliminés ou atténués) avant le début du travail. Selon la nature de travail, on distingue deux types de PTW :

- Permis de travail à chaud (HWP) pour les travaux où le risque d'une présence de flamme nue ou une étincelle

- Permis de travail à froid (CWP) nécessaire pour les autres travaux [06].
- Ces deux autorisations sont liées à d'autres documents et certificats de maîtrise des risques.

### 1.6.3 Isolation des sources d'énergie

C'est un paramètre essentiel pour assurer la sécurité durant les interventions dangereuses par la présence d'un fluide sous pression ou la présence d'une énergie électrique. Cette procédure décrit les méthodes pour isoler l'énergie, verrouiller/étiqueter, le suivi de l'isolement et la remise dans son état initial d'une installation ou d'un équipement [06].

### 1.6.4 Espace confiné

Un espace confiné est un espace totalement ou partiellement fermé, qui n'est pas conçu pour être occupé par des personnes et dans lequel des blessures graves sont possibles dû à la présence de substances ou conditions dangereuses. Toute intervention dans un espace confiné nécessite un PTW, certificat d'entrer en espace confiné, un test gaz assuré par un agent HSE et la personne qui réalise la tâche doit utiliser un détecteur de gaz [06].

### 1.6.5 Levage mécanique en toute sécurité

Les opérations de levage et le matériel associé constituent un danger pour les opérations en cas de mauvaise gestion et susceptible d'entraîner des accidents et des blessures graves. Pour cela, une évaluation de cette opération, la détermination d'une méthode et le matériel de levage sont nécessaires [06].

### 1.6.6 Au volant

La sécurité routière est un ensemble de procédures établit afin de minimiser les accidents et à atténuer leurs conséquences.

- Le véhicule doit être inspecté et jugé en bon état de fonctionnement
- Les ceinture de sécurité sont installées et mises par tous les passagers
- Les conducteurs sont formés, certifiés et aptes à conduire le véhicule en question

- L'utilisation de radio ou le téléphone portable est interdite durant la conduite [06].

### 1.6.7 Contourner les dispositifs de sécurité

Les contrôles essentiels à la sécurité comprennent :

- L'équipement (comme les protections contre le feu et l'explosion, des systèmes d'atténuation, protections, systèmes de verrouillage, alarmes et équipements de surveillance essentiels à la sécurité) dont le but est de prévenir les décès ou autres accidents majeurs, limiter les conséquences d'un accident majeur, ou dont l'absence pourrait causer ou contribuer considérablement à un décès ou un autre accident majeur.
- Si les procédures ne sont pas appliquées correctement ou au bon moment pourraient entraîner un accident grave.

### 1.6.8 Travail à chaud

Les sources d'ignition sont des flammes nues ou des sources de chaleur susceptibles de provoquer l'inflammation des matériaux dans la zone de travail, comme par exemple le soudage, le meulage, le tabagisme, l'utilisation d'un chalumeau, le chargement (ou déchargement) de matériaux dangereux, les moteurs à combustion interne, les réactions chimiques, les batteries, etc. Le travail à chaud comprend tout travail qui crée une source d'ignition dans une zone susceptible de contenir des hydrocarbures ou des matériaux inflammables

### 1.6.9 Ligne de mire

Les dangers liés à la ligne de mire ne sont pas toujours évidents ou constantes, et peuvent apparaître au fur et à mesure de l'avancement de la tâche. Les personnes doivent surveiller en permanence leur environnement et se positionner de manière à éviter de se retrouver dans la ligne de mire. Pour cela, vous devez assurer votre visibilité auprès des chauffeurs de véhicules et des opérateurs d'équipements. Les personnes doivent prendre conscience qu'elles créent un risque de ligne de mire et mettent les autres ou elles-mêmes dans la ligne de mire.

## **1.7 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons donné une description générale du complexe de traitement de gaz de Tiguentourine, tout en approfondissant dans le processus et le fonctionnement des différentes unités pour traiter le gaz issu des puits, ces derniers sont dotés de tout un système pour mieux les gérer et les exploiter, ce qui sera le sujet du chapitre suivant.

---

---

## Chapitre 2

# LA TURBINE À GAZ MS-5002D ET LE SYSTÈME DE CONTRÔLE MARK VIe

---

Première partie

**LA TURBINE A GAZ MS-5200D**

## 2.1 Introduction

Les turbines sont largement utilisées dans l'industrie pour la production d'électricité, ainsi que dans d'autres applications industrielles telles que la compression de gaz naturel.

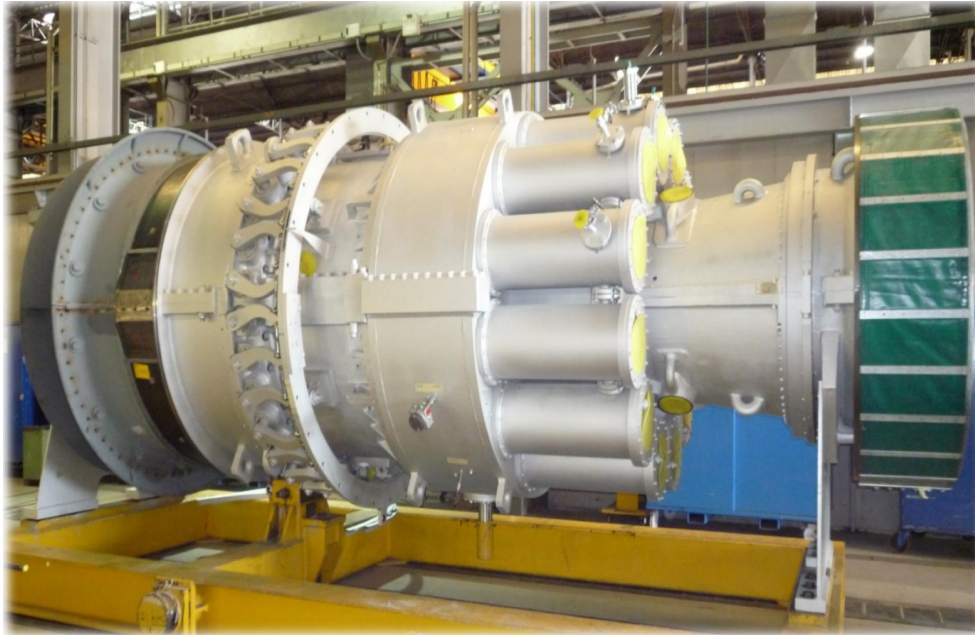
La turbine à gaz MS-5002D est un type de turbine à gaz développée par General Electric (GE). Elle est réputée pour sa fiabilité, son efficacité énergétique et sa capacité à fonctionner dans une gamme variée de conditions environnementales. Elle comprend plusieurs variantes conçues pour répondre aux besoins spécifiques des utilisateurs.

## 2.2 Définition

La turbine à gaz MS-5002D avec deux arbres, à entraînement mécanique, est une unité utilisée pour commander un compresseur à charge centrifuge attachés à l'extrémité de la turbine à gaz. Il y a des conduits et des tuyaux d'admission de l'air qui contient un système d'admission à filtre auto-nettoyant qui réduit le bruit.

La turbine à gaz est pourvue de deux roues de turbine indépendantes. La roue de turbine du premier étage, dénommée aussi de haute pression, commande le rotor du compresseur et les parties auxiliaires entraînées par l'arbre. La roue de turbine du deuxième étage, dénommée également de basse pression, commande le compresseur de charge. La turbine à gaz comprend un ensemble à quatre paliers .

Les roues de turbine sont refroidies par l'air extrait du compresseur du 11<sup>ème</sup> étages et l'écoulement d'air provenant de l'étanchéité de haute pression du compresseur. Les températures des couloirs de passage des roues sont surveillées par des thermocouples. La base qui soutient la turbine à gaz est un bâti structural en acier.

FIGURE 2.1 – *La turbine Ms-5200D*

### 2.3 Caractéristiques de la turbine à gaz MS-5002D

<b>Marque</b>	General Electric
<b>Fabricant</b>	NOUVOPIGNONE
<b>Série du modèle</b>	MS-5002D
<b>Cycle</b>	Simple
<b>Rotation de l'arbre</b>	Sens inverse des aiguilles d'une montre
<b>Type de fonctionnement</b>	Continu
<b>Débit carburant</b>	2.49 Kg/s
<b>Rendement thermique</b>	29,4%
<b>Système de démarrage</b>	Moteur électrique
<b>Atténuation du bruit</b>	Silencieux d'admission et d'échappement

TABLE 2.1 – *Caractéristiques de la turbine MS-5002D*

## 2.4 Principe de fonctionnement

Le rotor du compresseur de la turbine à haute pression est apporté initialement à 20% de la vitesse par un dispositif de démarrage. L'air atmosphérique, tiré dans le compresseur, s'écoule dans les chambres de combustion où le combustible est livré sous pression. Une étincelle à haute tension allume le mélange combustible-air. Les gaz chauds augmentent la vitesse du rotor du compresseur de la turbine à haute pression.

Pendant que la pression augmente, le rotor de la turbine de basse pression tourne et tous les deux rotors de la turbine vont accélérer jusqu'à la vitesse d'exploitation. Les produits de la combustion (les gaz de haute pression et de haute température) se répandent premièrement par la turbine de haute pression et ensuite par la turbine de basse pression puis sont évacués dans l'atmosphère.

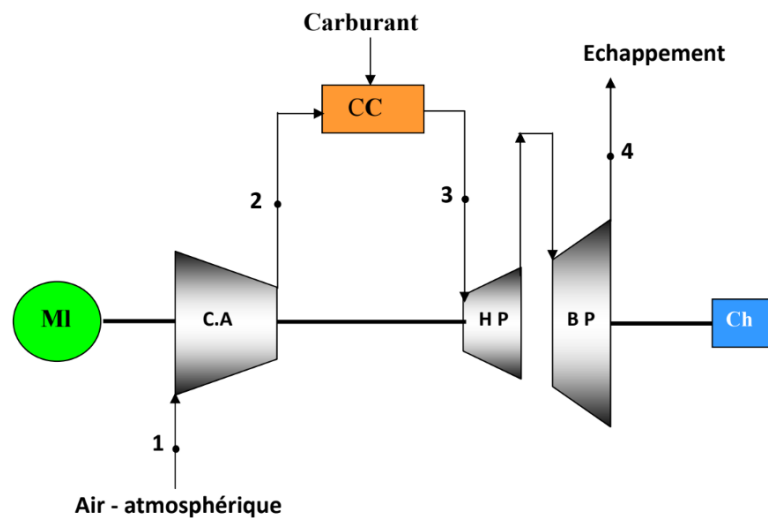


Figure 2.2 – Schéma fonctionnel de la turbine.

### Désignation :

ML : Moteur de lancement

CA : Compresseur d'air.

CC : Chambre de combustion.

HP : Turbine à gaz haute pression.

**BP** : Turbine à gaz base pression.

**Ch** : Charge (récepteur).

## 2.5 Section principales d'une turbine à gaz MS- 5002D

### 2.5.1 Section du compresseur

Elle comprend le rotor et le carter du compresseur, qui inclut aussi les 17 étages de la compression, les variables aubes directrices d'entrée et les deux aubes directrices d'évacuation . L'air comprimé sort par le carter de décharge du compresseur vers les chambres de combustion. L'air est aussi extrait du compresseur pour le refroidissement de la turbine et pour l'étanchéité du palier à huile de lubrification.

### 2.5.2 Section de combustion

La section de combustion comprend le boîtier de combustion, 12 chambres de combustion, deux bougies d'allumage, quatre détecteurs de flammes .

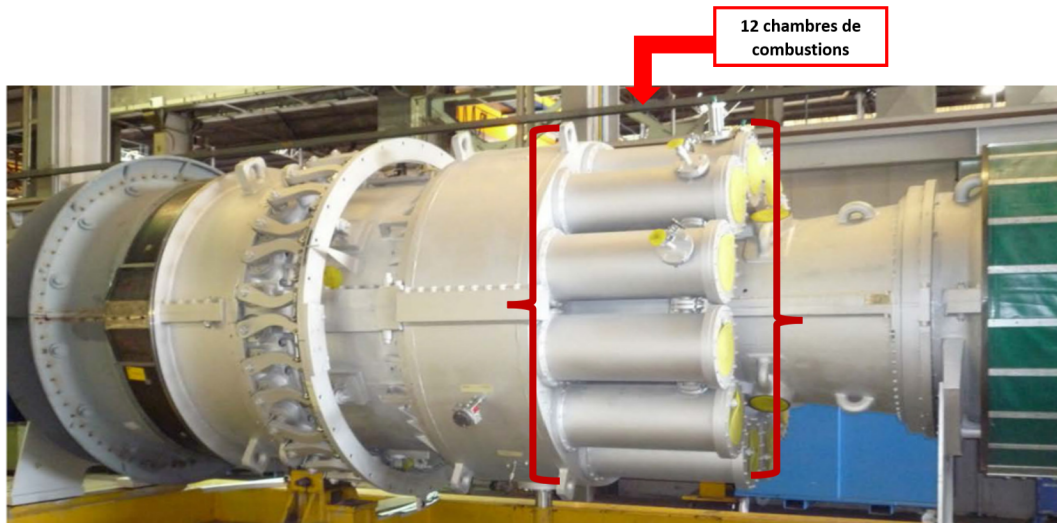


FIGURE 2.3 – *Section combustion.*

### 2.5.3 Section de la turbine

La section de la turbine est la place où les gaz à haute température provenant de la section de la

combustion sont convertis en puissance . Elle comprend le corps rotor de la turbine, l'aubage directrice du premier étage, la roue de la turbine premier étage HP, la roue de la turbine du second étage BP, l'ensemble diaphragme, l'ensemble d'étanchéité et la conduite de gaz inter-étages.



FIGURE 2.4 – *Rotor HP et rotor BP.*

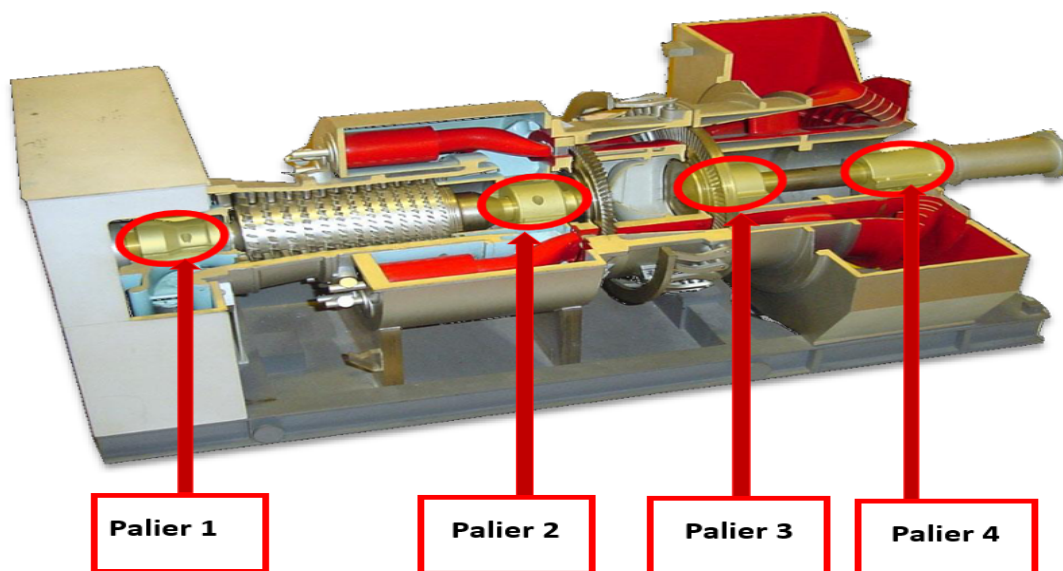
## 2.6 Les parties auxiliaires de la turbine

### 2.6.1 Les paliers

L'unité de la turbine à gaz a quatre paliers principaux qui soutiennent les rotors du compresseur et de la turbine. Les paliers sont numérotés 1, 2, 3 et 4.

- Le palier N° 1 est positionné dans le carter d'admission du compresseur.
- le palier N°2 dans le carter de décharge du compresseur.
- les paliers N° 3 et N°4 sont à l'extrémité arrière du bâti d'échappement.

Les paliers N°1 et N° 2 soutiennent le rotor du compresseur de la turbine de haute pression(HP) et les paliers N° 3 et N°4 soutiennent l'arbre du compresseur centrifuge et le rotor de la turbine de basse pression de charge(BP).

FIGURE 2.5 – *Vue des 4 paliers.*

### 2.6.2 Engrenages

L'ensemble des pièces auxiliaires comprend une boîte à engrenages reliée directement au rotor de la turbine, contrôlant les dispositifs auxiliaires et arrêtant la turbine en cas de survitesse. Les accessoires comme les pompes sont commandés par cette boîte. Elle assure le démarrage de la turbine et sa lubrification, avec un carter divisé pour l'entretien. L'embrayage-démarreur est monté sur cette boîte pour la connexion des turbines.

### 2.6.3 Couplages

Les couplages flexibles de type relais utilisés avec cette turbine ont trois fonctions : relier deux arbres rotatifs, compenser différents types de désalignement et éviter un mouvement axial excessif.

Ils sont de deux types :

celui qui relie la roue menante auxiliaire à l'arbre de la turbine et celui qui relie l'arbre de la turbine à l'équipement de charge.

## 2.7 Les systèmes de la turbine

### 2.7.1 Système de démarrage

Le moteur électrique de démarrage fait lancer la machine jusqu'à 20 % de sa vitesse, l'arbre BP étant à l'arrêt. La température maximale à l'échappement est légèrement augmentée, pendant que les aubes de la directrice présente une ouverture de 15°.

Après que les conditions précédentes soient vérifiées, les bougies d'allumage produisent des étincelles et le signal de démarrage de la turbine est annoncé.

A ce moment là, l'arbre BP se met en mouvement, les aubes de la directrice se mettent en position d'ouverture maximale, dans l'intervalle de 50 à 60 % de la vitesse nominale. L'arbre HP se désaccouple du moteur de lancement donc la turbine à gaz est auto maintenue.

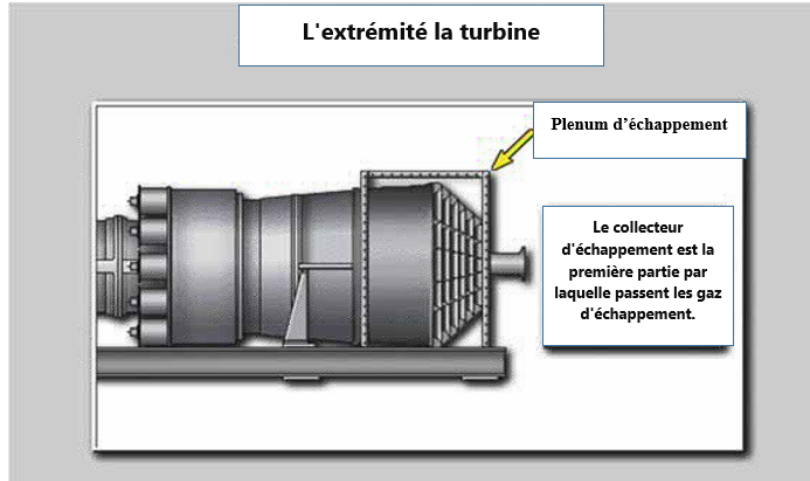
### 2.7.2 Système d'admission

Le système d'admission d'air d'une turbine à gaz assure la qualité de l'air entrant en filtrant les contaminants. Ce système est essentiel pour garantir le rendement environnementale de la turbine.

### 2.7.3 Système d'échappement

Dans la section d'échappement d'une turbine à gaz, les gaz utilisés pour faire tourner les roues de la turbine sont redirigés vers une partie appelée plenum d'échappement. Ce plenum est composé d'un assemblage de dilatation et d'un conduit de transition, qui partent verticalement de la base de la turbine. Les gaz sont ensuite acheminés vers des silencieux avant d'être libérés dans l'atmosphère. Le plenum d'échappement est situé à l'arrière de la base de la turbine, il englobe les composants de l'échappement et est conçu pour faciliter l'évacuation des gaz.

- **Collecteur échappement** : il rassemble les gaz qui restent après la combustion et les envoie hors de la turbine, permettant ainsi à la turbine de fonctionner correctement.

FIGURE 2.6 – *Système d'échappement.*

#### 2.7.4 Système de l'huile de lubrification

La turbine à gaz est lubrifiée par un système d'alimentation qui est formé d'un réservoir d'huile, des pompes, des échangeurs de chaleur (les refroidisseurs de l'huile), des filtres, des soupapes et des autres dispositifs qui assurent la commande et la protection du système.

L'huile de lubrification du système circule dans les quatre paliers de la turbine, aux pièces auxiliaires de la turbine à l'équipement entraîné par la charge.

Ce système est composé de :

- Réservoir et tuyauterie de l'huile de lubrification
- Pompes d'huile de lubrification
- Pompe principale d'huile de lubrification
- Pompe auxiliaire d'huile de lubrification
- Pompe d'urgence d'huile de lubrification

#### 2.7.5 Système de refroidissement et d'étanchéité à air

L'air est utilisé pour le refroidissement de différentes pièces de la section de la turbine et pour la mise sous pression de l'étanchéité d'huile du palier dans la turbine à gaz. L'air est obtenu du compresseur à

débit axial de la turbine à gaz .

### 2.7.6 Système protection anti-feu (CO<sub>2</sub>)

Le système de protection contre les incendies à base de CO<sub>2</sub> pour l'unité de turbine à gaz éteint les incendies en réduisant le taux d'oxygène dans le compartiment de l'atmosphère normale de 21% à moins de 15%.

Il décharge une quantité de CO<sub>2</sub> suffisante pour maintenir cette concentration d'extinction pendant une période prolongée, déclenchée automatiquement par des détecteurs de chaleur ou manuellement.



FIGURE 2.7 – *Système de protection CO<sub>2</sub>*

---

Deuxième partie

**LE SYSTÈME DE CONTRÔLE MARK VIe**

## 2.8 Introduction

Mark VIe est un système de commande flexible pour de multiples applications. Il présente des E/S interconnectées en réseau, à haute vitesse pour des systèmes simplex, à double et à triple redondance. Des communications Ethernet conformes aux normes de l'industrie sont utilisées pour les E/S, les contrôleurs, et l'interface de surveillance vers les postes de maintenance et opérateur.

## 2.9 Architecture du système

L'architecture du système de contrôle Mark VIe représente une avancée majeure dans la gestion des processus industriels. En combinant une conception modulaire et redondante avec des fonctionnalités avancées telles que les E/S interconnectées en réseau et les diagnostics sophistiqués. Les systèmes redondants transmettent les données depuis des packs E/S (I/O Pack) vers des contrôleurs. Ces dernières seront transmises du contrôleur vers l'interface de surveillance

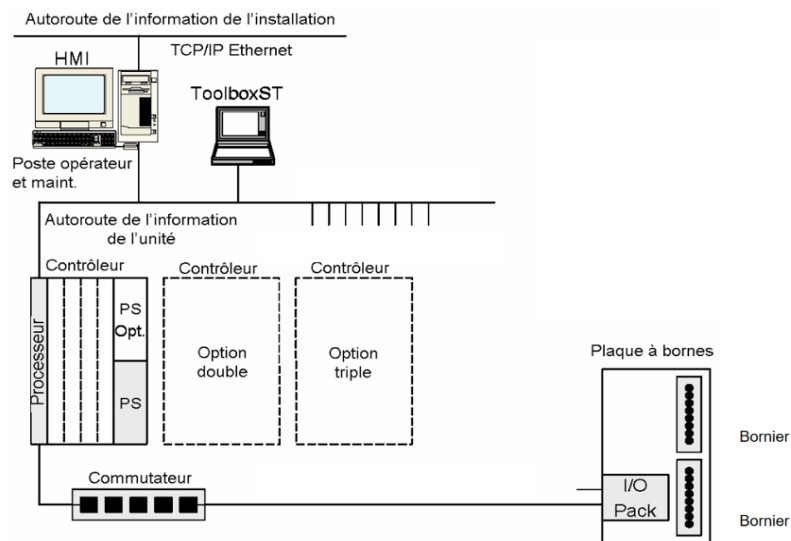


FIGURE 2.8 – *Architecture du système.*

### 2.9.1 Le Bornier

La circulation des signaux commence avec un capteur branché à un bornier sur une carte. Le bornier permet de connecter facilement plusieurs fils électriques dans un système. Il existe deux types de cartes :

- les cartes de type T.
- Les cartes de type S ont un pack E/S, elles sont plus petites que les cartes de type T.

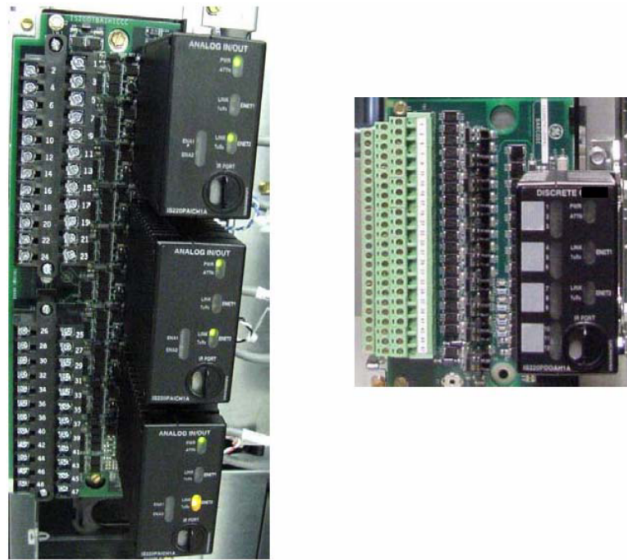


FIGURE 2.9 – *Vue réelle d'un bornier.*

### 2.9.2 Interface E/S

Dans ce système, des packs d'entrées/sorties (E/S) sont montés sur chaque carte pour gérer diverses fonctions telles que la numérisation des signaux des capteurs, l'exécution d'algorithmes et la communication avec un contrôleur séparé. Chaque pack E/S comprend une carte de processeur local fonctionnant sous le système d'exploitation QNX et une carte de saisie des données adaptée au type de dispositif d'entrée. Les processeurs locaux dans les packs E/S sont plus rapides que le système de commande global.

On résume ces caractéristiques en dessous :

1. Doubles ports Ethernet 100 MB.
2. Ports bidirectionnels simultanés 100 MB.

3. Réparation en ligne par pack E/S.
4. Capteur de température.
5. Processeur : CPU RISC 266 mHz à 32 bits.

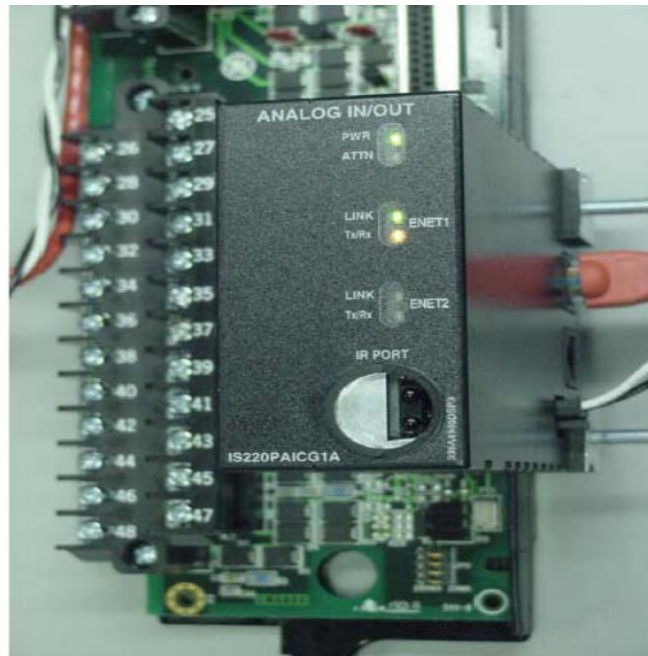


FIGURE 2.10 – *Interface E/S.*

### 2.9.3 Commutateur

Les commutateurs gèrent les communications pour éviter les conflits et améliorer la fiabilité du réseau.

### 2.9.4 Contrôleur

Un contrôleur communique à l'aide d'E/S interconnectées en réseau sur un ou plusieurs réseaux Ethernet. Le boîtier du contrôleur est constituée par un processeur principal et un ou deux blocs d'alimentation. Un système d'exploitation QNX multitâche est utilisé pour le processeur principal et les E/S. Les contrôleurs fonctionnent en continu pour surveiller les données d'entrée via un système appelé IONet.

Avec la redondance double, les données sont envoyées à deux contrôleurs via deux réseaux distincts. Les données de sortie sont gérées par un ensemble de dispositifs qui sélectionne le meilleur signal. Pour

les dispositifs critiques, jusqu'à trois ensembles de dispositifs de sortie peuvent être utilisés. Les systèmes à double redondance peuvent gérer des capteurs simples, doubles ou triples et rester opérationnels même en cas de panne d'un contrôleur ou d'un bloc d'alimentation.

Les systèmes à triple redondance offrent une protection supplémentaire contre les pannes temporaires. Ils utilisent une méthode de sélection 2 sur 3 pour identifier et rejeter les composants défectueux. Les capteurs peuvent être simples, doubles ou triples.



FIGURE 2.11 – *Contrôleur UCSA-H1A.*

### 2.9.5 Interface de surveillance

L'interface de surveillance est un système informatisé qui recueille et analyse en temps réel les données provenant de divers équipements et capteurs sur le site. Ces données peuvent inclure des informations sur la pression, la température, le débit, la qualité du produit.

L'interface de surveillance permet aux opérateurs et aux ingénieurs de surveiller de près les opérations sur le site, de détecter les anomalies ou les problèmes potentiels, et de prendre des mesures correctives immédiates si nécessaire.

## 2.10 Types E/S

Deux types d'entrées/sorties (E/S) sont disponibles :

- Les E/S générales pour contrôler le processus et les applications de la turbine.
- Les E/S spécifiques pour la turbine pour une connexion directe aux capteurs et actionneurs de la turbine. Cela réduit le nombre de points de défaillance potentiels, améliorant ainsi la fiabilité et réduisant les besoins en maintenance.

### 2.10.1 Outils de l'interface opérateur et de maintenance

#### 2.10.1.1 Interface opérateur

Les HMI typiques sont des ordinateurs sous Windows équipés du logiciel d'affichage opérateur CIM-PLICITY et des pilotes de communication pour les autoroutes numériques. Ils permettent à l'opérateur de contrôler en temps réel les turbines et d'afficher les données et alarmes sur des écrans graphiques. Les informations détaillées sur les diagnostics d'E/S et la configuration sont accessibles via une application de boîte à outils. Les HMI peuvent être configurées en tant que serveurs ou visualiseurs et être reliées à une autoroute numérique, avec une option de redondance pour une fiabilité accrue. Elles peuvent être montées sur une armoire, une console de commande ou une table.

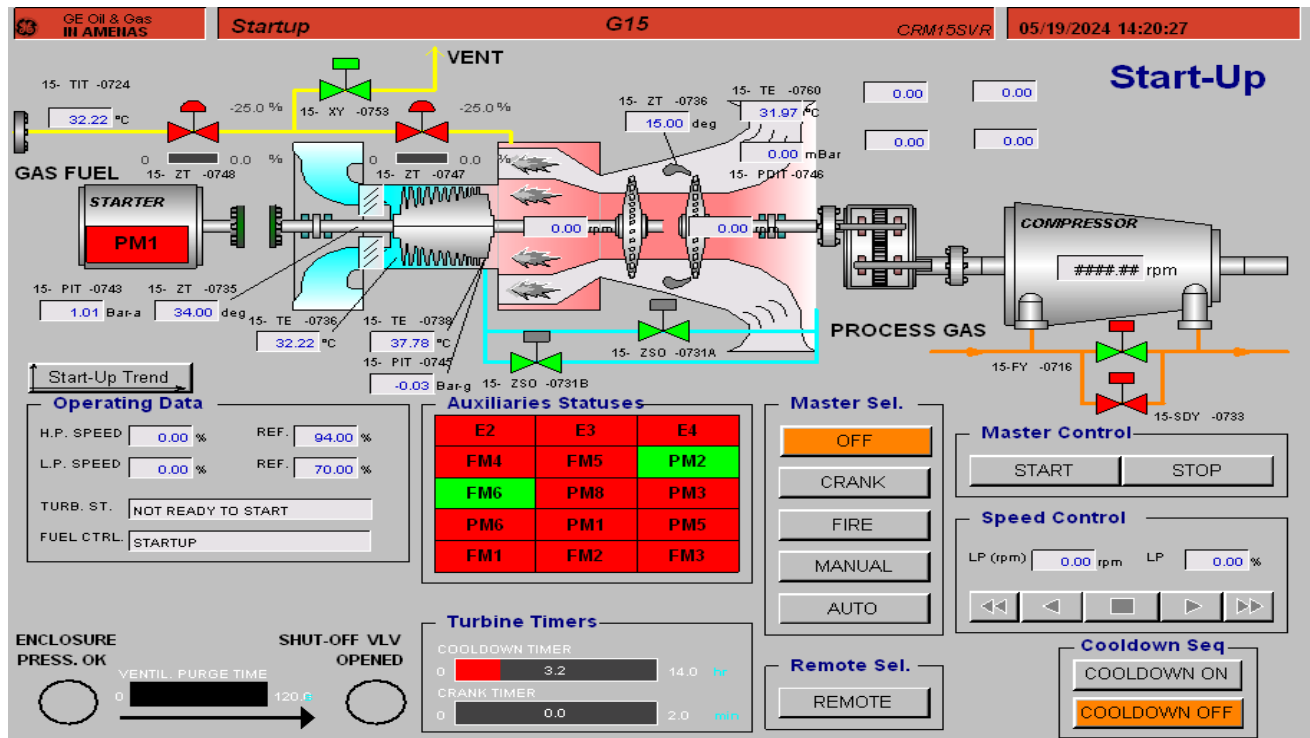


FIGURE 2.12 – Écran opérateur typique.

### 2.10.1.2 Outils de maintenance du logiciel (ToolboxST)

Les outils de maintenance du logiciel (ToolboxST) permettent d'entretenir le logiciel d'application du système Mark VIe, qui est programmable et intègre des commandes GE et des algorithmes de protection. Ils offrent plusieurs bibliothèques de programmes par blocs, des options de protection par mot de passe et la possibilité de télécharger des changements au logiciel pendant le fonctionnement du système sans redémarrage.

Dans les systèmes de commande redondants le logiciel d'application est identique sur chaque contrôleur et les téléchargements de changements sont automatiquement distribués. Le logiciel est stocké dans une mémoire non volatile et fonctionne séquentiellement avec des données dynamiques affichées sous forme de blocs de fonction et de schémas à relais.

La documentation du logiciel est générée à partir du code source et peut être compilée et imprimée sur place. Ces outils de maintenance sont accessibles via l'HMI ou comme un logiciel séparé sur un ordinateur

Windows.

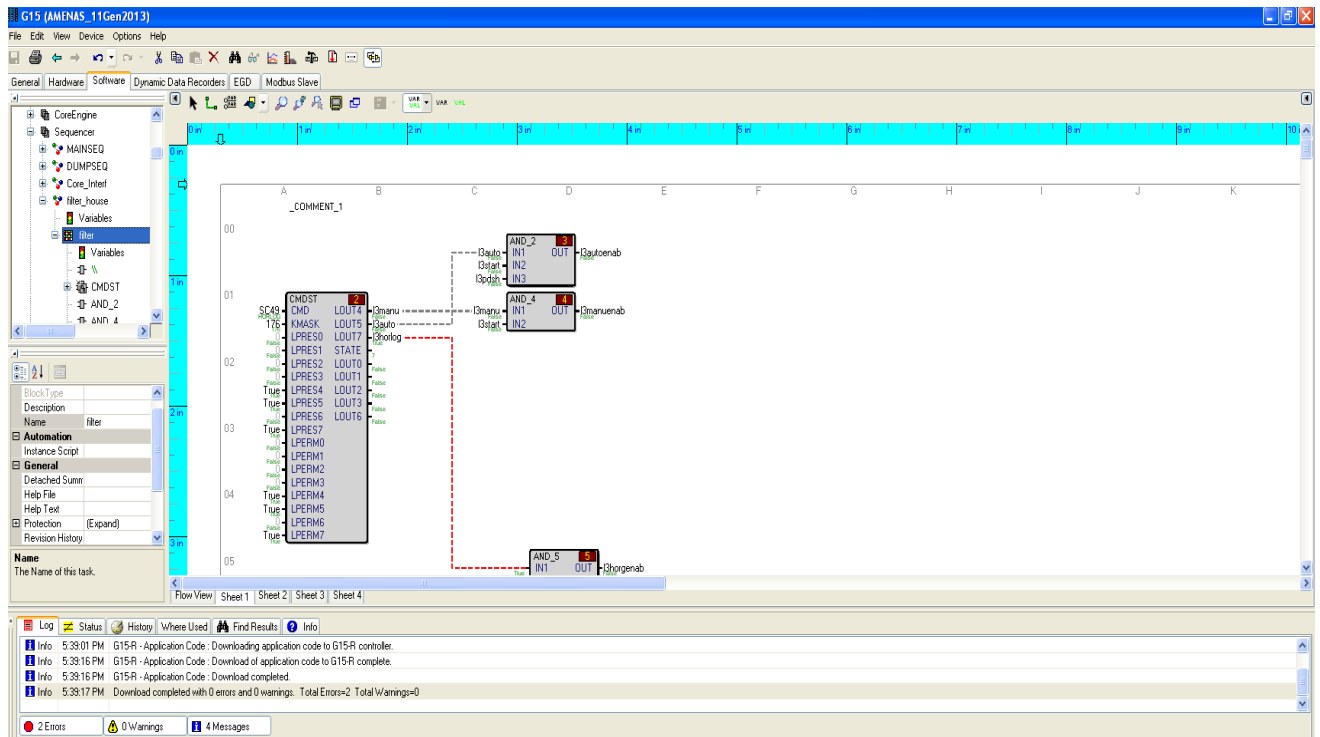


FIGURE 2.13 – *Outil d'édition de la ToolboxST.*

## 2.11 La sélection

Dans le système de contrôle Mark VIe la sélection se divise entre sélection logique et sélection analogique. En outre, les mécanismes de détection par défaut choisissent directement leurs propres entrées ainsi que leurs états désignés.

### 2.11.1 Sélection analogique de valeur moyenne

Les signaux analogiques sont convertis en format à virgule flottante par le groupe d'E/S. L'opération de sélection se produit dans chacun des trois modules des contrôleurs (R, S, et T). Chaque contrôleur reçoit une copie des données des deux autres canaux. Pour chaque point de données sélectionné, le contrôleur possède trois valeurs, y compris la sienne. Le sélectionneur de valeur moyenne choisit la valeur moyenne des

trois comme sortie du sélectionneur. Il s'agit de la valeur la plus probable des trois valeurs se rapprochant le plus de la valeur réelle.

Entrées de détecteur	Valeur		Valeur		Valeur	
	d'entrée du détecteur	moyenne sélectionnée	d'entrée du détecteur	moyenne sélectionnée	d'entrée du détecteur	moyenne sélectionnée
Détecteur 1	981		910		1020	
Détecteur 2	985	<b>981</b>	985	<b>978</b>	985	<b>985</b>
Détecteur 3	978		978		978	

FIGURE 2.14 – *Exemples de sélection de valeur moyenne avec entrées normales .*

### 2.11.2 Sélectionneur logique deux sur trois

Chacun des contrôleurs possède trois copies des données pour le sélectionneur logique. La sélection est un processus logique simple, qui considère les trois valeurs et qui choisit les deux valeurs qui conviennent.

### 2.11.3 Détecteur de désaccord

Un détecteur de désaccord analyse en permanence les ensembles de données présélectionnées des entrées et déclenche une alarme si un désaccord est détecté entre les trois valeurs. Tout désaccord entre les signaux logiques présélectionnés engendre une alarme. Pour les signaux analogiques une comparaison est effectuée entre la valeur sélectionnée et chacune des trois valeurs présélectionnées.

Pour chaque valeur le delta est comparé à une valeur limite programmable par l'utilisateur. La limite peut être réglée en fonction des besoins, afin d'éviter les nuisances de l'alarme mais informe que l'une des valeurs présélectionnées a dépassé le niveau normal.

Chaque contrôleur est nécessaire pour comparer uniquement ses propres valeurs présélectionnées avec la valeur sélectionnée.

## 2.12 Redondance

Le système de contrôle Mark VIe offre des niveaux évolutifs de redondance pour répondre aux besoins spécifiques de chaque application. Du système de base avec un contrôleur simple à des configurations plus avancées avec deux ou trois contrôleurs, des modules d'E/S TMR et plusieurs réseaux, la redondance est adaptable pour garantir la fiabilité et la disponibilité du système.

Voici un résumé des options de redondance disponibles :

1. Système Simple
2. Système Double
3. Système TMR (Triple Modular Redundant)

Chaque application peut combiner ces options de redondance de différentes manières en fonction de ses besoins spécifiques. De plus, ces configurations peuvent être installées localement ou à distance pour une flexibilité optimale.

Blocs d'alimentation	simple, double, et triple
Contrôleurs (processeur principal)	simple, double, et triple
Redondance réseau E/S	simple, double, et triple
Packs E/S par bornier	simple, double, et triple
Ports Ethernet / Pack E/S	simple ou double

TABLE 2.2 – *La Redondance.*

### 2.12.1 Système Simple

La structure de contrôle simple comporte un contrôleur relié à une interface Ethernet par l'intermédiaire d'un réseau Ethernet (IONet). Aucune redondance n'est assurée et aucune réparation en

ligne de fonctions critiques n'est alors possible. Le remplacement en ligne d'E/S non critiques (là où la perte de l'E/S n'arrête pas le processus) est possible. Chaque groupe d'E/S envoie un paquet d'entrée au début de la trame dans son réseau primaire. Le contrôleur visualise les entrées à partir de tous les groupes d'E/S, exécute un code d'application et diffuse des paquets de sortie contenant les sorties pour tous les modules d'E/S.

Le diagramme ci-dessous présente la structure typique d'un contrôleur simple. Système de contrôle Mark VIe simple Régulateurs Réseau E/S Modules E/S. [15]

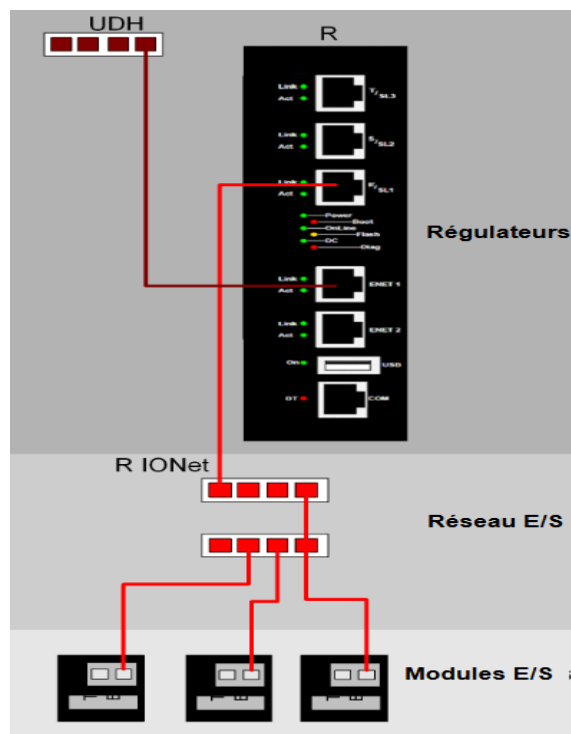


FIGURE 2.15 – *Système de contrôle de mark VIe simple.*

### 2.12.2 Systèmes doubles

La structure du système de contrôle double comprend deux contrôleurs, deux IONet et des modules d'E/S TMR uniques ou alimentés. Dans un système de contrôle Mark VIe double, la fiabilité est significativement renforcée par rapport à un contrôleur simple. Tous les composants du réseau et du contrôleur

bénéficient d'une redondance et peuvent être réparés en ligne, offrant ainsi une disponibilité améliorée du système.

Les deux contrôleurs reçoivent des entrées des modules d'E/S sur deux réseaux distincts et transmettent les sorties sur leur réseau respectif en permanence. En cas de panne d'un contrôleur ou d'un composant du réseau, le système continue à fonctionner sans interruption, sans nécessiter de détection d'erreur ou de temps de basculement.

Cette configuration offre une robustesse accrue et une fiabilité optimale, adaptée aux applications critiques. Le diagramme suivant présente un système de contrôle Mark VIe double.

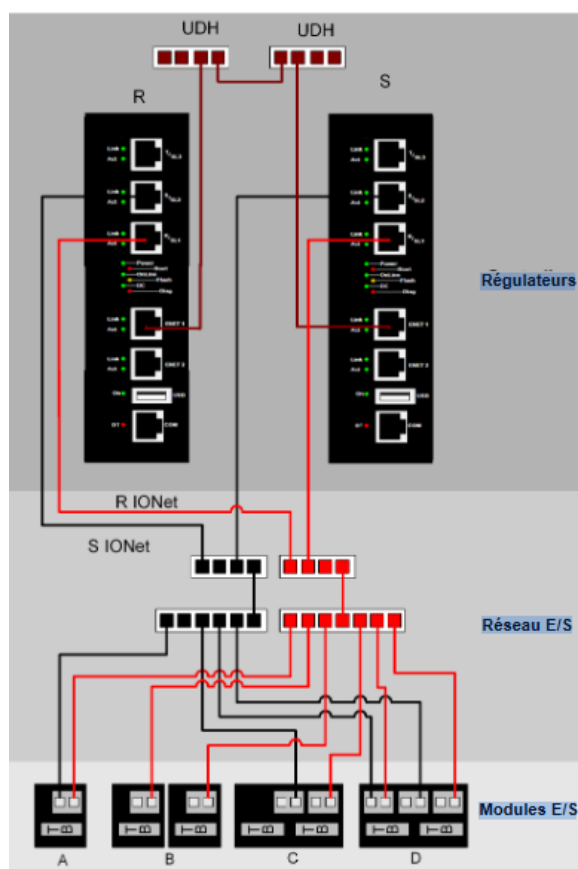


FIGURE 2.16 – *Système de contrôle de mark VIe Double.*

### 2.12.3 Systèmes triples (TMR)

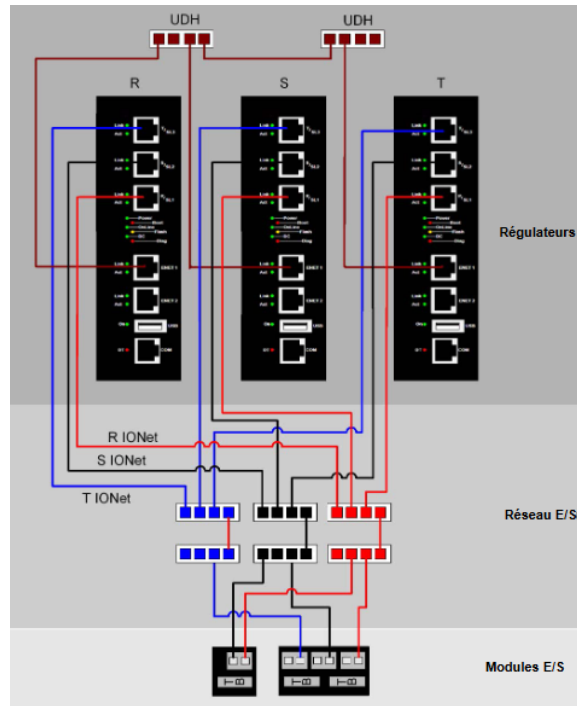
Dans un système de contrôle Mark VIe TMR (Triple Modular Redundant), la structure comprend trois contrôleurs, trois IONet, et des modules d'E/S TMR uniques ou élargis. La fiabilité et la disponibilité sont considérablement améliorées par rapport aux contrôleurs doubles en raison d'une meilleure capacité de détection d'erreur.

En plus des caractéristiques de double redondance, le contrôleur TMR envoie trois sorties indépendantes vers tous les modules d'E/S, et les variables d'état entre les contrôleurs sont sélectionnées plutôt que bloquées.

Les trois contrôleurs envoient des sorties indépendantes vers tous les modules d'E/S, ce qui permet une redondance triplée et une meilleure résilience face aux pannes. La sélection des variables d'état entre les contrôleurs permet une coordination plus flexible et une meilleure gestion des erreurs. La structure typique d'un système de contrôle Mark VIe TMR comprend des régulateurs, un réseau E/S, et des modules d'E/S.

Cette configuration offre une fiabilité et une disponibilité maximales, en particulier pour les applications critiques nécessitant une continuité opérationnelle ininterrompue.

---

FIGURE 2.17 – *Système de contrôle de MARK VI E TMR.*

### 2.13 Conclusion

La turbine MS-5002D associée au contrôleur Mark VIe représente une combinaison puissante dans le domaine de la production d'énergie. Avec ses performances robustes et sa capacité à gérer efficacement les variations de charge elle offre une solution fiable pour répondre aux besoins énergétiques des installations industrielles. Le contrôleur Mark VIe apporte une gestion avancée et précise du fonctionnement de la turbine, assurant ainsi une performance optimale tout en facilitant la surveillance et la maintenance. En somme, cette association entre la turbine MS-5002D et le contrôleur Mark VIe constitue un choix de confiance pour les opérations de production d'énergie à grande échelle.

---

## Chapitre 3

# ÉTUDE ET MODÉLISATION DU SYSTÈME auto-nettoyant DE LA TURBINE MS-5002D

### 3.1 Introduction

Le bon fonctionnement et la fiabilité d'une turbine à gaz dépendent en grande partie de la qualité et de la propreté de l'air entrant dans le système. Ainsi, pour assurer un fonctionnement optimal, il est essentiel de traiter l'air atmosphérique avant son admission dans la turbine.

Dans une turbine à gaz, l'air aspiré par le compresseur doit être préalablement filtré pour éliminer les poussières et les aérosols, cela est nécessaire afin de prévenir toute détérioration du compresseur comme le risque d'érosion et de modification du profil des aubes où des risques de corrosion par des sulfates alcalins peuvent survenir.

### 3.2 Le Système auto-nettoyant

#### 3.2.1 Les composants d'un système auto-nettoyant

Le système auto-nettoyant comprend un compartiment d'admission élevé et un réseau de conduits d'air avec amortissement du bruit (silencieux) connecté au plenum d'admission de la turbine. Il est chargé de fournir à son compresseur l'air nécessaire à la combustion du carburant et à la production d'énergie.

### 3.2.1.1 Compartiment d'admission

Le compartiment d'admission monté hors de la base intègre un système de filtration auto-nettoyant avec des filtres à haute efficacité. Les cartouches de filtre sont nettoyées séquentiellement par des impulsions d'air sous pression pendant le fonctionnement de la turbine.

### 3.2.1.2 Le silencieux

Le silencieux est conçu pour guider efficacement le flux d'air vers l'entrée de la turbine à gaz à travers des cloisons pleines. Il guide l'air verticalement à travers ces matériaux pour minimiser les nuisances sonores. Ce système maintient un flux d'air efficace .

### 3.2.1.3 La conduite

La conduite dans une turbine à gaz est un passage par lequel l'air circule vers la turbine. Elle assure un flux d'air régulier pour maximiser sa performance. Sa conception doit garantir l'étanchéité pour éviter les particules indésirables et maintenir un fonctionnement efficace de la turbine.

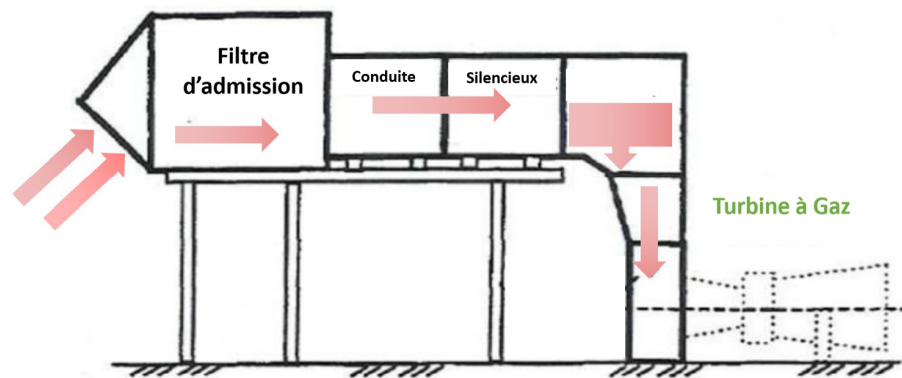


FIGURE 3.1 – Schéma du système auto-nettoyant.

### 3.2.2 Les principaux filtres

Les filtres principaux doivent assurer une filtration d'air hautement efficace pour les turbines à gaz opérant dans divers environnements exigeants. Ils sont généralement classés en deux grands groupes : les filtres auto-nettoyants et les filtres statiques (filtres panneaux).

- **Les filtres auto-nettoyants** : sont utilisés lorsque les particules restent principalement en surface. Ils sont conçus de manière à pouvoir changer l'orientation du flux d'air à travers le filtre, ce qui permet d'éliminer automatiquement les particules accumulées vers l'extérieur de la chambre d'admission.
- **Les filtres statiques** : sont chargés de purifier l'air avant qu'il n'atteigne le compresseur. Un entretien régulier, tel que le remplacement périodique des médias filtrants ou le nettoyage des filtres est nécessaire pour maintenir leur efficacité à long terme.

### 3.2.3 La description du système auto-nettoyant

Le système auto-nettoyant est conçu pour soutenir le fonctionnement des turbines et des générateurs dans divers environnements qu'il s'agisse de déserts poussiéreux, de zones urbaines ou industrielles, de régions côtières ou de régions glaciales. Leur capacité d'auto-nettoyage réduit le besoin d'entretien entre les changements de filtres, ce qui représente un avantage pour le personnel d'entretien. Grâce à leur cadre en polymère durable et à leur conception cannelée, ils ne nécessitent pas d'écrans métalliques pour maintenir le matériau en place.

Des filtres spéciaux sont nécessaires pour éliminer les particules de sel corrosif de l'air d'admission. Ces filtres sont utilisés en conjonction avec un montage classique du filtre à air de la turbine. Le premier ensemble de filtres peut être soit statique soit à impulsion. Le filtre à sel est positionné en aval du premier filtre et agit comme une barrière contre l'entrée de sel. Ce réseau est composé d'une série d'éléments filtrants séparés par des déflecteurs inclinés.

Les déflecteurs ont plusieurs fonctions dont la principale est de rediriger le flux d'air traversant à travers les médias filtrants. Ils recueillent également les gouttelettes de sel accumulées et les dirigent vers l'avant du module, à l'opposé de la direction du flux d'air.

---

Enfin, ils fournissent une surface sur laquelle les contaminants peuvent se déposer, permettant une séparation inertielle des plus grosses gouttelettes.



FIGURE 3.2 – *Vue réel sur site IA du système de filtration.*



FIGURE 3.3 – *Disposition des éléments filtrants du système auto-nettoyant à flux vertical.*

### 3.3 Mécanisme de filtration

L'admission d'air commence par le filtrage des impuretés à travers un filtre à air pour assurer sa propreté. Ensuite, l'air pur est dirigé vers la chambre de combustion où il se mélange au carburant, créant ainsi le mélange nécessaire à la combustion. Cette séquence assure une combustion efficace et maximise les performances du système.

Le Système de Filtration est configuré en série pour répondre à des applications spécifiques, garantissant ainsi l'efficacité en empêchant le passage des particules indésirables.

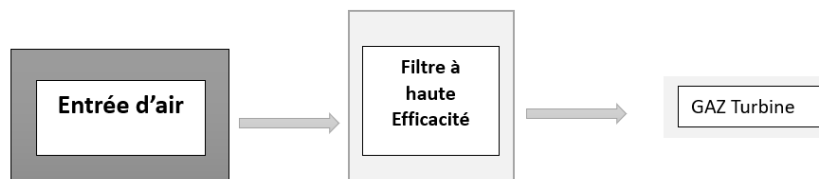


FIGURE 3.4 – *Différentes étapes de filtration.*

Les filtres sont conçus pour utiliser une variété de mécanismes afin d'éliminer les particules de différentes tailles. Le choix du mécanisme de filtration dépend de plusieurs facteurs, notamment la vitesse à travers le filtre, la taille des fibres, la densité de l'empilement des médias filtrants, la taille des particules et les charges électrostatiques.

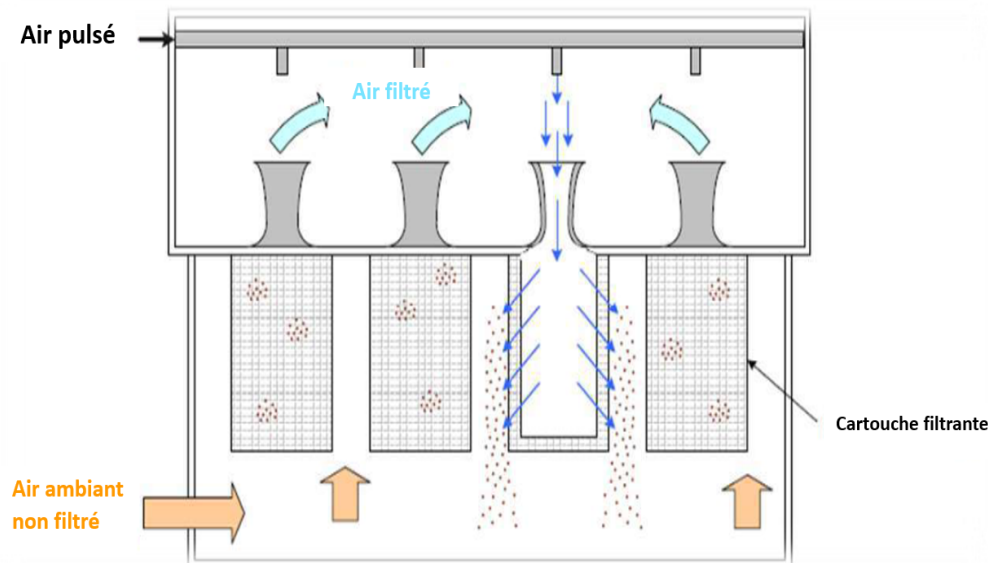


FIGURE 3.5 – *Opérations de filtrage.*

### 3.4 Principe de fonctionnement

#### 3.4.0.1 Mode automatique

##### ➤ État de repos

L'air pollué est aspiré par la machine à travers les filtres, puis l'air nettoyé continue son chemin vers la machine à travers une zone propre. Le collecteur d'air comprimé, ainsi que les zones en amont de la vanne pneumatique et le tuyau d'évent, sont sous une pression de 7 bars.

L'électrovanne est maintenue fermée grâce à la pression de l'air comprimé agissant sur le piston, et la vanne pneumatique est maintenue fermée par un ressort, la membrane étant en équilibre. Tant que la dépression dans le module ne atteint pas le niveau pré-réglé pour le nettoyage, le séquenceur/programmeur reste inactif.

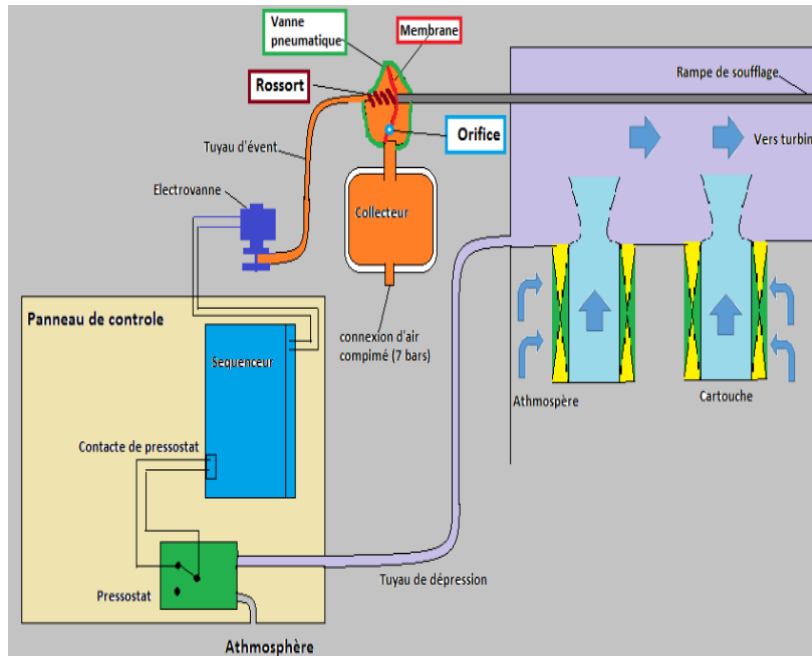


FIGURE 3.6 – *Le système de nettoyage à l'état de repos.*

### ➤ Nettoyage

Lorsque les cartouches filtrantes deviennent sales, cela crée une pression plus basse dans le système. Quand cette pression atteint un certain niveau, un appareil appelé pressostat démarre le processus de nettoyage.

Le pressostat envoie un signal électrique à un dispositif appelé séquenceur/programmeur. Ce dernier envoie alors une impulsion électrique à une valve spéciale appelée vanne solénoïde, qui soulève un piston. Cela permet à l'air comprimé de pénétrer dans un système de nettoyage des cartouches filtrantes.

L'air comprimé traverse ensuite les cartouches filtrantes dans le sens opposé au flux d'air normal, ce qui les nettoie. Lorsque l'impulsion électrique du séquenceur/programmeur s'arrête, le système revient à son état de repos. Si malgré le nettoyage, la pression dans le système reste trop basse, le séquenceur/programmeur continue le processus de nettoyage jusqu'à ce que la pression atteigne un niveau sûr. Une fois cela fait, le pressostat arrête le cycle de nettoyage.

Les cartouches filtrantes sont des composants conçus pour retenir les particules et les contaminants de l'air, assurant ainsi un air plus propre et plus sain dans le système.

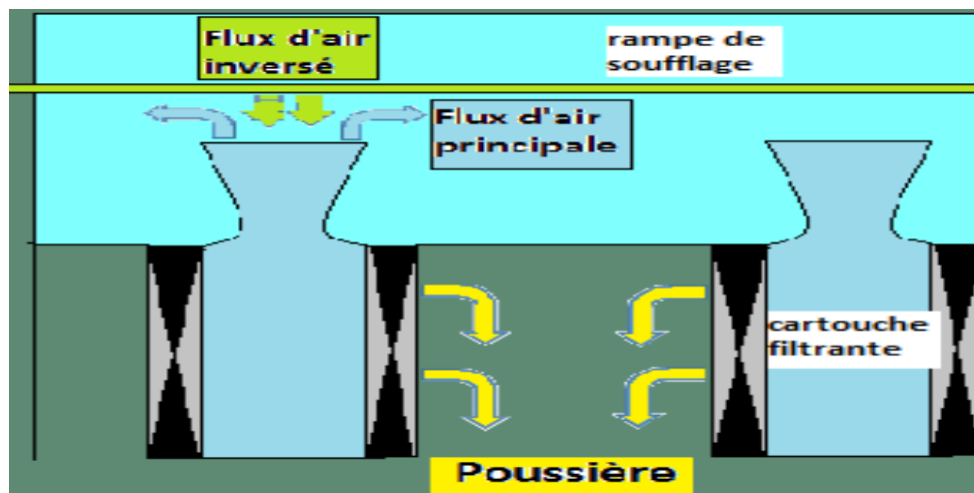


FIGURE 3.7 – Les cartouches filtrantes au moment du nettoyage.

#### 3.4.0.2 Mode horloge

Un interrupteur est utilisé pour faciliter la vérification du mécanisme de nettoyage et pour permettre le nettoyage lorsque la turbine est à l'arrêt pendant un laps de temps spécifique. Il est important de noter que le nettoyage est plus efficace lorsque la turbine est à l'arrêt. Cela permet de retrouver la perte de charge opérationnelle la plus basse.

### 3.5 Description du système de commande

Dans le boîtier de contrôle constitué de 2 coffrets, les fusibles sont installés dans le deuxième coffret pour assurer la protection des circuits électriques. Le PDSH détecte les variations de pression et déclenche des alarmes en cas de situations anormales. Les relais servent à contrôler et à commuter différents circuits électriques en fonction des signaux reçus. L'horloge permet de synchroniser les opérations et les événements selon des plages horaires spécifiques. Le totalisateur enregistre et affiche la quantité totale d'un certain paramètre, tel que le volume de fluide traversant un système. Le transformateur convertit la tension électrique pour l'adapter aux besoins spécifiques des équipements du système.



FIGURE 3.8 – Vue réelle des deux coffrets.

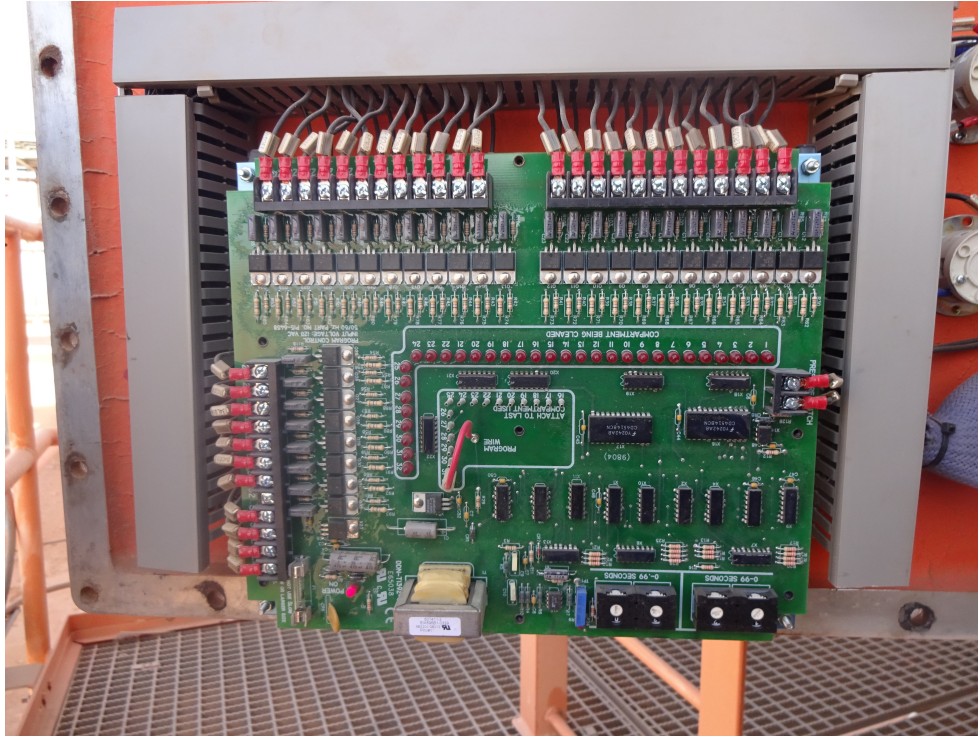
### 3.6 Les éléments principaux du système de commande

#### 3.6.1 Carte programme/séquenceur

Le séquenceur a pour rôle de faire fonctionner successivement plusieurs solénoïdes (électrovannes). Il

contrôle le timing et la durée des signaux envoyés aux solénoïdes, et ces paramètres peuvent être ajustés selon les besoins. Il se présente sous la forme d'une carte électronique regroupant 8 fonctions distinctes.

1. L'alimentation stabilisée fournit une tension de 105 à 135 V à une fréquence de 50-60 Hz.
  2. L'oscillateur génère une onde carrée dont la fréquence est ajustable.
  3. Le diviseur de fréquence divise la fréquence de l'oscillateur en quatre.
  4. La roulette à affichage permet de régler l'impulsion ou les valeurs de consigne. La durée de l'impulsion peut être réglée de 10 à 990 ms par incréments de 10 ms, et le temps entre les impulsions peut être réglé de 1 à 99 secondes par incréments de 1 seconde.
  5. L'impulsion électrique souhaitée est formée à partir des signaux du diviseur de fréquence et des valeurs de consigne. Elle a généralement une forme presque carrée et dure autant que l'impulsion désirée.
  6. L'entrée du pressostat coupe les signaux vers la mémoire et arrête la séquence lorsque les contacts du pressostat sont fermés. Une liaison optique est établie entre les terminaux du pressostat et l'électronique du séquenceur sur la carte séquenceur.
  7. La mémoire distribue les signaux reçus par un microprocesseur vers les sorties appropriées. Lorsque l'ordre de nettoyage cesse, la dernière sortie alimentée est enregistrée. Lorsque l'ordre de nettoyage est rétabli, le signal est dirigé vers la sortie suivante.
  8. Le microprocesseur commande chaque triac, qui à leur tour, alimente un solénoïde. Lorsqu'un triac est activé, une petite lampe LED s'allume pour signaler son fonctionnement.
-

FIGURE 3.9 – *Vue réelle des cartes électroniques.*

### 3.6.2 Vanne pneumatique

La vanne pneumatique RCA 25 TD est une vanne en angle conçue pour une réponse rapide. Elle fonctionne avec une membrane épaisse assurant une longue durée de vie. Son fonctionnement repose sur l'équilibre et le déséquilibre des pressions agissant de part et d'autre de la membrane grâce à un orifice prévu à cet effet.

Lorsque l'orifice de commande est ouvert vers l'atmosphère par l'électrovanne, la vanne s'ouvre et l'air comprimé s'échappe par la sortie. Une fois que l'orifice se referme, l'équilibre des pressions est rétabli, ce qui permet au ressort de refermer la vanne, interrompant ainsi le flux d'air comprimé.

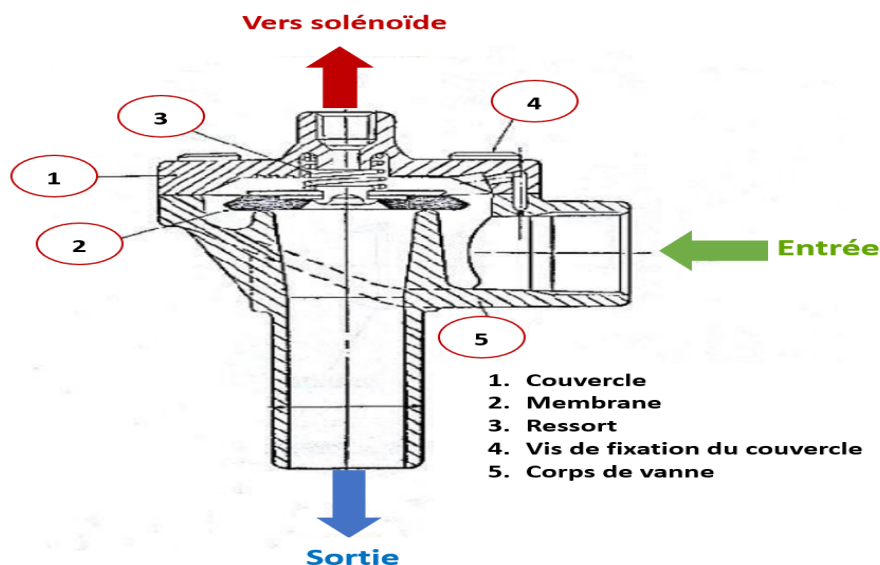


FIGURE 3.10 – *Vanne pneumatique.*

### 3.6.3 Pressostat Photohelic

Le pressostat photohelic est un dispositif de précision polyvalent combinant un pressostat et un manomètre. Il est disponible avec un ou deux relais activés par cellule. La lecture de la pression n'est pas affectée par le fonctionnement des relais, ce qui permet de lire à tout moment la pression appliquée et les points sélectionnés.

La bande inopératoire est très étroite, généralement moins de 1 % de l'échelle totale. Des relais bipolaires à double course peuvent être facilement couplés pour fournir une bande inopératoire variable. Ce dispositif est disponible pour des pressions positives, négatives ou différentielles aussi basses que 0 à 0,6 mbar ou aussi hautes que 0 à 1,5 mbar. Sur une échelle de 0 à 0,6 mbar, les points sélectionnés peuvent être réglés avec une précision de 0,012 mbar.

Dans une application typique, le pressostat photohelic contrôle une plage de pression entre un point bas et un point haut présélectionnés. Lorsque la pression change et atteint l'un de ces deux points, un

écran entraîné par un axe hélicoïdal coupe le rayon du photocellule, ce qui active le relais DPDT. La commutation s'effectue alors. La bande inopérative entre l'enclenchement et la coupure est d'au moins 1 % à l'extrémité de l'échelle, ce qui garantit un fonctionnement stable et fiable.



FIGURE 3.11 – *Pressostat photohelic.*

### 3.7 Problématique et raison pour la migration du système de contrôle

L'objectif et les bénéfices de l'évolution technologique dans le domaine des systèmes de contrôle et de supervision des installations industrielles dans les usines des hydrocarbures (Oil & Gas) ne se limitent pas seulement à améliorer la performance et la robustesse du contrôle des procédés. Ils visent également à faciliter l'exploitation et la manipulation des outils d'interfaçage afin de garantir une meilleure ergonomie au travail pour les opérateurs, les ingénieurs et les techniciens.

Le système de contrôle auto-nettoyant est basé sur des séquenceurs électroniques avec des relais qui sont installés dans un coffret. Ce dernier est dédié pour l'utilisation externe et n'est pas dans les sous stations. Le coffret utilisé est certifié ATEX ; conçu pour être utilisé dans une atmosphère explosive et posséder des caractéristiques de protection contre les conditions climatiques dures. Les inconvénients constatés dans le système de contrôle actuel sont :

- Difficultés dans l'exécution des tâches de maintenance à cause de l'effort et le temps fourni pour l'ouverture et la fermeture du coffret.
- Dégradation des caractéristiques de protection ATEX à cause de l'ouverture répétitive du coffret.
- La non disponibilité de l'historique et les événements d'opération du système.

- Local d'intervention inadéquat à cause de la soumission sous bruit durant l'intervention.
- La non disponibilité du système une fois que le séquenceur est déclaré obsolète.

### 3.8 Objectifs du travail

Afin d'améliorer les performances, la flexibilité et le monitoring du système auto-nettoyant on propose de migrer le système de contrôle du système à base des cartes électronique, à un système numérique à la base d'un contrôleur (MARK VIe) qui répond au besoin de l'utilisateur et la maintenance du système.

Les objectifs fixés à atteindre avec ce projet sont :

- Amélioration des performances.
- Amélioration du monitoring du système par la configuration des nouveaux paramètres dans l'HMI.
- Fournir une base de donnée exploitable durant les investigations technique, (l'historisation des évènements).
- Donner une possibilité de développer l'exécution de la maintenance préventive directement de l'HMI.

### 3.9 Élaboration du cahier de charge

Dans le domaine de la production d'énergie, les turbines à gaz jouent un rôle crucial en convertissant l'énergie thermique en énergie mécanique. Pour assurer un fonctionnement optimal et une durabilité à long terme de ces turbines, il est essentiel de garantir un apport d'air propre et de qualité. C'est dans ce contexte que le système de filtration de l'air pour la turbine MS-5002D revêt une importance capitale, comprenant 120 diaphragmes, 120 électrovannes et 480 filtres d'où chaque électrovanne a une capacité de nettoyer quatre filtres à la fois à l'aide d'un diaphragme intermédiaire. Ce système est conçu pour capturer les contaminants présents dans l'air ambiant avant qu'il ne soit introduit dans la turbine. En éliminant les particules indésirables telles que la poussière et autres impuretés, il assure un fonctionnement efficace de la turbine tout en minimisant les risques d'endommagements. Pour réaliser cette opération, il faut maintenir de l'air comprimé (contrôlé par une vanne de contrôle de pression (PCV) d'où la valeur est fixé à 6.5 bar), puis l'injecter dans les filtres sélectionnés pendant 1 seconde, Une fois cette période écoulée, les filtres nettoyés doivent être isolés, et le réseau d'air comprimé doit être rempli pendant une

période de 20 secondes. À chaque signal de commande, deux électrovannes (  $XY_n$  ,  $XY_{n+1}$  ) sont activées simultanément. Le nettoyage de tous les filtres est appelé un cycle, qui débute à la zone 01 et se termine à la zone 08. Le système doit fonctionner en trois modes : manuel, automatique et commandé par une horloge. Pour réaliser les actions précédentes, il est nécessaire d'avoir des nouveaux pages graphiques (HMI) dans le système de contrôle pour :

1. Sélectionner le mode souhaité.
2. Configurer les paramètres d'horloge.
3. Indiquer l'état du système (en marche, en arrêt, fin de cycle, manuel, automatique, horloge).
4. Effectuer le démarrage et l'arrêt du système. - Afficher le nombre de cycles effectués.
5. Indiquer la zone en cours de nettoyage.

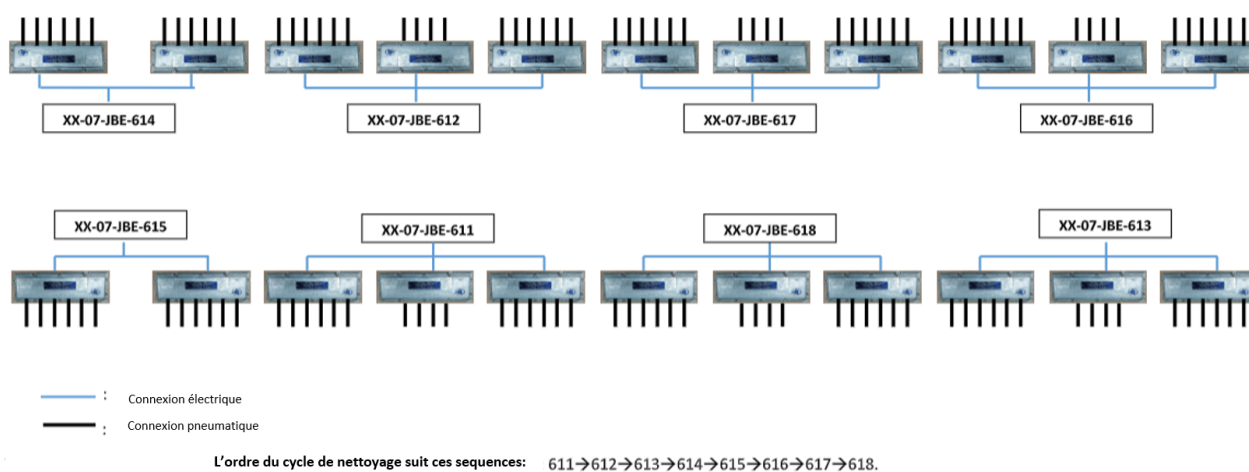


FIGURE 3.12 – Les zones du nettoyage.

### Mode manuel :

Une fois le mode manuel est sélectionné via le sélecteur soft (de l'HMI) et la commande de démarrage est initiée. Le nettoyage des filtres débute en suivant l'ordre indiqué dans la figure en annexe 01.

Le nettoyage est effectué en maintenant une commande d'excitation (signal de commande  $S_n$ ) de 2 électrovannes (  $XY_n$  ,  $XY_{n+1}$  ) à la fois pendant une 01 seconde, puis charger le système d'air comprimé pendant une période de 20 secondes avant de générer le signal ( $S_{n+1}$ ) suivant (pour exciter

les deux électrovannes suivantes),le système continuera le nettoyage jusqu'à ce qu'une commande d'arrêt (**Stop**) soit initiée de l'**HMI**.

**Mode automatique :**

Une fois le mode automatique est sélectionné via le secteur soft (de l'**HMI**) et la commande de démarrage est initiée, Le nettoyage ne débute que si le **capteur TOR de pression différentielle (PDSH)** est supérieur à **70mmH2O**, Le contrôle de cette DP est assuré par un switch de pression différentielle (contact NO). Le système va continuer à nettoyer cycle après cycle jusqu'à ce que la valeur de DP atteigne **50 mmH2O** ou la commande d'arrêt est initiée de l'**HMI**.

**Mode horloge :**

La période et la durée du nettoyage doivent être saisies de l'**HMI**. Une fois le mode horloge est sélectionné et la commande de démarrage est initiée, Le nettoyage ne démarre que si les paramètres de l'horloge et les paramètres spécifiés par le système sont alignés (conditions d'entrées satisfaites). Le système continuera le nettoyage cycle après cycle jusqu'à ce que la période configurée soit écoulée ou la commande d'arrêt est initiée de l'**HMI**.

ENTREE SOFT (initier de l'HMI)	
Start/stop	Démarrage / Arrêt du système
Mode auto	Activer le mode automatique
Mode man	Activer le mode manuelle
Mode Horloge	Activer le mode horloge
CONFIG_HORLOGE	Configuration de la période désirée pour le nettoyage

TABLE 3.1 – *Tableau des entrées soft.*

ENTREE HARD	
PDSH	Si DP > 70mmH2O Le contact se ferme Si DP < 50mmH2O Le contact s'ouvre

TABLE 3.2 – *Tableau des entrées hard.*

SORTIE SOFT	
ZONE	Animer la zone en cours de nettoyage (Zone1...Zone8)
Etat du système	En arrêt/En marche
Mode opérationnel	Afficher le mode en cours du système (manu, auto...)
Nombre du cycle	Afficher le nombre des cycles effectuées

TABLE 3.3 – *Tableau des sortie soft.*

SORTIE HARD	
S1.... S60	Signal de commande digital de 1 à 60

TABLE 3.4 – *Tableau des sortie hard.*

Actionneur	
XY1.... XY120	Les électrovannes de nettoyage

TABLE 3.5 – *Tableau des actionneurs.*

### 3.10 Application des méthodes de la synthèse logique pour modéliser le système

#### 3.10.1 Chronogramme

Dans ce chronogramme, nous allons essayer de basculer entre les différents cas possibles que nous pourrions rencontrer.

➤ **Séquence Rouge :**

Lorsque les boutons "On" et "Manuel" sont activés, le signal 1 est déclenché et maintenu pendant une seconde.

➤ **Séquence Verte :**

Après 20 secondes, si les boutons "Manuel" et "Automatique" ainsi que le bouton "PDSH" sont activés, le signal 2 est déclenché et maintenu pendant une seconde.

➤ **Séquence Orange :**

Après 20 secondes, si les boutons "Manuel" et "Horloge" sont activés, le signal 3 est déclenché et maintenu pendant une seconde.

➤ **Séquence Vert :**

Après 20 secondes, si le bouton "Off" est activé, aucun signal n'est déclenché et aucun maintien n'est effectué.

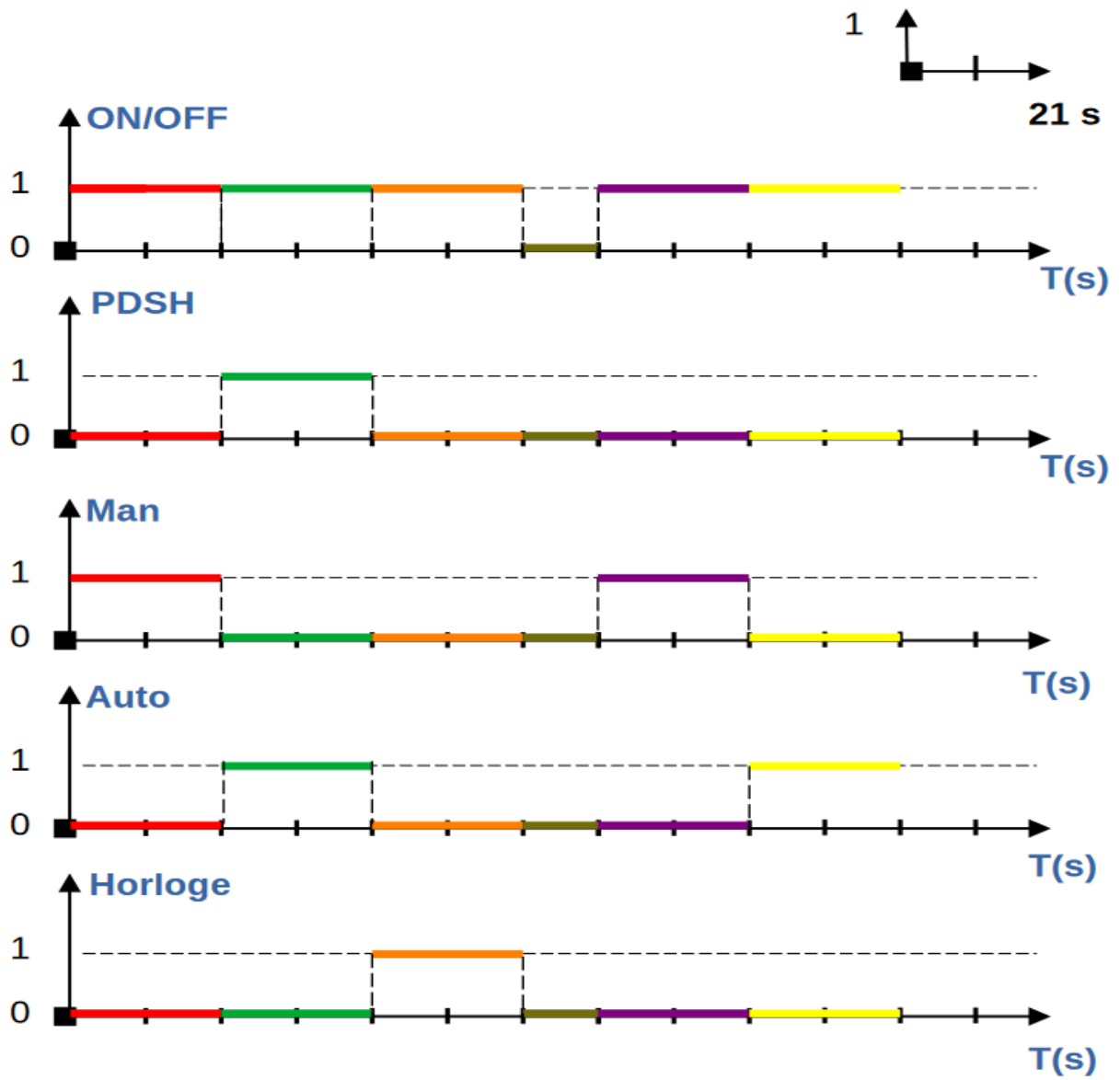
➤ **Séquence Mauve :**

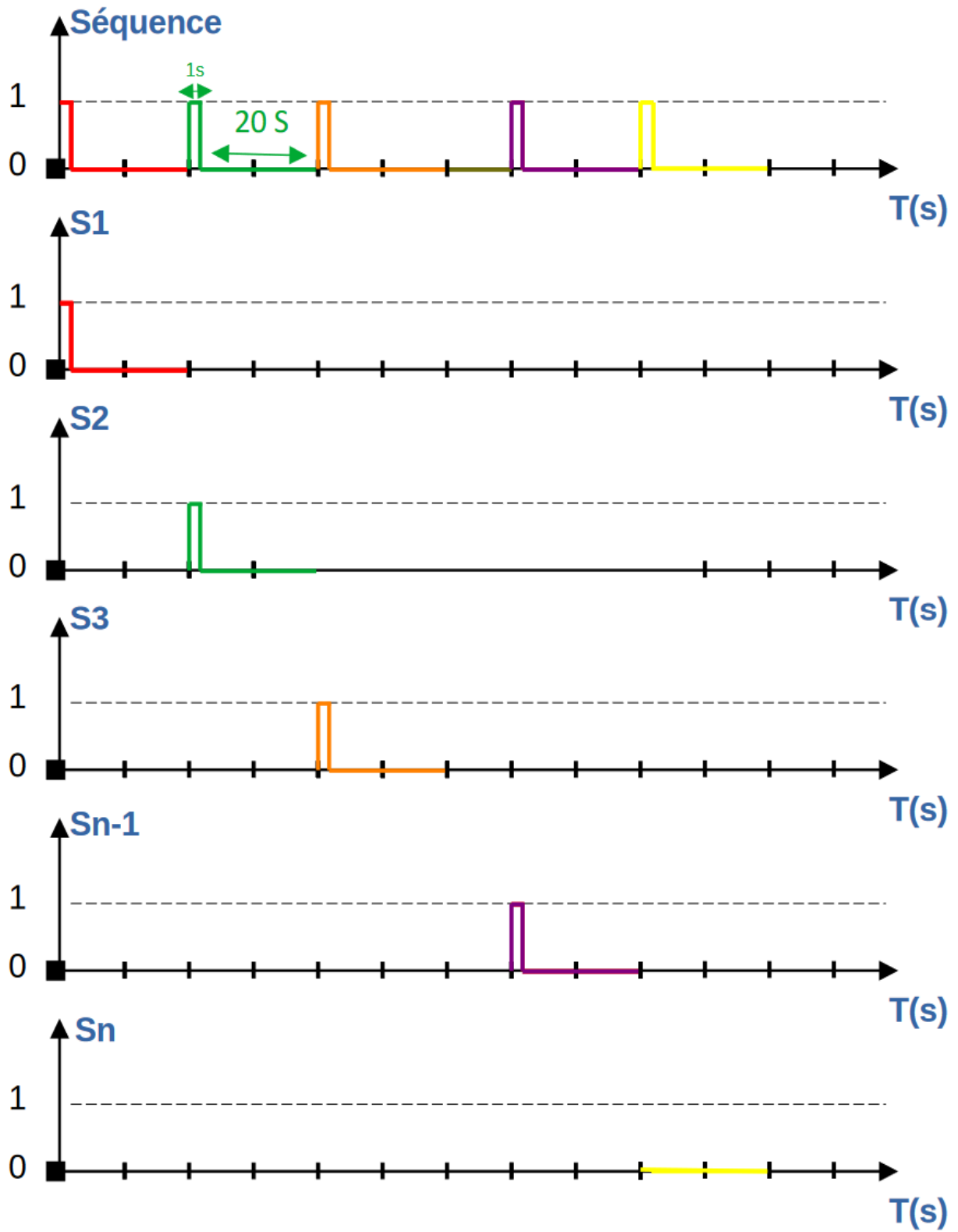
Lorsque les boutons "On" et "Manuel" sont activés, le signal 4 est déclenché et maintenu pendant une seconde.

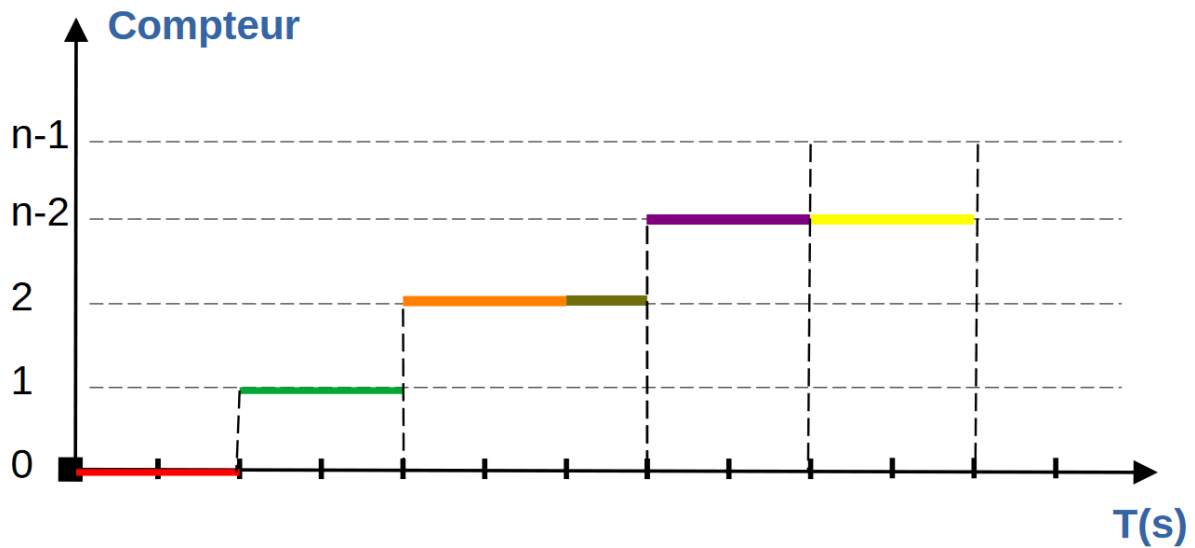
➤ **Séquence Jaune :**

Après 20 secondes, si les boutons "Manuel" et "Automatique" sont activés et que le bouton "PDSH" n'est pas activé, aucun signal n'est déclenché et aucun maintien n'est effectué.

---







**Conclusion :** Dans chaque séquence, le signal est maintenu pendant une seconde après son déclenchement . Le mode automatique démarre uniquement si le bouton PDSH est activé. Un compteur s'incrémente à chaque déclenchement d'un signal.

### 3.11 Conclusion

Les pannes récurrentes des cartes électroniques et l'obsolescence du matériel entraînent des difficultés de maintenance et de fiabilité pour le système. Pour remédier à ces problèmes, nous envisageons une solution radicale : éliminer les cartes électroniques et intégrer le système directement dans la structure mécanique de la MARK VIe. Cette approche vise à réduire les risques de défaillance liés aux composants électroniques, tout en simplifiant la maintenance et en améliorant la durabilité globale de la solution. En adoptant cette nouvelle approche, nous visons à assurer un fonctionnement plus fiable et efficace du système sur le long terme.

---

## Chapitre 4

# MÉTHODE D'IMPLEMENTATION SOFTWARE ET HARDWARE

### 4.1 Introduction

L'intégration du contrôle du système de filtrage automatique pour la turbine MS-5002D dans la Mark VIe représente une évolution majeure dans le domaine de la gestion des turbines industrielles. La turbine MS-5002D est largement utilisée dans diverses applications industrielles en raison de ses performances fiables et de sa polyvalence. Cependant, la maintenance et la gestion efficace des filtres de cette turbine peuvent présenter des défis. L'introduction d'un système de filtrage automatique, combiné à la plateforme de contrôle avancée de la Mark VIe, offre une solution innovante pour optimiser les performances et la fiabilité opérationnelle de la turbine MS-5002D. Cette intégration permet une surveillance en temps réel et une optimisation continue du système de filtration, ce qui se traduit par une réduction des coûts de maintenance et une amélioration de l'efficacité globale de la turbine. Dans cette introduction, nous explorerons les avantages et les implications de cette intégration pour l'industrie des turbines, ainsi que son impact sur la gestion des installations industrielles.

### 4.2 Généralités

La Toolbox du système de régulation, développée par "GE Control System Solutions", est un logiciel re-

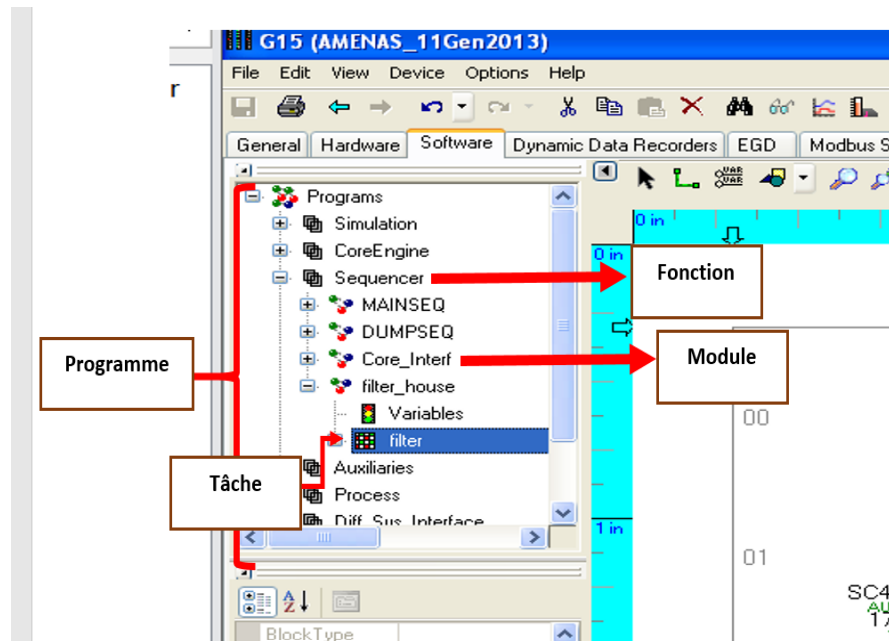
posant sur un microprocesseur. Son rôle est de configurer et de maintenir l'équipement de régulation. Cette application, compatible avec Windows, fonctionne sur des ordinateurs personnels équipés de processeurs Intel Pentium. Elle est spécifiquement conçue pour la surveillance, la configuration des entrées/sorties, la gestion des signaux et l'analyse des tendances. De plus, elle offre une gestion des fichiers multi-utilisateurs et opère selon un mode de fonctionnement séquentiel.

L'interface opérateur-machine (HMI) est l'interface principale de l'opérateur vers le système de contrôle Mark VIe. L'HMI est un ordinateur sous Windows muni d'un système d'écrans graphiques CIMPLICITY, qui communiquent avec les contrôleurs Mark VIe par l'Ethernet.

### **4.3 Développement de la logique en utilisant ToolBox software**

#### **4.3.1 Espace de travail**

Les éléments de l'interface utilisateur, tels que les commandes des menus, les boutons des barres d'outils et les articles de la vue générale, peuvent différer selon la version ou le produit spécifique installé de la boîte à outils. Ainsi, l'écran suivant illustre un exemple de format de base de l'espace de travail de la boîte à outils, mais il convient de noter que ces éléments peuvent être sujets à des variations en fonction du logiciel particulier en cours d'utilisation.

FIGURE 4.1 – *Espace de travail de Toolbox.*

### 4.3.2 Code d'application

Le logiciel de contrôleur est constitué de blocs qui implémentent une logique de commande. Chaque bloc correspond à une fonction bloc existant dans le code d'application. Ces blocs sont ensuite utilisés pour créer des macros. Les blocs et les macros sont utilisés pour composer des tâches. Une ou plusieurs tâches peuvent être regroupées dans un module, et un nombre quelconque de modules peut composer une fonction. Cette hiérarchie illustre comment les différents niveaux du groupe de blocs d'un contrôleur sont affichés dans l'espace de travail. Il existe deux niveaux de blocs qui peuvent être réutilisés et instanciés plusieurs fois selon les besoins :

- Les macros regroupent un ensemble standard de blocs.
- Les modules qui sont un ensemble plus complexe de tâches (séquences) qui ont des relations de programmation définies.

#### 4.3.2.1 Blocs

Les blocs sont les composants de programmation les plus fondamentaux. Ils sont capables d'exécuter

une variété de fonctions, telles que des opérations mathématiques, la résolution d'un diagramme LADDER de relais, le filtrage des données, ainsi que la résolution d'équations booléennes.

#### 4.3.2.2 Macros

Une macro est un ensemble organisé de blocs et éventuellement d'autres macros, avec des entrées et des sorties spécifiquement définies. Après avoir été définie, la macro peut être intégrée dans une tâche existante ou dans une autre macro. Il est important de noter que les blocs internes et les connexions de la macro insérée sont immuables une fois celle-ci intégrée. En d'autres termes, une fois la macro utilisée, sa configuration interne est fixée et ne peut être modifiée. Cela garantit la cohérence et la stabilité des opérations effectuées par la macro au sein du système de contrôle.

#### 4.3.2.3 Tâches

Dans une macro, des blocs et/ou des macros sont organisés pour représenter une séquence de programmation. Les tâches sont programmées pour être exécutées en fonction de l'ordre dans lequel elles sont disposées dans l'espace de travail.

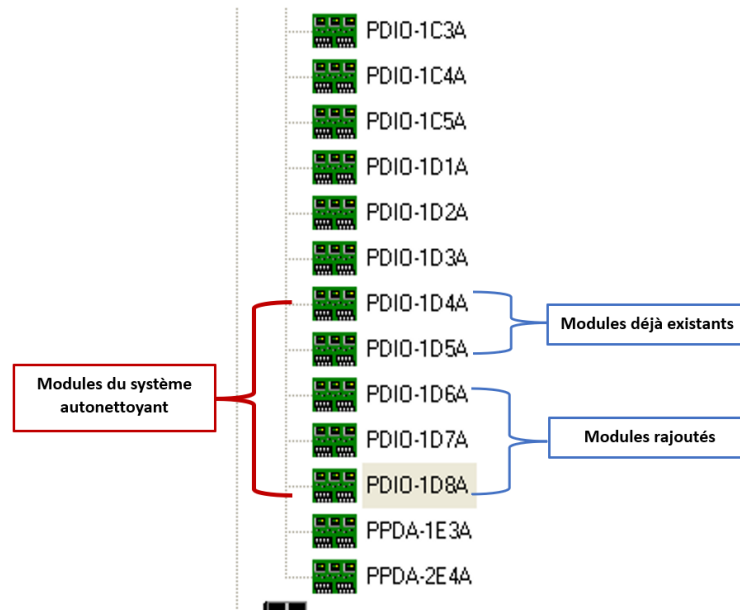
#### 4.3.2.4 Modules

Le module est une collection de tâches de programmation qui offre une réutilisation des blocs à un niveau supérieur par rapport aux macros.

#### 4.3.2.5 Fonctions

Les fonctions sont les principales sections de programmation qui représentent une fonction de contrôle complète. Elles sont principalement utilisées pour regrouper des modules. Tous les éléments de configuration, comme les types de données, les signaux, les définitions de modules, les définitions de macros et les instances de la fonction donnée, peuvent être liés indépendamment à une fonction. Cela permet de déplacer facilement une fonction d'un contrôleur à un autre.

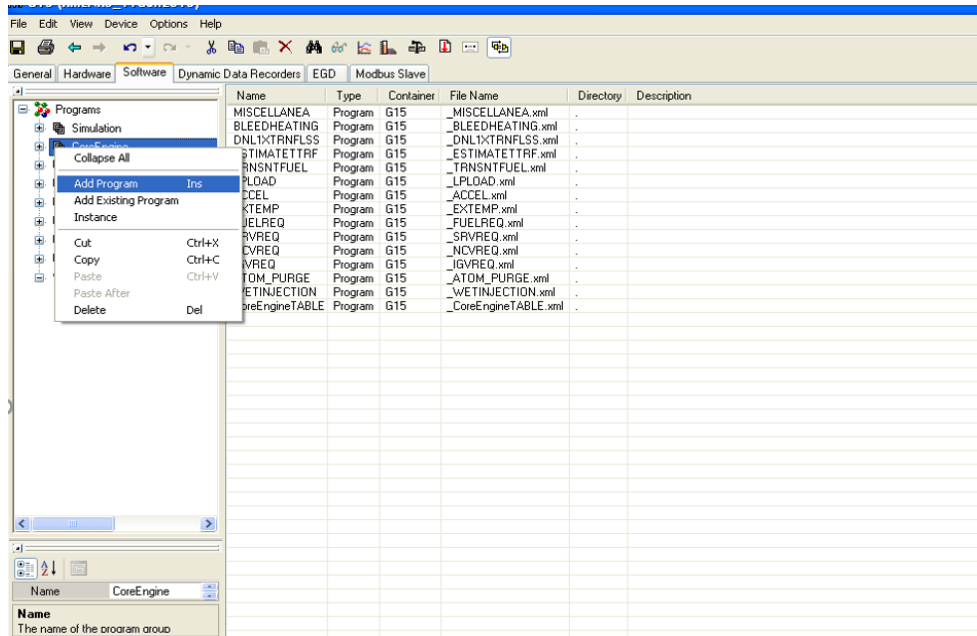


FIGURE 4.3 – *Les modules ajoutés.*

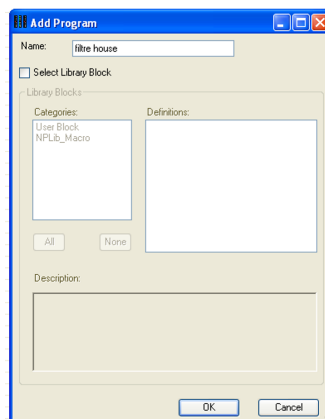
#### 4.3.4 Les différentes étapes de création du projet

Dans notre cas, nous allons ajouter un module appelé "FilterHouse" à une fonction existante en incluant une nouvelle tâche.

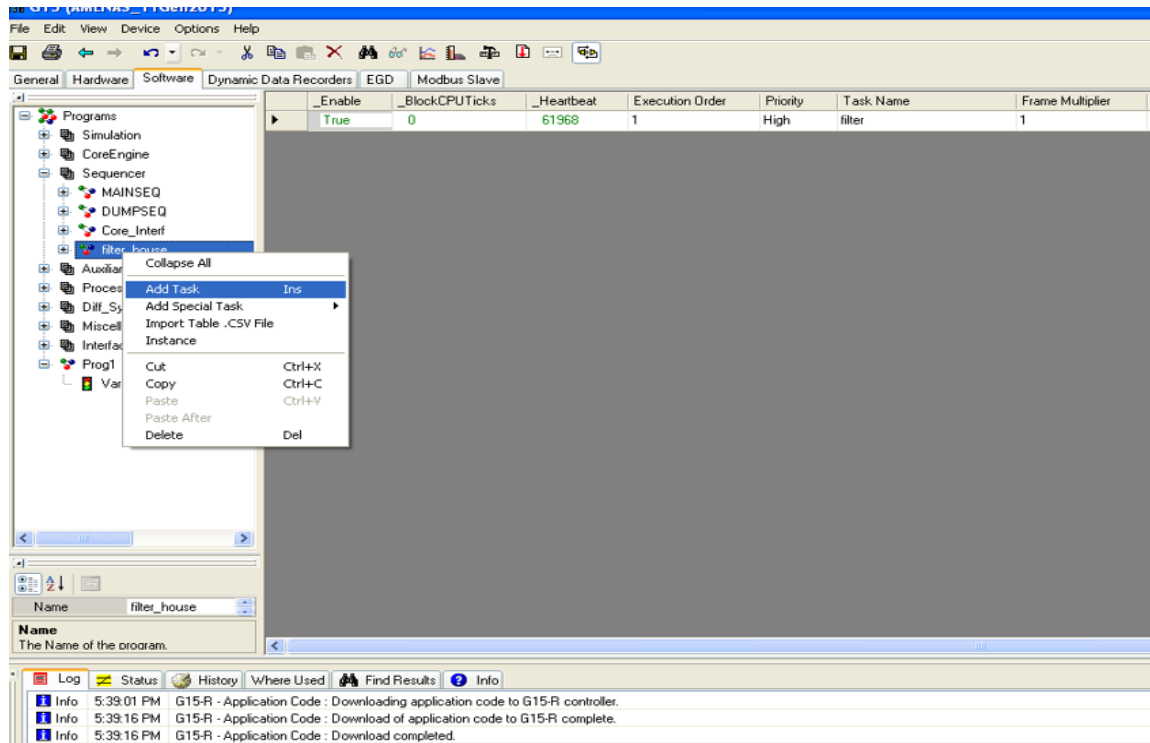
1. Pour ajouter un nouveau module, il faut cliquer droit sur la fonction et sélectionner "Add program".



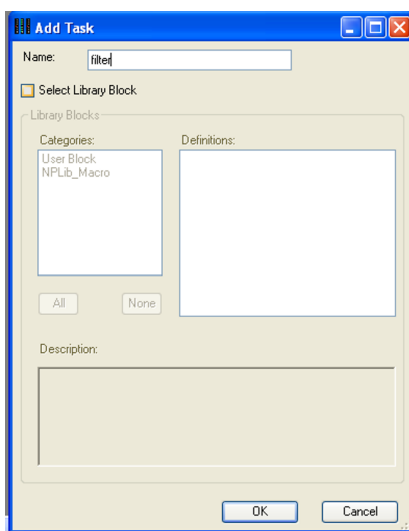
2. Renommer le nouveau module ajouté.



3. Pour ajouter une nouvelle tâche, cliquer droit sur le module et sélectionner "Add task".



4. Renommer la nouvelle tâche



## 4.3.5 Déclaration des variables

Nom	Description	Type
L3auto	Le mode automatique est sélectionné	Logique
L3autoenabled	Le mode automatique est activé	Logique
L3hgp	La période est ok	Logique
L3horgenab	Le mode horloge est activé	Logique
L3horlog	Le mode horloge est sélectionné	Logique
L3manu	Le mode manuel est sélectionné	Logique
L3manuenab	Le mode manuel est activé	Logique
L3pdsh	pdsh	Logique
L3scy	Commencez le cycle de nettoyage	Logique
62ccfh	le nombre actuel des filtres nettoyés	Entier double
C62tcnt	Le nombre total de cycle	Entier double non signé
K62hgp	La période de nettoyage en heure	Réel
K62hrfh	L'heure du filtre pour le mode horloge	Réel
K62mnfh	La minute du filtre pour le mode horloge	Réel
Kcof	Nombre maximal du compteur pour un cycle	Entier double
kcoft	Nombre maximal du compteur pour tous les cycles	Entier double non signé
L20s1	La sortie pour solénoïde 1	Logique
L20s2	La sortie pour solénoïde 2	Logique
L20s3	La sortie pour solénoïde 3	Logique
L20s4	La sortie pour solénoïde 4	Logique
L20s5	La sortie pour solénoïde 5	Logique
	⋮	
L20S59	La sortie pour solénoïde 59	Logique
L20S60	La sortie pour solénoïde 60	Logique
L3start	Démarrage du cycle de nettoyage	Logique
L3stop	Arrêt du cycle de nettoyage	Logique
Sc49	Sélecteur de commande	Entier double

TABLE 4.1 – *Tableau des variables.*

### 4.3.6 Élaboration du programme de contrôle du système autonettoyant

#### 4.3.6.1 Définition des blocs

Les différents blocs utilisés dans le programme sont les suivant :

**COMPARE\_F** : ce bloc fait la comparaison entre deux entrées.

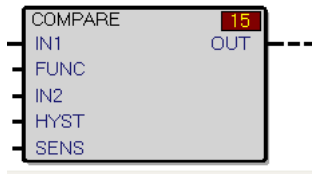


FIGURE 4.4 – *Bloc COMPARE\_F.*

**CMDST** : Le bloc CMDST fonctionne comme un sélecteur de mode où CMD représente la commande spécifiée par l'utilisateur. L'utilisateur choisit parmi une série d'énumérations et attribue à ces énumérations des valeurs correspondantes dans LPRES et LPREM, les définissant comme vraies. Pour que la sortie soit validée, les valeurs correspondantes dans LPRES et LPREM doivent être définies comme vraies, en plus de la validation du KMASK (bit de validation).

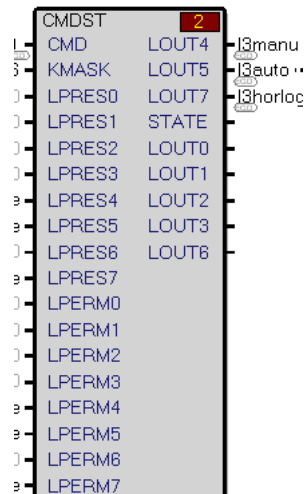
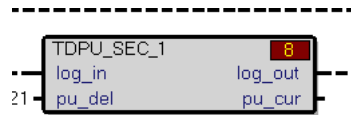
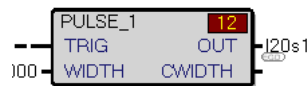


FIGURE 4.5 – *Bloc CMDST.*

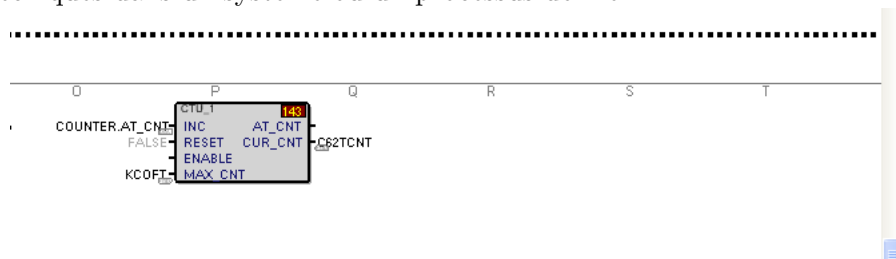
**TDPU\_SEC** : "Boolean Time Delay Pick Up for seconds" est un bloc de la toolbox qui introduit un délai de temps avant d'activer une réponse, avec une précision en secondes, en utilisant la logique booléenne pour contrôler cette temporisation.

FIGURE 4.6 – *Bloc TDPU\_SEC*

**PULSE** : un composant qui génère une impulsion ou un signal court et précis lorsqu'il est activé. Ce signal peut être utilisé pour déclencher des actions dans des systèmes de contrôle ou d'automatisation, où des opérations spécifiques doivent être effectuées pendant une durée déterminée.

FIGURE 4.7 – *Bloc PULSE.*

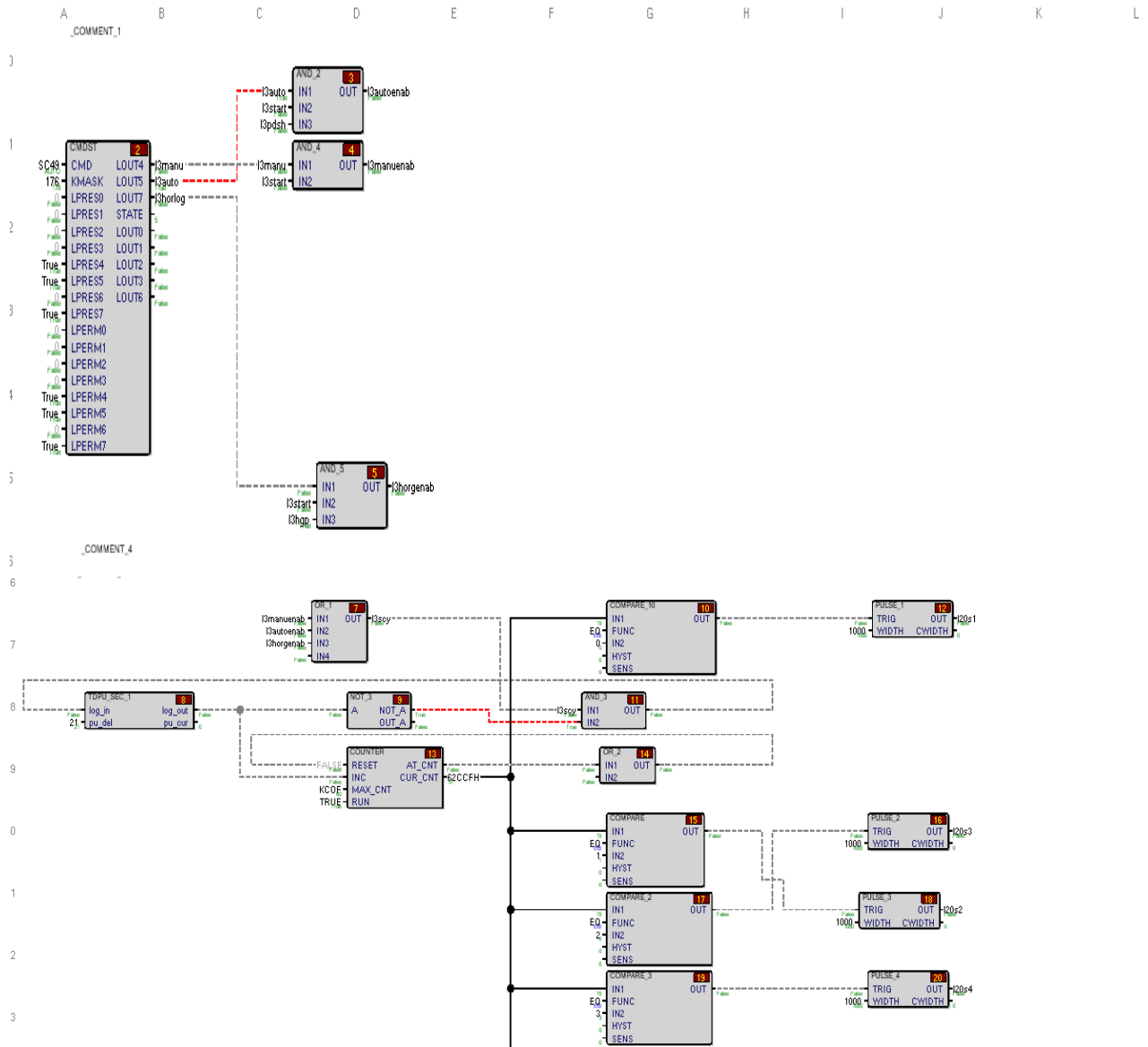
**COMPTEUR** : un composant qui enregistre et compte le nombre d'événements ou d'occurrences spécifiques dans un système ou un processus donné.

FIGURE 4.8 – *Bloc COMPTEUR.*

#### 4.3.7 Le programme

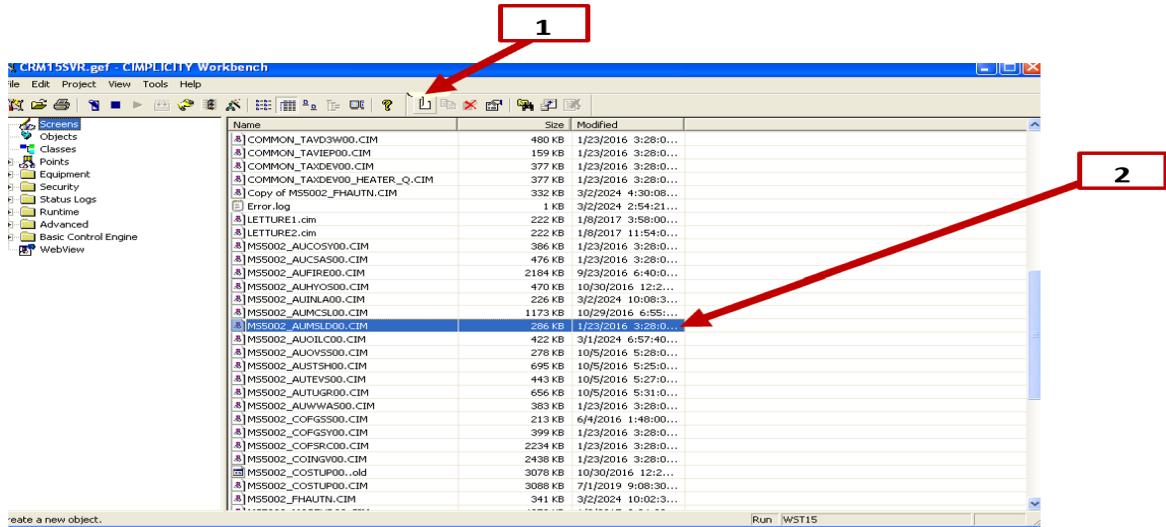
La création de la nouvelle tâche "filter" permet d'intégrer le système autonettoyant à la turbine MS-

5002D dans le contrôleur Mark VIe. Cette tâche assure la supervision et le contrôle du processus de nettoyage automatique du système, garantissant ainsi un fonctionnement optimal de la turbine.

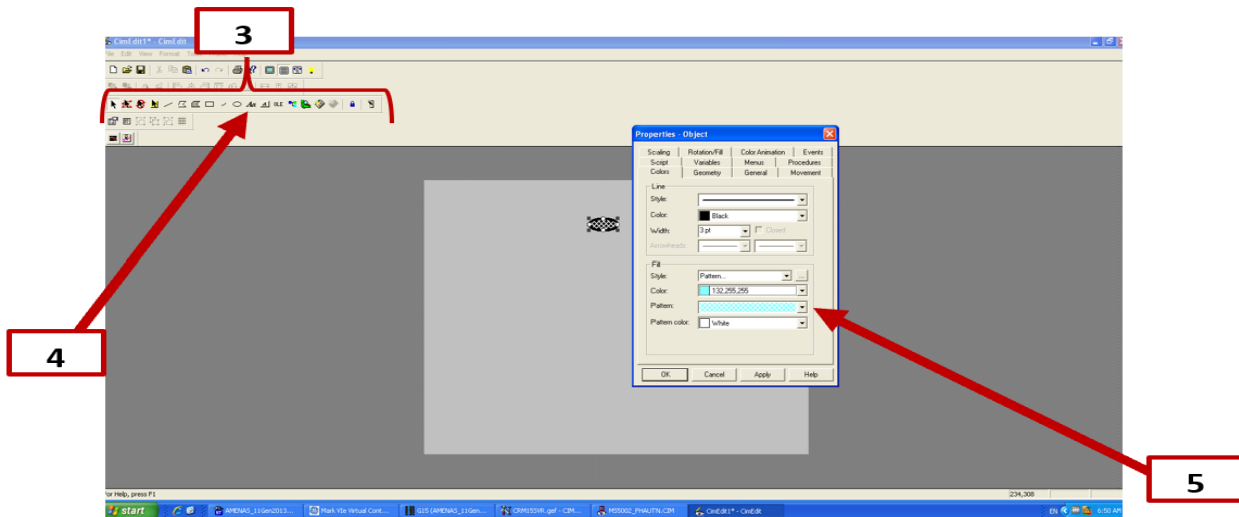


## 4.4 Développement de l'HMI en utilisant CIMPLICITY software.

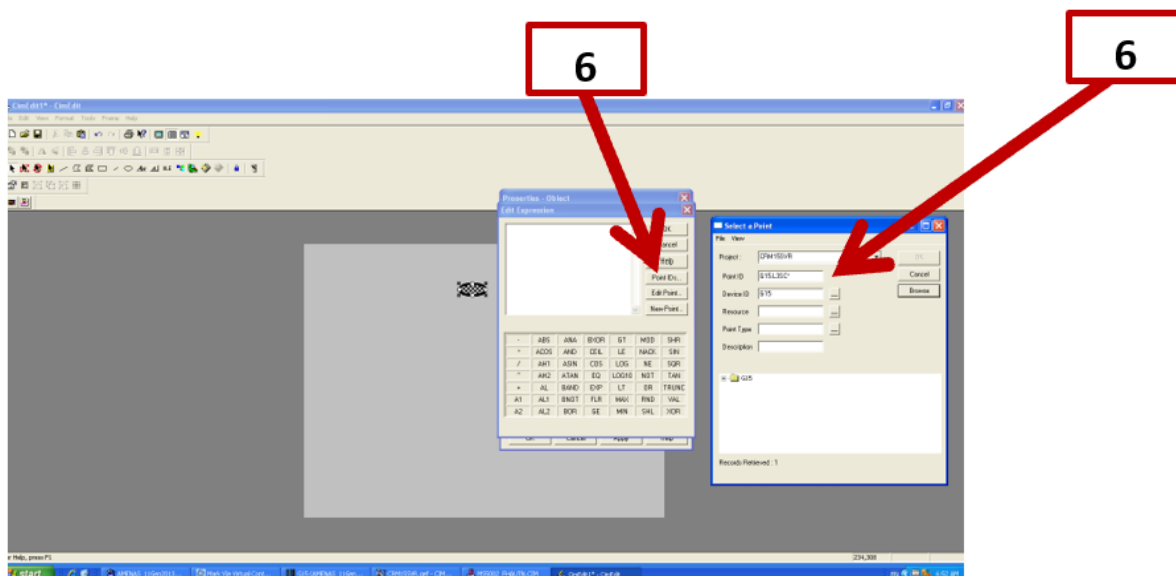
### 4.4.1 Configuration de la nouvelle page graphique (CIMPLICITY)



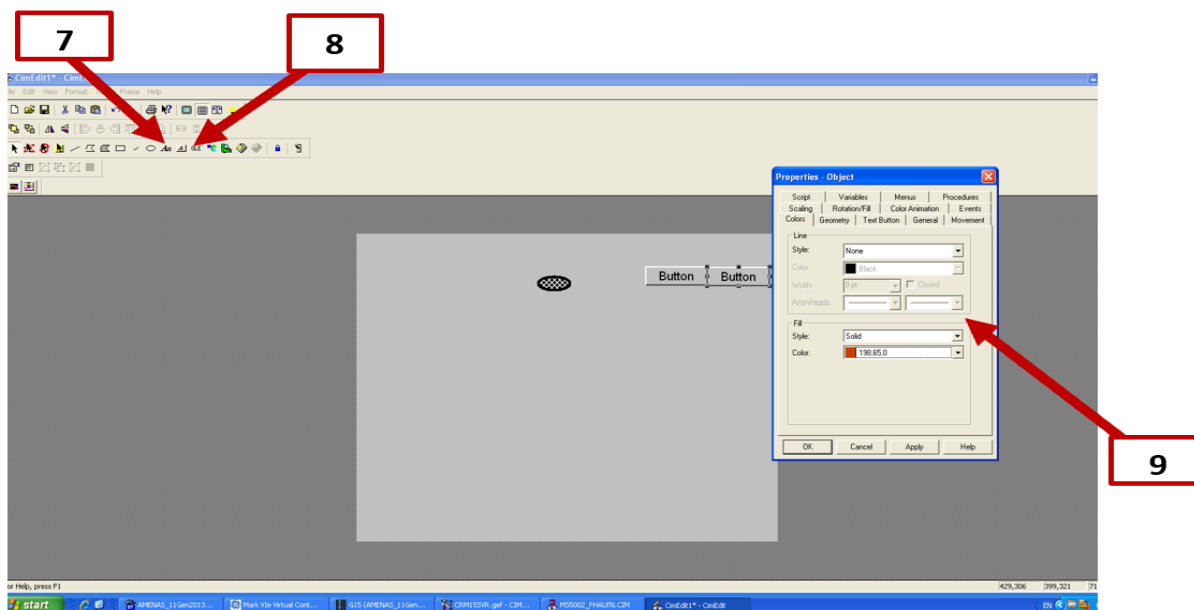
1. Nouveau ,Créer un nouveau fichier.
2. Autre Fichiers déjà existant .



3. Barre d'outils.
4. Ajouter une forme (dans notre cas c'est un cercle représentant un filtre ).
5. Propriétés de la forme , lui faire une animation.



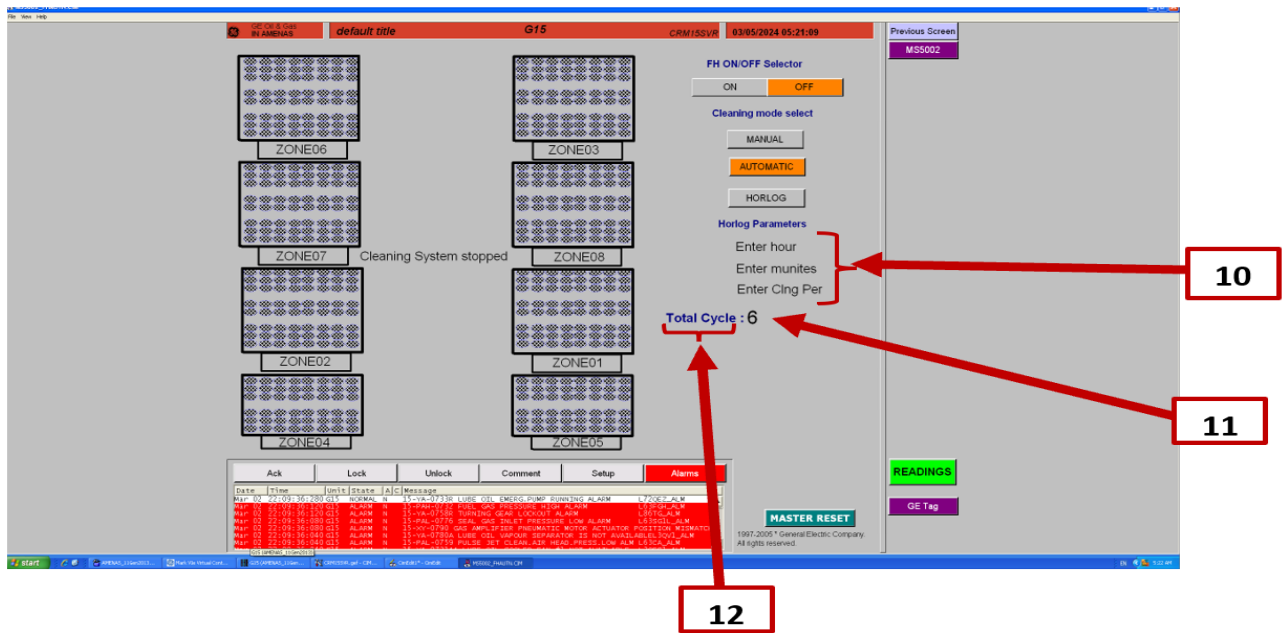
6 . Lui affecter l'adresse de la table des variable créer sur Toolbox.



7. Ajouter une zone de texte.

8. Ajouter un bouton.

9. Configuration du Bouton.

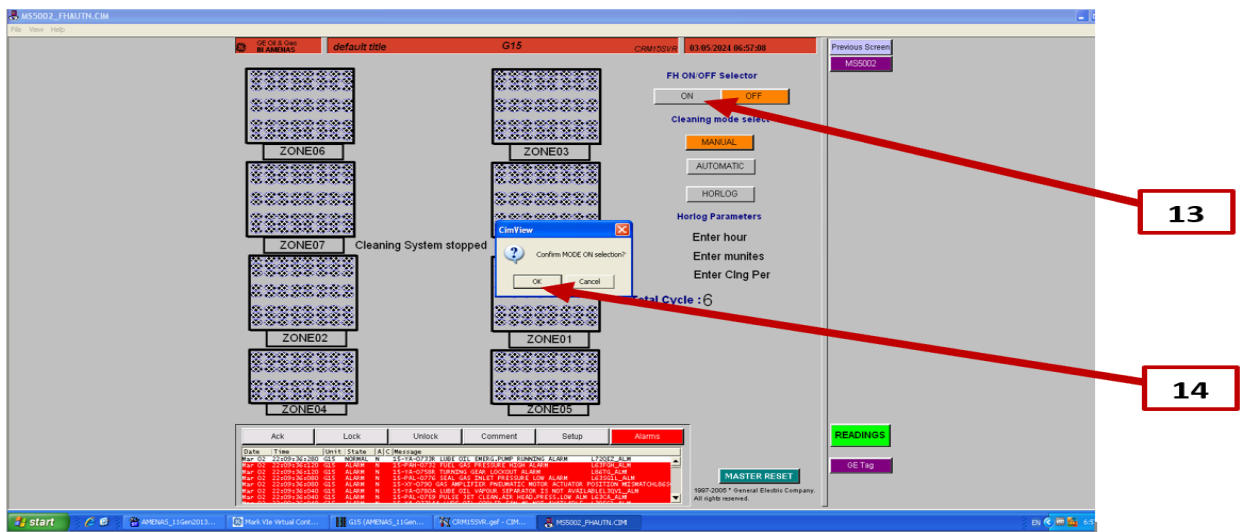


10. Zone de texte configurée indiquant l'heure

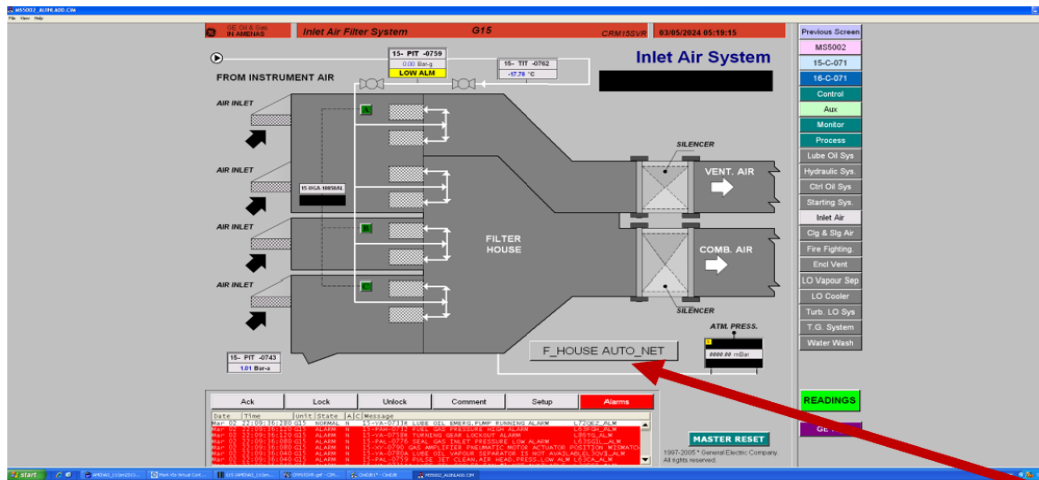
11. Zone du texte configurée via le compteur

12. Zone de texte simple

Une fois que la fenêtre CIMPLICITY est prête on lance la vue avec test screen



13 / 14 . Activer le mode ON.



15

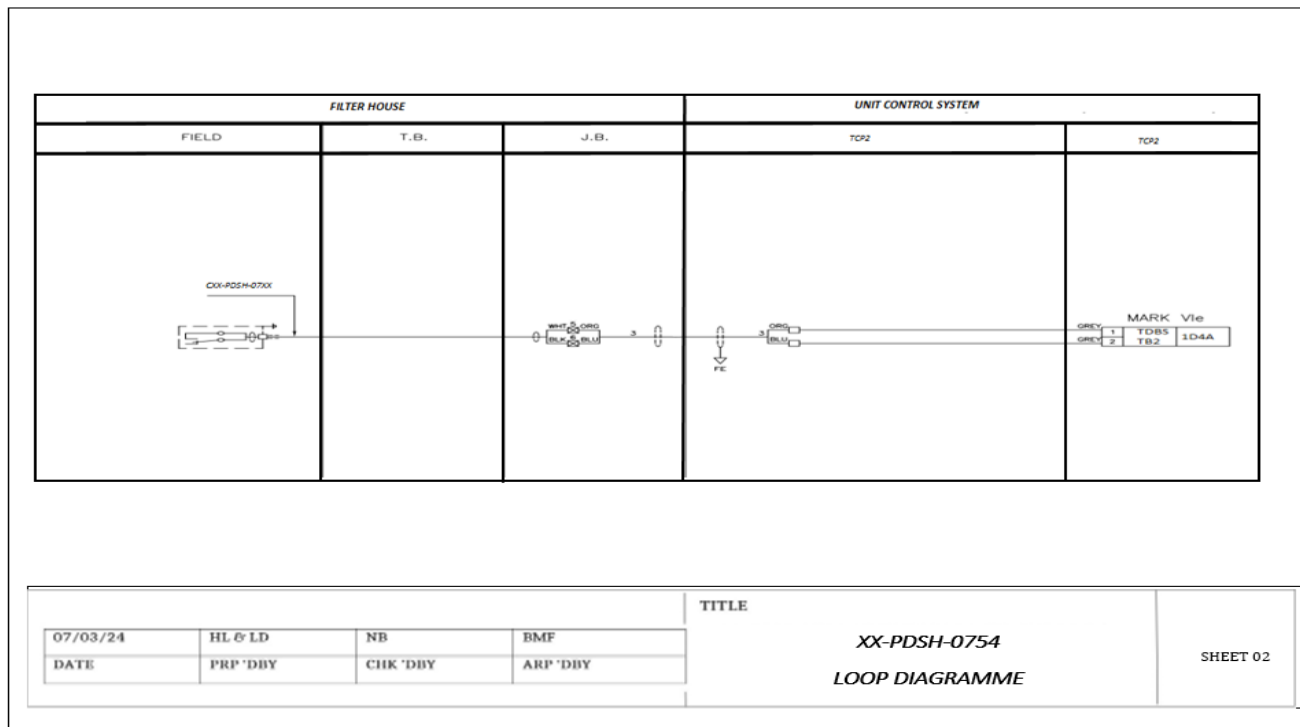
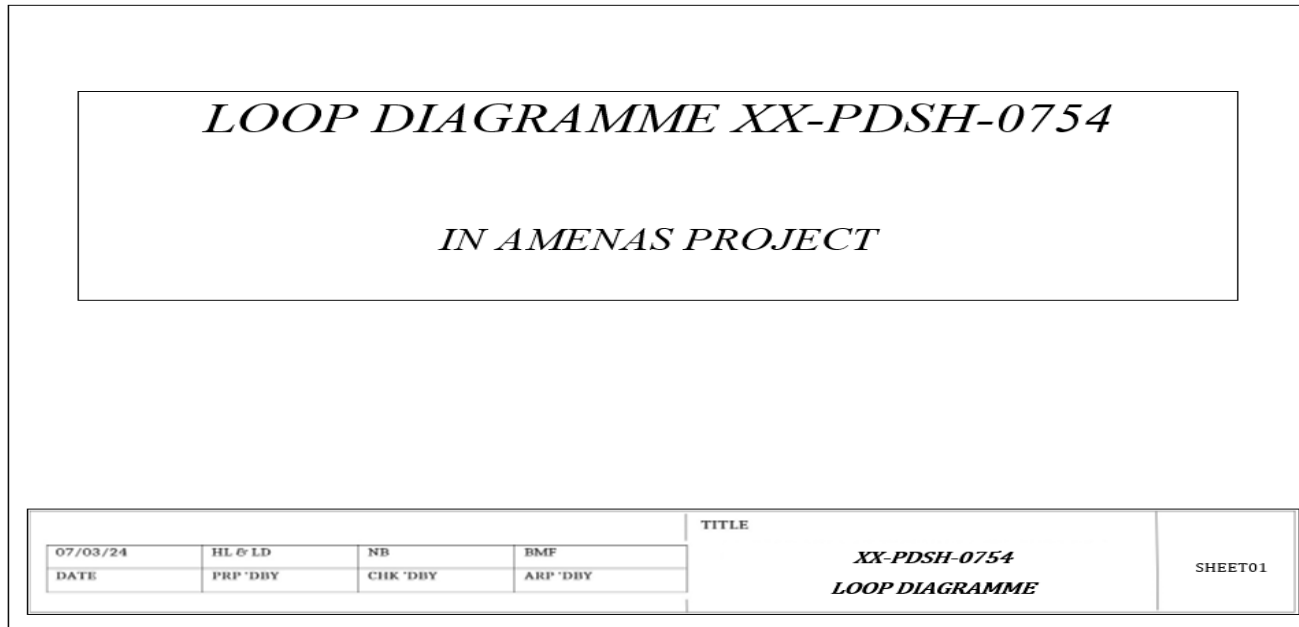
15 .La fenêtre sera donc insérée dans inlet section et la rejoindre en cliquant sur le bouton indiqué.

En résumé, le logiciel CIMPLICITY est un outil essentiel pour les entreprises qui utilisent les turbines à gaz équipées du système de contrôle Mark VIe de GE, car il leur permet de surveiller, d'optimiser et de rapporter les émissions de gaz polluants, contribuant ainsi à une exploitation plus durable et respectueuse de l'environnement.

## 4.5 Élaboration des schémas de câblage

### 4.5.1 Loop diagramme du pdsh

Un schéma illustrant l'emplacement de notre capteur 'PDSH' sur le site et son chemin de connexion jusqu'au système Mark VIe.



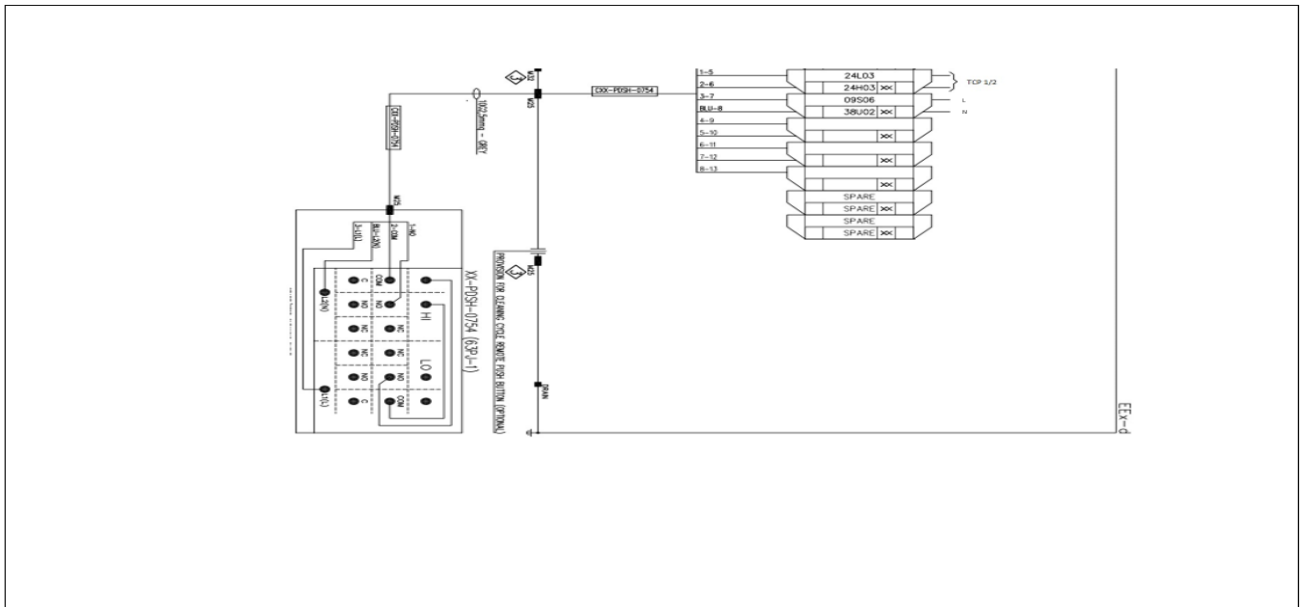
#### 4.5.2 Câblage du système auto-nettoyant (Filtre house)

- Un schéma montrant l'alimentation de notre capteur

➤ Un schéma détaillant le câblage des 60 filtres (signaux) via le système Mark VIe.

**FILTER HOUSE FOR MS5002-D GAS TURBINE  
IN AMENAS (ALGERIA)  
WIRING DIAGRAM**

				<b>TITLE</b>	
07/03/24	HL & LD	NB	BMF	<b>FILTER HOUSE WIRING DIAGRAM</b>	SHEET01
DATE	PRP 'DBY	CHK 'DBY	ARP 'DBY		

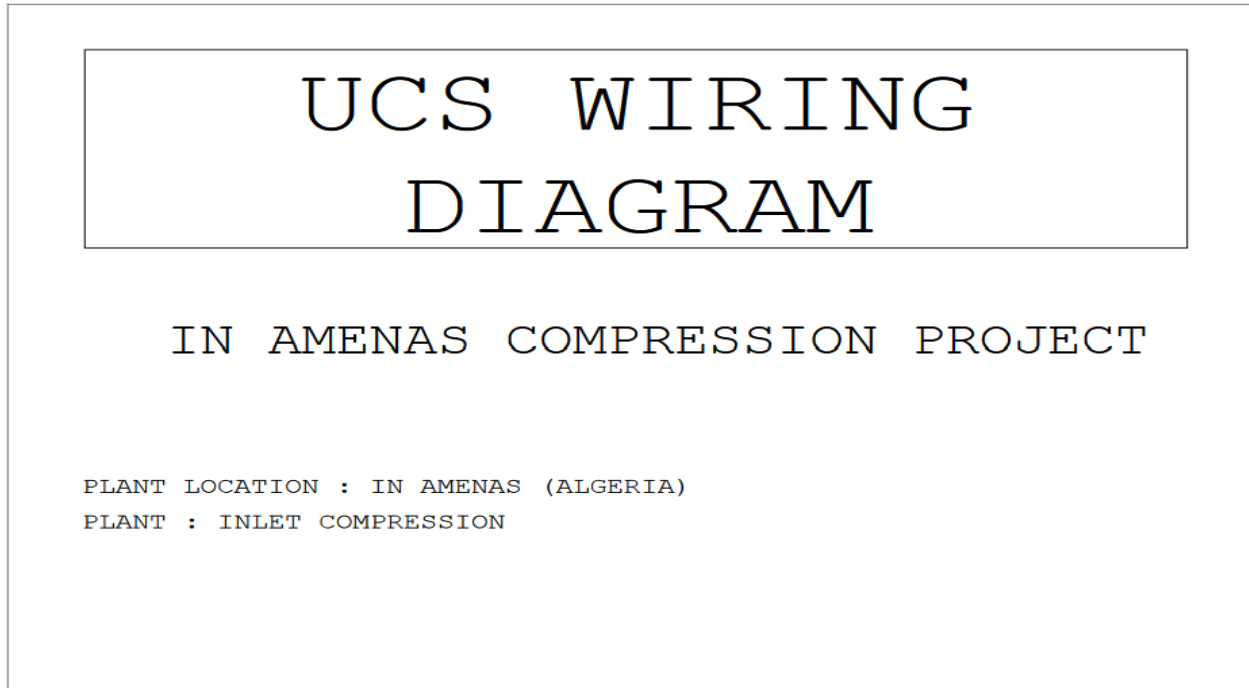


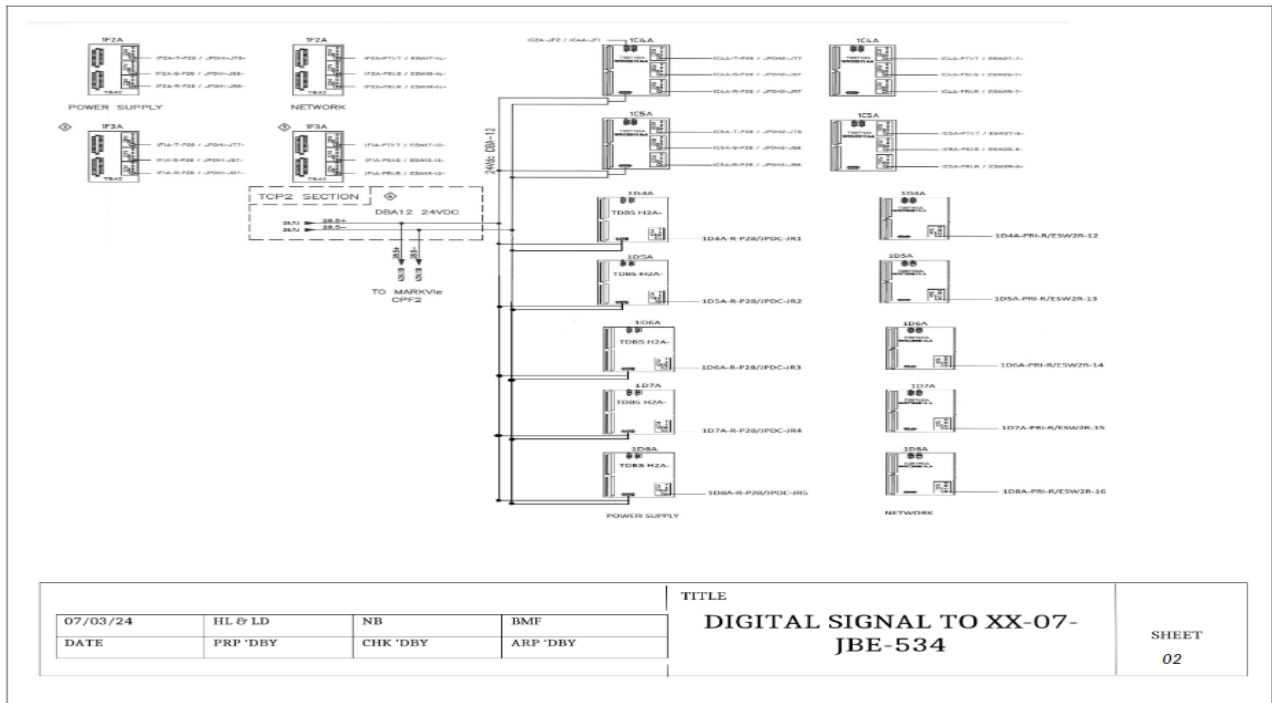
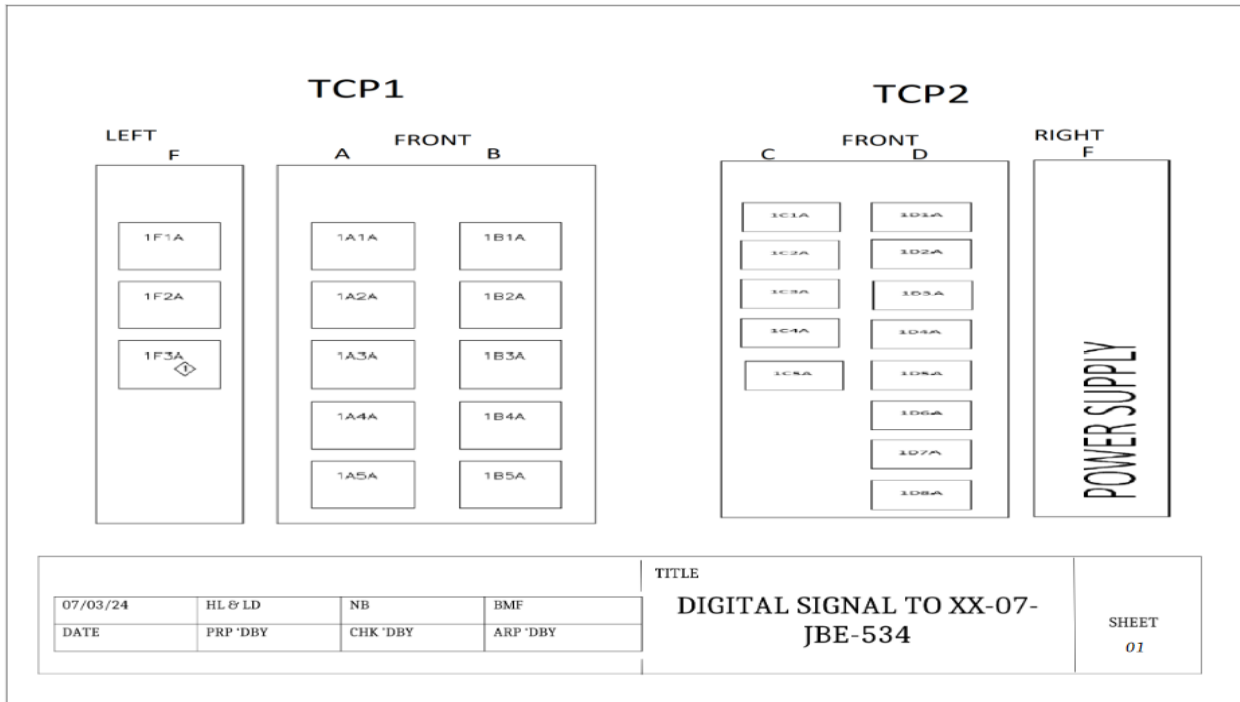
				<b>TITLE</b>	
07/03/24	HL & LD	NB	BMF	<b>FILTER HOUSE WIRING DIAGRAM</b>	SHEET02
DATE	PRP 'DBY	CHK 'DBY	ARP 'DBY		

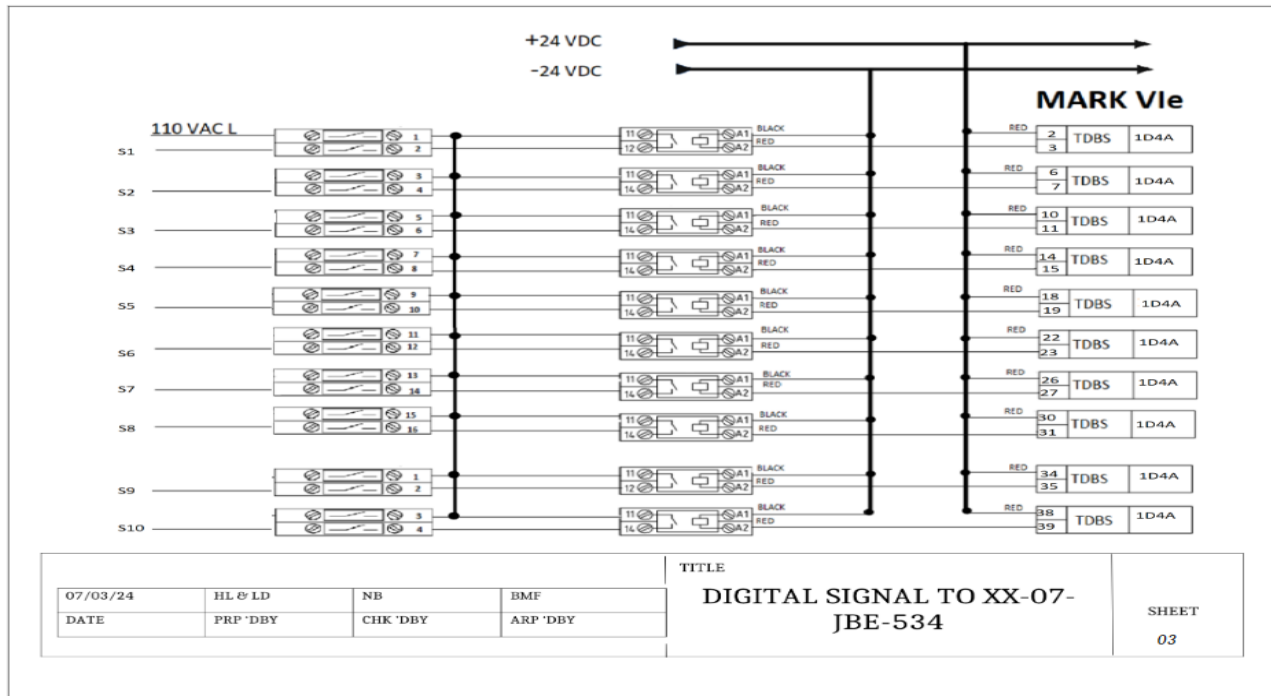


### 4.5.3 Ucs wiring

L'emplacement des modules dans l'armoire Mark VIe ainsi que leur schéma d'alimentation.







### 4.6 Conclusion

L'intégration du contrôle du système de filtrage automatique pour la turbine MS-5002D dans la Mark VIe représente une avancée significative en matière de gestion de la turbine. En combinant la technologie de filtration automatique avec la plate-forme de contrôle avancée de la Mark VIe, on obtient un système robuste et efficace qui améliore la fiabilité opérationnelle tout en réduisant les besoins de maintenance. Cette intégration permet une surveillance continue et une optimisation des performances du système de filtration, garantissant ainsi un fonctionnement optimal de la turbine MS 5002-D. En conclusion, l'intégration du contrôle du système de filtrage automatique dans la Mark VIe offre une solution complète et innovante pour la gestion efficace des turbines industrielles.

---

## *CONCLUSION GÉNÉRALE*

En conclusion, cette étude souligne l'importance critique de la filtration de l'air d'admission pour optimiser les performances de la turbine à gaz MS 5002-D. En éliminant efficacement les contaminants atmosphériques, une filtration adéquate assure un approvisionnement en air de qualité supérieure, essentiel au bon fonctionnement et à la durabilité de la turbine.

De plus, pour anticiper les défis futurs liés à l'obsolescence des composants matériels, nous avons choisi de migrer vers un système de contrôle basé sur le logiciel Mark VIe. Cette décision stratégique garantit une gestion proactive des ressources et une continuité opérationnelle optimale, même dans des environnements industriels exigeants.

En outre, cette étude met en lumière une approche innovante pour assurer la pérennité de la turbine à gaz MS 5002-D. En développant un programme intégré dans le système de contrôle Mark VIe, nous avons pu éliminer le besoin de certaines cartes électroniques, anticipant ainsi les futurs problèmes liés à leur disponibilité et à leur maintenance. Cette transition vers un système de contrôle basé sur un logiciel offre une solution durable et adaptable, garantissant la continuité des opérations même lorsque les composants matériels deviennent obsolètes. En combinant cette approche avec une filtration efficace de l'air d'admission, nous renforçons la fiabilité et l'efficacité de la turbine à gaz MS 5002-D dans les conditions opérationnelles les plus exigeantes.

---

# BIBLIOGRAPHIE

- [01] : "Énergie en Algérie." *Wikipedia : L'encyclopédie libre, Wikimedia Foundation*
- [02] : "Situation géographique Tiguentourine." *GetAMap.N.p.n.d. Web.*[http://fr.getamap.net/cartes/algeria/algeria\\_\(general\)/\\_tiguentourine/](http://fr.getamap.net/cartes/algeria/algeria_(general)/_tiguentourine/)
- [03] : "In Amenas Gas Project, Algeria (contrat)." *Hydrocarbons Technology.N.p.,n.d. Web.*  
<http://www.hydrocarbons-technology.com/projects/in-amenas-gas-project-algeria/>
- [04] : "Présentation du site Tiguentourine Février 2016.N.p., février 2016.
- [05] : "Politique HSE de la JV Gas Mars 2017. "
- [06] : EQUINOR. "Life saving rules." *Document.*
- [07] : CPF 28100. *Manuel d'exploitations. Rev X04.*
- [08] : SUPPORT DE FORMATION TOTAL Cours EXP-PR-EQ010 Révision 0.1 .
- [09] : ENET. *Hardware User Manual. Revision 1.18. 28th April 2004*
- [10] : Control Microsystems Inc. *E-Series Configurator User and Reference Manual. 2005.*
- [11] : "Safety Builder : The Integrated Tool for Configuring Safety Manager. "
- [12] : "Esd Function Check Pm For Hydraulic Operated Wells When Out Of Service."
- [13] :Honeywell. "Industrial Automation and Control Solutions from Honeywell." *Honeywell Process Solutions,*<https://www.honeywellprocess.com/en-US/pages/default.aspx>.
- [14] : "TEST REPORT –HONEYWELL ETHERNET RING TESTING, Document No : 4875-RT-KK-99-01-7940. "
- [15] :Nuovo Pignone. *Manuel de référence pour l'ingénierie . Éditions 2004.*
-

---

# Annexe A

## 0.1 Différentes unités constituant le complexe et son fonctionnement

Le complexe comporte plusieurs unités :

### 0.1.1 Unité de collecte

Le système de collecte de production est composé d'un réseau de ligne de collecte (Flow Line) individuelle connectée via les collecteurs du champ aux six (06) conduites principales (Trunk Line), qui livrent les fluides produits aux installations de réception au CPF.

La production des six conduites principales s'écoule dans le collecteur d'entrée, qui transporte les fluides au Capteur-bouchon (Slug-Catcher 00-V-051A/B & 00-V-052A/B). L'objectif du collecteur d'entrée et du système du Capteur-bouchon est de :

- Recevoir les fluides du système de collecte de production, et assurer une alimentation stable en gaz et en condensat pour le processus de traitement
- Séparer les fluides produits en phases de gaz, de liquide d'hydrocarbure et d'eau [07].

### 0.1.2 Unité de compression du gaz d'entrée (IGC)

Le gaz humide séparé dans le capteur-bouchon, est aspiré à travers un échangeur de chaleur (00-E-071) par deux compresseurs centrifuges (15-C-071 & 16-C-071), chacun est entraîné par une turbine à gaz et qui consiste à augmenter la pression du gaz de 34barg à une pression d'environ 71barg. Le gaz comprimé est acheminé vers les trois (03) trains de traitement. Comme les trois trains de traitement sont identiques on s'intéresse uniquement sur le train 01.

### 0.1.3 Unité de traitement du gaz humide

Le gaz refoulé par les compresseurs d'entrée passe à travers un échangeur de chaleur (01-E-101) et entre dans le séparateur (01-V-101) afin d'éliminer les hydrocarbures liquides et l'eau libre. Cette unité a

---

---

pour buts de :

- Eliminer le H<sub>2</sub>S et le Mercure en passant le gaz à travers les absorbeurs (01-V-1112 & 01-V-1110)
- Elimination du CO<sub>2</sub> par l'absorbeur (01-V-112) dans l'unité d'amine
- Récupérer le froid du courant du gaz export dans les échangeurs de chaleur 01-E-102 & 01-E-103A/B
- Eliminer les traces d'eau dans les ballons de déshydratation (01-V-121A/B/C) [07].

#### 0.1.4 Unité de traitement du gaz sec

Le système du gaz sec reçoit le gaz déshydraté dans le but de :

- Récupérer les hydrocarbures liquides par refroidissement en se basant sur le principe de détente dans le Turbo-Expander (01-C-141)
- Enlever l'éthane et les composants légers par le fractionnement dans le déethaniseur (01-V-151)
- Le gaz sortant du déethaniseur est ré-compressé par le Turbo-Expander à une pression de 24 bar[07].

#### 0.1.5 Unité de stabilisation du condensat

Ce système reçoit le condensat des hydrocarbures provenant du capture-bouchon et l'ensemble des ballons de l'unité de traitement de gaz humide dans le but de :

- Enlever le gaz, les traces d'eau et les particules solides du condensat dans le séparateur (01-V-211)
- Produire un liquide stable dans la colonne (01-V-221) pour alimenter le débutaniseur
- Récupération des gaz en haut des séparateurs (01-V-211 & 01-V-221) et les fournir au système de récupération de vapeur (01-C-261A/B) [07].

#### 0.1.6 Unité de stabilisation des liquides

Cette unité reçoit les liquides froids du déethaniseur et le condensat partiellement stabilisé dans la colonne de fractionnement à reflux le débutaniseur (01-V-231) pour :

- Produire le GPL et l'expédier par pipeline vers les cigares de stockage.
  - Produire et refroidir le condensat stable et l'expédier par pipeline vers les bacs pour le stocker à une température appropriée. Le condensat est acheminé vers les bacs à toit flottant (05-T-431A/B) ou vers le bac à toit fixe (05-T-432) à savoir sa spécification [07].
-

---

### 0.1.7 Unité de production d'eau

Le ballon de flashe d'eau produite (01-V-281) reçoit l'eau provenant de la séparation dans les systèmes du processus en aval pour :

- Séparation de tous les liquides d'hydrocarbure dans l'eau produite
- Transfert de l'eau produite au séparateur CPI (06-X-571) sous la commande de niveau [07].

### 0.1.8 Unité de compression et comptage du gaz résiduel

Le système de compression du gaz résiduel (RGC) reçoit le gaz traité provenant de chaque train à travers un collecteur commun d'aspiration du gaz sec, Il y a trois unités de compression disposées en parallèle. Chaque unité contient un compresseur centrifuge entraîné par une turbine à gaz, le compresseur refoule le gaz sec à une pression de 75 barg, dans un collecteur de refoulement commun. Le gaz comprimé s'écoule à travers les aéroréfrigérant (00-E-161A/B/C) vers le skid de comptage fiscal du gaz résiduel pour l'expédier à travers le pipeline du transport de Sonatrach situé à Ohanet [07].

### 0.1.9 Unité de stockage et expédition du GPL

Le système de stockage et expédition reçoit le GPL en-spécifications et hors-spécifications à partir des accumulateurs 01/02/03-V-232 de tête de séparation du produit dans chaque train du processus dans le but de :

- Enlever le H<sub>2</sub>S du courant GPL afin d'assurer que la spécification du GPL est atteinte.
- Pomper le produit GPL à la pression souhaitable de 110barg pour l'expédition.
- Comptage du GPL pompé au pipeline du transport de Sonatrach vers Ohanet [07].

### 0.1.10 Unité de stockage et expédition du Condensat

Ce système reçoit le Condensat en-spécifications et hors-spécifications à partir des séparateurs du produit 01/02/03-V-231 dans chaque train du processus dans le but de :

- Pomper le Condensat à la pression souhaitable pour l'expédition .
  - Comptage du Condensat pompé au pipeline du transport de Sonatrach vers Ohanet [07].
-

---

### **0.1.11 Unités des Utilities**

Pour les besoins en énergie motrice, chaleur ou services auxiliaires, plusieurs unités sont installées afin de fournir ces besoins à l'ensemble des équipements du site.

#### **0.1.11.1 Système du gaz carburant (Fuel Gaz)**

Le fuel-gaz est utilisée sur les installations de production comme combustible pour tous les équipements de chauffage des fluides de production (fours & Rebouilleurs ...) et pour les turbines à gaz entraînant les générateurs électriques (GTG) et les compresseurs (RGC).

#### **0.1.11.2 Système d'air instrument**

L'air Instrument est la première utilité fondamentale dont on a besoin dans une installation "Oil&Gas". Il est indispensable pour faire fonctionner les instruments de contrôle (les vannes de régulation) et l'unité de production d'Azote.

#### **0.1.11.3 Unité de production d'Azote**

Sert à produire du gaz inerte pour maintenir une atmosphère non explosive à l'intérieur de l'installation (empêchement d'entrée d'air).

#### **0.1.11.4 Générateur de l'énergie électrique**

Trois turbogénérateurs (GTG) fournissent la puissance nécessaire pour le fonctionnement des équipements. Un groupe électrogène de secours fonctionnant au diesel alimente les systèmes critiques en cas de perte des turbogénérateurs.

#### **0.1.11.5 Système de l'huile chaude**

Ce système comporte deux fours dans lesquels l'huile est chauffée, pour fournir une source de chaleur aux moyens de chauffage du processus. L'huile chaude est le fluide caloporteur pour les différents échangeurs de chaleur liés aux unités de séparation du gaz.

---

---

#### **0.1.11.6 Système d'injection de méthanol**

L'injection de méthanol peut être exigée pour empêcher la formation de la glace ou des hydrates dans la tuyauterie du processus et les équipements fonctionnant à basse température.

#### **0.1.11.7 Système d'injection d'inhibiteur de corrosion**

Ce système sert à réduire ou empêcher la corrosion de la tuyauterie en acier carbone dans les systèmes manipulant le gaz humide contenant du dioxyde de carbone.

#### **0.1.11.8 L'unité de traitement des eaux**

Les installations de production induisent une grande consommation d'eau, utilisée pour la dilution des solutions, le nettoyage et les traitements divers. Une unité de traitement des eaux est mise en place dans le but de répondre à ces besoins.

---

# Annexe B

## 0.1 Section de la turbine

La section de la turbine est la place où les gaz à haute température provenant de la section de la combustion sont convertis en puissance sur l'arbre en chevaux. Cette section comprend les suivantes parties : la coquille de la turbine, l'injecteur du premier étage, la roue de la turbine de premier étage, dénommée aussi la turbine de haute pression, l'injecteur du deuxième étage à aube variable et la roue de la turbine de deuxième étage, dénommée aussi la turbine de basse pression. En addition, la section inclut l'ensemble du diaphragme, l'étanchéité à air et les pièces de la voie du gaz entre-étages.

- **Stator de la turbine :** Le carter de la turbine à gaz est une composante structurelle essentielle, boulonnée aux extrémités avant et arrière, il guide le flux de gaz chauds depuis la chambre de combustion jusqu'au bâti d'échappement, avec des mécanismes de refroidissement intégrés.
- **Directrices premier étage :** Elles sont fixées à proximité de la veine de gaz prévu dans le corps de la turbine. L'air refoulé par le compresseur à partir des enveloppes de combustion vient dans l'anneau support de retenue des aubes perforées pour s'échapper dans la veine de gaz vers l'échappement. Ce flux d'air permet le refroidissement des aubes de la directrice.
- **Directrices deuxième étage :** Composées d'aubes orientables, qui forment un angle variable avec la directrice d'écoulement des gaz dans la section annulaire juste avant le deuxième étage de la turbine BP. Une rotation est donnée grâce à des axes prévus dans le corps de la turbine. Les leviers clavetés à l'extrémité de ces axes, sont reliés par des biellettes à des points de la couronne de contrôle qui sont actionnés par un piston hydraulique.
- **Roues de turbine :** Il existe deux roues séparées dans cette turbine, la première HP commande le compresseur axial, et la seconde BP entraîne le compresseur centrifuge BCL 606-3/A. Les roues sont indépendantes mécaniquement ce qui leur permet de tourner différemment.

## **0.2 Communications**

### **0.2.1 Réseaux**

#### **0.2.1.1 Autoroute numérique d'unité (UDH : Unit Data Highway)**

L'UDH connecte le contrôleur et communique avec le HMI via des câbles Ethernet en UTP ou fibre optique. Il peut fonctionner même si un câble tombe en panne grâce à un système de câbles redondants en option. Il peut également avoir des commutateurs de réseau redondants et une communication par fibre optique pour une fiabilité accrue. Les données de commande peuvent être transmises à trois contrôleurs différents via l'UDH. Le réseau UDH prend en charge le protocole EGD pour communiquer avec d'autres systèmes de contrôle MarkVIe.

#### **0.2.1.2 Autoroute numérique de l'installation (PDH : Parallel Data Highway)**

Le PDH en option relie le serveur de données/HMI CIMPLICITY à d'autres équipements comme les stations d'opérateur à distance, les imprimantes et les ordinateurs clients, mais pas directement au système de contrôle. Il utilise des câbles Ethernet en UTP ou en fibre optique avec le protocole TCP/IP. Des câbles redondants sont nécessaires dans certains cas, mais ils font partie d'un seul réseau. Le matériel comprend deux commutateurs Ethernet redondants avec des options de fibre optique pour les longues distances. Dans les systèmes plus petits, le PDH et l'UDH peuvent partager le même réseau physique, à condition qu'il n'y ait pas de contrôle poste à poste dans l'UDH.

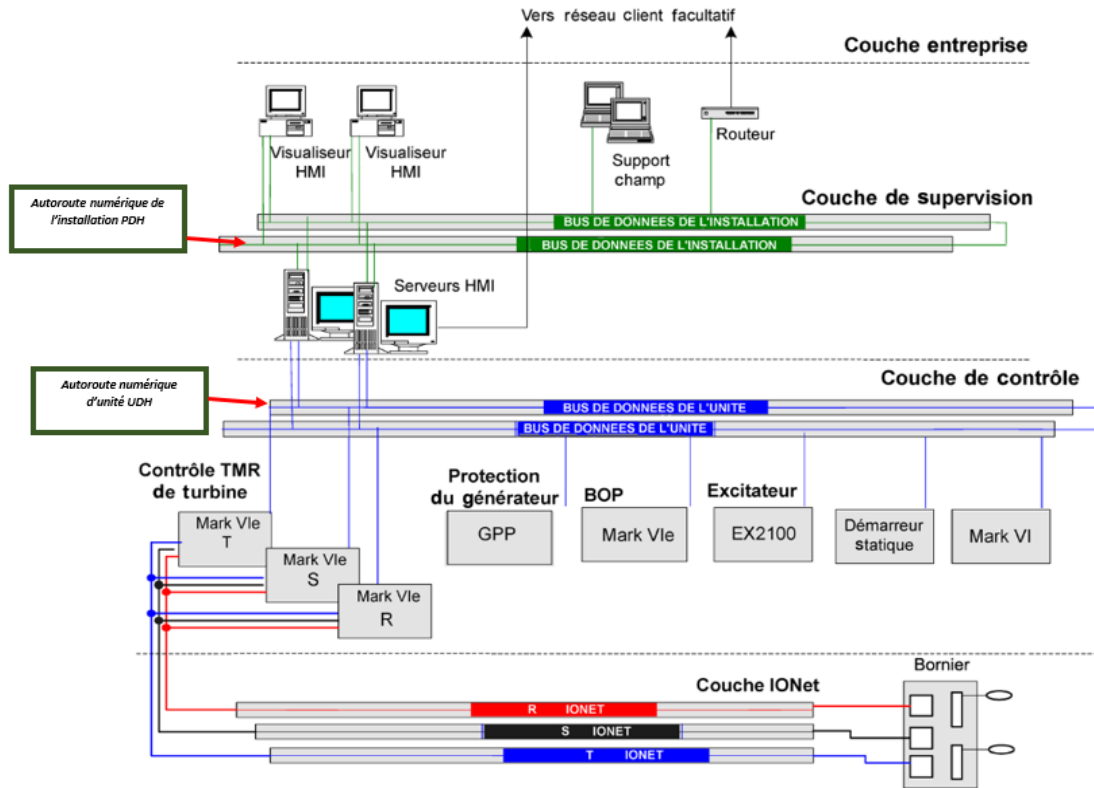


FIGURE 0.1 – Système de contrôle Mark VIe faisant partie d'un système de contrôle intégré.

## 0.2.2 Les IONETS

L'IONET est un protocole point à point, bidirectionnel simultané qui fournit un réseau de télécommunication à haute vitesse, déterministe approprié pour les E/S locales ou à distance avec une interface par fibres optiques. Il est utilisé pour communiquer entre les processeurs principaux et les blocs E/ S interconnectés en réseau, appelés « packs » E/S.[15]

## 0.2.3 Données globales Ethernet (EGD)

L'Ethernet Global Data (EGD) permet aux composants du contrôleur de partager des informations via un réseau, organisées en échanges et pages. Les données peuvent être diffusées à plusieurs utilisateurs simultanément, avec chaque page identifiée par une combinaison d'identification de Producteur et d'échange. Pour garantir l'intégrité des données, divers mécanismes de contrôle sont utilisés, notamment un code de redondance cyclique (CRC) et des signatures de configuration, tandis que les interruptions de transmission sont gérées avec un délai d'attente de trois périodes avant l'expiration des données.

#### **0.2.4 Connexion au système de contrôle distribué de tiers (DCS)**

Les liens de communication externes sont disponibles vers l'interface avec les contrôles d'installation tiers. Cela permet aux opérateurs des installations d'avoir accès à des données en temps réel, et la transmission des commandes discrètes et analogiques vers le système de contrôle Mark VIe. Le système de contrôle Mark VIe peut être relié à l'installation DCS de trois façons différentes :

- Une connexion Modbus esclave en série entre le port RS-232C du serveur HMI ou le contrôleur d'entrée spécial optionnel et le DCS
- Une liaison Ethernet de 100 Mo/s à haut débit utilisant le ModBus esclave sur le protocole TCP/IP.
- Une liaison Ethernet de 100 Mo/s à haut débit utilisant le protocole TCP/IP avec une couche d'application appelée GEDS Standard Messages (GSM).

Le GSM supporte les commandes de contrôle de la turbine, les données et les alarmes de contrôle de Mark VIe, la fonction de silence de l'alarme, les événements logiques et la séquence d'entrée contact des enregistrements d'événements, avec une résolution de 1 ms. Un Modbus est généralement utilisé pour le relier au DCS, mais le GSM Ethernet a l'avantage de présenter une intégration de système la plus réduite. Communication entre contrôleur Mark VIe et DCS.[15]

#### **0.3 Perte de communication**

Chaque groupe de sortie surveille le réseau IONET pour des commandes valides provenant d'un ou de deux contrôleurs. En cas de non-réception d'une commande valide dans un temps imparti, le groupe déclare que la communication est perdue. Dès la perte de la communication, l'action du groupe peut être configurée.

Le groupe peut continuer à maintenir la dernière valeur commandée indéfiniment, ou il peut recevoir l'ordre de passer à un état spécifié de sortie. L'action par défaut est de passer à un état hors tension, comme si l'alimentation avait été supprimée pour le groupe.

#### **0.4 Échange de données sur l'état**

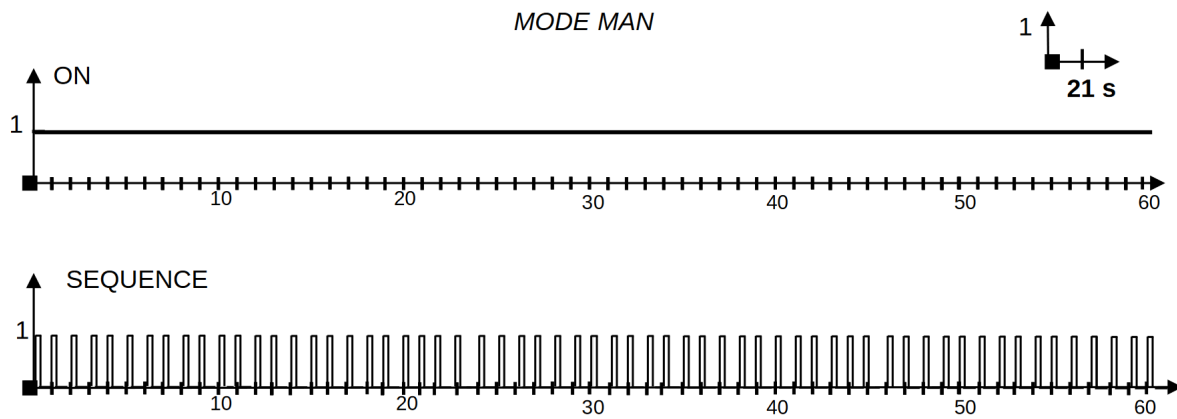
Pour conserver plusieurs contrôleurs synchronisés, le système de contrôle Mark VIe échange efficacement les informations nécessaires concernant l'état par l'intermédiaire de l'IONET. Les informations sur l'état comprennent des valeurs calculées provenant de minuteriers, de compteurs, d'intégrateurs et des

signaux logiques . L'information sur l'état est sélectionnée dans les contrôleurs TMR et suit le contrôleur désigné dans un système TMR double ou par défaut.

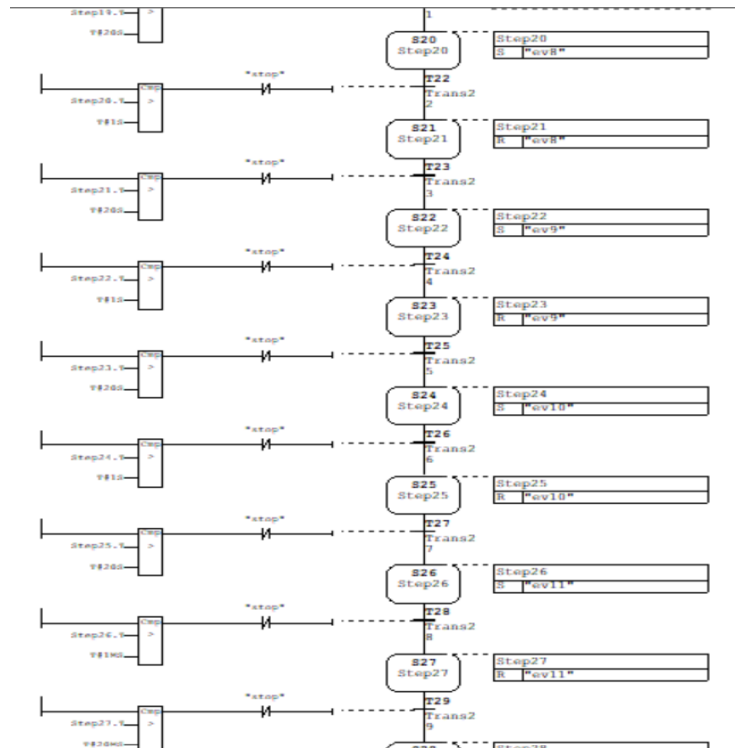
---

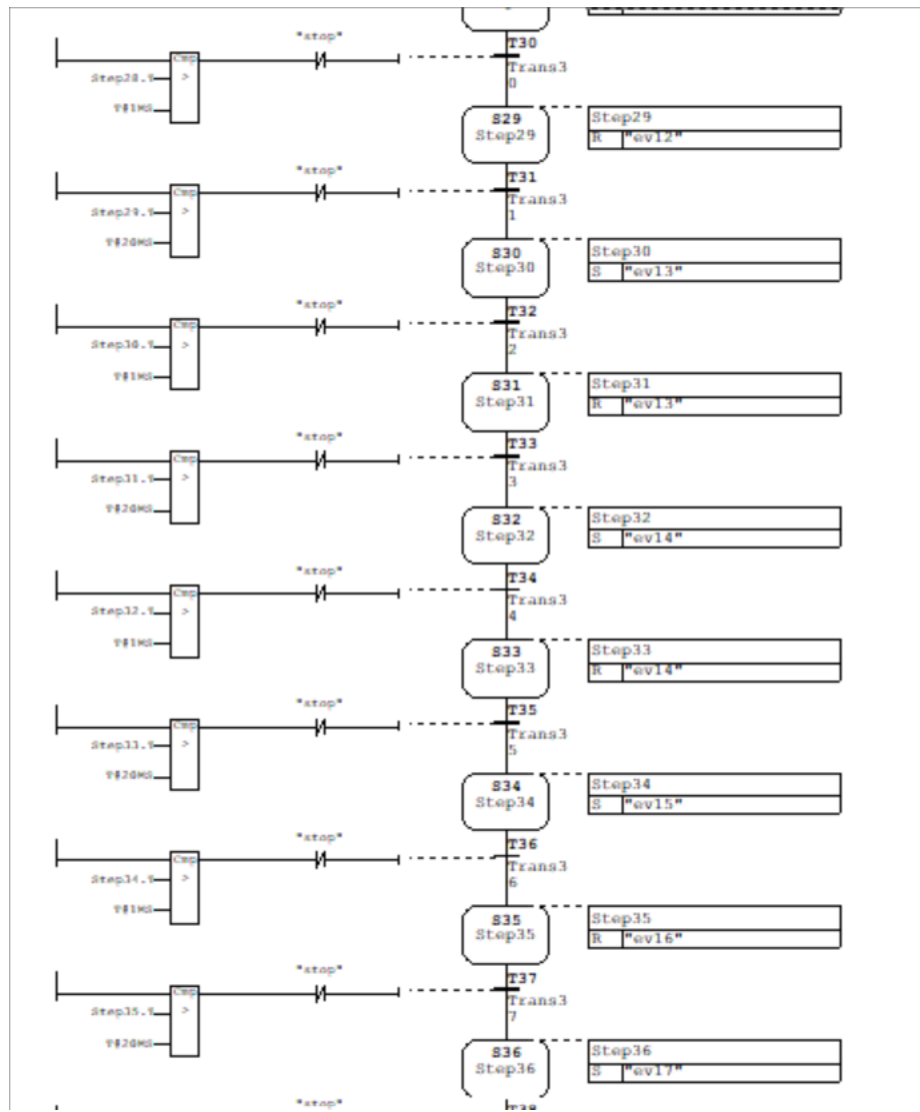
# Annexe C

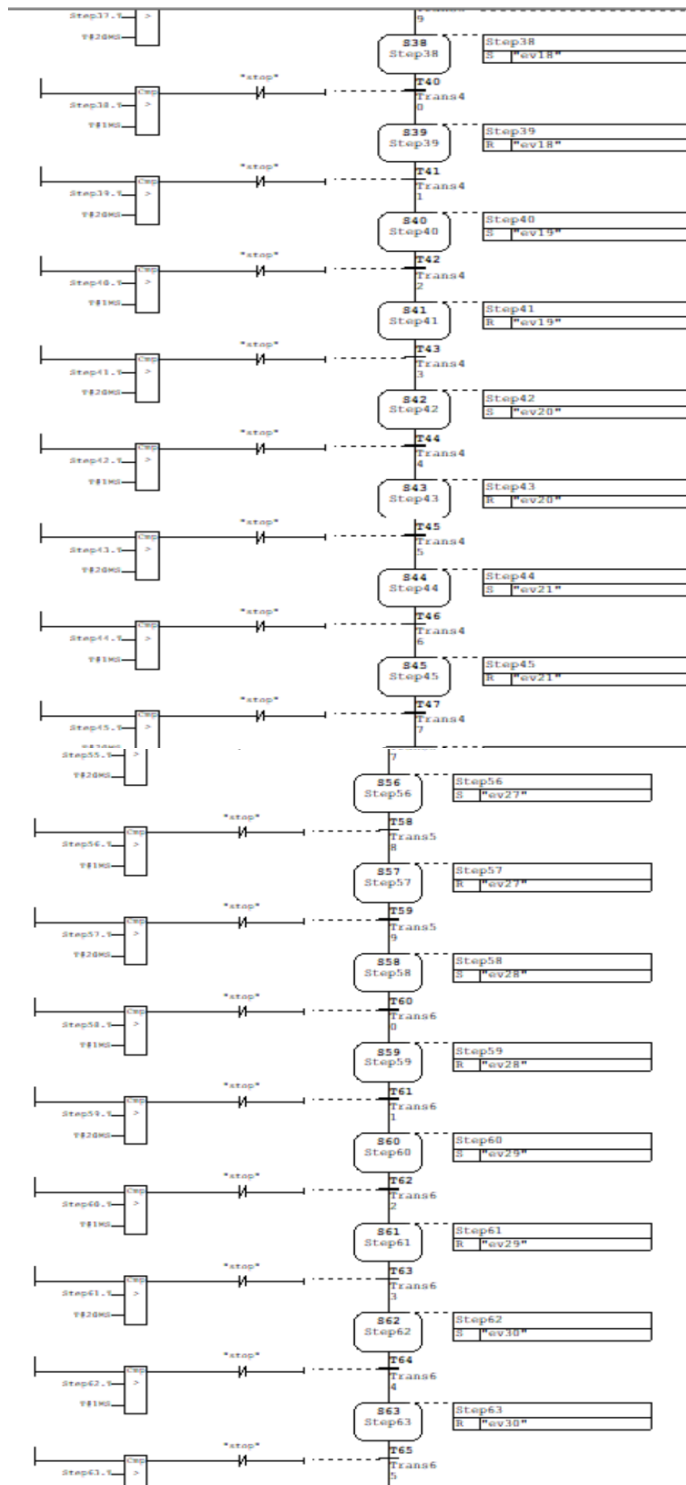
## 1 Chronogramme

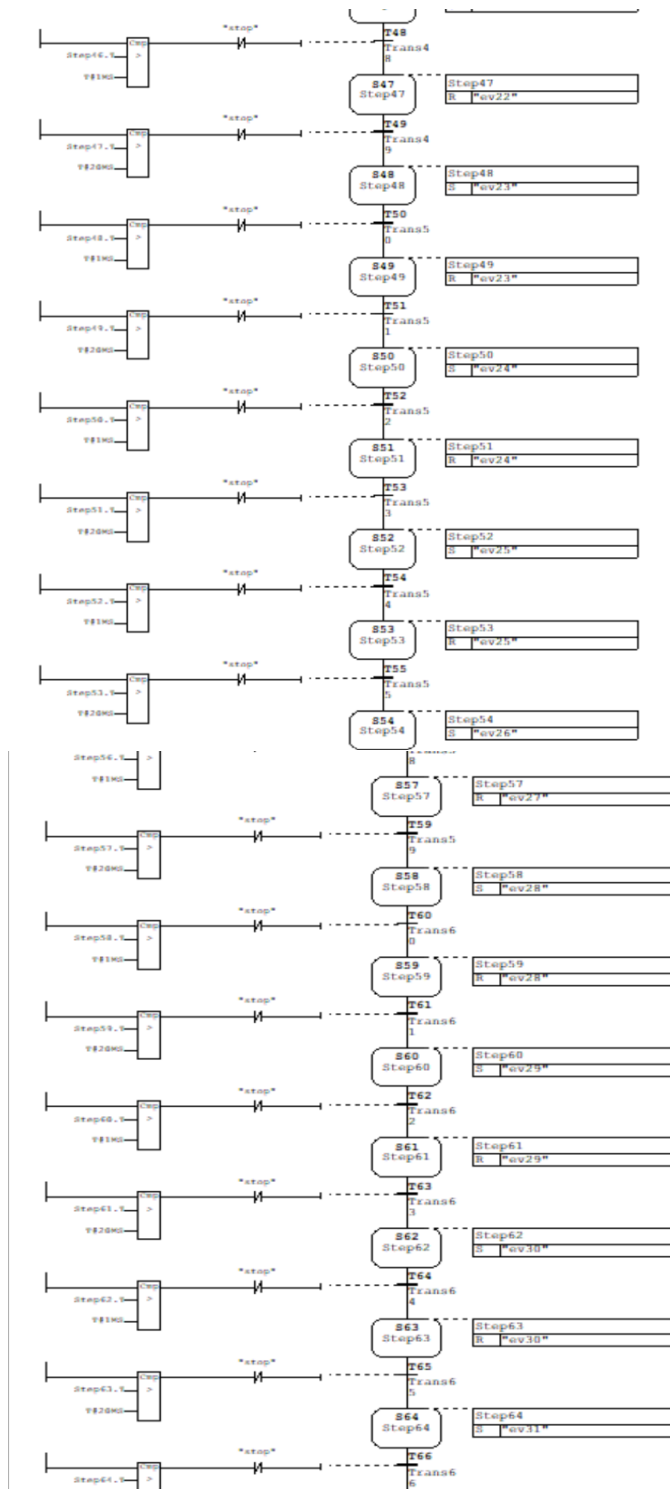


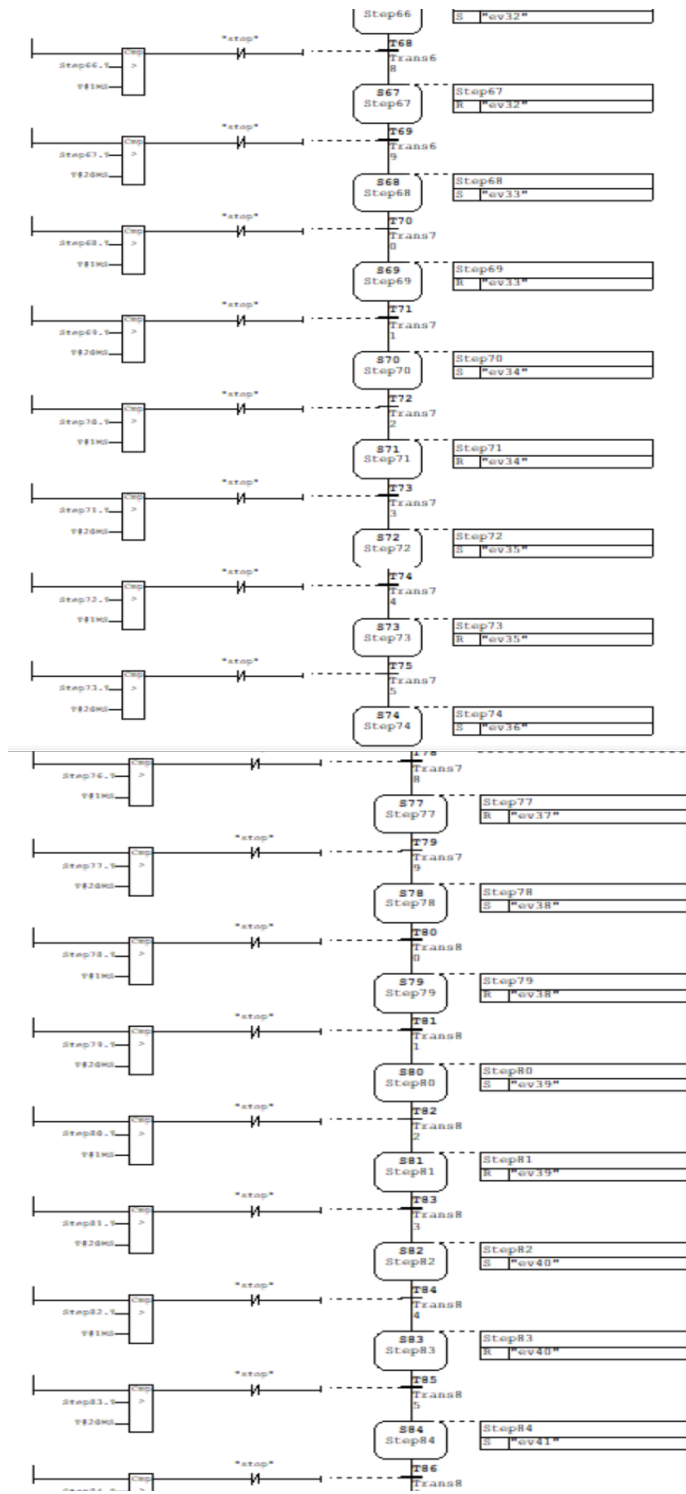
## 2 Grafset (suite)

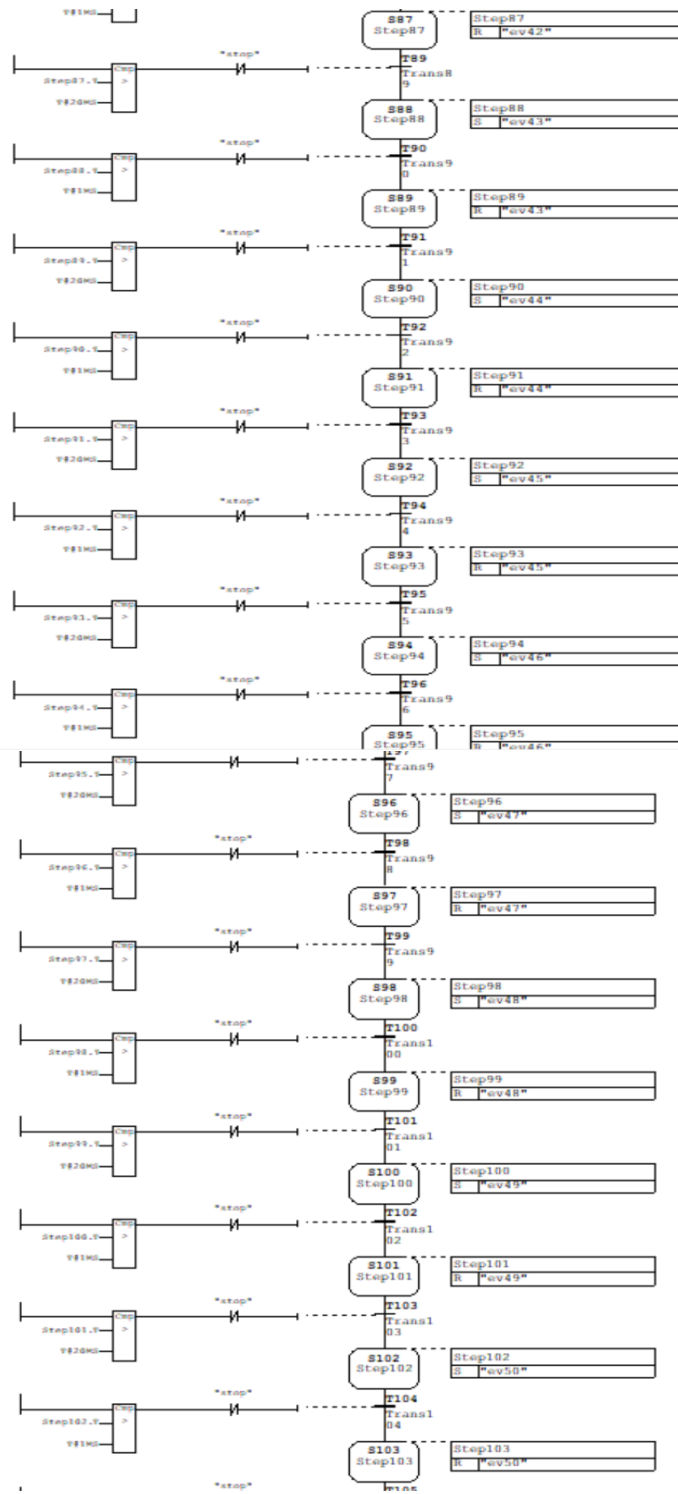


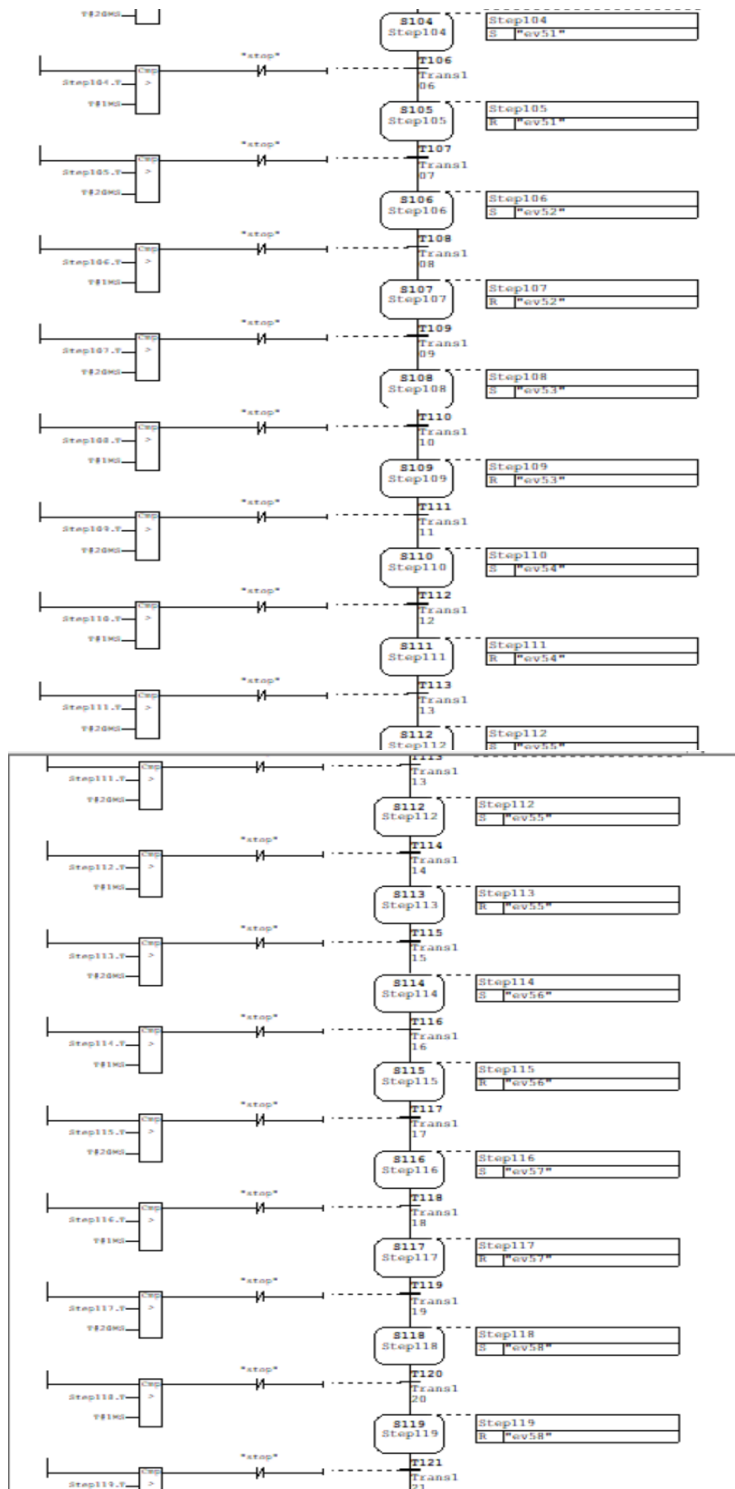


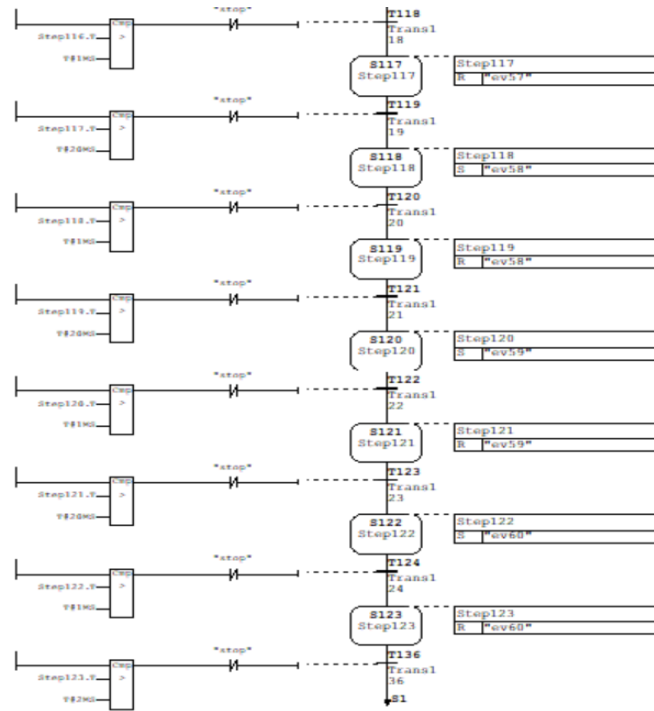




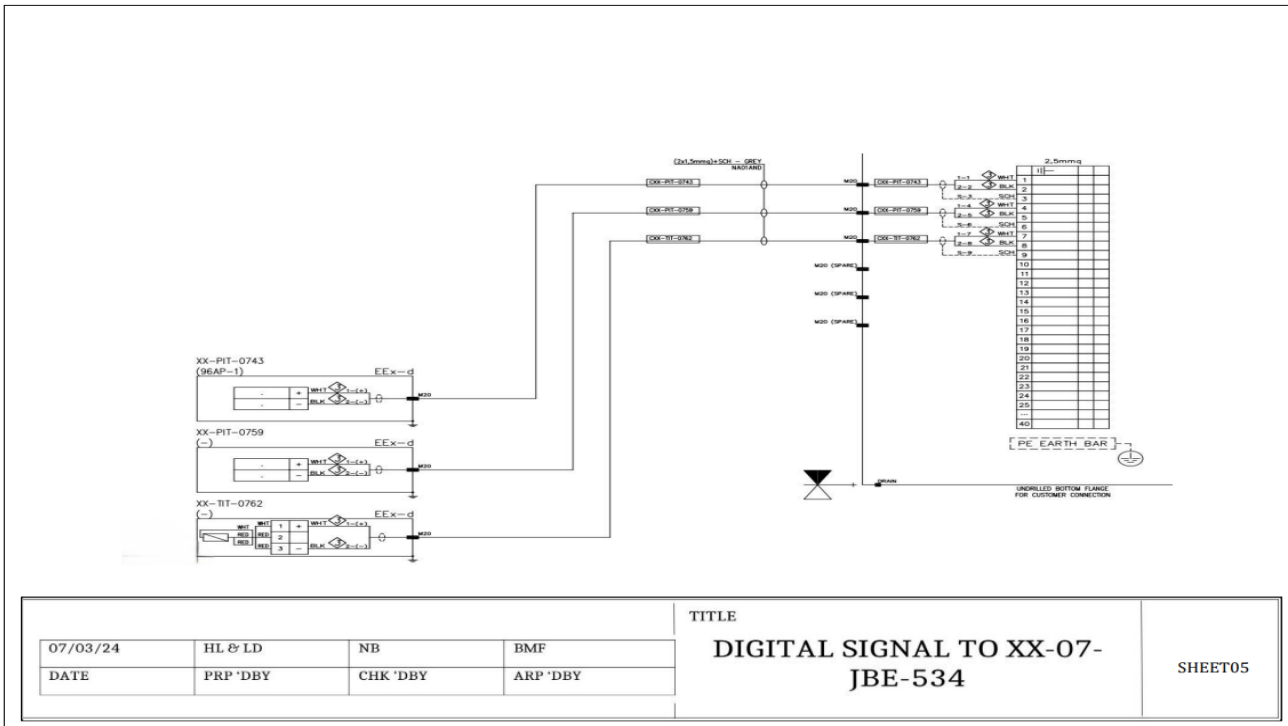


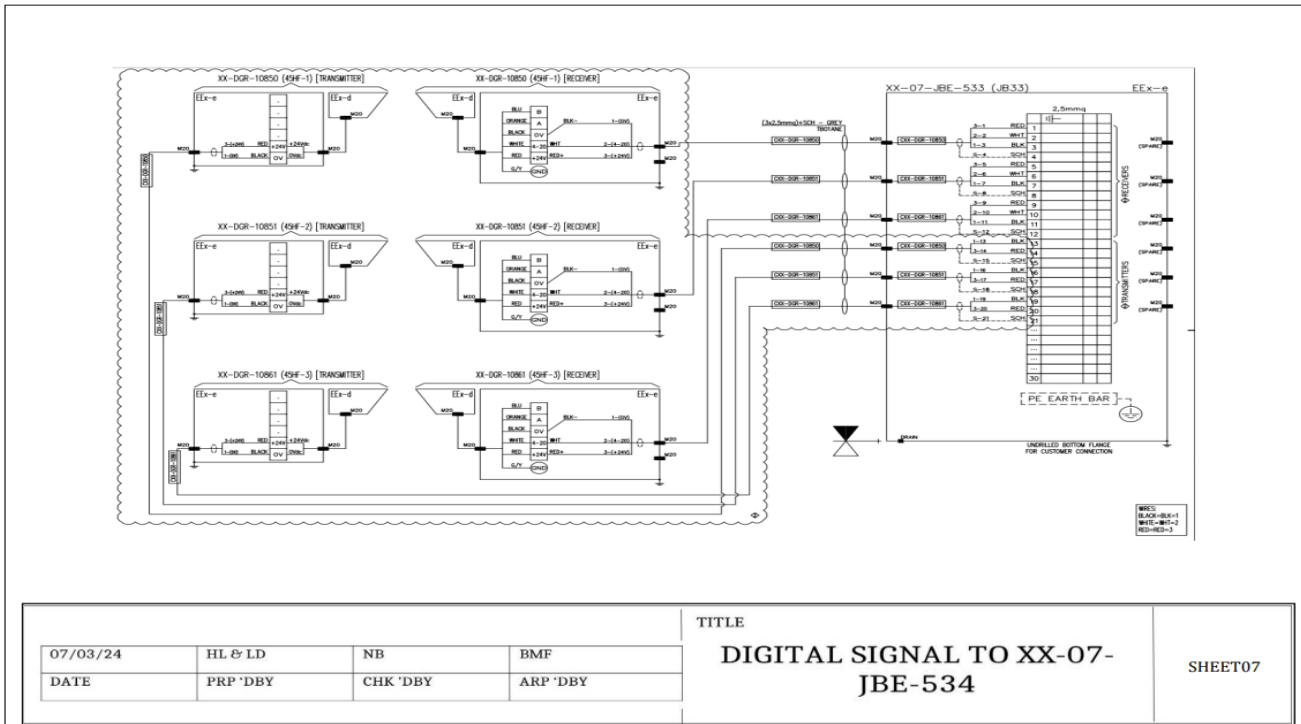
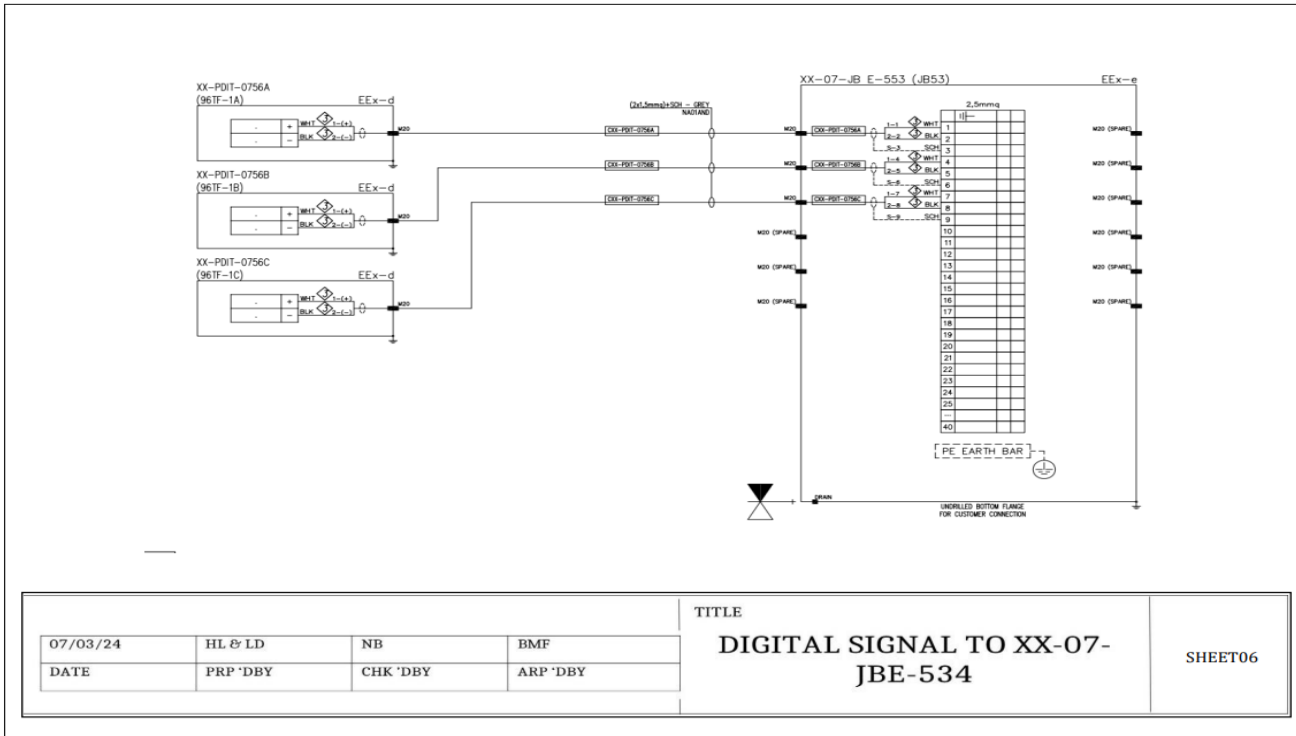


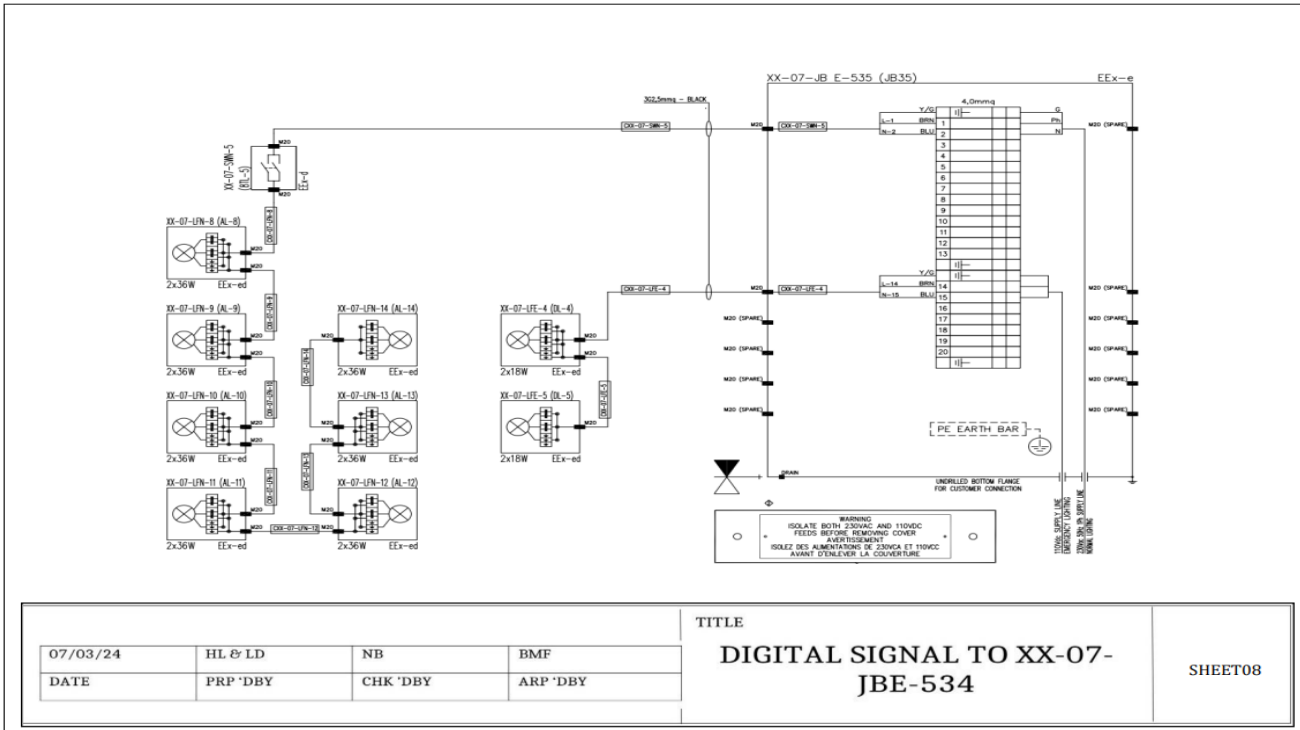




### 3 Filter house







## 4 Ucs wiring

