

**E.N.S.T**

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا  
Ecole Nationale Supérieure de Technologie



Department of Industrial  
Engineering & Maintenance

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا

**Ecole national supérieur de technologie**

Département : Génie Industriel Et Maintenance

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

**D'Ingénieur d'état**

-Filière-

ÉLECTROMÉCANIQUE

Spécialité :

-Spécialité -

MÉCATRONIQUE

- Thème -

Commande et supervision des vannes de sécurité et  
L'amélioration des mesures de sécurité de la turbine MS5001PA

**Réalisé par**

OUADOU Yasser & LAACISSE Abderahmane

**Soutenu le 03/07/2023, Devant le jury composé de :**

Mme TARGUI Nabila MCB ENST, Alger Président

Mr MERADI Samir MCA ENST, Alger Examinateur

Mr A.AMRANE MCB ENST, Alger Encadrant

Mr A. CHABANE MAB ENST, Alger Co-Encadrant

**Année universitaire : 2022/2023**

Tout d'abord, je voudrais dédier cette thèse à mon Dieu qui m'a soutenu tout au long de mon parcours et m'a donné de la patience dans les moments difficiles.

À la mémoire de mon cher grand-père, dont la sagesse et les enseignements continuent de guider, Cette thèse est dédiée à vous, en reconnaissance de tout l'amour et le soutien que vous avez apportés dans ma vie.

À la mémoire de ma chère grand-mère, dont l'amour inconditionnel et la douceur ont illuminé chaque instant passé ensemble. Votre sourire radieux et votre énergie positive restent gravés dans mon cœur.

J'aimerais également dédier cette thèse à ma source de bonheur, mon inspiration et mon seul espoir dans cette vie : mes parents, qui m'ont donné l'amour, le soutien et les valeurs qui ont façonné la personne que je suis aujourd'hui qui me guident et me soutiennent en permanence. Votre présence inconditionnelle et votre soutien constant sont mes plus grands trésors .

A mes frères qui m'ont aidé et encouragé tout le temps, complices de mes joies et de mes peines, qui m'ont toujours soutenu et poussé à donner le meilleur de moi-même .

à ma chère tante qui m'a beaucoup aidé à réaliser mon stage de fin d'études et qui a toujours été là pour moi, offrant des conseils sages, une épaule sur laquelle m'appuyer et un amour inconditionnel. Votre présence dans ma vie a été un cadeau précieux.

à ma deuxième mère, celle qui a toujours été présente pour moi, m'entourant de sa tendresse et de sa bienveillance. Votre amour maternel m'a apporté chaleur et réconfort tout au long de ma vie.

À mes chères amies, Il est difficile de mettre en mots à quel point votre amitié est précieuse pour moi. Vous êtes les personnes qui ont illuminé ma vie de rires, de soutien et de moments inoubliables. Cette dédicace est un témoignage de l'importance que vous avez dans mon cœur.

A tous les ingénieurs de service speed-tronic de Sonatrach qui nous ont permis de découvrir une nouvelle aventure dans la vie professionnelle et nous ont fait découvrir le lien entre ce que nous avons appris et les aspects pratiques.

"Que Dieu vous garde et vous protège pour nous inchallah."

**"LAACISSE Abderahmane"**

À mon Dieu, tu es ma source de force, ma boussole qui m'oriente vers le bien.

À mes chers parents, vous êtes les fondations sur lesquelles repose ma vie. Votre amour inébranlable, votre soutien indéfectible et vos sacrifices désintéressés m'ont façonné en la personne que je suis aujourd'hui. Je vous suis profondément reconnaissant pour votre dévouement et votre présence constante à mes côtés. Votre amour est ma force et mon inspiration.

À mes frères Khalil, Abdelmaek, Ilyes et ma sœur, nous avons partagé des liens indéfectibles et des souvenirs précieux qui resteront gravés dans mon cœur pour toujours. Nous avons ri ensemble, pleuré ensemble et traversé les épreuves de la vie main dans la main. Votre soutien inconditionnel et votre amour sans limites sont des trésors inestimables. Je suis béni de vous avoir comme membres de ma famille.

À mes chères tant Nadjia, Bachira, Khadija et les filles Oum Niaama, Sarah, Douaa, Maram, Rima vous êtes plus que de la famille, vous êtes des âmes sœurs qui ont illuminé ma vie de votre amour et de votre présence précieuse. Votre soutien, vos encouragements et vos conseils éclairés ont été un cadeau inestimable. Je vous chéris et vous remercie pour votre amour inconditionnel.

À mes amis chers Sidali, Hachemendada, Lokman, Zaid, Merouane, Amine, Laki, Haychemaych, Zaki Zebir, Hama, Ayoub, Khalil, Djimi, vous êtes mes compagnons de route, mes confidents et mes complices dans les joies et les peines de la vie. Votre amitié sincère, votre soutien indéfectible et votre présence réconfortante ont enrichi ma vie d'une manière indescriptible. Je suis honoré d'avoir chacun de vous dans ma vie.

Que ce message vous parvienne comme une déclaration de mon amour éternel et de ma reconnaissance profonde. Puisseons-nous continuer à grandir ensemble, à partager des moments précieux.

**'OUADOU Yasser'**

# Remerciement

Tout d'abord, nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à Allah pour nous avoir accordé la force, la patience, le désir, le courage et la santé nécessaires pour mener à bien ce projet.

Nous tenons également à remercier chaleureusement nos parents et nos familles pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements tout au long de notre parcours académique.

Nos remerciements vont également à nos superviseurs, M. AMRANE Ahmed, qui nous a offert l'opportunité de réaliser une thèse professionnelle enrichissant notre parcours universitaire,

et à ne pas oublier M.CHAABANE Ali qui nous a soutenus et assistés à chaque étape du projet, jouant un rôle crucial dans l'élaboration des méthodes et la définition précise de l'idée de notre projet.

Nous tenons également à remercier M.YOUCHEF RIGHI, M.BELKHIR et M.Hakim merabet et M.lle. Beneddine Fatima ; notre sincère gratitude pour votre soutien dans la recherche d'une nouvelle formation au sein de plusieurs entreprises.

Pour leur chaleureusement tous les ingénieurs de Speedtronic des différents secteurs de stage, notamment ceux de RHOUD NOSS : M.ALI, ATTALAH, M.ZBIDA MOSTAFA, M.BAKHOUCHE Abdelkader,

M.MOHAMMED TALAA, M.BRAHIM, M.Djalloule, M. Mohamed Shiri.

Nous exprimons également notre gratitude envers le chef d'instrumentation du IN-AMénas, M.Amine, pour les informations fournies sur la norme IEC.

Nous souhaitons également adresser nos salutations les plus chaleureuses à la zone El RAR. En premier lieu, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance particulière envers M.IMED Rechache, qui nous a apporté son aide précieuse pour effectuer notre stage dans cette zone.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude envers M.MOUNIR, dont le rôle a été essentiel dans notre apprentissage et notre compréhension de la programmation avec le MARK VII. Nous n'oublions pas de remercier M.Othman pour ses explications sur le domaine et les lignes de production.

Enfin, nous remercions sincèrement la division du Speed de Hassi-Rmel qui nous a apporté une aide précieuse pour la finalisation de notre projet.

Nous sommes profondément reconnaissants envers tous ceux qui ont contribué à notre réussite et nous vous adressons nos plus sincères remerciements.



## ملخص

التوربين الغازي هو عبارة عن محرك احتراق داخلي دوار يتمثل دوره في إنتاج طاقة ميكانيكية في شكل دوران العمود.

هدفنا هو تطوير برنامج لضمان السلامة من خلال فصل التحكم في صمامات الغاز عن صمامات الأمان في التوربينات الغازية ١٠٠٥ والتابعة لشركة المصنعة جينيرال اليكتريك، والتي تقع في منطقة الغار لشركة سوناتراخ. سيتم تنفيذ هذه المهمة على وحدة تحكم منطقية قابلة للبرمجة المسماة مارك ١٦ .

سيتم استخدام برنامج تول بوكس س-ت للبرمجة ، بينما سيتم استخدام سا مبليسي تي للإشراف. ستمكن مجموعة البرامج هذه من فهم تسلسل بدء تشغيل التوربين وإغلاقه بكفاءة وأمان .

الكلمات المفتاحية: التوربين الغازي، جينيرال اليكتريك، مارك ١٦

## Abstract

A gas turbine is a rotating internal combustion engine whose role is to produce mechanical energy in the form of shaft rotation.

Our aim is to develop a programme to ensure safety by separating the control of the gas valves from the safety valves in General Electric's 5001 PA gas turbine, which is located in Sonatrach's El RAR region .

This task will be carried out on a MarkVIE programmable logic controller.

ToolboxST software will be used for programming, while Cimplicity will be used for supervision.

This software combination will enable the turbine start-up and shutdown sequences to be understood efficiently and safely.

**Keywords:** Gas turbine, General Electric, MarkVIE

## Résumé

Une turbine à gaz est une machine tournante à combustion interne, dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique sous la forme de la rotation d'un arbre.

Notre objectif est de développer un programme assurant la sécurité à travers la séparation de la commande des vannes de gaz et des vannes de sécurité dans la turbine à gaz 5001 PA du constructeur General Electric, située dans la région d'El RAR de Sonatrach.

Cette tâche sera réalisée sur un automate programmable MarkVIE.

Pour la programmation, nous utiliserons le logiciel ToolboxST, tandis que pour la supervision, nous ferons appel au logiciel Cimplicity .

Cette combinaison logicielle permettra de comprendre les séquence de démarrage et d'arrêt de la turbine de manière efficace et sécurisé .

**Mots Clés :** Turbine à gaz, General Electric , MarkVIE

# Table des matières

<b>Table des figures</b>	<b>i</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>iv</b>
<b>Introduction Générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Généralité et description sur la turbine à gaz</b>	<b>2</b>
1.1 Introduction . . . . .	3
1.2 Classification des turbines à gaz . . . . .	3
1.2.1 Classification des turbines à gaz selon l'application . . . . .	3
1.2.2 Classification des turbines à gaz selon la disposition de l'arbre . . . . .	4
1.2.3 Le marché mondial des turbines à gaz . . . . .	5
1.3 Supervision des processus . . . . .	6
1.3.1 Système de Contrôle Distribué (DCS) . . . . .	7
1.3.2 Système de Contrôle de Processus(PCS) . . . . .	7
1.3.3 Système de contrôle et d'acquisition de données (SCADA) . . . . .	7
1.3.4 La démarche du contrôle du processus . . . . .	8
1.4 Supervision des turbines à gaz . . . . .	8
1.5 Commande des turbines à gaz . . . . .	12
1.5.1 Automate Programmable Industrielle (API) . . . . .	12
1.5.2 Architecture d'un API . . . . .	12
1.5.3 Les générations du Mark . . . . .	14
1.6 Conclusion . . . . .	14
<b>2 Description et Contrôle de La turbine à gaz MS5001 PA</b>	<b>15</b>
2.1 Introduction . . . . .	16
2.2 Situation Géographique . . . . .	16
2.3 Description de l'unité d'étude . . . . .	18
2.4 Différentes sections de la turbine à gaz MS5001 . . . . .	18
2.4.1 Section des accessoires . . . . .	18
2.4.2 Section d'admission . . . . .	19
2.4.3 Section de combustion . . . . .	20
2.4.4 Section de turbine . . . . .	21

2.4.5	Paliers . . . . .	22
2.4.6	Section d'échappement . . . . .	23
2.4.7	Principe de fonctionnement . . . . .	24
2.5	Systèmes auxiliaires de la turbine à gaz Ms 5001 PA . . . . .	25
2.5.1	Système de démarrage . . . . .	25
2.5.2	Système du gaz combustible . . . . .	26
2.5.3	Système de lubrification . . . . .	28
2.5.4	Système d'huile hydraulique (commande) . . . . .	28
2.5.5	Système admission d'air . . . . .	29
2.5.6	Système d'air de refroidissement et d'étanchéité . . . . .	29
2.5.7	Système d'échappement . . . . .	29
2.6	Système de contrôle MARK VIe . . . . .	30
2.6.1	Description générale . . . . .	30
2.6.2	Traitement des sorties en mode Triple Modular Redandancy(TMR) . . . . .	32
2.6.3	Architecture . . . . .	33
2.6.4	Interface homme-machine (HMI) . . . . .	35
2.6.5	Connexion au système de contrôle distribué (DCS <sup>1</sup> ) . . . . .	36
2.7	Analyse Fonctionnel . . . . .	37
2.7.1	Analyse Fonctionnel-Externe . . . . .	37
2.7.2	Analyse Fonctionnel-Interne . . . . .	38
2.8	Conclusion . . . . .	40
<b>3</b>	<b>L'amélioration des Mesures de Sécurité de la turbine à gaz</b>	<b>41</b>
3.1	Introduction . . . . .	42
3.2	Problématique . . . . .	42
3.3	La boîte à outil Toolbox ST de 'General Electric' . . . . .	43
3.3.1	Espèce de travail . . . . .	43
3.3.2	La démarche à suivre dans notre travail . . . . .	44
3.4	Simulation . . . . .	46
3.4.1	ToolBox ST . . . . .	46
3.5	Les composants de l'interface homme-machine . . . . .	61
3.5.1	Prête à marchée 'Ready To Start' . . . . .	63
3.5.2	L'installation et la Mise en marche des vannes FBV <sup>2</sup> et FVV <sup>3</sup> . . . . .	70
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>74</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>75</b>
<b>A</b>	<b>La Norme IEC 61511</b>	<b>A</b>

---

1. Distributed Control systeme

2. Fuel Block Valve

3. Fuel Vent Valve

# Table des figures

1.1	Catégorie des turbines à gaz [1–4]	3
1.2	Classification des turbines à gaz la disposition de l'arbre	4
1.3	Répartition des ventes de turbines à gaz	5
1.4	Production d'unités de génération d'énergie, part de marché en pourcentage selon le siège social de 2010 à 2019.	6
1.5	Les systèmes de supervision les plus utiliser	7
1.6	la marche à suivre pour le contrôle de processus	8
1.7	La supervision du TG par siemens et GE	9
1.8	Vue de portail	9
1.9	Vue de projet	10
1.10	La configuration du contrôleur ,HMI et le système PC pour le control et la supervision à partir Tia portal	10
1.11	Liste des écrans d'affichage	11
1.12	L'environnement Tool box	11
1.13	Les dispositifs utilisée pour la commande des turbines à gaz du type Siemens et GE <sup>4</sup>	12
1.14	Architecture interne d'un API	13
2.1	Centrale pétrolier-Sonatrach.	16
2.2	Centrale pétrolier-Sonatrach.	17
2.3	Centrale pétrolier-Sonatrach.	17
2.4	Schéma des différents sections de la turbine à gaz. [5]	18
2.5	Schéma de l'enceinte de la turbine à gaz. [5]	19
2.6	Section d'admission de la turbine à gaz. [5]	19
2.7	Chambres de combustion [5]	20
2.8	Arrangement des augets et du distributeur de la turbine [5]	22
2.9	Les paliers de la turbine à gaz	23
2.10	Système d'échappement.	24
2.11	Schéma significatif de la turbine à gaz	24
2.12	Système de démarrage [5]	25
2.13	Système de carburant [5]	28
2.14	Système de contrôle [6]	30

---

4. General Electric

2.15	Le CPCI du contrôleur Mark VIe [6] . . . . .	31
2.16	Plaque à bornes simple . . . . .	32
2.17	Plaque à bornes TMR [6] . . . . .	32
2.18	Architecture de système de commande Mark VIe. [6] . . . . .	33
2.19	Groupe E/S [6] . . . . .	34
2.20	Intreface HOMME-MACHINE . . . . .	36
2.21	Connexion au système de contrôle distribué (DCS) [7] . . . . .	36
2.22	Diagramme de Bête à Corne . . . . .	37
2.23	Diagramme de Pieuvre . . . . .	38
2.24	Diagramme de SADT . . . . .	38
2.25	Diagramme de FAST . . . . .	39
3.1	Organigramme significatif des questions et exigences de la norme CEI 51611 . . . . .	42
3.2	Les fonctions primaires de ToolBox ST . . . . .	43
3.3	Le ToolBox ST de General Electric . . . . .	44
3.4	Les Modules de communication(HardWare) . . . . .	46
3.5	Les Tache du programme PFE(SoftWare) . . . . .	47
3.6	Les blocs de la vanne de sécurité FBV . . . . .	48
3.7	Les blocs de la vanne de sécurité FBV . . . . .	49
3.8	Le bloc du signal de vérification d'état du système turbine . . . . .	50
3.9	Les blocs du fins de course pour la vanne FBV . . . . .	50
3.10	Les cas du trouble pour la vanne FBV . . . . .	51
3.11	Les blocs de la vanne de sécurité FVV . . . . .	51
3.12	Le bloc du signal de commande de la vanne FVV . . . . .	52
3.13	Les blocs du fins de course de la vanne FVV . . . . .	53
3.14	Le bloc du cas de trouble de la vanne FVV . . . . .	53
3.15	Le Bloc de détection de gaz et d'incendie . . . . .	54
3.16	Le Bloc de détection de gaz Zone-Admission . . . . .	55
3.17	Le bloc de détection de gaz Zone-Enceinte . . . . .	55
3.18	Bloc de détection de gaz Zone-Génératrice . . . . .	55
3.19	Le Système de détection de gaz et d'incendie . . . . .	57
3.20	Le bloc de détection d'incendie Zone-Admission . . . . .	58
3.21	Le bloc de détection d'incendie Zone-Génératrice . . . . .	58
3.22	Le bloc des condition de démarrage . . . . .	59
3.23	Le système d'echauffement de gaz . . . . .	60
3.24	Le bloc de contrôle de pressurisation . . . . .	60
3.25	la fenetre de 'Ready To Start . . . . .	63
3.26	Le système de condition de démarrage . . . . .	64
3.27	Le système de condition de démarrage . . . . .	65
3.28	Le système de condition de démarrage . . . . .	65
3.29	La fenêtre de trips . . . . .	66

3.30	Le système détection d'incendie . . . . .	67
3.31	Le système de détection d'incendie après la maintenance . . . . .	67
3.32	Le système de détection de gaz dans le cas de détection assurée . . . . .	68
3.33	Le système de détection de gaz après la maintenance . . . . .	68
3.34	La fenêtre des Trips . . . . .	69
3.35	La fenêtre de 'Ready TO stat . . . . .	69
3.36	La fenêtre avant la création de vannes FBV et FVV . . . . .	70
3.37	l'installation des vannes FBV et FVV . . . . .	71
3.38	Le mode de fonctionnement normal . . . . .	72
3.39	la phase de déclenchement . . . . .	72
3.40	la fenêtre des alarmes . . . . .	73
A.1	Les couches de protection . . . . .	B

# Liste des tableaux

2.1	Tableau des types paliers [5] . . . . .	23
2.2	Cahier des charges fonctionnel de la turbine à gaz MS5001 . . . . .	37
2.3	Cahier de charge Technique . . . . .	40
3.1	Les différentes températures . . . . .	45
3.2	Tableau des signaux de la vanne FBV . . . . .	49
3.3	Tableau des signaux de la vanne FVV . . . . .	52
3.4	Tableau des signaux du système de détection de gaz . . . . .	56
3.5	Tableau des signaux du système de détection d'incendie . . . . .	57
3.6	Tableau des signaux des conditions de démarrage . . . . .	61

# Liste des acronymes

<b>HP</b>	Haute pression
<b>BP</b>	Baisse pression
<b>GE</b>	General Electric
<b>PA</b>	Power augmentation
<b>DCS</b>	Distributed Control systeme
<b>HMI</b>	Human Machine Interface
<b>SCADA</b>	Supervisory control and data acquisition
<b>PCS</b>	Process Control system
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>UTP</b>	Unshielded Twisted Pair
<b>SNCC</b>	système numérique de contrôle -commande
<b>CRM</b>	Control and monitoring
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>MPI</b>	Multi Point Interface
<b>IEC</b>	International Electrotechnic comission
<b>SRV</b>	Stop Ratio Valve
<b>GCV</b>	gas control valve
<b>20-VG</b>	Vent gas
<b>LVDT</b>	Linear Variable Differential Transformer
<b>FSR</b>	Fuel Stroke Reference
<b>FH</b>	Filtre Hydraulique
<b>BOP</b>	Balance Of Plant
<b>E/S</b>	Entrée / Sortie
<b>TMR</b>	Triple Moduler Redundancy
<b>UDH</b>	Unit Data Highway
<b>IONet</b>	Input Output Network
<b>PDH</b>	Plant Data Highway

<b>TCP</b>	Transmission control Panal
<b>IP</b>	Internet Protocole
<b>SADT</b>	Structured Analysis and Design Technique
<b>FAST</b>	Function analysis system technique
<b>SIS</b>	Safety Instrumented System
<b>SDB</b>	System Data base
<b>FBV</b>	Fuel Block Valve
<b>FVV</b>	Fuel Vent Valve
<b>PAIC</b>	Pack Analogic
<b>PDIO</b>	Pack Digital Input Output
<b>EGD</b>	Ethernet Global Data
<b>CPCI</b>	Compact Preferal Component Interconnect
<b>BPCS</b>	Batch Process Control System
<b>TCI</b>	Turbine Control Interface

# Introduction Générale

Les turbines à gaz sont des machines tournantes utilisant la combustion du carburant pour convertir l'énergie thermique en énergie mécanique pour des fins bien précises, et dans divers domaines tels que l'industrie pétrolière. Elles sont utilisées pour la compression et pour la ré-injection du gaz, dans les centrales électriques pour la production d'électricités et dans l'aviation et bien d'autre encore.

Dans notre travail on focalise sur les turbines à gaz à usage intensif "Heavy duty" et précisément sur les turbines qui sont utilisées dans les centrales électriques pour la production de l'énergie électrique.

Les turbines à gaz sont équipées d'un tout systèmes de commande de protection et de contrôle assez compliqué et inter connecté. L'échange des informations entre ces systèmes est assuré par des protocoles de communication ainsi que des normes internationales qui établissent des règles et des directives visant à garantir la fiabilité et l'ergonomie.

Parmi ces normes, la norme IEC (International Electrotechnical Commission) qui établit des normes techniques dans le domaine d'électricité, de l'électronique y compris même les équipements électrique, l'automatisation industrielle, les systèmes de communication et le plus essentielle la sécurité dans ces équipements et ces secteurs. Pour assurer la sécurité dans les nouvelles standardisation de la commission électrotechnique internationale (IEC), et en particulier la norme IEC 61511, il est stipulé qu'il convient de séparer le contrôle et la protection dans un processus donné afin d'accroître la sécurité et de réduire les risques.

Cette séparation commence par les éléments les plus fondamentaux de la conception du processus essentiels, afin de garantir une gestion indépendante et efficace de la protection et du contrôle. Notre objective est de maîtriser la turbine à gaz de constructeur GE "General Electric" modèle MS5001 PA, en comprenant son fonctionnement à travers ces différentes sections ainsi de comprendre le système de commande SPEEDTRONIC Mark VIE de cette turbine. Sur la base de ces deux objectives précédents, on peut aller vers notre dernière objective qui porte sur la séparation de contrôle et la protection conformément à la norme IEC61511.

# **Chapitre 1**

## **Généralité et description sur la turbine à gaz**

## 1.1 Introduction

Concernent ce chapitre, la compréhension des différentes catégories des turbines à gaz ainsi que les caractéristiques propres à chacune d'entrée elles seront abordées.

Ensuite, on abordera les critères à prendre en compte pour la sélection de turbine à gaz à étudier.

Étant donné son rôle crucial dans le processus, par conséquent, on examinera la partie relative à la commande et à la supervision de processus en on concentrera sur les systèmes les plus utilisée dans l'industrie pétrolière à l'échelle mondiale, ainsi que sur la commande et la supervision spécifique à la partie turbine .

## 1.2 Classification des turbines à gaz

Toutes les catégories de turbine à gaz peuvent classées sur plusieurs classification : selon le mode d'action, d'injection et du circulation du gaz. Selon le mode de construction, travail fournit et et disposition de l'arbre [2].

### 1.2.1 Classification des turbines à gaz selon l'application

Les turbines à gaz sont utilisées dans le secteur de la mobilité pour des applications terrestres, maritimes et aériennes, non seulement à des fins commerciales mais aussi à des fins militaires [2].

Basée sur leur taille, application et puissance du sortie, les turbines à gaz sont classées en cinq groupes principaux comme indiqué dans le diagramme 1.1 :

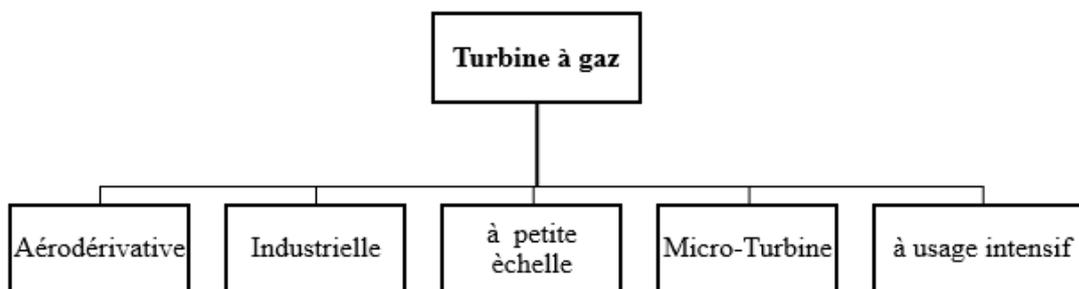


Figure 1.1: Catégorie des turbines à gaz [1-4]

- A) **Turbines à gaz aérodérivatives** : Comme le nom indique, ce sont des unités de production d'énergie qui trouvent leur origine dans l'industrie aérospatiale en tant que moteurs principaux d'avions. Leur puissance du sortie se situe entre 2.5-50 MW avec une efficacité compris entre 35% au 45%.
- B) **Turbines à gaz Industrielle** : Le turbines à gaz industrielle sont pour usage intensive généralement pour les stations pétrochimique pour les train à compresseur. Leur puissance du sortie se situe entre 2.5-15 MW avec une efficacité compris entre 30% au 39%.
- C) **Turbine à gaz à petite échelle** : Conçu de la même manière que les grandes turbines déjà évoquée mais leur puissance est inférieur a 5 MW .

- D) **Microturbine** : Des turbines à gaz de petite taille d'une puissance de sortie comprise entre 20 - 350 KW .
- E) **Turbines à gaz à usage intensif** : Les turbines à gaz à usage intensif ont été introduites sur le marché au début de l'année 1956. Elles sont une extension de la conception des turbines à vapeur. Les contraintes de poids et d'espace n'étaient pas des facteurs importants pour ces unités. Leur puissance de sortie se situe entre 3-480 MW avec une efficacité comprise entre 30% au 46% elles sont utilisées dans les centrales électriques pour produire de l'électricité de grande capacité. L'avantage de ce type est sa longue durée de vie, sa haute disponibilité et un rendement global légèrement supérieur.

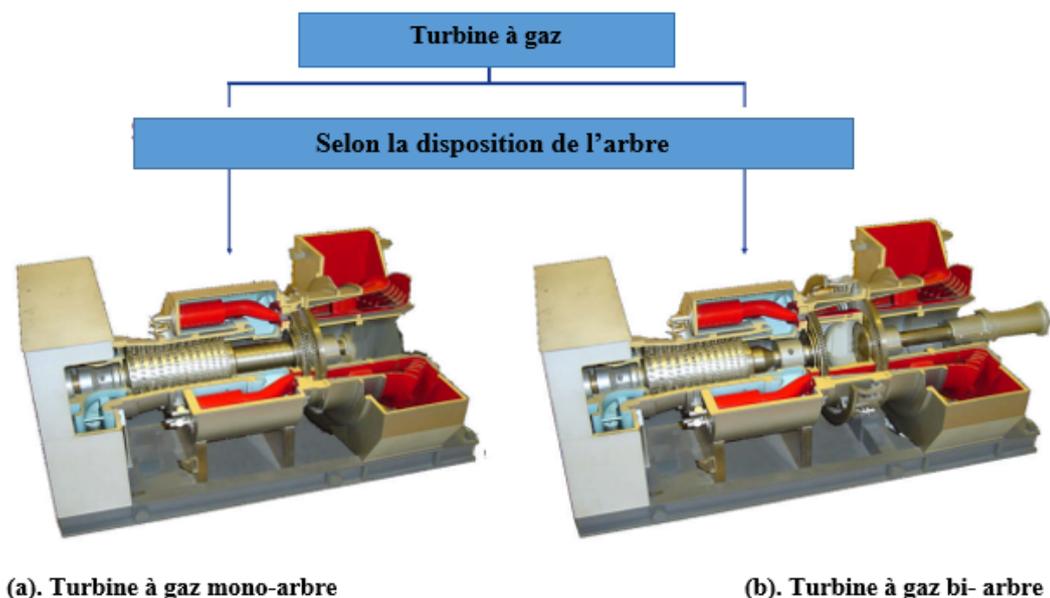
### 1.2.2 Classification des turbines à gaz selon la disposition de l'arbre

Cette classification est basée sur l'accouplement mécanique des éléments rotatifs. Elle est composée de deux groupes distinctes : [1]

**1. Mono Arbre (Single shaft)** : c'est lorsque toutes les composantes rotatives sont couplées mécaniquement sur un arbre commun c'est à dire la partie de la charge et la turbine sont liées sur le même arbre avec le compresseur axiale.

**2. Bi Arbre (Double shaft)** : La turbine à gaz possède deux arbres distincts, dans ce cas la turbine se comporte de deux parties : la partie haute pression et la partie basse pression.

La partie haute pression comprend le compresseur axial, la chambre de combustion et la roue HP<sup>1</sup> du turbine et l'autre partie comporte de la roue BP<sup>2</sup> et la section de charge qui peut être un compresseur ou bien un alternateur.

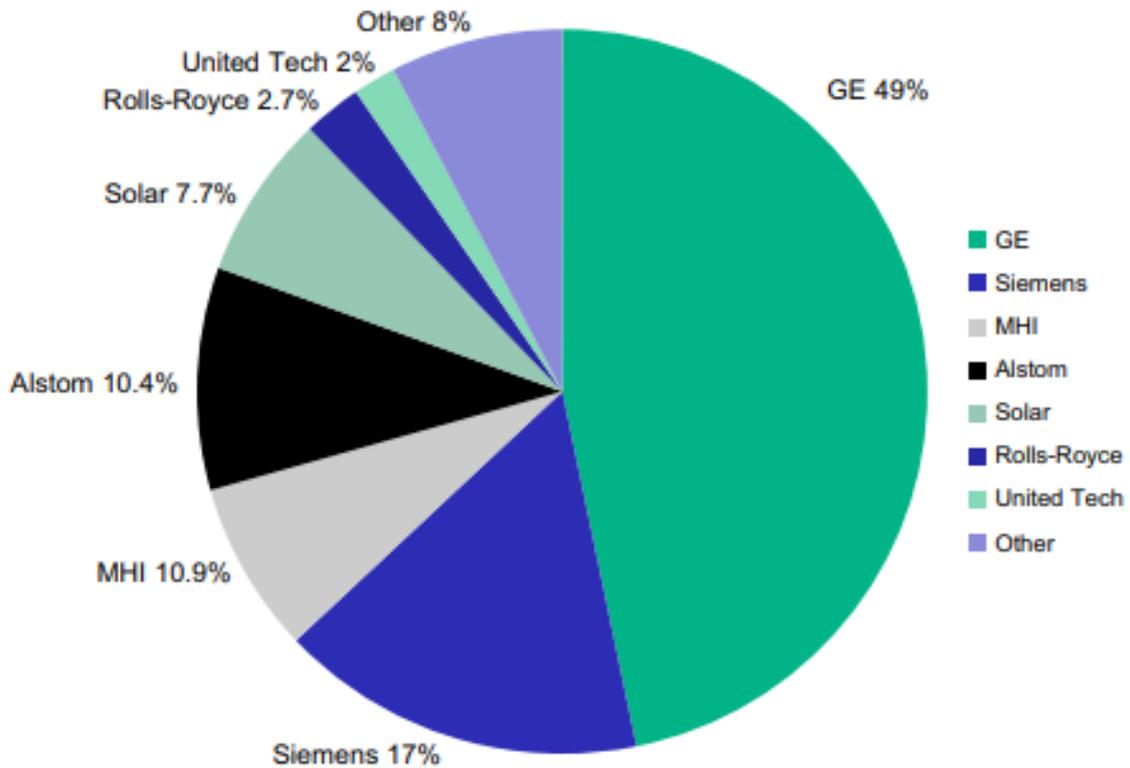


**Figure 1.2:** Classification des turbines à gaz la disposition de l'arbre [8]

1. Haute pression  
2. Basse pression

### 1.2.3 Le marché mondial des turbines à gaz

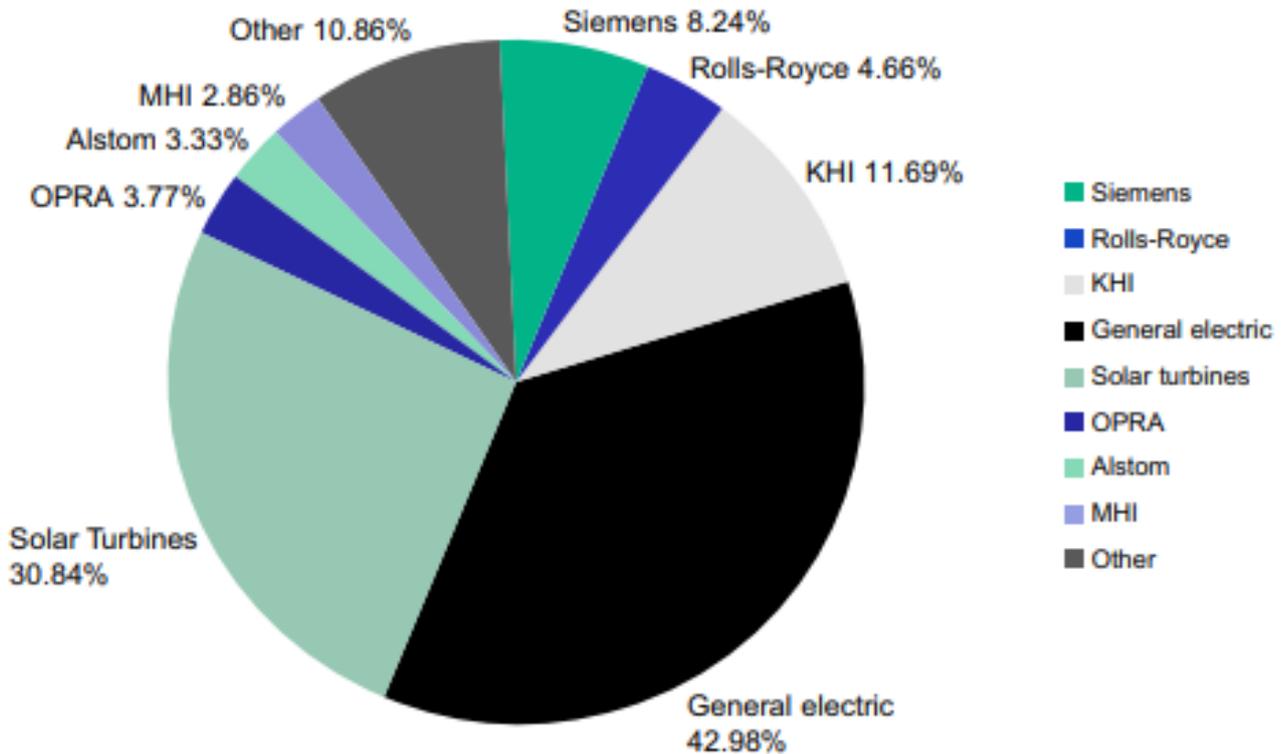
Il existe plusieurs fabricants de turbines à gaz sur le marché. La figure(1.3) ci-dessous présente la répartition des fabricants de ces machine.



**Figure 1.3:** Répartition des ventes de turbines à gaz [4] et [2]

Il est clair que la société américaine General Electric est le plus grand fournisseur mondial des turbines à gaz, détenant environ 49% du marché suivi par la société allemande Siemens qui détient 17% du marché.

D'autre part, il est possible d'examiner la production mondiale de turbines à gaz en considérant l'ensemble des fabricants qui investissent sur le marché comme illustré dans la figure (1.4).



**Figure 1.4:** Production d’unités de génération d’énergie, part de marché en pourcentage selon le siège social de 2010 à 2019.

[4] et [2]

Notre étude se concentrera sur l’analyse approfondie de la turbine monoshaft MS5001PA de type "heavy duty" fabriquée par General Electric que l’on peut trouver dans les installations pétrolière et gazière utilisées, ainsi que sur sa relation avec le processus.

Afin d’apporter une clarification détaillée et une meilleure compréhension de ses caractéristiques et performances spécifiques il faut d’abord connaître comment tout le processus est relié entre eux.

Pour cela, il faut identifier les fabricants les plus dominants dans le monde ainsi que la machine choisie. La figure(1.4) décrit les deux grandes fabricants de turbines à gaz intensive dans le marché , en spécifiant la turbine à étudiée.

Ensuite nous pouvons examiner de manière générales comment la supervision et la commande sont assurer pour garantir le bien déroulement du processus.

### 1.3 Supervision des processus

La supervision est une méthode industrielle qui consiste à surveiller et à contrôler d’une forme automatisée des processus industrielle [9].

La supervision joue un rôle très important pour la présentation des valeurs du procédé et les résultats des différentes grandeurs utilisée.

Pour cela des systèmes de supervision sont utilisée pour garantir le bon fonctionnement des lignes du production et suivi l’état des différentes machines en temps réel .

la figure(1.5) ci dessous décrit les différents systèmes les plus utile de supervision

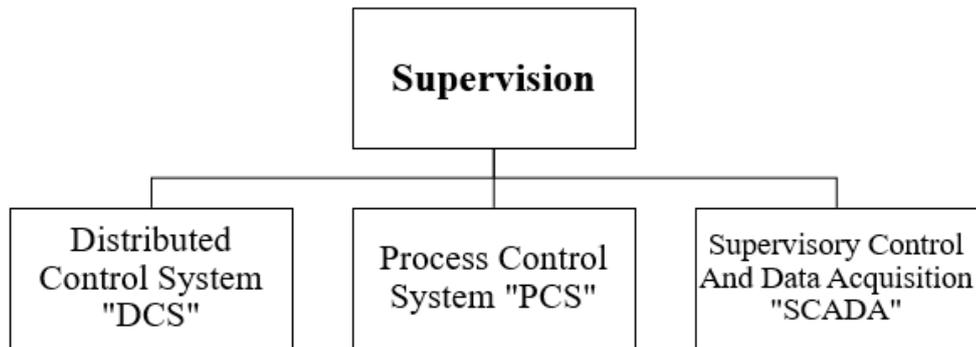


Figure 1.5: Les systèmes de supervision les plus utiliser

### 1.3.1 Système de Contrôle Distribué (DCS)

**DCS** abrég du "Distributed control system" est un système numérique de contrôle à commande réparties et utilisée pour le contrôle de procédé industriel [10] et [11].

Composé de :

- A) **Human Machine Interface (HMI)** : Une interface homme machine dans l'ensemble des ordinateurs pour superviser.
- B) **Contrôleur** : Ensemble des micro-processeurs utilisée pour le traitement de donnée échangé avec le procédé.
- C) **Carte des entrée/sortie** : Une interface qui assure l'échange avec le procédé
- D) **Interface de communication** : Utiliser pour communiquer avec d'autres sous systèmes à base d'automate programmable, cette communication est assurée par un réseau de communication.

### 1.3.2 Système de Contrôle de Processus(PCS)

**PCS**<sup>3</sup> abrég du Process control system est un system utilisée pour la commande et la supervision à base des automate programmable d'un processus industrielle afin d'assurer la régulation des paramètres du procédé comme le débit, la pression, températures.

Domaine d'application : Par exemple, dans les installions pétrolières le "PCS" utilisée pour le traitement de fuel gaz par la régulation et la supervision du pression ,débit et de température basée sur les automates S7-300 du siemens.

### 1.3.3 Système de contrôle et d'acquisition de données (SCADA)

Supervisory control and data acquisition est un système de contrôle et d'acquisition de donnée ,utilisée pour la collection des donnée pour plusieurs installation des langues distances comme les réseau électrique et l'envoi des commandes limités de contrôle de ces derniers [10] et [11].

La transmission de donnée entre la salle de contrôle et l'installation peut se faire par câble ou par radio fréquence.

---

3. Process Control system

### 1.3.4 La démarche du contrôle du processus

Les système effectuer pour la supervision ,en utilisant 3 étapes principales qui sont représentée par la figure (1.6) :

**a.Acquisition des données :** La première étape concernent ;la mesure des grandeurs a régler à partir du procédé et leur envoi par les capteurs et les transmetteurs .

**b. Exécution des fonctions :** Comparer la grandeur mesuré avec la consigne a partir de l'interface de contrôle commande .

**c.L'envoi des commandes :** Agir sur le procédé à partir d'un signal de commande élaborer .

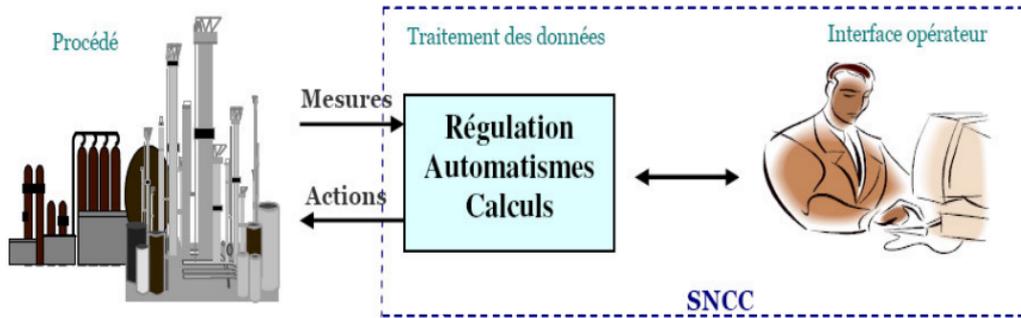
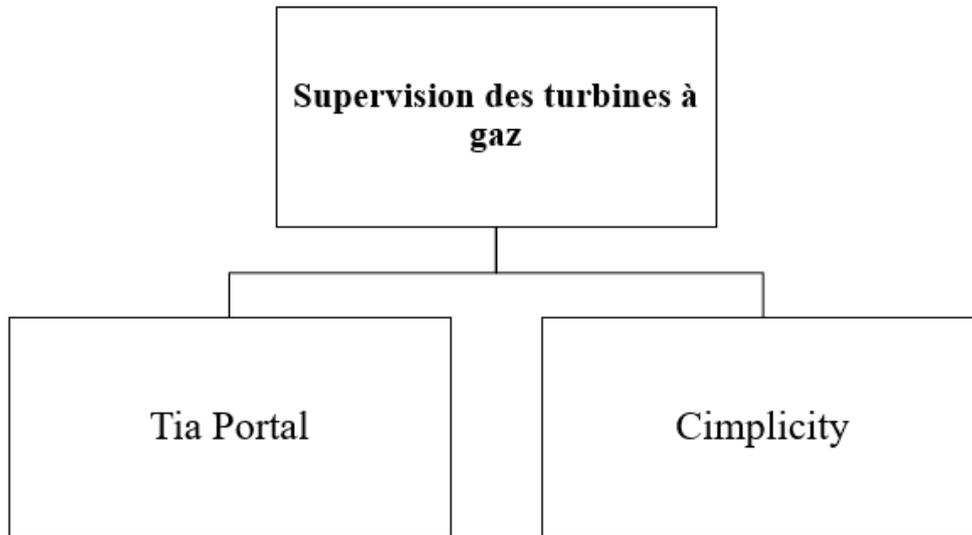


Figure 1.6: la marche à suivre pour le contrôle de processus [10]

## 1.4 Supervision des turbines à gaz

Les turbines à gaz font partie intégrante des processus industriels et sont considérées comme un sous système de procédé. En raison de leur complexité et de leur importance,elles consiste son propre système de commande et de supervision .

Chaque constructeur adopte sa propre philosophie de commande et de supervision, dans la littérature on peut trouver plusieurs systèmes de commande et supervision, selon les auteurs [12, 13] et on particulier pour la supervision des turbine a gaz sont : Siemens et GE . la Figure (1.7) , représentent les modes de supervision et ainsi que les deux logicielles utilisée .

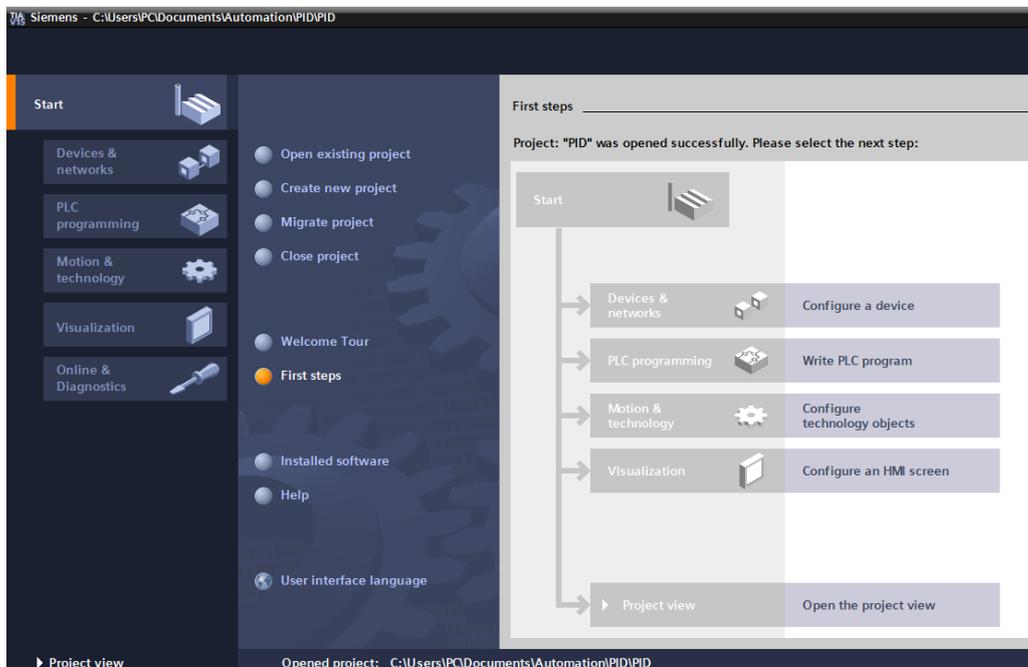


**Figure 1.7:** La supervision du TG par siemens et GE

Dans la figure(1.7) on distingue le systèmes :

**Le softwar de Siemens Tia Portal :** (Totally integrated automation portal) est un logiciel développée par siemens qui regroupe tous les systèmes d’ingénierie pour l’automatisation dans un seul environnement du développement par la configuration SIMATIC STEP7 et la visualisation par SIMATIC WINCC des systèmes automatisée. Le lancement de ce programme permis a nous avoir l’environnement du travail qui décompose en deux vue :

**Vue du portail :** qui consiste une liste de portails ,celui ci traite une liste des actions. Ces actions sont choisit a partir de la fenêtre de sélection.



**Figure 1.8:** Vue de portail

**Vue de projet :** cette vue englobent tous les éléments et les données essentiels pour la mise en oeuvre de la solution d’automatisation désirée .

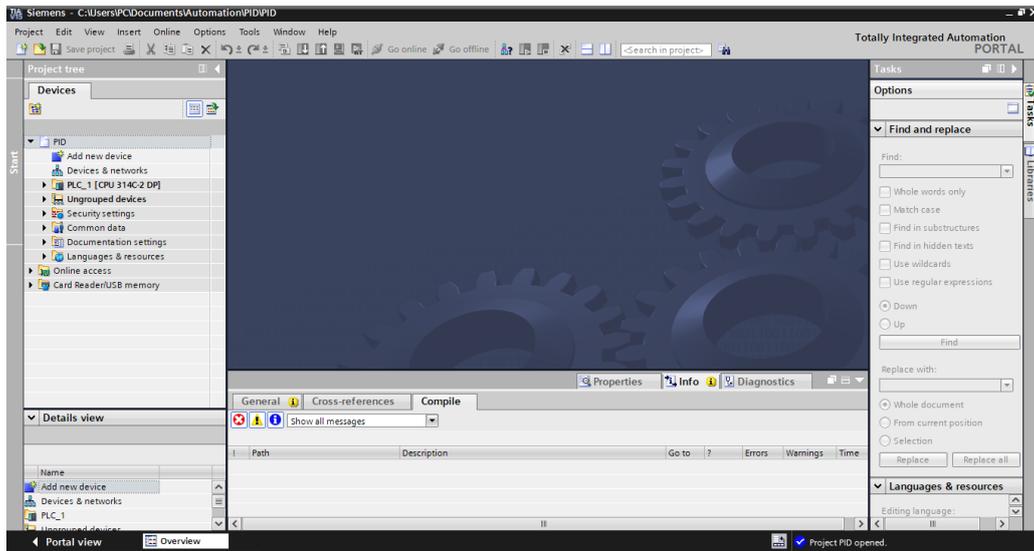


Figure 1.9: Vue de projet

La visualisation se fait à partir le package WINCC qui est un SCADA utiliser pour n'importe quelle machine par exemple, la turbine à gaz du fabricant siemens ou d'autre fabricants qui peuvent utiliser la configuration siemens dans leur machine, cette visualisation est initiée à partir de la fenêtre "ajouter une appareil" qui permet l'utilisation d'une autre fenêtre consiste le contrôleurs, ainsi les interfaces homme machine et les systèmes PC pour la supervision.

Grâce à une configuration et à un paramétrage approprié avec le contrôleur choisi, il est possible de superviser l'ensemble du système de turbine.

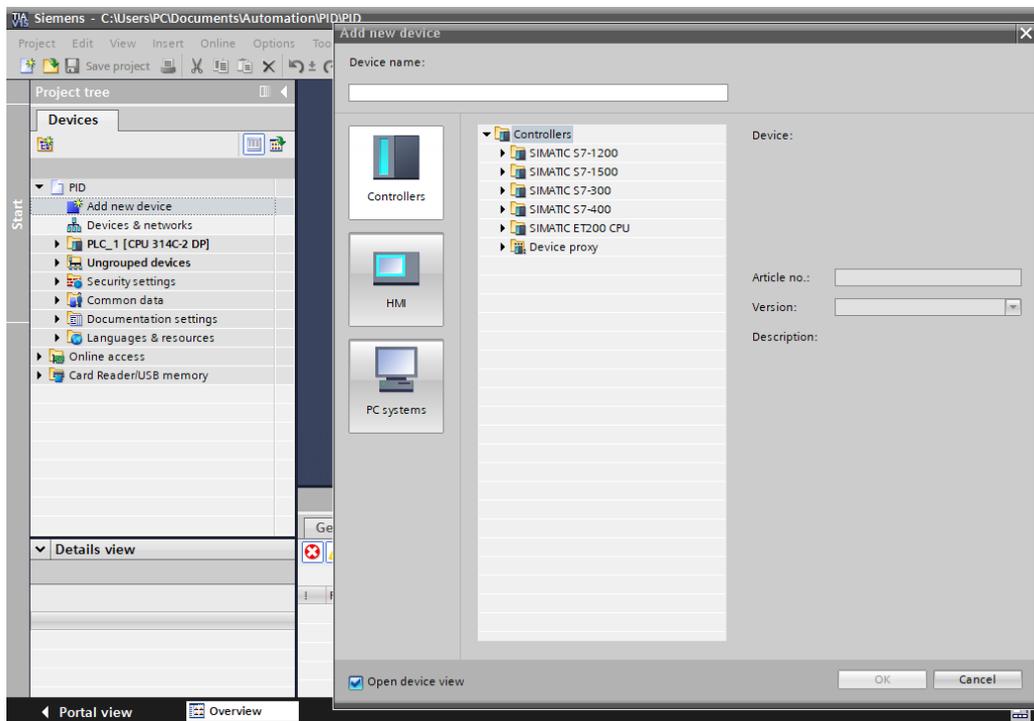


Figure 1.10: La configuration du contrôleur ,HMI et le système PC pour le control et la supervision à partir Tia portal

**Le softwar de GE "Cimplicity" :** General Electric utilisée son propre logiciel de supervision

appelée "Cimplicity", qui offre une interface graphique composée de différentes image d'affichage nommée "Screens", permettent d'afficher les opérations sur l'écran.

Pour cela, il utilise "Cimview" un environnement pour afficher les écrans des opérations comme l'affichage des alarmes ,et les évènements.

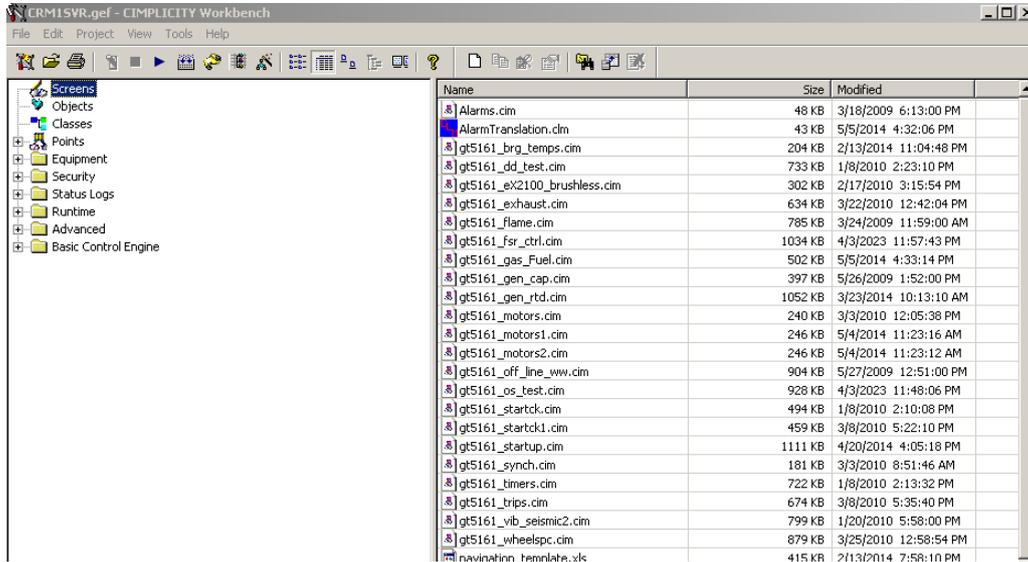


Figure 1.11: Liste des écrans d'affichage

Les paramètres sont configurés et paramétrés à laide du toolbox, l'environnement qui permis du connecté les contrôleurs (Mark VIE) au écrans d'affichage "Control and monitoring" (CRM) en utilisant les deux protocoles du communication "Unit Data Highway"(UDH) et "Plant Data Highway" (PDH).

Pour que le CRM<sup>4</sup> lire les données il faut d'abord définit toutes les signaux de commande sur la page "Ethernet Global Data"(EGD) pour avoir la visualisation dans la cimplicity.

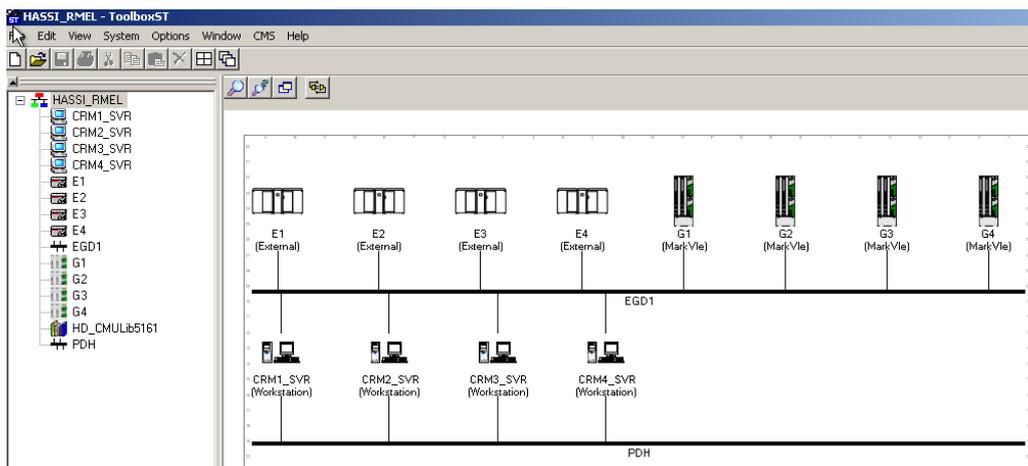
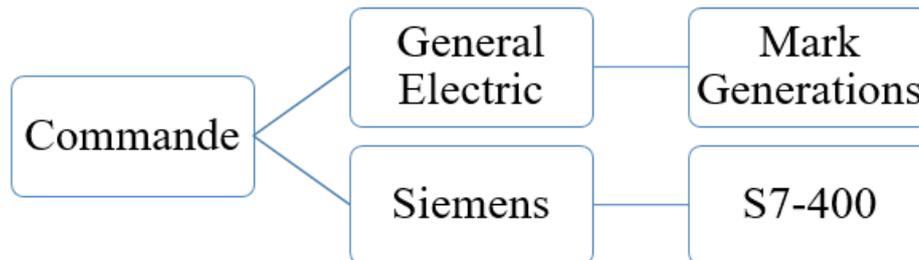


Figure 1.12: L'environnement Tool box

#### 4. Control and monitoring

## 1.5 Commande des turbines à gaz

La commande des turbine à gaz se faire a base des automates programmables, et chaque constructeur et utilisée soit son propre automate ou bien des automates provenant d'autres fabricants, en fonction de cahier de charge spécifique.



**Figure 1.13:** Les dispositifs utilisée pour la commande des turbines à gaz du type Siemens et GE

Avant d'aborder les automates les plus utilisés, il est préalablement nécessaire de comprendre la signification d'un automate programmable industrielle .

### 1.5.1 Automate Programmable Industrielle (API)

L'automate programmable industrielle (API), ou Programmable Logic Controller (PLC) en anglais, est un dispositif électronique programmable adapté à l'environnement industriel, qui remplit des fonctions de commande (logique séquentielle ,comptage ,dé-comptage ,asservissement , régulation ...) pour assurer la commande de pré-actionneurs et d'actionneur à l'aide d'informations logiques, analogiques ou numériques.

Le rôle de l'automate est de réagir aux changements d'état de ses entrées en modifiant l'état de ses sorties selon une loi de contrôle déterminée a priori par le concepteur du système [14], [15].

### 1.5.2 Architecture d'un API

A) **Aspect externe :** Les automates peuvent être de type :

**Compact :** Compact ou bien monobloc ,ce type d'automate intègre le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties.

**Modulaire :** Le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le "fond de panier" (bus plus connecteurs).

B) **Aspect Interne :** De manière générale, un API est structuré autour de plusieurs éléments de base que sont :

1. l'unité centrale de traitement ou processeur,

2. la mémoire,
3. l'unité d'alimentation,
4. les interfaces d'entrées-sorties,
5. l'interface de communication.

Ces éléments sont reliés entre elles par des bus (ensemble câblé autorisant le passage de l'information entre ces éléments de l'API).

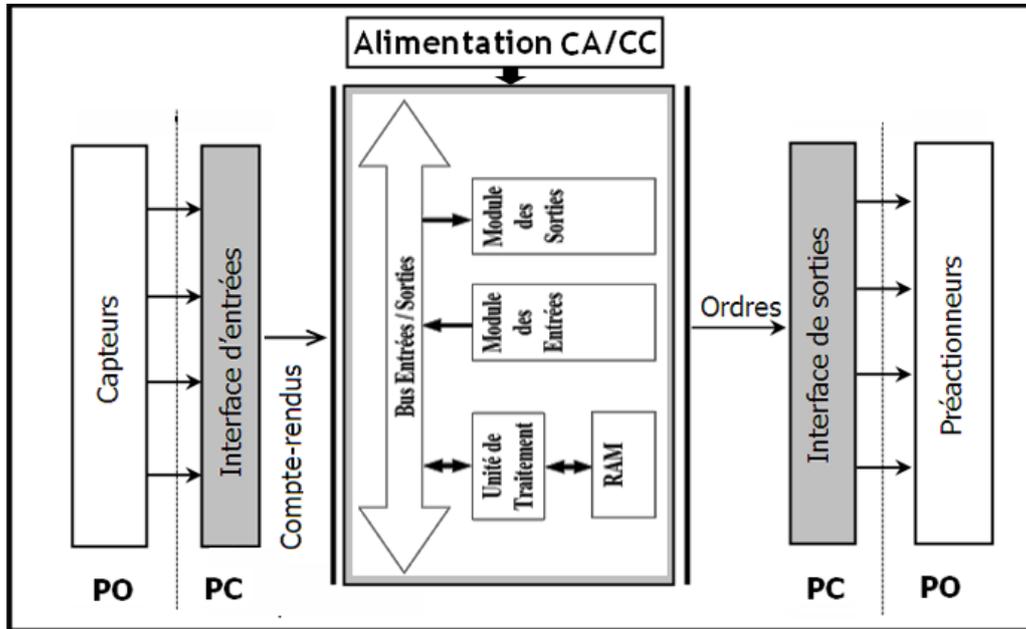


Figure 1.14: Architecture interne d'un API

### 1.5.2.1 Présentation de l'automate S7-400

L'automate programmable S7-400 est un automate de type modulaire, pour les applications d'entrée et de haute gamme, de la série S7 fabriqué par la firme Siemens.

Reconnue par sa flexibilité, sa robustesse et bien d'autres avantages, notamment grâce à sa redondance au niveau du module d'alimentation et du processeur, elle se distingue par son contrôle intensif.

Constitué de :

A) **Module d'alimentation** (power supply) : Un module d'alimentation redondant qui transformer la tension secteur en une tension d'alimentation continue pour l'alimentation des cartes électronique.

Un courant de sortie assigné par 10 A.

B) **Module Central Processing Unit** (CPU) : Réaliser toutes les opérations arithmétique et logique pour faire la commande nécessaire au sortie.

Le programme est chargé sur le CPU à travers le port "Multi Point Interface"(MPI) et stocké sur une carte mémoire.

C) **Modules d'entrée /sortie** : Ce module permettent au processeur de recevoir les données du site à travers les modules d'entrées et envoi des commandes à travers les modules de sorties.

D) **Module de communication** : Il permettent d'assurer la communication entre l'automate S7 400 et d'autre dispositifs à travers un protocole de communication.

E) **Module de fonction** :

utiliser pour le comptage rapide ou des fonctions spéciales comme les boucle de régulation.

Ces modules sont placée sur un châssis (rack) qui assure la communication entre les modules par ces nappes de réseau intégrer.

### 1.5.3 Les générations du Mark

L'utilisation de plusieurs génération pour la commande des turbines du type **GE**, de la plus ancienne qui t'appeler le Mark II celui ci assure sa commande à base de relais, jusqu'à les nouvelles génération MARK V , Mark VI et MARK VIE qui sont des automate programmable, elle sont diffères sur le programme chargé et le cycle d'exécution de **CPU**<sup>5</sup> mais la commande reste immuable pour ces trois générations.

## 1.6 Conclusion

L'étude et la description générale des systèmes automatisé utilisée dans l'industrie pétrolière, ainsi de la turbine à gaz installée dans ce processus, permettent d'obtenir une vision concrète et approfondie des différents systèmes de commandes et de supervision, ainsi que des démarches mise en oeuvres pour assurer leur fonctionnement.

D'autre part, afin de comprendre le fonctionnement de cette turbine à gaz et de son système de commande d'une façon générale. Une description détaillé de la turbine **GE MS5001 PA**<sup>6</sup> ainsi que sa partie commande et supervision est essentielle dans le chapitre suivant.

Afin de comprendre les différentes systèmes de commande et supervision les plus connue dans l'échelle mondiale et précisément dans l'algerie ,on a choisit de mettre en évidence notre étude sur la turbine à gaz du constructeur GE à cause de sa disponibilité sur plusieurs régions de sonatrach et en spécifiant la turbine à gaz de la classe mono-arbre.

---

5. Central Processing Unit

6. Power augmentation

## **Chapitre 2**

### **Description et Contrôle de La turbine à gaz**

#### **MS5001 PA**

## 2.1 Introduction

L'unité MS5001 PA est une turbine à gaz est considérée parmi les type des turbomachine à un seul arbres et cycle simple, avec système de combustion à écoulement inversé, à dix chambres de combustion. L'ensemble turbine à gaz MS5001 comprend six sections majeures : Entrée d'air, Compresseur axial, Système de combustion, Turbine, Échappement, Systèmes de soutien L'exploitation de la turbine à gaz de combustion, comme tout équipement énergétique rotatif doit inclure un programme planifié d'inspections périodiques, avec les réparations et les remplacements des pièces nécessaires pour assurer la disponibilité et la fiabilité maximale de l'unité.

La fiabilité de la turbine est assurée par le personnel qui applique les procédures correctes d'exploitation et d'entretien. Il est essentiel que le personnel d'installation, formé pour l'exploitation de la turbine à gaz, connaisse très bien les informations contenues dans nécessaire. Avant l'exploitation de la turbine, il faut développer et implémenter un programme d'entretien solide. Le respect de ce programme va entraîner des coûts d'exploitation réduits, moins d'interruptions et des périodes d'indisponibilité plus courtes [16].

## 2.2 Situation Géographique

Notre stage étaiis divisé sur quatre région :

### La Région de Rhourde Nouss

-Lors de notre première visite à une centrale pétrolière, nous avons été introduits aux turbines à gaz et avons rencontré des experts en turbines, qui nous ont aidés à découvrir les différentes turbines utilisées sur le site de RNS, telles que les modèles MS5002B, MS5002C et MS3002, qui sont utilisées pour la compression de gaz et la ré-injection. Grâce à ces spécialistes des turbines, nous avons acquis une solide expérience dans ce domaine, ce qui nous a permis de comprendre en détail le fonctionnement des turbines à gaz, ainsi que leurs différentes sections et systèmes.



**Figure 2.1:** Centrale pétrolier-Sonatrach.

**La Région de IN AMENAS** c'est la deuxième région pétrolière qu'on a visité et avons eu l'occasion de suivre une courte formation sur la norme CEI 61511.

**La région de ALRAR** Nous avons découvert la turbine MS5001PA qui est utilisée dans la centrale électrique de la région de ALRAR pour la production d'électricité, dont en déployant la problématique et notre solution dans cette région où nous avons acquis une expertise dans l'utilisation du logiciel de programmation de General Electric, le TOOLBOX ST, ainsi que du programme de contrôle et de supervision CIMPLICITY. Nous avons réalisé notre travail en utilisant ces programmes avec succès.



Figure 2.2: Centrale pétrolier-Sonatrach.

**LA région de HASSI R'MEL** C'est là où nous avons conclu notre projet de fin d'études.

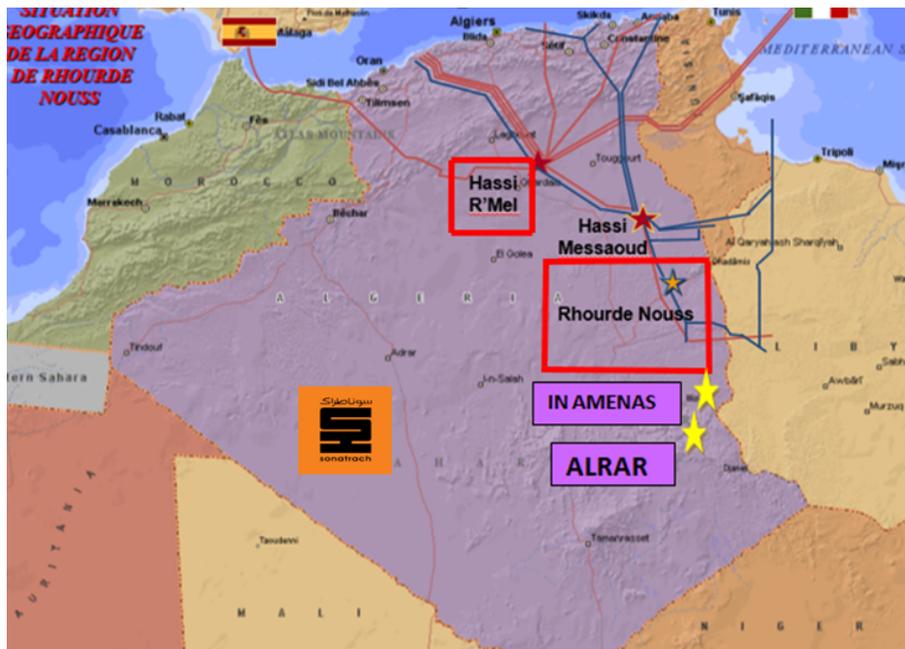


Figure 2.3: Centrale pétrolier-Sonatrach.

## 2.3 Description de l'unité d'étude

Par définition, l'entrée d'air de la turbine à gaz est l'extrémité avant, pendant que la cheminée d'échappement est l'extrémité arrière. Les extrémités avant et arrière de chaque pièce composante sont établies de manière similaire en tenant compte de son orientation par rapport à l'unité entière. Les côtés droit et gauche de la turbine ou d'une pièce composante particulière sont établis en demeurant sur la même ligne que le compresseur et en regardant arrière ou en aval [17], [18].

-Dans le titre suivant nous allons faire une description générale sur les différentes sections de la turbine à gaz MS 5001 .

## 2.4 Différentes sections de la turbine à gaz MS5001

L'ensemble de la turbine à gaz est constitué par six partie(section) essentielles. La figure(2.4), donne les cinq section principales de la turbine a gaz.

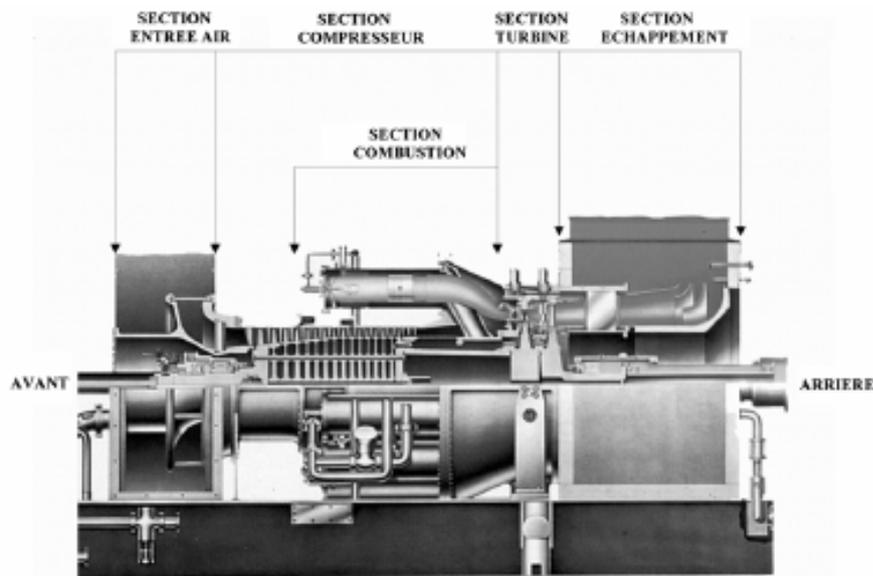


Figure 2.4: Schéma des différents sections de la turbine à gaz. [5]

### 2.4.1 Section des accessoires

La section des accessoires comprend l'équipement mécanique et électrique nécessaire pour le fonctionnement et l'utilisation de la turbine à gaz. Les pièces composantes principales montées dans la section des accessoires sont les dispositifs de démarrage, le convertisseur de couple et le boîtier d'accessoires. Des supports préfabriqués et des bossages de fixation sont soudés à la surface supérieure de la base en vue du montage de l'équipement décrit ci-dessus et d'autres pièces accessoires. Des tourillons de manutention sont fournis aux côtés des barres en I longitudinales de la base afin de rendre plus facile le levage et le positionnement de l'ensemble base. Des bossages de fixation se trouvent sur la surface inférieure des barres en I en vue du montage de la base sur la fondation [19].

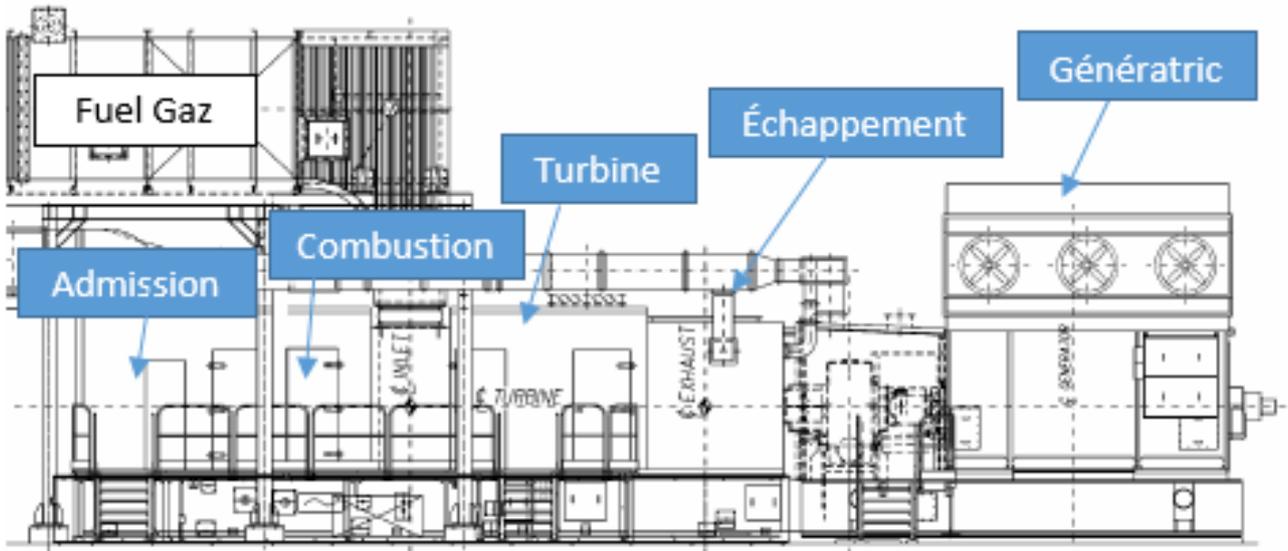


Figure 2.5: Schéma de l'enceinte de la turbine à gaz. [5]

## 2.4.2 Section d'admission

Le rendement et la fiabilité de la turbine à gaz dépendent de la qualité et la pureté de l'air aspiré par la section d'admission dans la turbine. En revanche, pour une utilisation très efficace, il est obligatoire de traiter l'air atmosphérique qui entre dans la turbine par les filtres des contaminants. C'est la fonction du système d'admission de l'air avec son équipement et sa tuyauterie spécial(e) de modifier la qualité de l'air dans de différentes conditions de température, humidité et contamination, et de le rendre plus propre et indiqué pour une exploitation par la turbine à gaz [20].

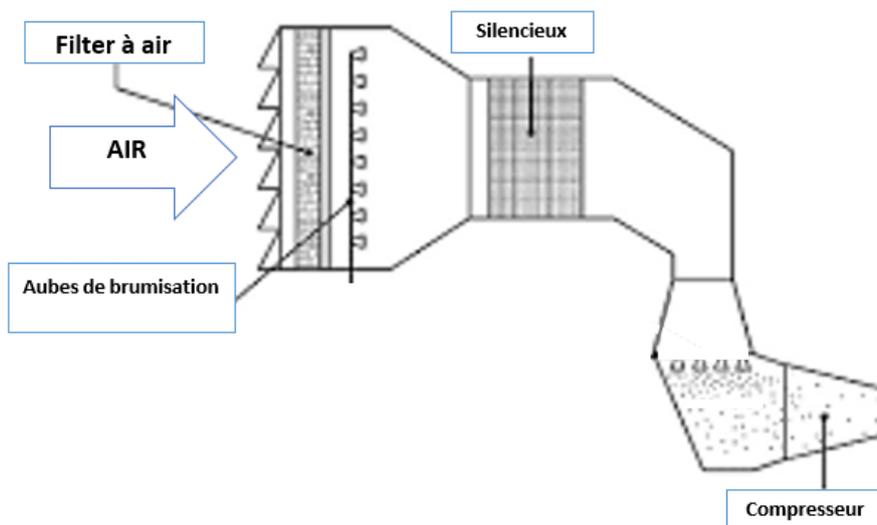


Figure 2.6: Section d'admission de la turbine à gaz. [5]

Toutes les surfaces du système d'admission sont couvertes avec une peinture primaire de protection inorganique au zinc et sur-couverture avec époxy, acier inoxydable ou galvanisées par immersion à chaud en vue de la protection contre la corrosion [20].

La turbine à gaz MS5001 à des aubes directrices variables IGV à l'entrée de compresseur axial commandé par une Servosoupape hydraulique qui change l'angle l'orientation des aubes selon les exigences de chaque cycle de fonctionnement de turbine (cycle de démarrage, cycle d'arrêt, cycle de fonctionnement normal et en cas de risque de dommage) [20] [21].

### 2.4.3 Section de combustion

La section de combustion de la turbine à gaz décrite comprend les éléments suivants :

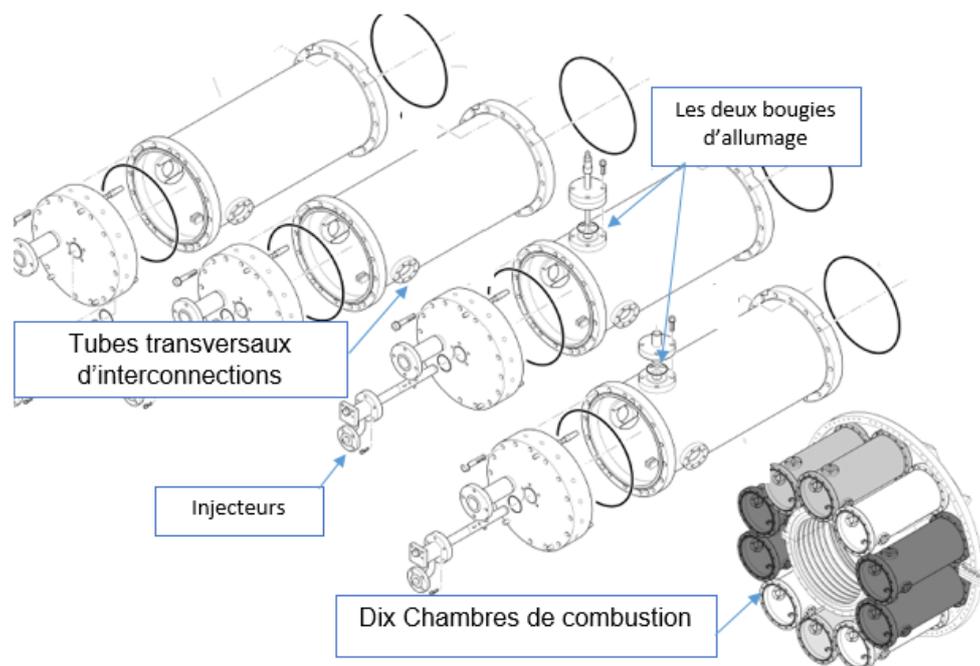
**Dix chambres de combustion annulaires :** Chaque chambre reçoit du gaz et de l'air comprimé du compresseur axial pour former un mélange combustible.

**Deux bougies à électrodes rétractiles :** Ces bougies sont responsables de l'allumage initial dans les deux premières chambres de combustion.

**Dix injecteurs de combustible (pilote) :** Ces injecteurs introduisent le combustible dans chaque chambre de combustion pour former le mélange combustible avec l'air comprimé.

**Quatre détecteurs de flamme à ultraviolet :** Ces détecteurs surveillent la présence de flamme dans les chambres de combustion.

Les chambres de combustion sont conçues avec des doublures et des couvercles pour contenir les gaz de combustion. Dans le processus de combustion, environ trois quarts de l'air entrant dans la chambre de combustion sont utilisés pour le refroidissement. Une partie de cet air s'écoule entre la doublure et le couvercle pour refroidir ce dernier, tandis qu'une autre partie pénètre à l'intérieur de la doublure à travers des trous pour refroidir le gaz chaud et l'éloigner des parois de la doublure. Cela contribue à maintenir des conditions de fonctionnement sûres et efficaces [21].



**Figure 2.7:** Chambres de combustion [5]

## 2.4.4 Section de turbine

Dans la section de la turbine, les gaz chauds provenant de la section de combustion sont convertis en puissance sur la roue de la turbine, c'est la puissance nécessaire pour tourner le groupe de charge, le compresseur est fourni par le rotor de la turbine à deux étages. Le premier étage, où on trouve la roue de haute pression, et le deuxième étage, où on trouve la roue de basse pression, sont attachés par une bride, afin de grouper les deux étages par la façon dont les aubes de premier et de deuxième étage dirigent le débit des gaz de combustion. Ces composantes, avec les joints d'étanchéité à l'air et les déflecteurs y associés, se trouvent dans la coquille de la turbine [22].

### 2.4.4.1 Stator de la turbine

Le carter pour l'extrémité arrière des sections de refoulement du compresseur ainsi que de combustion sont formés par la section avant de la coquille de la turbine, en revanche le carter pour les distributeurs de premier et de deuxième étage et les flasques pour les rotors de la turbine de premier et de deuxième étage sont formés par la section arrière de la coquille de la turbine.

### 2.4.4.2 Distributeur de premier étage

L'ensemble distributeur de premier étage, montré dans la Figure(2.8), est formé de partitions à profil aérodynamique entre un flasque de roue interne et un flasque de roue externe. L'ensemble distributeur est divisé en segments, qui sont fixés dans un ensemble anneau de retenue bien fermé dans la coquille de la turbine par des attaches. Les partitions du distributeur sont creuses avec des orifices de purge perforés dans le bord de fuite pour le refroidissement. [23].

### 2.4.4.3 Distributeur et diaphragme de deuxième étage

L'ensemble distributeur et diaphragme du deuxième étage est positionné entre les roues de la turbine du premier et du deuxième étage. Il est composé de partitions creuses à profil aérodynamique entre un flasque de roue interne et un flasque de roue externe, qui dirigent le débit du gaz vers les augets de la turbine du deuxième étage. L'ensemble distributeur est divisé en segments, qui sont insérés et fixés dans des assemblages à rainure et languette dans les flasques du stator des turbines du premier et du deuxième étage. Les segments du distributeur sont espacés et disposés de manière circulaire grâce à des goupilles de positionnement traversant la coquille de la turbine et s'engageant dans le flasque externe des segments. L'ensemble diaphragme s'étend depuis le flasque interne du distributeur jusqu'au rotor de la turbine, divisant ainsi l'espace entre les deux roues en deux zones distinctes : la zone de la turbine haute pression et la zone de la turbine basse pression. [23].

### 2.4.4.4 Ensemble rotor de la turbine

L'ensemble rotor de la turbine est composé de la zone turbine-à-compresseur de l'entretoise, ainsi que des roues et des augets de la turbine du premier et du deuxième étage. Les roues de la turbine sont forgées en alliage d'acier. La roue du deuxième étage est spécialement forgée avec un faux arbre sur

lequel la surface de la portée d'arbre et la surface d'étanchéité sont usinées pour accueillir le palier numéro 2 et assurer une jointure étanche à l'huile. À l'extrémité du faux arbre se trouve une bride qui fait la liaison entre l'arbre et le dispositif entraîné. [24], [25].

#### 2.4.4.5 Augets de la turbine

Les augets de la turbine sont montés dans les roues en forme de queue d'aronde axiale à pied en sapin voir la figure(2.8). Les augets ont des plaques couvercle intégrales et des goupilles de fixation axiales et radiales réduisent les fuites entre étages. La conception de l'auget à longue tige permet l'égalisation des contraintes et réduit la température de la queue d'aronde. Les augets sont gardés en place par un verrou tournant, avec la tête piquetée en place.

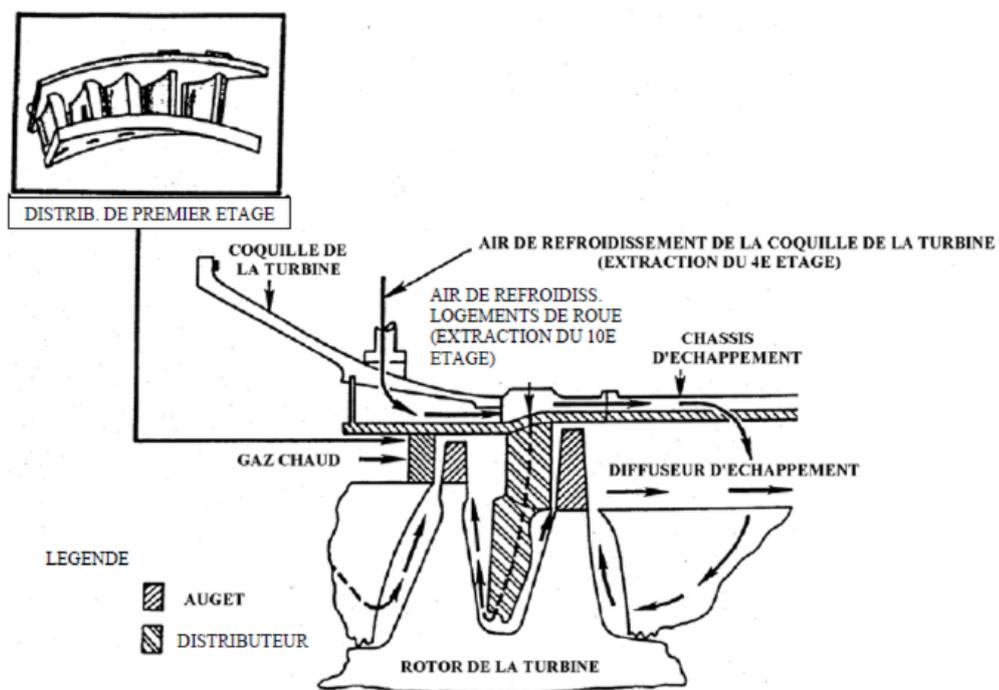


Figure 2.8: Arrangement des augets et du distributeur de la turbine [5]

#### 2.4.5 Paliers

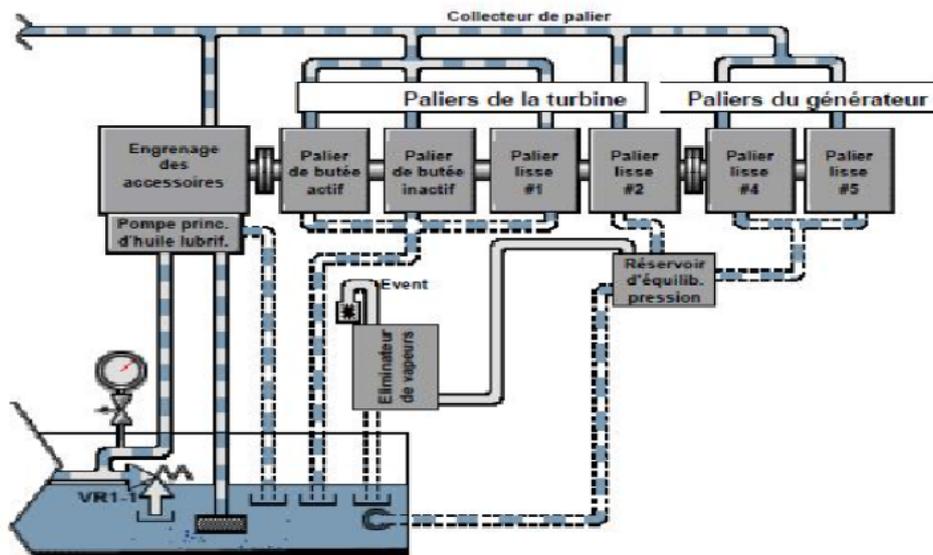
Le turbogroupe a deux paliers porteurs principaux utilisés pour soutenir le rotor de la turbine à gaz. Le groupe contient des paliers de butée aussi, pour maintenir la position axiale entre rotor et stator. Ces paliers et les étanchéités sont incorporés dans deux logements : un à l'entrée et un dans le châssis d'échappement. Ces paliers principaux sont à graissage sous pression par un fluide fourni à partir du circuit de lubrification principal. Le fluide s'écoule à travers des conduits vers une entrée située dans chaque logement de palier.

PALIER N :	Classe	Type
PALIER N1	Porteur	Elliptique
ACTIF(chargé)N1	De butée	à patins oscillants
INACTIF(non-chargé)N1	De butée	à patins oscillants
PALIER N2	Porteur	Elliptique

**Tableau 2.1:** Tableau des types paliers [5]

**Palier N 1 :** Le sous-ensemble du palier N 1 est situé au centre de l’ensemble carter d’entrée qui comprend trois paliers : Palier de butée actif (chargé), palier de butée inactif (non-chargé), palier porteur.

**Palier N 2 :** Le passage décrit le sous-ensemble du palier N2 qui est soutenu par son axe et situé dans le tunnel interne du châssis d’échappement. Ce support est composé d’oreilles à l’axe horizontal et d’une clavette à nez à l’axe inférieur. Cette configuration permet la dilatation relative due aux différences de température, tout en maintenant le palier centré dans le châssis d’échappement. [26] [13].



**Figure 2.9:** Les paliers de la turbine à gaz

## 2.4.6 Section d’échappement

Les gaz d’échappement chauds produits par la combustion dans la turbine sont refroidis et réduits en intensité dans le système d’échappement avant d’être rejetés dans l’atmosphère. Ces émissions d’échappement sont conformes à des normes environnementales spécifiques en termes de pureté et de niveaux sonores, qui varient en fonction de l’emplacement du site.

Le bruit généré pendant le fonctionnement de la turbine à gaz est atténué grâce à des dispositifs intégrés dans les sections d’admission et de sortie. Ces dispositifs dissipent ou réduisent l’énergie acoustique afin de la maintenir à un niveau acceptable. [21].

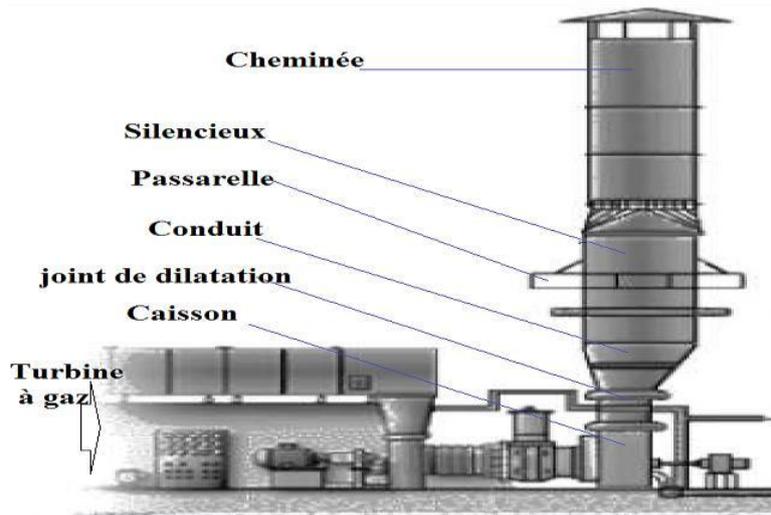


Figure 2.10: Système d'échappement.

### 2.4.7 Principe de fonctionnement

La turbine à gaz transforme l'énergie thermique d'un mélange (fuel gaz-air comprimé) sous forme d'une chaleur convertis à une énergie mécanique, les turbines à gaz fonctionnent généralement de cette façon : La rotation du compresseur axial aspire de l'air du milieu extérieure par les filtres à air et le comprime à travers les 17 étages du compresseur axial puis cet air comprimé se mélange avec le gaz chaud à une température supérieure à 28 °C. Dans les chambres de combustion ce mélange (gaz chaud- air comprimé) se brûle en augmentant leur température, et avec une pression et une température plus élevée le gaz se détente vers les roues de haute pression et de basse pression de la turbine afin de forcer ces roues à tourner pour produire une énergie mécanique à partir d'une énergie thermique et le gaz chaud se dirige vers le plenum d'échappement afin de se décharger vers l'atmosphère. Une quantité d'énergie mécanique résultante, Environ 30% de l'énergie totale produite est généralement utilisée comme énergie mécanique pour entraîner la charge souhaitée. Le reste de l'énergie est utilisée pour entraîner le compresseur axial et les accessoires de la turbine. [21], [5], [13], [17], [27].

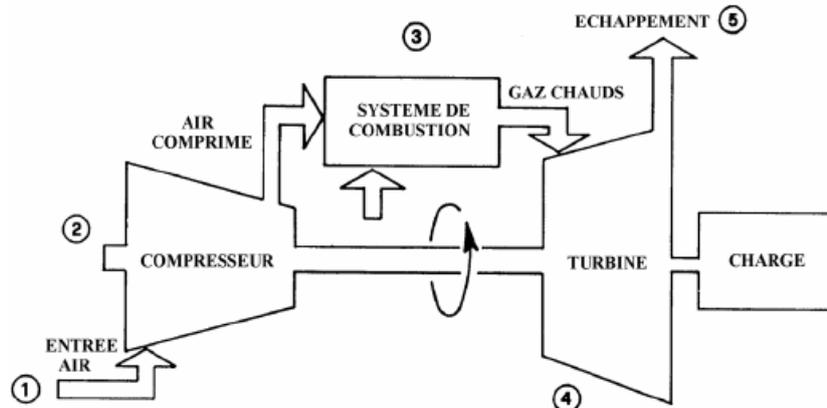


Figure 2.11: Schéma significatif de la turbine à gaz

## 2.5 Systèmes auxiliaires de la turbine à gaz Ms 5001 PA

### 2.5.1 Système de démarrage

Pour allumer et démarrer la turbine à gaz, il est nécessaire de la faire tourner ou de la démarrer à l'aide de l'équipement auxiliaire. Un moteur électrique à induction, utilisant un convertisseur de couple, est utilisé pour fournir le couple de démarrage et la vitesse nécessaires au démarrage de la turbine. Les composants du système de démarrage permettent également la rotation à basse vitesse de la turbine pour le refroidissement après l'arrêt. [13].

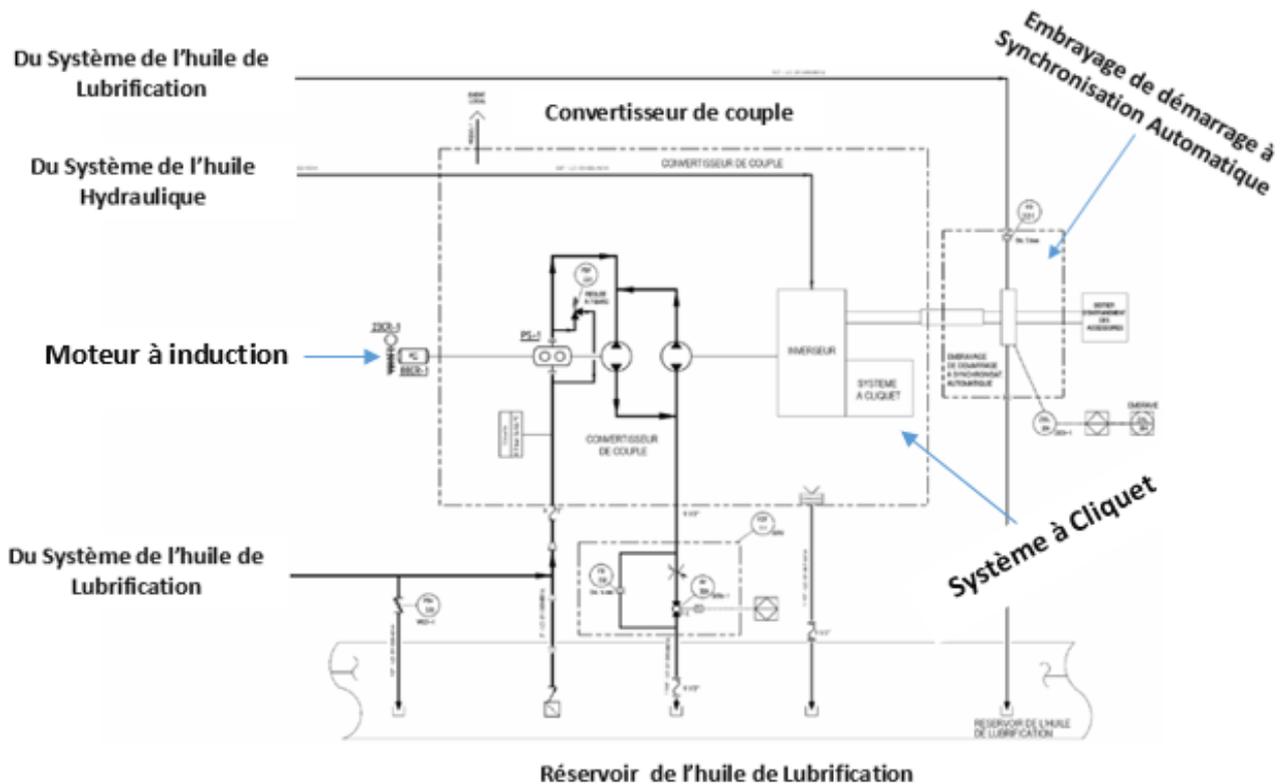


Figure 2.12: Système de démarrage [5]

#### 2.5.1.1 Description Fonctionnel

Pendant la séquence de démarrage, le système de démarrage de la turbine à gaz est composé de plusieurs éléments qui interagissent pour commander le fonctionnement de la turbine. Ces éléments comprennent le moteur électrique de démarrage, le convertisseur de couple, le pignon entraîné et l'embrayage de démarrage, qui sont tous montés sur le boîtier d'entraînement des accessoires.

L'embrayage de démarrage et les cylindres d'embrayage sont solidaires de l'ensemble boîtier d'entraînement des accessoires. Et pour une bonne transmission du mouvement il existe un accouplement flexible entre le boîtier d'entraînement des accessoires et l'arbre du compresseur de la turbine, cet accouplement assure une connexion permanente entre les deux parties.

Le convertisseur de couple joue un rôle crucial en transmettant le couple de sortie du moteur électrique au boîtier d'entraînement des accessoires de la turbine. Cela se fait par le biais d'un mécanisme

inverseur. L'arbre d'entrée du convertisseur de couple est responsable de l'entraînement de la pompe de charge, qui fournit de l'huile de lubrification à la turbine.

Au début de la séquence de démarrage, la pompe de charge est alimentée en huile à partir du collecteur d'huile de lubrification. Une fois que la pression d'exploitation de l'huile de lubrification est établie, la pompe de charge aspire l'huile du réservoir de la turbine à travers un filtre.

Une soupape de retenue à ressort est installée dans la conduite de refoulement du collecteur d'huile de lubrification. Cette soupape maintient une pression positive de l'huile sur la pompe de charge pendant le fonctionnement. L'huile retourne ensuite dans le réservoir d'huile de lubrification par les drainages [13].

## 2.5.2 Système du gaz combustible

Le système au gaz combustible est conçu pour alimenter en gaz combustible les chambres de combustion de la turbine, à la pression et aux flux nominaux corrects pour répondre à l'accélération de démarrage et à la charge de fonctionnement de la turbine à gaz combustible. Le composant majeur d'un système de gaz combustible est le stop/ratio du gaz combustible et l'ensemble de la soupape de régulation situé dans la zone des accessoires. À cette soupape de gaz sont associés une soupape de mise à l'air libre, des servo-vannes de contrôle, des manomètres de pression et la tuyauterie de distribution vers les buses de combustion du carburant.

-Les principaux composants suivants concernent le système de gaz combustible :

- a. Crépine du gaz combustible.
- b. Soupape d'arrêt du gaz par rapport et soupape de commande (SRV, GCV).
- c. Interrupteur d'alarme pour basse pression du gaz combustible .
- d. Manomètres.
- e. Vanne de mise à l'air libre du gaz combustible (20VG-1).
- f. Soupape de décompression à huile du contrôle du gaz combustible (20VG -1).
- g. Soupape d'arrêt du gaz par rapport/Servovanne de commande .
- h. Soupape de commande du gaz/Servovanne de commande.
- i. LVDT de commande de la soupape de gaz .
- j. Transmetteurs de pression .
- k. L.V.D.T. de la soupape par d'arrêt - rapport

### 2.5.2.1 Description Fonctionnel

Le gaz combustible est d'abord nettoyé en passant à travers une crépine à son arrivée du tuyau d'alimentation, avant de s'écouler par la soupape de gaz dans la tuyauterie du manifold. Le gaz est mesuré et contrôlé par la soupape de gaz (ratio d'arrêt du gaz et soupape de contrôle) pour fournir le débit requis au système de combustion de la turbine à gaz. Le ratio d'arrêt du gaz combustible et la soupape de contrôle se compose de deux soupapes indépendantes (une soupape à ratio d'arrêt et une soupape de contrôle) combinés dans l'un des carters. La soupape à ratio d'arrêt du gaz comme la soupape de contrôle du gaz sont à simple effet, et ont une commande électro-hydraulique. La

soupape de contrôle du gaz combustible est activée par un signal de commande SPEEDTRONIC pour l'admission du montant approprié de carburant requis par la turbine à une charge ou une vitesse données. La soupape à ratio d'arrêt du gaz combustible sert à fermer le circuit de la turbine en cas de nécessité. Elle contrôle aussi la pression en amont de la soupape de contrôle du gaz combustible. Cela permet à la soupape de contrôle du gaz combustible, de contrôler une large plage du flux de carburant requis par le démarrage ou le fonctionnement de la turbine [28].

### **2.5.2.2 Vannes d'arrêt par rapport et de commande du gaz (SRV-GCV)**

Le contrôle du circuit de carburant est assuré par la soupape de contrôle du gaz (GCV-1) et la soupape à ratio d'arrêt du gaz. Ces soupapes jouent un rôle crucial dans la régulation du débit de gaz combustible fourni à la turbine, en fonction de sa vitesse et de sa charge.

La position de la soupape de contrôle du gaz est déterminée par une tension de référence de débit de carburant (FSR) générée par le système de commande SPEEDTRONIC. Cette tension de contrôle agit sur une servo vanne électro-hydraulique, qui régule l'admission d'huile dans un cylindre hydraulique, permettant ainsi de positionner la soupape de contrôle du gaz selon les besoins du débit de gaz requis pour une vitesse de turbine donnée et une charge spécifique.

La soupape à ratio d'arrêt du gaz, quant à elle, est similaire à la soupape de contrôle du gaz, mais son obturateur présente un cône plus prononcé pour fournir un gain élevé nécessaire afin de maintenir une pression de contrôle appropriée. La fonction de ratio de la soupape à ratio d'arrêt assure un apport régulé de pression à la vanne de contrôle en fonction de la vitesse de la turbine. Le système de commande SPEEDTRONIC génère un signal de position pour positionner la soupape à ratio d'arrêt à l'aide d'un cylindre hydraulique contrôlé par une servo vanne, afin de maintenir la pression souhaitée entre les soupapes.

Les soupapes à ratio d'arrêt du gaz interviennent dans le système de carburation du gaz combustible pour garantir une fermeture positive du carburant lorsque cela est nécessaire, que ce soit dans des conditions normales ou d'urgence. Une soupape de décompression du gaz combustible est utilisée pour décharger l'huile qui agit sur l'extrémité du piston d'un tiroir cylindrique. Lorsque la pression de décharge de l'huile est normale, la soupape de décompression du gaz combustible est maintenue dans une position qui permet à l'huile hydraulique de circuler entre la servo vanne de contrôle et le cylindre hydraulique, permettant ainsi un contrôle normal de la soupape à ratio d'arrêt.

Cependant, en cas de chute de la pression de décharge de l'huile en dessous d'une limite prédéterminée, un ressort dans la soupape de décompression permute le tiroir cylindrique, interrompant ainsi le flux d'huile entre la servo vanne de contrôle et le cylindre hydraulique. Cela entraîne la décharge de l'huile hydraulique et la fermeture de la soupape à ratio d'arrêt, bloquant ainsi l'écoulement de gaz combustible vers la turbine [21] [28].

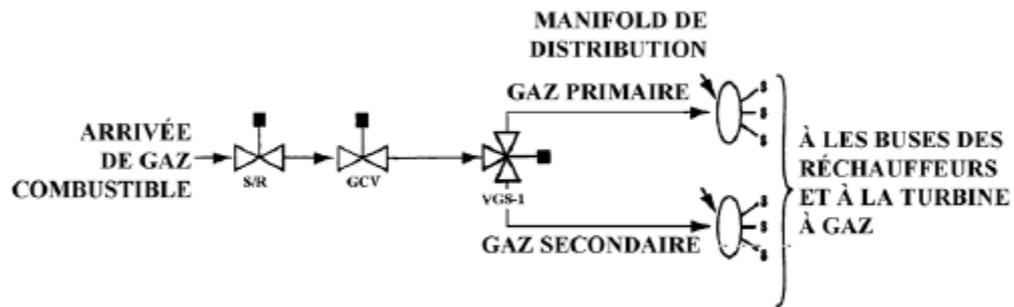


Figure 2.13: Système de carburant [5]

### 2.5.3 Système de lubrification

Les exigences de lubrification pour le groupe propulseur de la turbine à gaz sont satisfaites par un système commun de lubrification forcée. Le système de lubrification, avec réservoir, pompes, refroidisseur, filtres, soupapes et plusieurs dispositifs de commande et de protection, assure la lubrification normale et l'absorption de la charge de chaleur rejetée de la turbine à gaz. Le fluide de lubrification est fait circuler aux trois paliers de la turbine principale, aux paliers du générateur et au boîtier d'entraînement des accessoires de la turbine. De plus, une partie du fluide sous pression est déviée et filtrée de nouveau pour que les dispositifs de commande hydraulique l'utilisent en tant que fluide de commande et source d'alimentation pour les autres systèmes. Pour les exigences concernant l'huile de lubrification. Le système de lubrification est conçu pour fournir une alimentation largement suffisante de lubrifiant filtré, à la température et la pression adéquates pour l'exploitation de la turbine et de l'équipement associé.

### 2.5.4 Système d'huile hydraulique (commande)

L'huile hydraulique c'est de l'huile réglée et filtrée provenant du collecteur des paliers de la turbine à gaz est utilisée comme fluide à haute pression nécessaire pour satisfaire les exigences du système hydraulique. Une pompe à débit variable, entraînée par un arbre du boîtier d'entraînement des accessoires, est la pompe principale PH-1 de cette huile à haute pression. L'huile hydraulique, pressurisée par la pompe hydraulique principale, est contrôlée par un compensateur de pression, incorporé dans la pompe. L'action du compensateur varie le coup de la pompe afin de maintenir la pression établie au refoulement de la pompe. Quand la pompe principale est en service, mais ne réussit pas à maintenir la pression adéquate, cette condition est détectée par le pressostat qui initialise aussi une alarme de l'annonceur pour indiquer une basse pression d'alimentation hydraulique [19] [16].

### **2.5.5 Système admission d'air**

Le système d'admission de l'air comprend les éléments suivants : boîtier à filtres autonettoyant, structure de soutien, système de conduits d'admission, un silencieux acoustique, des écrans protecteurs, d'un plenum d'entrée qui conduisant à la section d'admission de la turbine.

L'installation des conduits et du boîtier à filtres fournit un système robuste afin de réduit les concentrations de poussière trouvées auprès du niveau du sol [20].

### **2.5.6 Système d'air de refroidissement et d'étanchéité**

L'air provenant du compresseur à flux axial de la turbine à gaz est utilisé à des fins de refroidissement et d'étanchéité dans différentes parties de la section de la turbine. Cet air est également utilisé pour mettre sous pression les joints étanches à l'huile des paliers de la turbine.

L'objectif principal de cet air de refroidissement et d'étanchéité est de prévenir une élévation excessive de la température dans les pièces de la turbine pendant son fonctionnement normal, tout en assurant l'étanchéité des paliers de la turbine.

Plusieurs composants de la turbine sont refroidis par cet air. Il s'agit notamment des faces avant et arrière de la roue de la turbine du premier et du deuxième étage, des gicleurs du premier et du deuxième étage, de la coquille de la turbine et des bras de support. Ces composants sont exposés à des températures élevées et l'air de refroidissement contribue à maintenir leur température à un niveau approprié.

De plus, les chemises de la chambre de combustion, les pièces de transition et le carter de combustion sont conçus de manière à utiliser l'air de refoulement du compresseur pour un refroidissement efficace. Cela permet de maintenir ces composants à une température sûre et de prévenir toute surchauffe. [29] [20].

### **2.5.7 Système d'échappement**

Le système d'échappement de la turbine est responsable de diriger les gaz utilisés pour faire tourner les roues de la turbine. Ces gaz passent à travers le plenum d'échappement et les modules silencieux avant d'être évacués dans l'atmosphère via la cheminée d'échappement. Le système d'échappement comprend plusieurs composants, tels que le joint de dilatation situé à la sortie du plenum d'échappement, le conduit de transition, les modules silencieux et la cheminée d'échappement.

Des thermocouples sont installés dans la paroi arrière du plenum d'échappement pour mesurer les températures des gaz d'échappement. Ces valeurs de température sont ensuite transmises au système de commande MARK VI pour une surveillance et un contrôle appropriés. [21].

## 2.6 Système de contrôle MARK VIe

Le système de contrôle SPEEDTRONIC a été développé pour commander et protéger les turbines à gaz et à vapeur fabriquées par GE. En raison de la diversité des applications et des différentes exigences de charge imposées à la turbine, un système de commande approprié a été mis au point. Le système SPEEDTRONIC utilise des capteurs pour surveiller en temps réel les paramètres variables pendant le fonctionnement. Cela permet au système de contrôle SPEEDTRONIC de s'adapter de manière flexible aux différentes charges auxquelles la turbine à gaz est soumise. Il est actuellement utilisé avec succès pour la commande de plusieurs turbines à gaz, offrant une fiabilité et une sécurité accrues, même dans des conditions de service intensif.

### 2.6.1 Description générale

La plate-forme de contrôle Mark\* VIe a été conçue pour être utilisée dans une vaste gamme d'applications de contrôle et de protection allant des turbines à gaz et à vapeur jusqu'à l'équipement de balancement de l'installation (BOP) générateur d'énergie. La plate-forme de contrôle garantit plus d'options de redondance, une meilleure capacité d'entretien et une plus grande capacité de localisation des systèmes E/S les plus proches de l'équipement contrôlé.

[6].

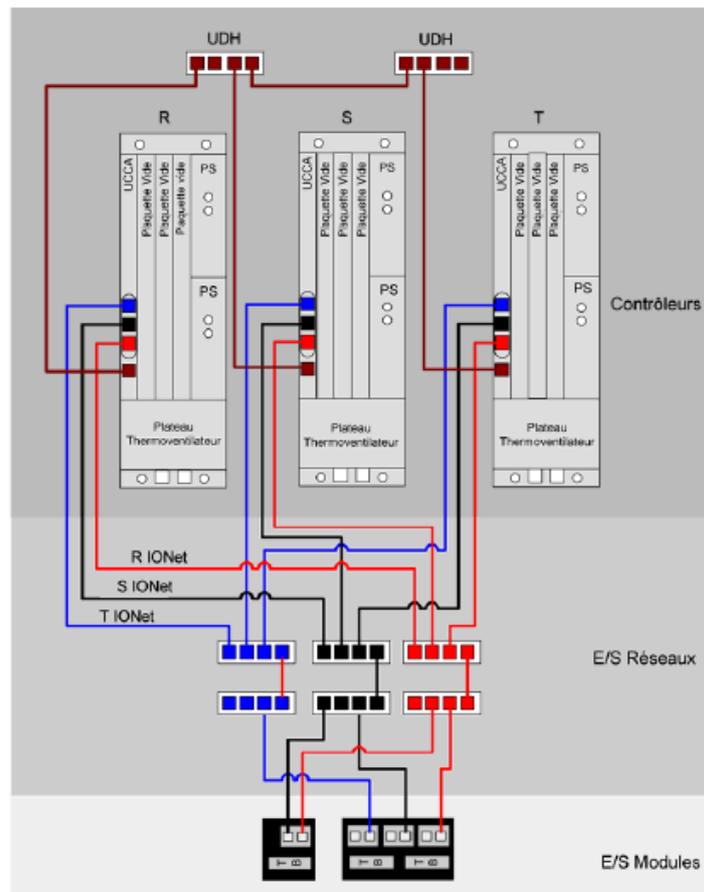


Figure 2.14: Système de contrôle [6]

### 2.6.1.1 Contrôleurs

Le contrôleur Mark VIe est un tableau de bord unique qui contrôle le code d'application. Le contrôleur communique avec le module d'E/S via les interfaces de réseaux E/S intégrés. Le système d'exploitation du contrôleur est (QNX Neutrino), un système d'exploitation multifonctions en temps réel conçu pour des applications industrielles à haute vitesse et à haute fiabilité. Contrairement aux contrôleurs traditionnels où l'E/S est monté sur une plaque arrière, en général le contrôleur Mark VIe ne possède pas d'application d'E/S. De plus, tous les réseaux E/S sont reliés à chaque contrôleur, ce qui leur permet de recevoir toutes les données redondantes entrantes. L'architecture de ce matériel et de ce logiciel permet de garantir qu'aucun point de l'entrée de l'application ne se perde si le contrôleur est mis hors tension pour des besoins de maintenance ou de réparation. Les contrôleurs prennent le nom de R, S et T dans un système TMR (Triple Modular Redundancy), R et S dans un système double et R dans un système simple.

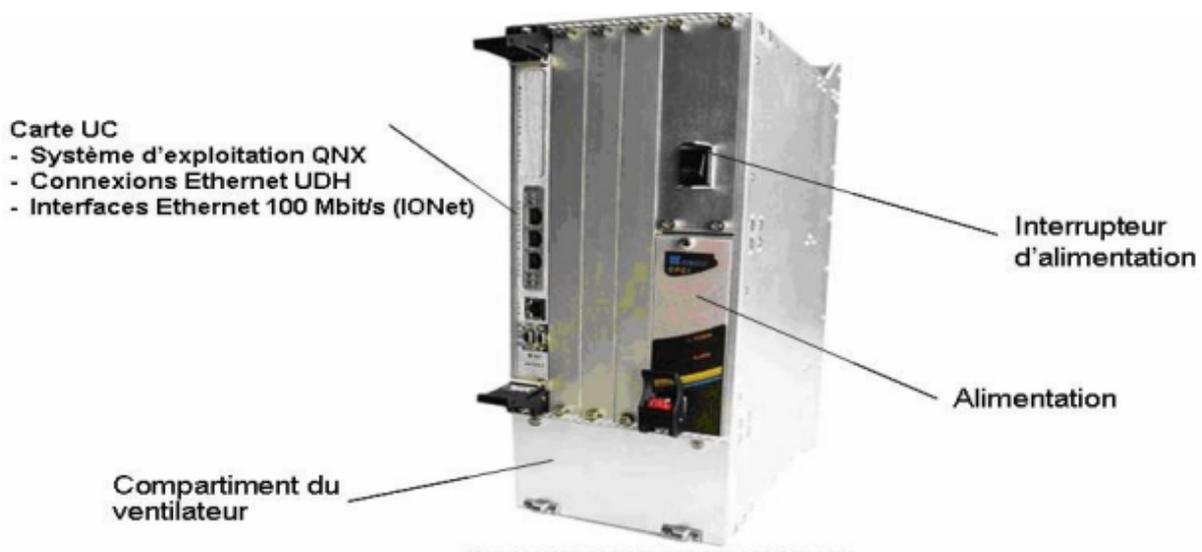


Figure 2.15: Le PCI du contrôleur Mark VIe [6]

### 2.6.1.2 Modules d'E/S

Les modules d'E/S du contrôleur Mark VIe contiennent trois principaux éléments, notamment la plaque à bornes, le bloc de bornes et le groupe d'E/S. La plaque à bornes est montée sur l'armoire et il en existe deux principaux types, S et T. La plaque à bornes de type S présente une unique série de vis pour chaque point E/S et permet à un simple groupe d'E/S de conditionner et numériser le signal. Cette plaque à bornes est utilisée pour les signaux d'entrée à redondance modulaire, simple, double et triple (**TMR**<sup>1</sup>) spécialisée au moyen d'une, deux ou trois plaques à bornes. La plaque à bornes **TMR** de type T envoie généralement des signaux d'entrée vers trois groupes d'E/S séparés. Habituellement, le matériel de la plaque à bornes de type T sélectionne les sorties à partir des trois groupes d'E/S.

1. Triple Modular Redundancy

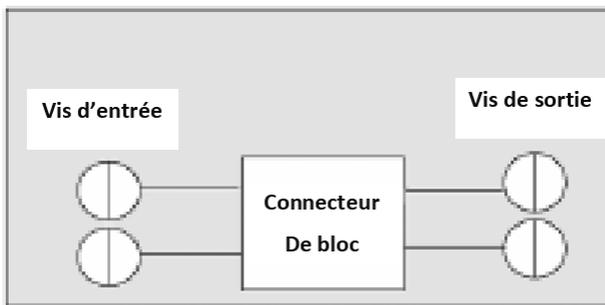


Figure 2.16: Plaque à bornes simple

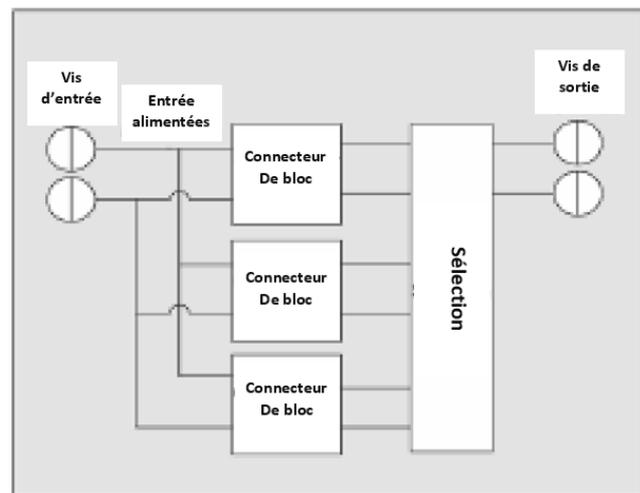


Figure 2.17: Plaque à bornes TMR [6]

Les deux types de plaques à bornes possèdent les fonctionnalités suivantes : Blocs de bornes pour le raccordement des fils E/S, matériel de montage, isolation et protection des signaux d'entrée, connecteurs de groupe d'E/S, identification électronique unique [6].

## 2.6.2 Traitement des sorties en mode Triple Modular Redandancy(TMR)

Les sorties du système représentent la part des données calculées qui est transférée vers les interfaces matérielles externes puis vers les différents actionneurs contrôlant le processus. Les sorties TMR sont sélectionnées dans le composant matériel de sélection des sorties. Tout système peut émettre des signaux individuels en sortie, par l'intermédiaire d'un composant matériel unidirectionnel. Les trois contrôleurs de sélection traitent les sorties du système TMR de façon indépendante. Chaque contrôleur envoie l'information de sortie vers son composant matériel d'E/S associé (par exemple, le contrôleur R envoie la sortie vers l'E/S R). Les trois sorties indépendantes sont ensuite combinées pour former une sortie commune grâce à un mécanisme de sélection. Différents types de signaux nécessitent différentes méthodes de détermination de la valeur à sélectionner. Les signaux de sortie issus des trois contrôleurs sont classés en trois groupes

Données de sortie traitées comme des sorties unipolaires non redondantes, provenant de réseaux d'E/S individuels

Données de sortie existant sur les trois réseaux d'E/S et regroupées en un signal unique par le composant matériel de sortie.

- Données de sortie existant sur les trois réseaux d'E/S et émises séparément en direction du processus contrôlé. Ce processus peut comporter un composant matériel de sélection externe. Sur les sorties de relais normales, les trois signaux alimentent un pilote de relais sélecteur qui, pour les signaux de protection critiques, vient actionner un relais unique par signal. Les trois signaux pilotent trois relais indépendants, les contacts de relais étant raccordés en configuration typique de sélection à six contacts.

### 2.6.3 Architecture

L'architecture du système de contrôle Mark VIe, y compris les composants du système, les réseaux de communication et les différents niveaux de redondance possibles. Ce titre aborde également la communication entre différentes parties du système ainsi que la connectivité d'un tiers aux systèmes de contrôle distribués de l'installation.

Ce système est composé par les parties suivantes définissent les principaux sous-systèmes qui composent le système de contrôle Mark VIe. Il s'agit notamment des contrôleurs, des groupes ou modules d'E/S, des plaques à bornes, de l'alimentation en énergie, des armoires, des réseaux, des interfaces opérateurs et du module de protection.

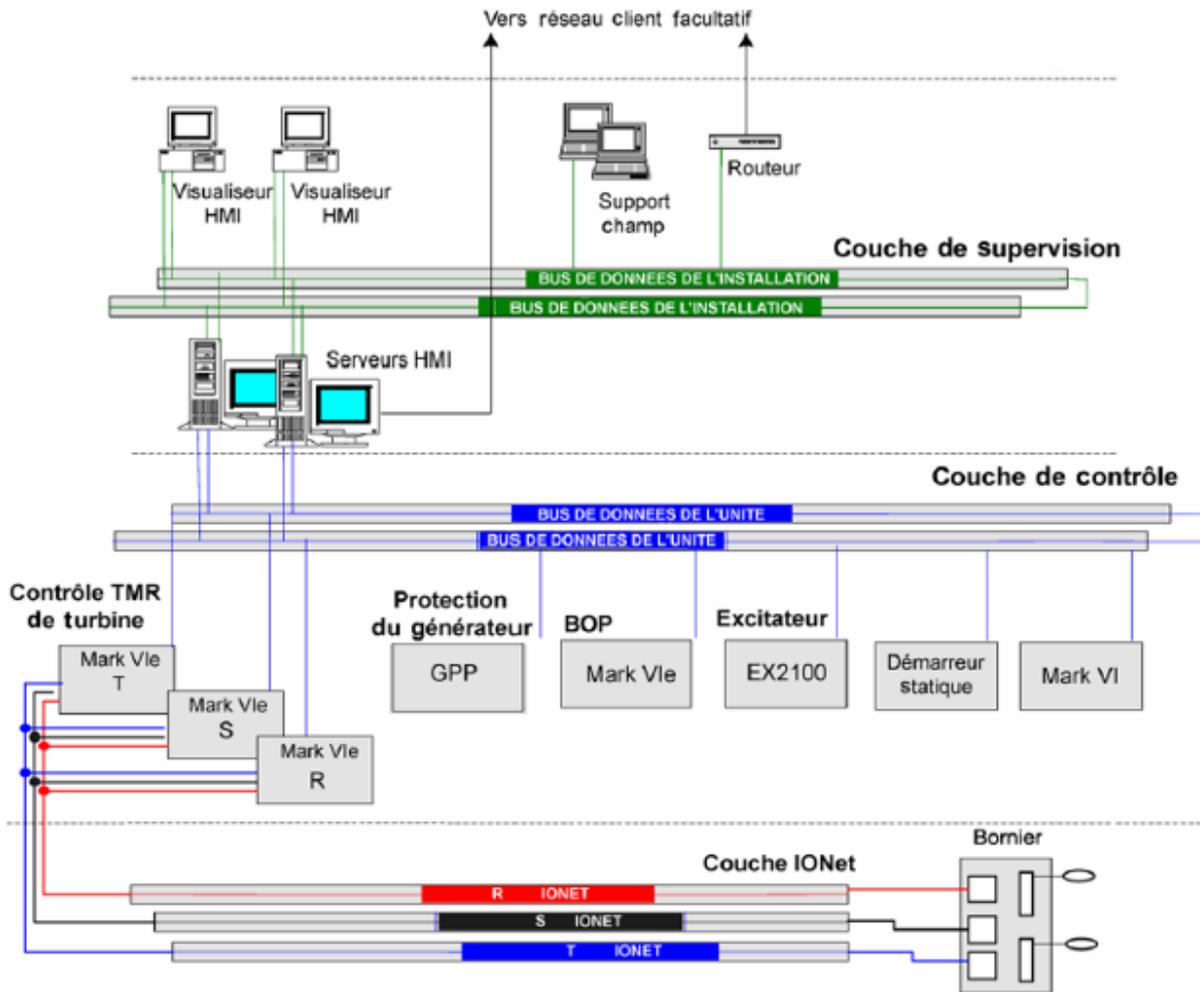


Figure 2.18: Architecture de système de commande Mark VIe. [6]

#### 2.6.3.1 Contrôleurs

Nous avons expliqué ce titre dans la partie 2.6.1.1

#### 2.6.3.2 Alimentation électrique

L'alimentation électrique du CPCI reçoit l'énergie en bloc à partir de plaque arrière du CPCI et crée +ou-12, 5 et 3,3 V cc. Cette énergie est fournie à la plaque arrière via un ou deux connecteurs

Mate-In-Lok pour être utilisée par les alimentations, les contrôleurs et le ventilateur de refroidissement. L'alimentation électrique est une alimentation CPCI<sup>2</sup> de 3 Unités conforme et flexible qui utilise un connecteur 47 pins CPCI. Deux alimentations électriques peuvent être utilisées pour fournir une redondance d'énergie dans un rack facultatif [6].

### 2.6.3.3 Groupe d'E/S

Les groupes d'E/S dans le système Mark VIe possèdent une carte de processeur et une carte d'acquisition de données génériques qui est unique par rapport au type de dispositif connecté. Les groupes d'E/S sur chaque plaque à bornes numérisent le signal, exécute des algorithmes et communique avec le contrôleur Mark VIe.



Figure 2.19: Groupe E/S [6]

### 2.6.3.4 Types d'E/S

Il existe deux types d'E/S disponibles. L'E/S à usage général est utilisée pour les applications et le processus de contrôle des turbines. L'E/S spécifique aux turbines est utilisée pour une interface directe avec les seuls capteurs et actionneurs dans les turbines. Cela réduit ou élimine une quantité importante d'instruments d'interposition. Ce qui permet l'élimination de nombreux dysfonctionnements potentiels communs dans la zone la plus critique améliorant ainsi la fiabilité du fonctionnement et réduisant l'entretien à long terme. L'interface directe avec les capteurs et les actionneurs active également les diagnostics pour interroger directement les dispositifs dans l'équipement pour un maximum d'efficacité. Ces données sont utilisées pour analyser le dispositif et les performances du système [6].

2. Compact Preferal Component Interconnect

### 2.6.3.5 Communication

#### **Bus de données d'unité (UDH<sup>3</sup>) :**

L'UDH connecte le contrôleur Mark VIe et communique avec le HMI<sup>4</sup> ou le serveur de données/HMI. Le support de réseau est l'UTP<sup>5</sup> ou la fibre optique Ethernet. Le système d'exploitation par câble redondant est optionnel et, s'il est fourni, l'exploitation de l'unité continue à fonctionner même si un câble tombe en panne. Un double réseau de câble comprend toujours un réseau logique. Semblable au bus de données de l'installation (PDH<sup>6</sup>), l'UDH peut avoir des commutateurs de réseau redondants et alimentés séparément et une communication par fibre optique. Les données de commande de l'UDH peuvent être copiées vers trois contrôleurs. Le communicateur de l'UDH transmet les données de l'UDH [6].

#### **Bus de données de l'installation (PDH) :**

Le PDH facultatif connecte le serveur de données CIMPLICITY/HMI aux stations d'opérateur à distance, aux imprimantes, aux historiques et aux autres ordinateurs du client. Il n'est pas relié directement au système de contrôle Mark VIe. Ce support fonctionne par UTP ou fibre optique Ethernet à 10/100 Mbps, en utilisant le protocole TCP<sup>7</sup>/IP<sup>8</sup>. Des câbles redondants sont nécessaires pour certains systèmes, mais ceux-ci font partie d'un seul réseau logique. Le matériel se compose de deux commutateurs Ethernet redondants avec sorties fibre optique facultatives pour les longues distances, par exemple pour une salle de contrôle centrale. Dans les systèmes plus petits, le PDH et l'UDH peuvent physiquement être le même réseau, du moment qu'il n'y a pas de contrôle d'égal à égal dans l'UDH [6].

## 2.6.4 Interface homme-machine (HMI)

Les HMI typiques sont des ordinateurs fonctionnant sous Windows avec un logiciel d'affichage opérateur CIMPLICITY et des pilotes de communication pour les bus de données. L'opérateur déclenche les commandes à partir des écrans graphiques en temps réel et affiche les données de la turbine en temps réel ainsi que les alarmes sur les écrans graphiques CIMPLICITY. Des informations détaillées concernant les différents diagnostics et la configuration du système sont disponibles en utilisant le logiciel ToolboxST. Un HMI peut être configuré comme un serveur ou un visualiseur, contenant des outils et des programmes utilitaires. Une HMI peut être reliée à un bus de données, ou une carte d'interface réseau redondante peut être utilisée pour relier une HMI aux deux bus de données pour une meilleure fiabilité. La HMI peut être montée sur une armoire, une console de commande ou une table [6] [7].

---

3. Unit Data Highway

4. Human Machine Interface

5. Unshielded Twisted Pair

6. Plant Data Highway

7. Transmission control Panel

8. Internet Protocole

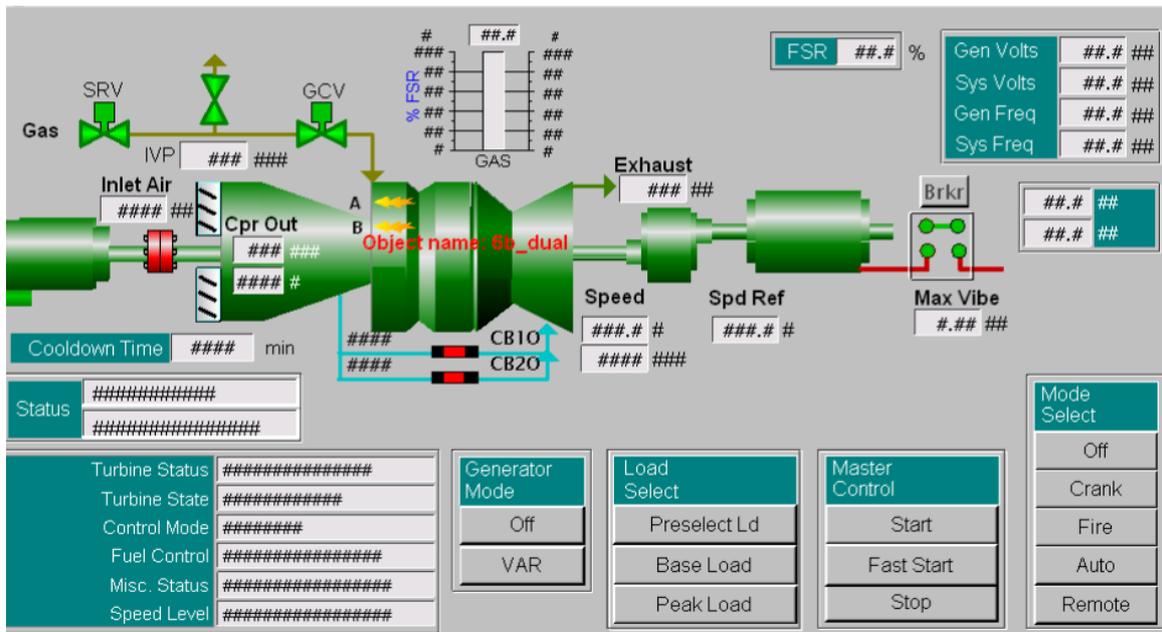


Figure 2.20: Inteface HOMME-MACHINE

### 2.6.5 Connexion au système de contrôle distribué (DCS)

Des connexions de communication externe sont disponibles pour communiquer avec le système de contrôle distribué de l'installation (DCS). Cela permet à l'opérateur DCS d'avoir accès en temps réel aux données du Mark VIe et la transmission des commandes discrètes et analogiques vers le système de contrôle Mark VIe [6] [7].

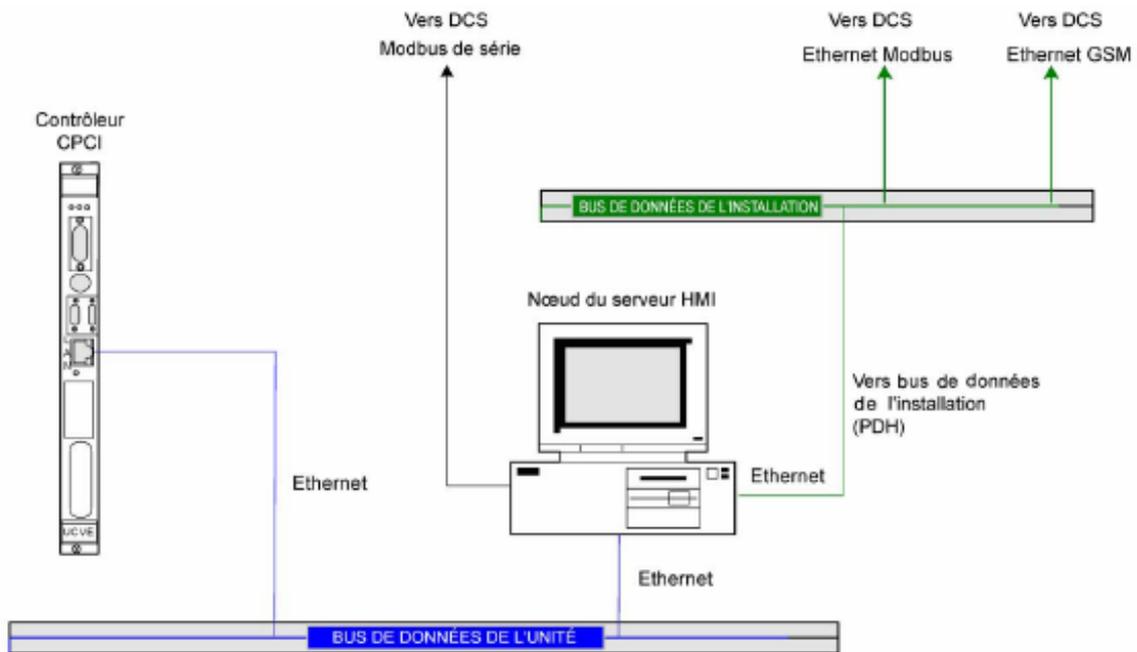


Figure 2.21: Connexion au système de contrôle distribué (DCS) [7]

## 2.7 Analyse Fonctionnel

### 2.7.1 Analyse Fonctionnel-Externe

#### 2.7.1.1 Diagramme de Bête à Corne

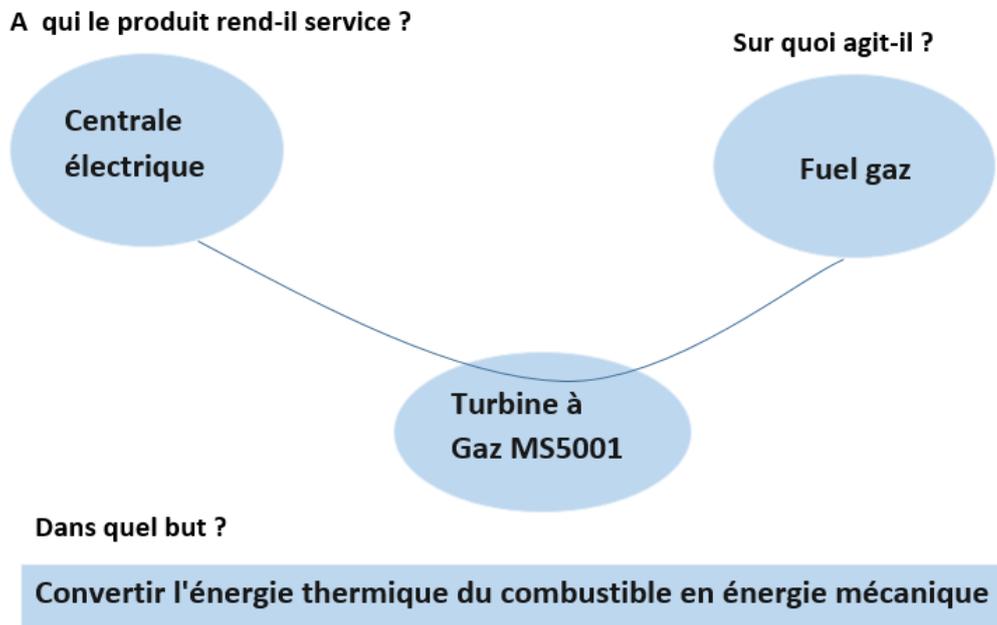


Figure 2.22: Diagramme de Bête à Corne

**Interprétation :** Le diagramme de bête à cornes est un outil utilisé l’analyse fonctionnelle afin de définir le besoin de notre travail. C’est un schéma qui démontre si le produit est utile pour l’exploitant, s’il répond à ses besoins.

#### 2.7.1.2 Cahier de charge Fonctionnel

Fonction	Description
FP1	Convertir l’énergie thermique en énergie mécanique afin d’entraîner la génératrice
FC1	Permettre l’admission d’air
FC2	Recevoir l’énergie mécanique de la turbine
FC3	Exploiter tous les systèmes de surveillance manuel
FC4	Aider la turbine à gaz dans la séquence de démarrage
FC5	Respecter les normes de sécurité
FC6	Alimenter la turbine par l’énergie électrique
FC7	Détecter les fuit de gaz ainsi l’incendie dans différentes zones de la turbine à gaz
FC8	S’adapter aux conditions environnementaux
FC9	Porter la turbine à gaz
FC10	Alimenter la turbine à gaz par le gaz

Tableau 2.2: Cahier des charges fonctionnel de la turbine à gaz MS5001

**Interprétation :** Ce cahier de charge fonctionnel contient les fonctions que nous avons définie dans le diagramme de pieuvre avec ses explications.

### 2.7.1.3 Diagramme de Pieuvre

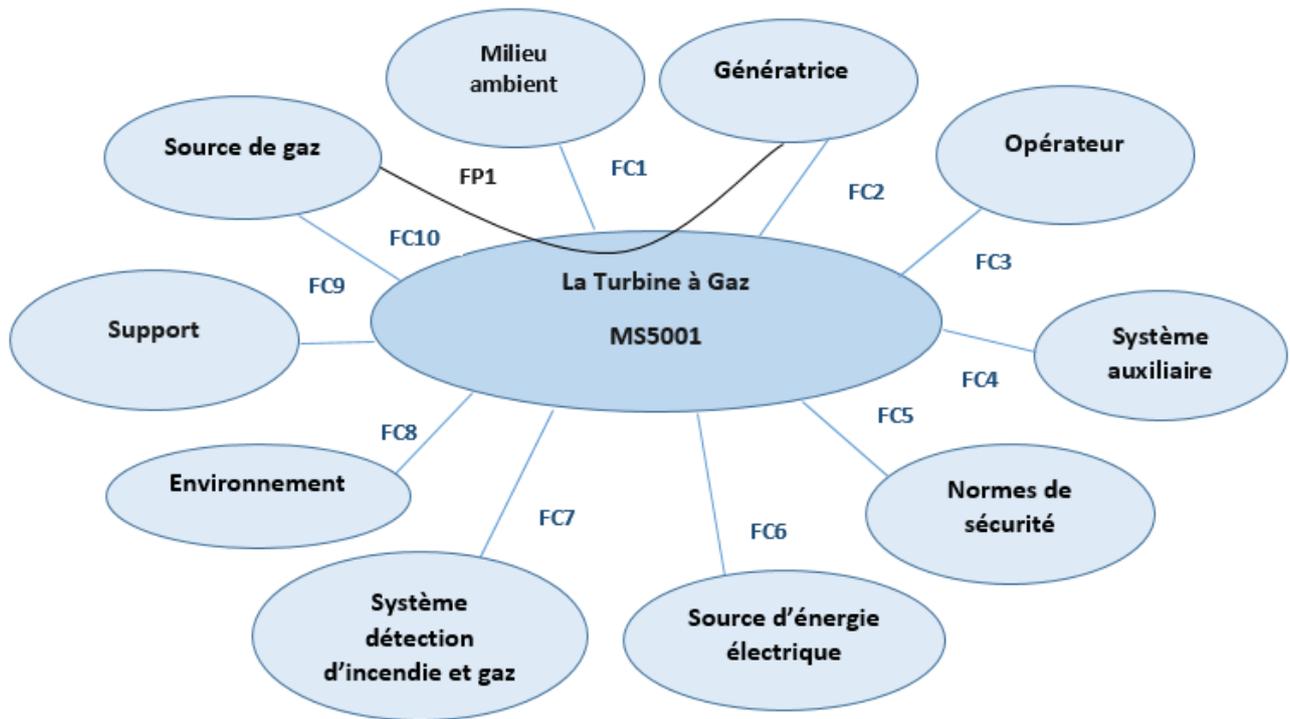


Figure 2.23: Diagramme de Pieuvre

**Interprétation :** Le diagramme de pieuvre ou le graphe des interactions est un schéma qui représente la relation entre un produit ou un service et son environnement extérieur. Par exemple dans notre cas nous avons définie une fonction principale et dix fonction de contrainte pour définir toutes les interactions possible.

## 2.7.2 Analyse Fonctionnel-Interne

### 2.7.2.1 Diagramme de SADT

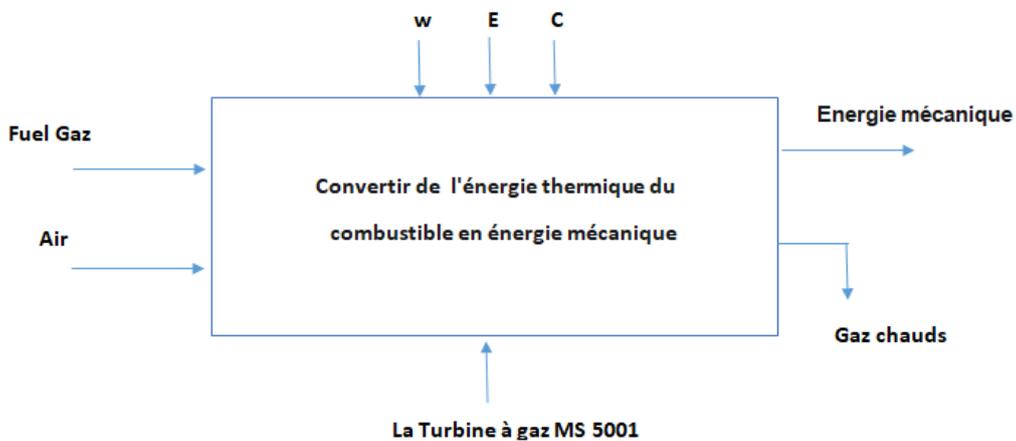
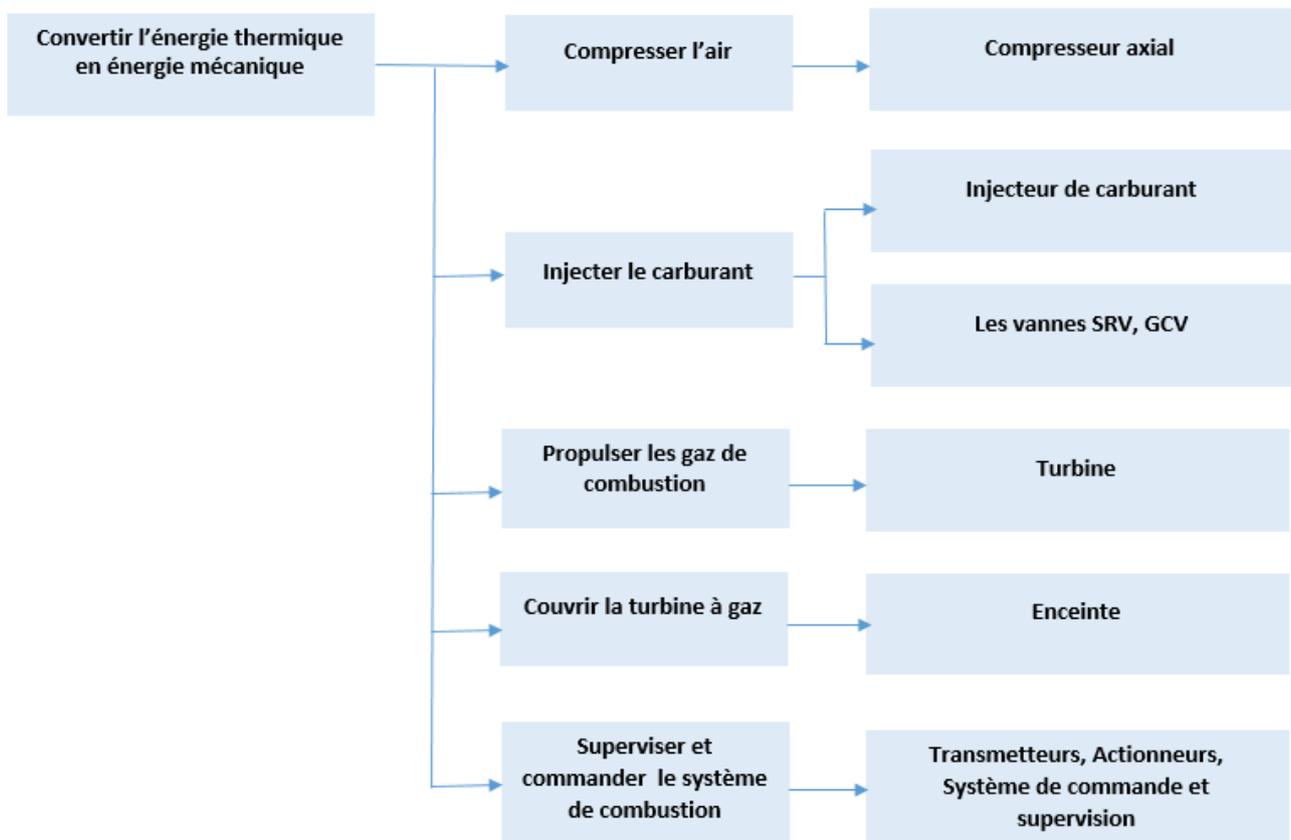


Figure 2.24: Diagramme de SADT

**Interprétation :** La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique) est un outil graphique associé à une méthode d'analyse descendante modulaire et hiérarchisée. Il permet de représenter un modèle similaire à l'image de la réalité du système réel, prenant les matière d'oeuvre à l'état entrant et les matière d'oeuvre dotées par les valeurs ajoutées à l'état sortant avec les sorties secondaires ainsi on doit définir les données de contrôle (W :Énergie électrique, E :Auto/Manuel, C :Système de commande Mark VIe ).

### 2.7.2.2 Diagramme de FAST



**Figure 2.25:** Diagramme de FAST

**Interprétation :** Le diagramme FAST est un outil utilisé par les entreprises pour obtenir une vision globale d'un produit existant ou en cours de création. Il représente schématiquement toutes les fonctions techniques principales avec ses ressources et les solutions techniques. Dans notre cas nous avons définie cinq fonctions principales de la turbine à gaz avec ses solutions technique.

### 2.7.2.3 Cahier de charge Technique

**Tableau 2.3:** Cahier de charge Technique

Fonction	Critères	Niveau d'exigence
Convertir E.Thermique en E.Mécanique	Rendement énergétique	90% ou plus
	Fiabilité	99% ou plus
	Puissance de sortie	100 MW
	Émissions de polluants	Conforme aux normes environnementales
Compresser l'air	Pression d'admission d'air	15 bar
	Efficacité de compression	85% ou plus
Injecter le carburant	Ratio air-carburant	3 :1
	Efficacité de combustion	95% ou plus
Propulser les gaz chauds	Vitesse de rotation de la turbine	5,000 tours/minute
	Température maximale des gaz	510°C
Couvrir la turbine à gaz	Matière inoxydable et résiste aux chocs thermique	Conforme aux exigences de l'industrie
Superviser et commander le système de combustion	Précision de contrôle de la vitesse de rotation	$\pm 1\%$
	Précision de contrôle de la température des gaz	$\pm 5^\circ\text{C}$

**Interprétation :** Nous avons détaillé les contraintes et les spécificités techniques nécessaires afin de répondre aux besoins fonctionnels exprimés dans le cahier de charge fonctionnel. ce CDCF précise les différents critères ainsi ses niveau d'exigences du projet comme une charte graphique.

## 2.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé sur les différents section et systèmes de la turbine à gaz MS5001PA ainsi nous avons fait une analyse fonctionnel afin d'expliquer l'environnement extérieur et intérieure de cette turbine à gaz. Sachant que est une machine coûteuse et primordiale dans les centrales électrique. Et en raison de son fonctionnement basé sur la combustion de gaz, elle présente des risques potentiels importants. C'est pourquoi il est crucial de continuellement améliorer les mesures de protection qui lui sont associées.

Afin d'optimiser la protection de la turbine à gaz nous allons amélioré le système de sécurité de la turbine à gaz MS5001PA.

Nous allons abordé cette question plus en détail dans le chapitre suivant.

## **Chapitre 3**

# **L'amélioration des Mesures de Sécurité de la turbine à gaz**

### 3.1 Introduction

La sécurité des turbines à gaz est une préoccupation majeure dans l'industrie de l'énergie. Il est important de noter que la sécurité des turbines à gaz est une responsabilité partagée entre les fabricants, les exploitants, les autorités de réglementation et le personnel sur site. Des normes et des réglementations strictes sont en place pour garantir que les turbines à gaz sont conçues, installées et exploitées de manière sécurisée

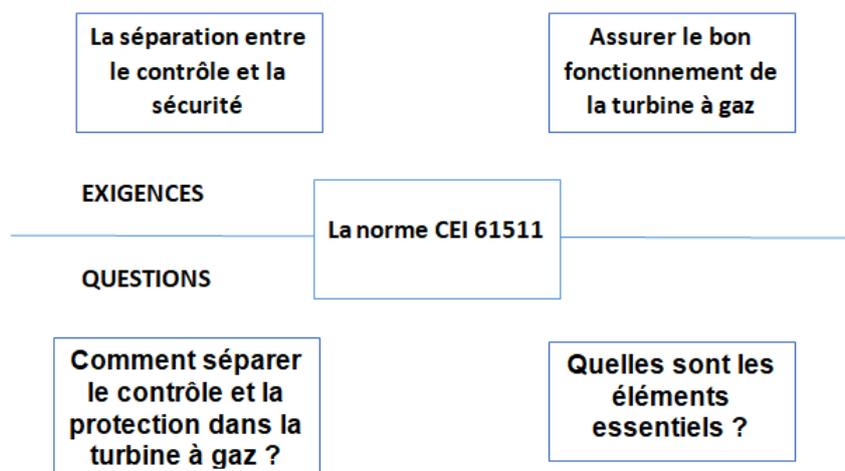
### 3.2 Problématique

Les turbines à gaz sont équipées d'un système de protection et de contrôle complexe, notamment au niveau de la première vanne de combustible gaz **SRV<sup>1</sup>**, qui régule la pression dans le conduit (P2) entre la **SRV-GCV<sup>2</sup>** et contrôle le rapport air-gaz. Elle assure également la protection de la turbine contre les actions indésirables ou dangereuses en agissant comme une barrière entre la source de combustible et l'entrée de combustible dans la turbine. En cas d'urgence, elle permet d'arrêter la turbine en mode d'arrêt d'urgence pour garantir la sécurité. La commission électrotechnique internationale stipule dans la norme **IEC<sup>3</sup> 61511** qu'on doit séparer le contrôle et la sécurité dans un processus donné pour plus de sécurité et pour la réduction du risque

Cette séparation commence par les éléments les plus essentiels de la conception du processus.

**D'après la norme CIE 61511 (Voir l'annexe A) et spécialement dans la partie *indépendance du deuxième concept des couches de protection* et avec la figure ci-dessus on peut clairement constaté que pour plus de sécurité et pour bien protégé les personnes et l'environnement ainsi notre équipement on doit séparer le contrôle et la protection.**

- Quelles sont les éléments essentiels ?
- Comment séparer le contrôle et la protection dans notre turbine à gaz ?



**Figure 3.1:** Organigramme significatif des questions et exigences de la norme CEI 51611

1. Stop Ratio Valve  
 2. gas control valve  
 3. International Electrotechnic comission

## 3.3 La boîte à outil Toolbox ST de 'General Electric'

### 3.3.0.1 Introduction

La boîte à outils Toolbox ST, développée par "GE Control System Solutions", est un logiciel basé sur microprocesseur utilisé pour la configuration et la maintenance de l'équipement de régulation. Elle offre un ensemble de fonctionnalités principales, notamment :

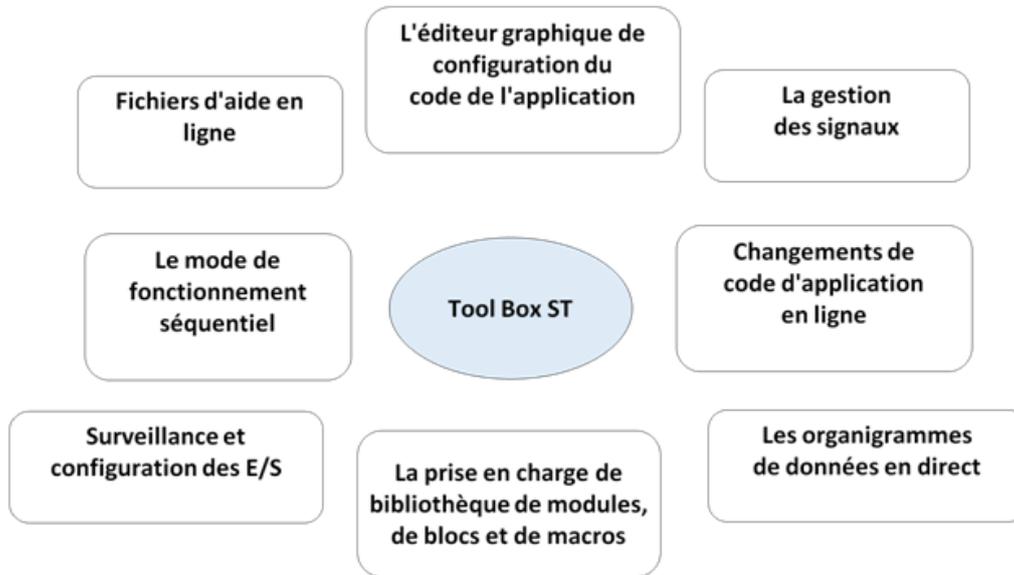


Figure 3.2: Les fonctions primaires de ToolBox ST

Le ToolBox ST configure différents équipement de régulation. En revanche, chaque ensemble de produit peut se composé de :

- La boîte à outils.
- Des fichiers produits.
- Et pour le contrôleur ou le pilot, l'historien de donné et des fichiers produit pour la base de donnée système [SDB](#)<sup>4</sup>.

### 3.3.1 Espèce de travail

La figure suivante représente le format de base qui montre l'espace de travail Toolbox ST de la boîte à outils, comprenant :

- les commandes des menus.
- les boutons des barres d'outils.
- les articles de la vue générales.

---

4. System Data base

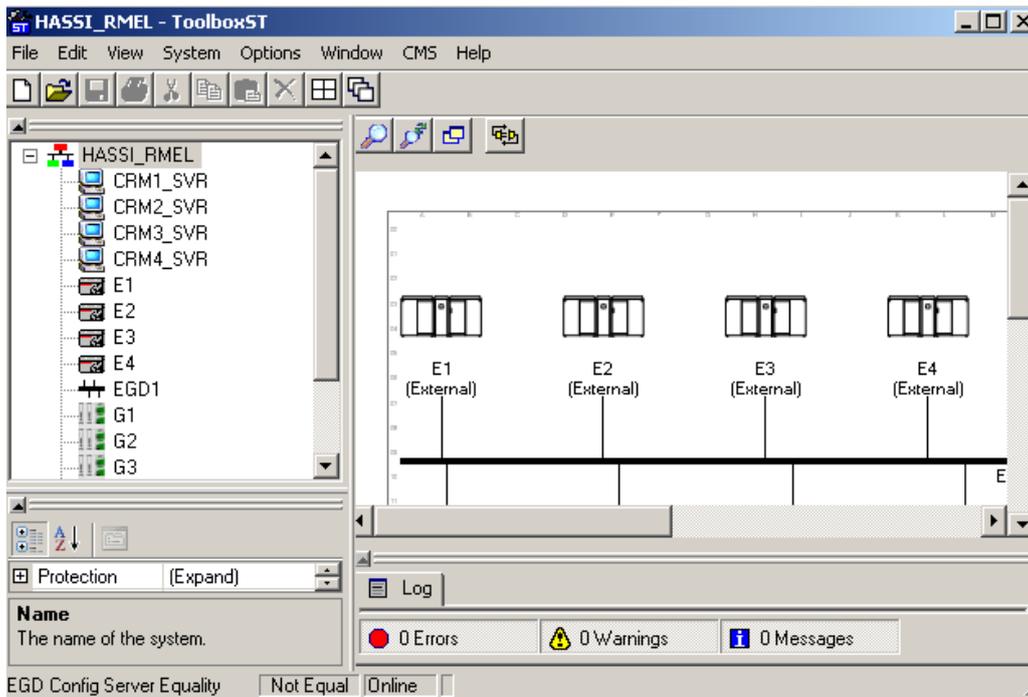


Figure 3.3: Le ToolBox ST de General Electric

### 3.3.2 La démarche à suivre dans notre travail

#### 3.3.2.1 les éléments essentiels

L'élément essentiel dans notre travail est la vanne de commande et de protection SRV que nous avons parlée dans le chapitre 2 qui contrôla la circulation de fuel gaz dans la turbine à gaz et assura la sécurité contre les trips et les dangers comme :

- la sur-vitesse de rotor de la turbine.
- Température d'échappement supérieure au seuil désiré.
- la détection de flamme.
- la détection de gaz.

#### 3.3.2.2 Séparation entre le Contrôle et la Protection dans notre turbine à gaz

Notre proposition pour cette problématique est de créé deux vannes de sécurité de type 'TOUT OU RIEN' indépendantes au contrôle avant la vanne SRV comme une premier barrière de sécurité de notre turbine à gaz.

**la premier vanne** c'est la FBV (**Fuel Block Valve**) qui permettra l'ouverture et la fermeture de la source de combustible.

et **la deuxième vanne** c'est la FVV (**Feul Vent Valve**) qui assura la dépressurisation de gaz dans la conduite entre la vanne SRV et la vanne FBV.

#### 3.3.2.3 L'amélioration des mesure de sécurité

-Nous Avons ajoutées un système de contrôle de la pressurisation dans l'enceinte de la turbine à gaz qui assura l'évacuation des fuit de gaz ainsi afin de contrôler la fumé et la chaleur. De plus la mé-

thode de contrôle des fumées et des fuit de gaz par surpression consiste à procéder à la pressurisation par injection d'air dans l'enceinte de la turbine à gaz. Cette méthode repose sur le contrôle des fumées et des fuit de gaz grâce à la vitesse de l'air et la barrière artificielle créée par la surpression.

### 3.3.2.4 Système d'échauffement de Fuel Gaz

Le chauffage du fuel gaz est un aspect important pour éviter le point de rosée du fuel gaz. Lorsque le fuel gaz atteint son point de rosée les composants liquides du mélange commencent à se condenser sous forme de gouttelettes liquides, Ces gouttelettes peuvent provoquer des problèmes de corrosion ou d'encrassement dans les conduites, les brûleurs ou les composants de la turbine à gaz, qui réduise aussi son efficacité et augmentant les risques d'usure prématurée. De plus ce point de rosé peut réduire les performance de la turbine à gaz dont la présence de liquides dus à la condensation peut perturber la combustion efficace du fuel gaz dans la chambre de combustion de la turbine à gaz. c'est pour cela on doit éviter ce point de rosé ainsi afin d'assurer un fonctionnement optimal et d'éviter des problèmes potentiels.

**Les différents types des température avec ces valeurs(ces valeurs changes d'une site à une autre site) :**

Types	Température
Température de gaz provenant de la source	entre 15 et 20 C°
Température du point de rosé	entre 15 et 25 C°
Température d'explosion	plus de 30 C°

**Tableau 3.1:** Les différentes températures

## 3.4 Simulation

### 3.4.1 ToolBox ST

#### 3.4.1.1 Modules de communication (HardWare)

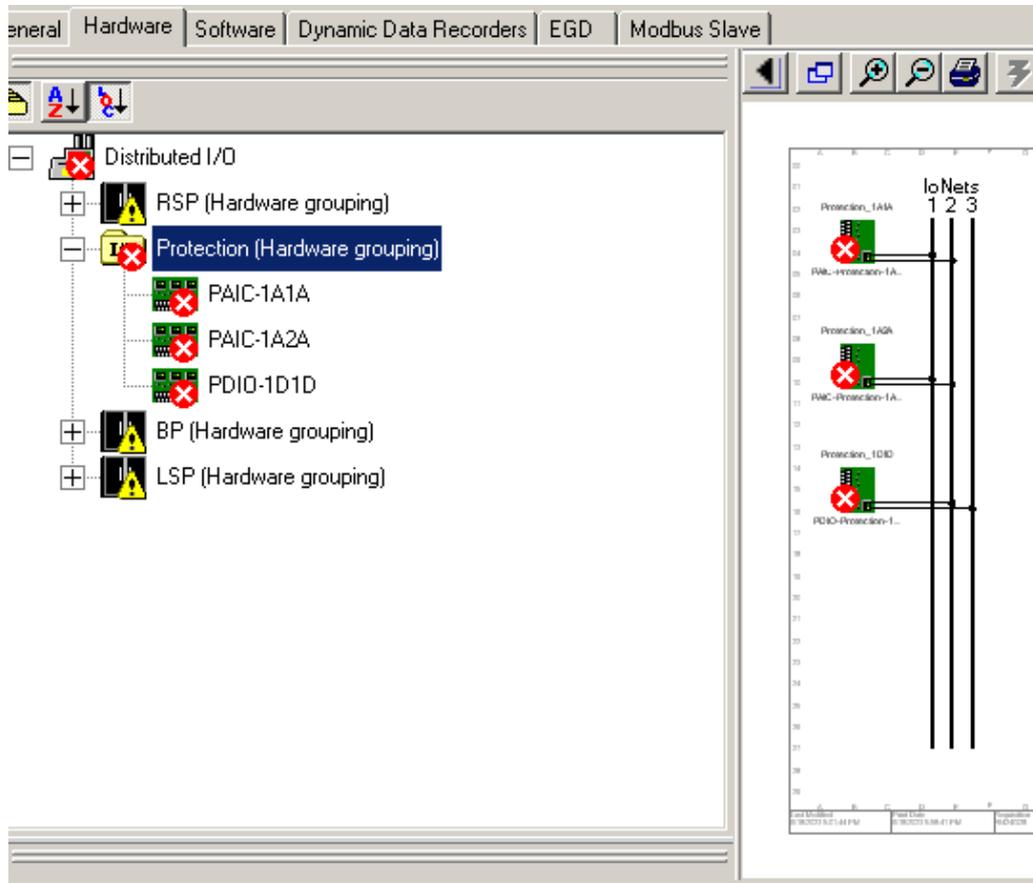


Figure 3.4: Les Modules de communication(HardWare)

**Explication :** Nous avons ajoutée le groupe **Protection(Hardware grouping)**, contenat les trois modules de communication **PAIC-1A1A,PAIC-1A2A,PDIO-1D1D** Où nous avons crée et définie les signaux de hardware telle que les signaux des transmetteurs, des relais...

**PAIC-1A1A :** C'est l'abréviation de **Package Analogic Input Communication** et après la tiret c'est l'emplacement du module **1A1A**.

Dans ce module nous avons mets les signaux analogique des transmetteurs de température et de gaz.

**PAIC-1A2A :** C'est l'abréviation de **Package Analogic Input Communication** et après la tiret c'est l'emplacement du module **1A2A**.

C'est où nous avons complété la configuration des signaux analogique des transmetteurs.

**PDIO-1D1D :** C'est l'abréviation de **Package Digital Input Output** et après la tiret c'est l'emplacement du module **1D1D**.

Nous avons configuré dans ce module tous les signaux numérique.

### 3.4.1.2 Les Taches du programme PFE(SoftWare)

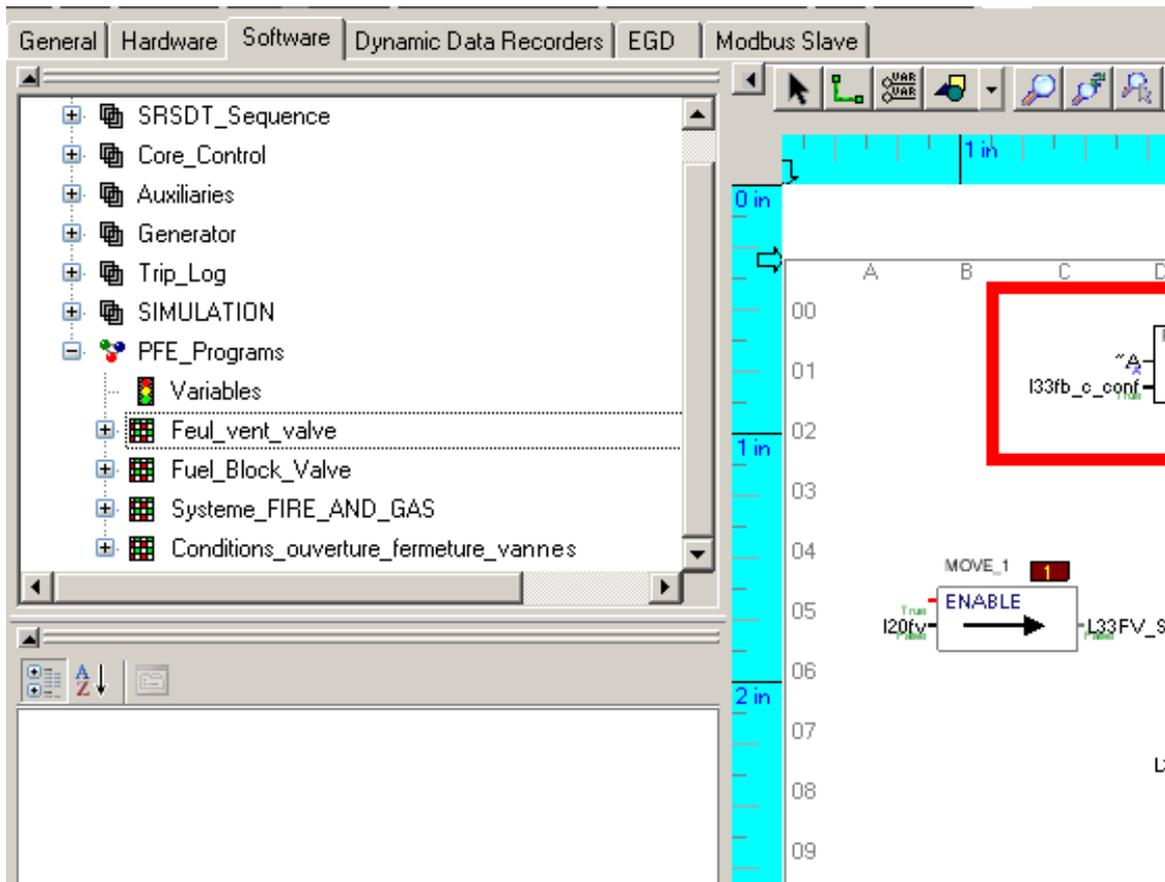


Figure 3.5: Les Tache du programme PFE(SoftWare)

**Explication :** Nous avons crée notre programme de software dans le logiciel de configuration ToolBox ST sous le nome **PFE \_Programs**, contenant quatre taches principale qui gère la modélisation et la configuration de notre travail, ces taches sont les suivantes :

**Fuel\_vent\_valve :** C'est la tache qui commande la vanes FVV, notamment le signal de commande, les fins de course, les troubles positions des fins de course.

**Fuel\_Block\_Valve :** C'est la tache qui gère les actions et les réaction la vanes FBV dans différents conditions, telle que l'excitation et la dés-excitation du signal de commande, la logique des fins de course, les état possible des troubles des positions des fins de course.

**Système\_FIRE\_AND\_GAS :** Cette tache commande le système de détection de gaz ainsi la détection d'incendie dans différents zones de la turbine à gaz.

**Conditions\_ouverture\_fermeture\_vannes :** Cette tache contient les conditions de démarrage que nous avons ajouté dans le bloc 'Ready To Start'.

### 3.4.1.3 Ethernet Global DATA EGD

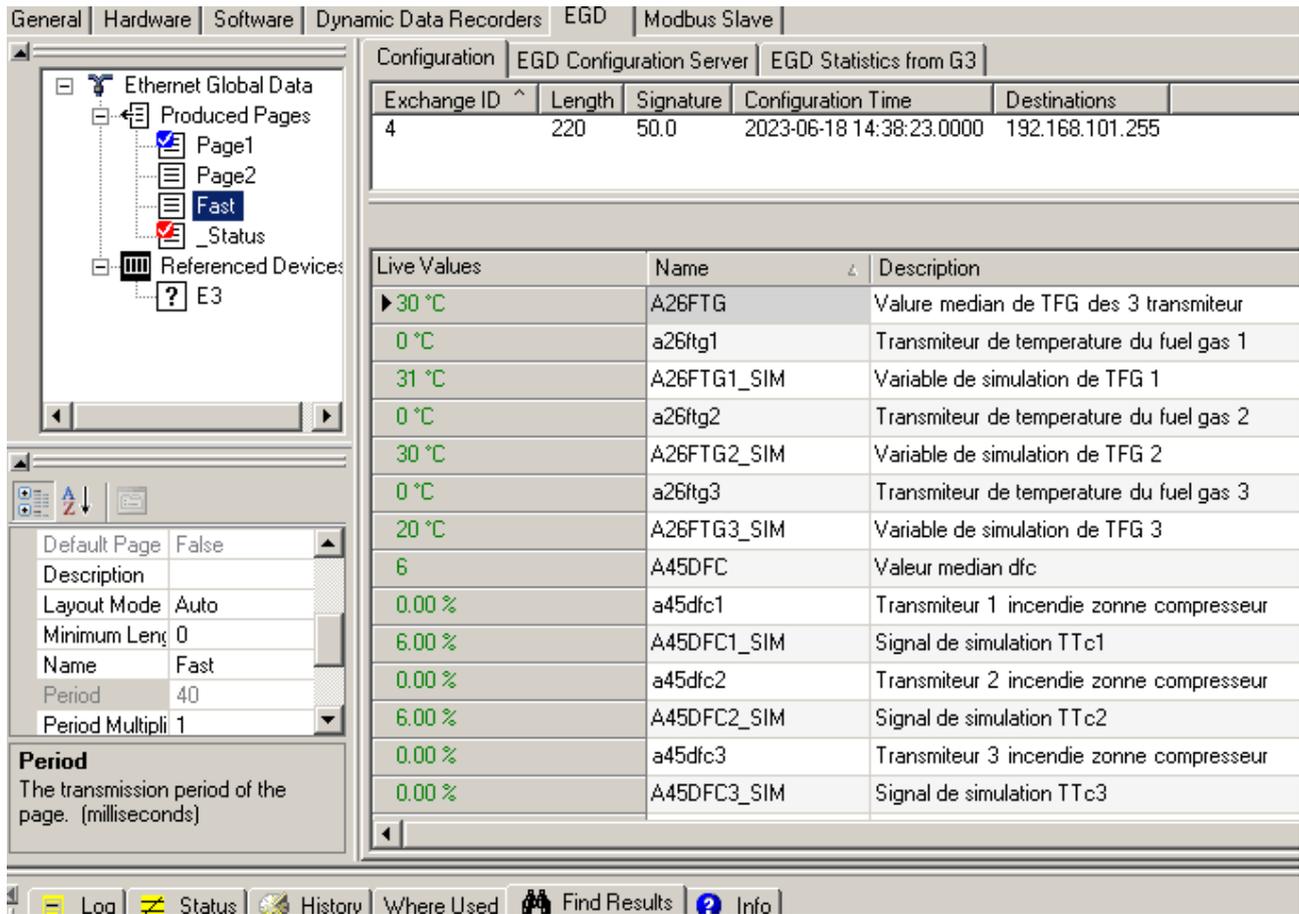


Figure 3.6: Les blocs de la vanne de sécurité FBV

**Explication :** La page Ethernet Global Data (EGD) est une fonctionnalité qui peut être utilisée pour faciliter la communication entre le logiciel de programmation Toolbox ST et l'interface homme-machine (HMI) CIMPLICITY. L'EGD permet de partager des données en temps réel entre les différents appareils connectés au réseau Ethernet.

3.4.1.4 La vanne FBV

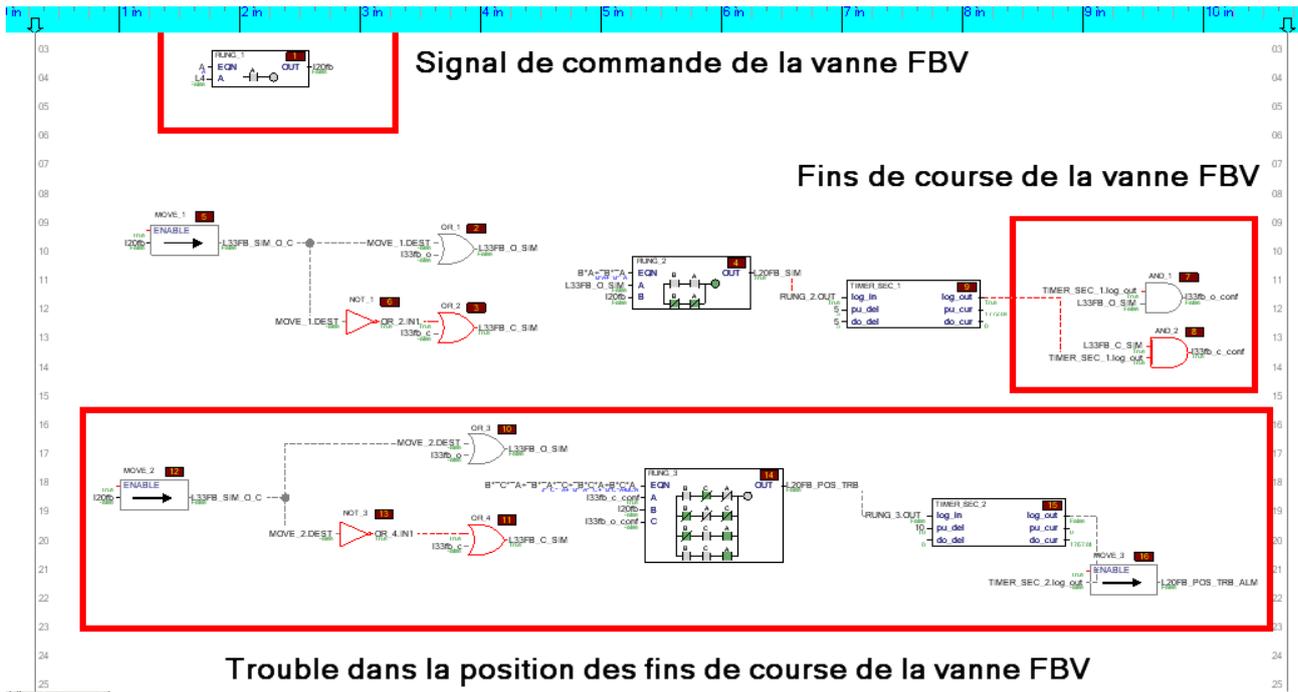


Figure 3.7: Les blocs de la vanne de sécurité FBV

Signaux	Descriptions
I20fb	Signal de commande de la vanne FBV
I33fb c	Fin de cours de la vanne FBV dans la position *FERMER*
I33fb o	Fin de cours de la vanne FBV dans la position *OUVERTE*
I33fb o conf	Fin de cours de la vanne FBV dans la position *OUVERTE* confirme
I33fb c conf	Fin de cours de la vanne FBV dans la position *FERMER* confirme
L33FB SIM O C	Signal de simulation des fins de cours de la vanne FBV
L33FB O SIM	Signal de simulation de fin de cours de la vanne FBV 'position *OUVERTE*
L33FB C SIM	Signal de simulation de fin de cours de la vanne FBV 'position *FERMER*
L20FB POS TRB	Default * Position indefinie*
L20FB SIM	Signal de simulation pour commande de la vanne FBV
L20FB POS TRB ALM	Default * Position indefinie*ALARME

Tableau 3.2: Tableau des signaux de la vanne FBV

**Explication :**

Le bloc de commande de la vanne FBV (Fuel Bloc Valve) est composé de trois partie :

**1-Le Signal de commande I20fb :** c'est le signal qui commande l'ouverture et la fermeture de la vanne FBV.

Quand le signal I20fb est **False** la vanne FBV est en position '**Fermée**'.

Et quand le signale I20fb est **Treu** la vannes FBV est en position **OUVERTE**.

l'excitation de ce signal est avec la présence du signal **L4** le signal qui nous confirme que la turbine à gaz est en mode de sécurité.

## Master Protective signal

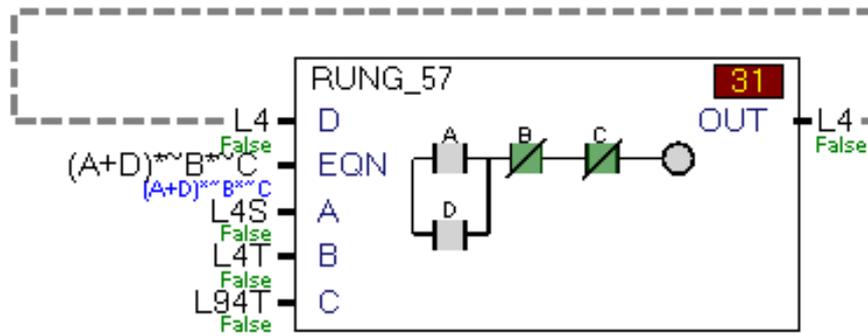


Figure 3.8: Le bloc du signal de vérification d'état du système turbine

**2-Les fins de course :** L'ouverture et la fermeture de la vanne FBV est confirmé avec les deux signaux **I33fb-o-conf** et **I33fb-c-conf**.

**I33fb-o-conf** qui confirme la position **OUVERTE**.

**I33fb-c-conf** qui confirme la position **FERMÉE**.

## Fins de course de la vanne FBV

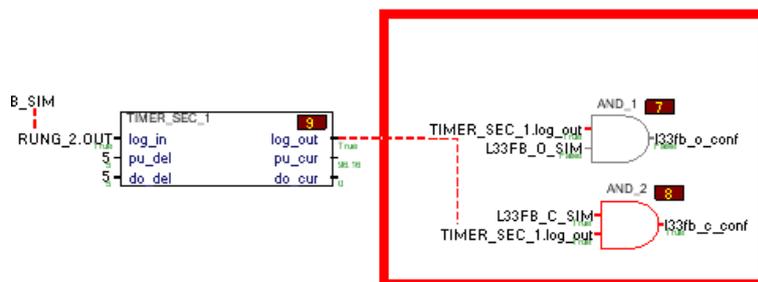


Figure 3.9: Les blocs du fins de course pour la vanne FBV

**3-Trouble dans les positions des fins de course :** Dans le cas d'une panne soit au niveau des fins de course soit au niveau de la vanne elle même le signal **L20FB-POS-TRB-ALM** transmettre une alarme apparaîtra dans la fenêtre des alarmes.

l'excitation de ce signal est par les cas suivants :

- La présence du signal de commande I20fb et les deux fins de course en état **False**
- La présence du signal de commande I20fb et les deux fins de course en état **True**
- L'absence du signal de commande I20fb et les deux fins de course en état **False**
- L'absence du signal de commande I20fb et les deux fins de course en état **True**

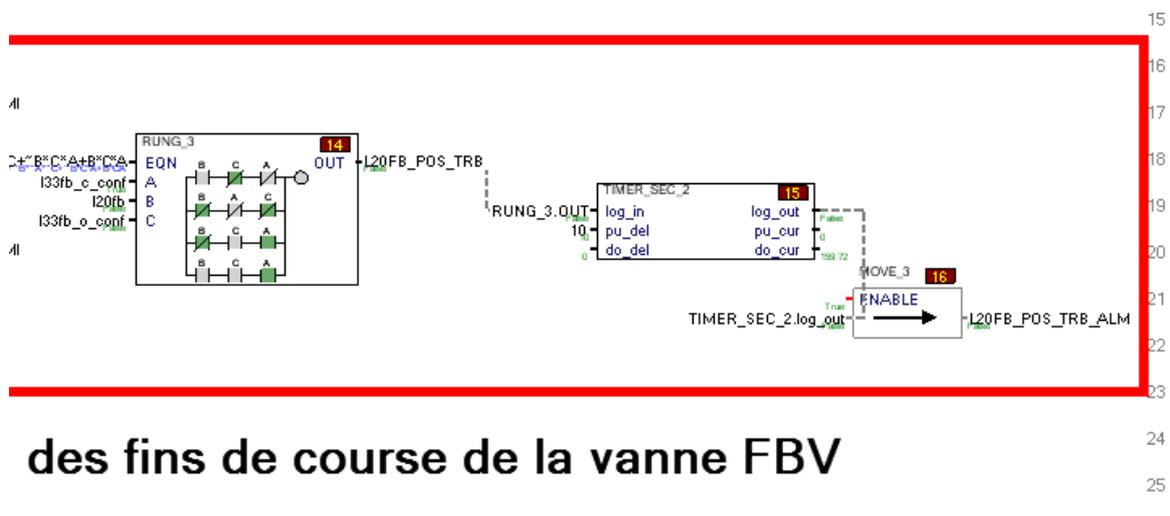


Figure 3.10: Les cas du trouble pour la vanne FBV

### 3.4.1.5 La vanne FVV

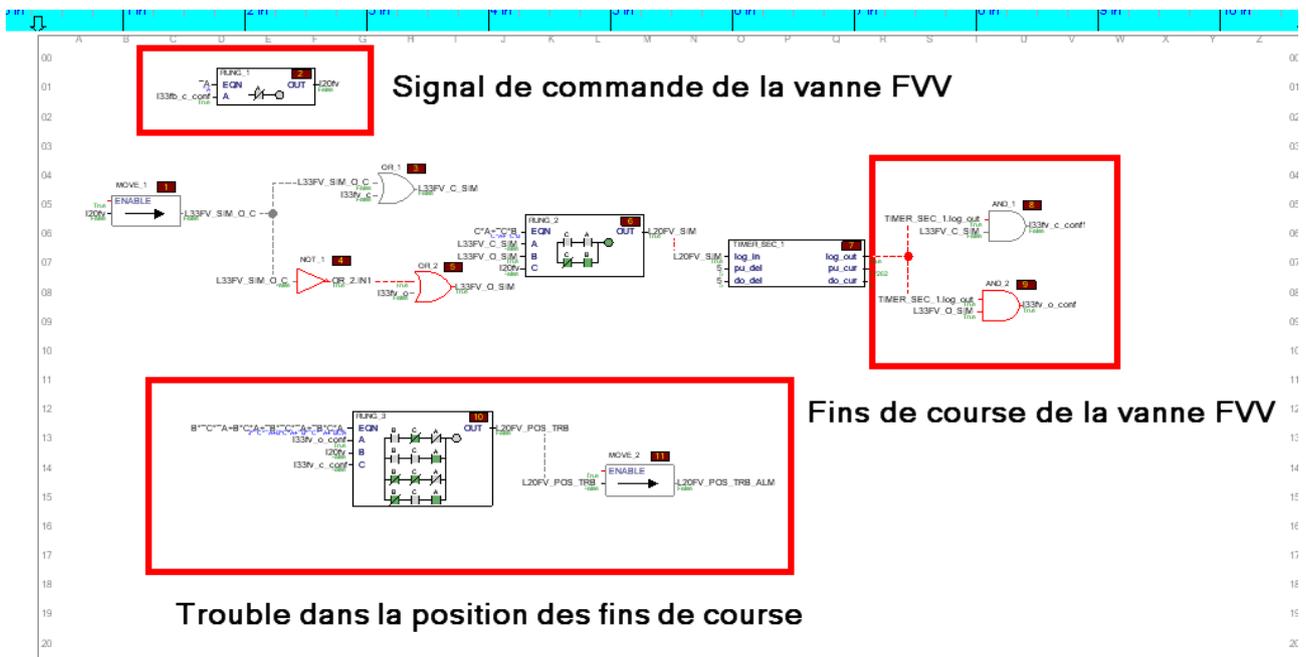


Figure 3.11: Les blocs de la vanne de sécurité FVV

**Explication :** Le bloc de commande de la vanne FVV (Fuel Vent Valve) est composé de trois partie :

**1-Le Signal de commande 120fv :** c'est le signal qui commande l'ouverture et la fermeture de la vanne FVV.

Quand le signal 120fv est **False** la vanne FVV est en position '**OUVERTE**'.

Et quand le signale 120fv est **True** la vannes FVV est en position **FERMÉE**.

l'excitation de ce signal est avec la présence du signal **133fb-c-conf = True**, le signal qui confirme l'ouverture de la vanne FBV.

Signaux	Descriptions
I20fv	Signal de commande de la vanne FVV
I33fv o	Fin de cours de la vanne FVV dans la position *OUVERTE*
I33fv c	Fin de cours de la vanne FVV dans la position *FERMER*
I33fv o conf	Fin de cours de la vanne FVV dans la position *OUVERTE* confirme
I33fv c conf	Fin de cours de la vanne FVV dans la position *FERMER* confirme
L20FV SIM	Signal de simulation pour commande de la vanne FVV
L33FV SIM O C	Signal de simulation des fins de cours de la vanne FVV
L33FV O SIM	Signal de simulation de fin de cours de la vanne FVV 'position *OUVERTE*
L33FV C SIM	Signal de simulation de fin de cours de la vanne FVV 'position *FERMER*
L20FV POS TRB	Defaut * Position indéfinie*
L20FV POS TRB ALM	Defaut * Position indéfinie*ALARME

Tableau 3.3: Tableau des signaux de la vanne FVV

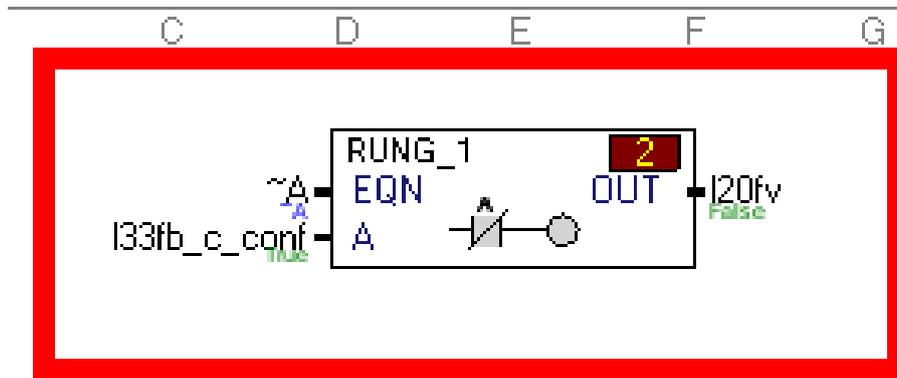


Figure 3.12: Le bloc du signal de commande de la vanne FVV

**2-Les fins de course :** L'ouverture et la fermeture de la vanne FVV est confirmé avec les deux signaux **I33fv-o-conf** et **I33fv-c-conf**.

**I33fv-o-conf** qui confirme la position **OUVERTE**.

**I33fv-c-conf** qui confirme la position **FERMÉE**.

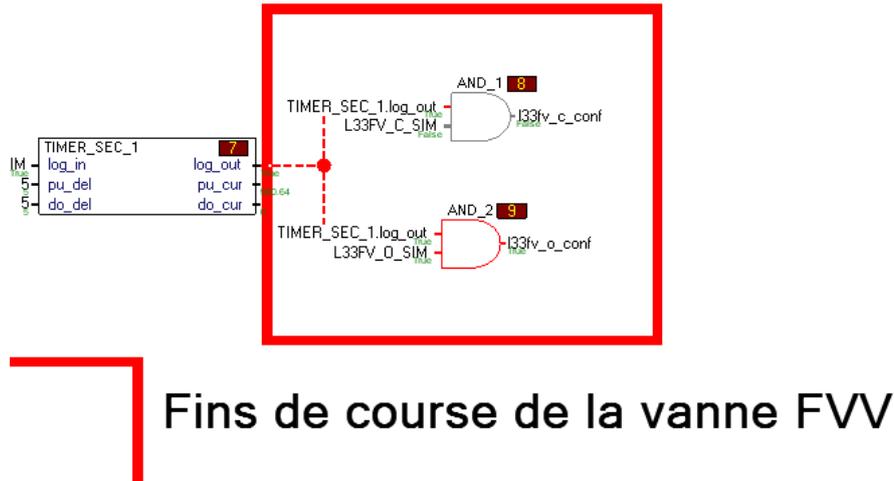
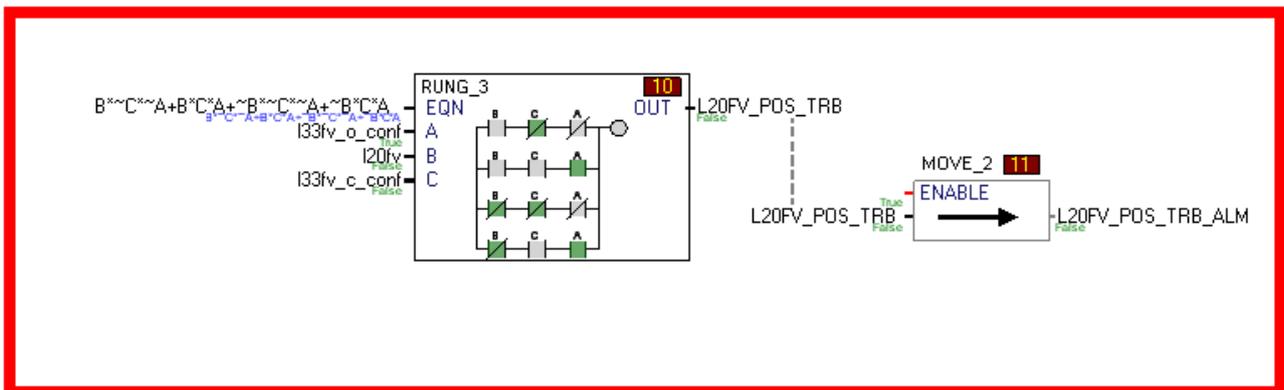


Figure 3.13: Les blocs du fins de course de la vanne FVV

**3-Trouble dans les positions des fins de course :** Dans le cas d'une panne soit au niveau des fins de course soit au niveau de la vanne elle même le signal **L20FV-POS-TRB-ALM** transmettre une alarme apparaîtra dans la fenêtre des alarmes.

l'excitation de ce signal est par les cas suivants :

- La présence du signal de commande I20fv et les deux fins de course en état **False**
- La présence du signal de commande I20fv et les deux fins de course en état **True**
- L'absence du signal de commande I20fv et les deux fins de course en état **False**
- L'absence du signal de commande I20fv et les deux fins de course en état **True**



## Trouble dans la position des fins de course

Figure 3.14: Le bloc du cas de trouble de la vanne FVV

3.4.1.6 Système Détection d'incendie et de Gaz

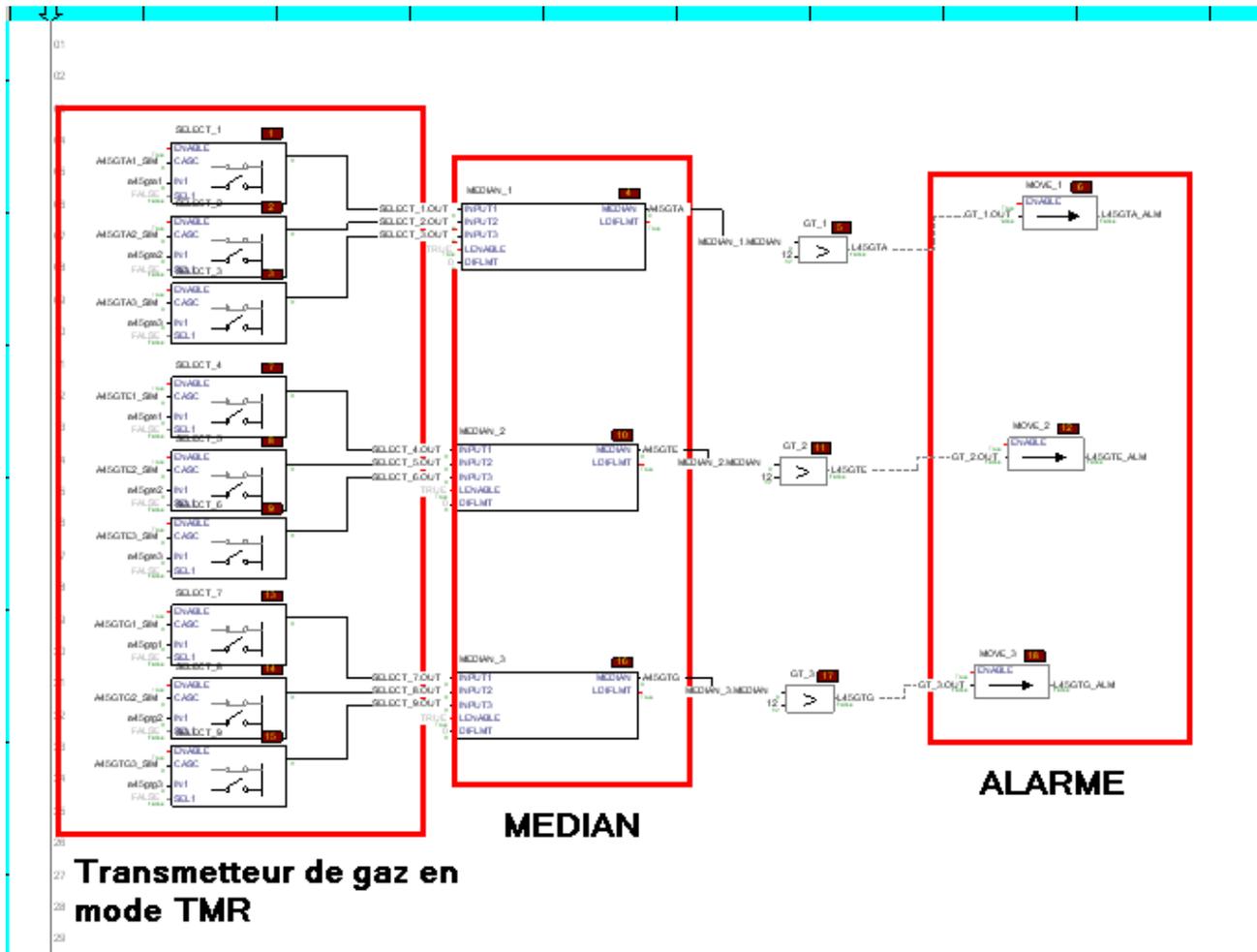


Figure 3.15: Le Bloc de détection de gaz et d'incendie

**Explication :** La Détection de gaz est faite dans les trois zones :

- zone d'admission, Dont le signal qui confirme une détection de gaz dans cette zone et transmettre une alarme est **L45GTA-ALM**.
- zone de l'enceinte, Où le signal qui confirme une détection de gaz dans cette zone et transmettre une alarme est **L45GTE-ALM**.
- zone de la Génératrice, Tel que le signal qui confirme une détection de gaz dans cette zone et transmettre une alarme est **L45GTG-ALM**.

Détection de gaz Zone-Admission :

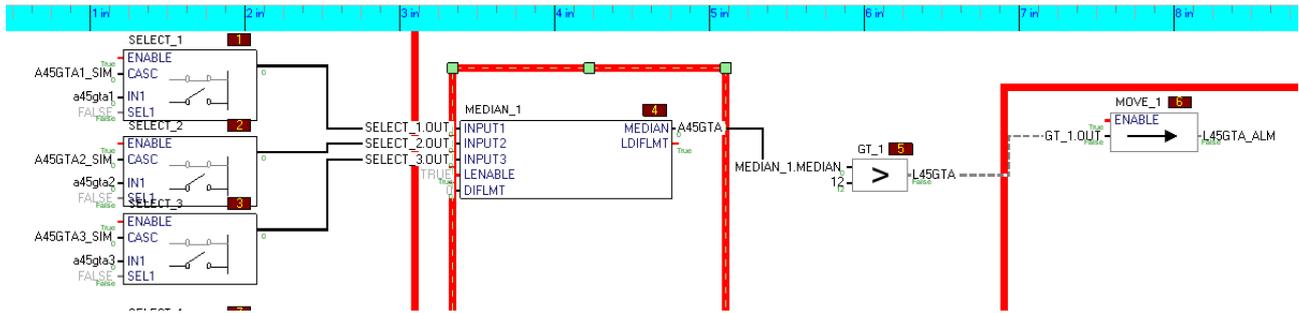


Figure 3.16: Le Bloc de détection de gaz Zone-Admission

Détection de gaz Zone-Enceinte :

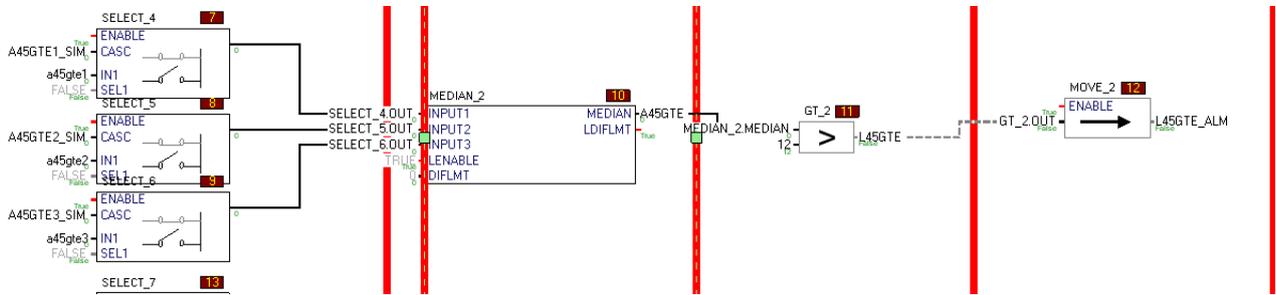
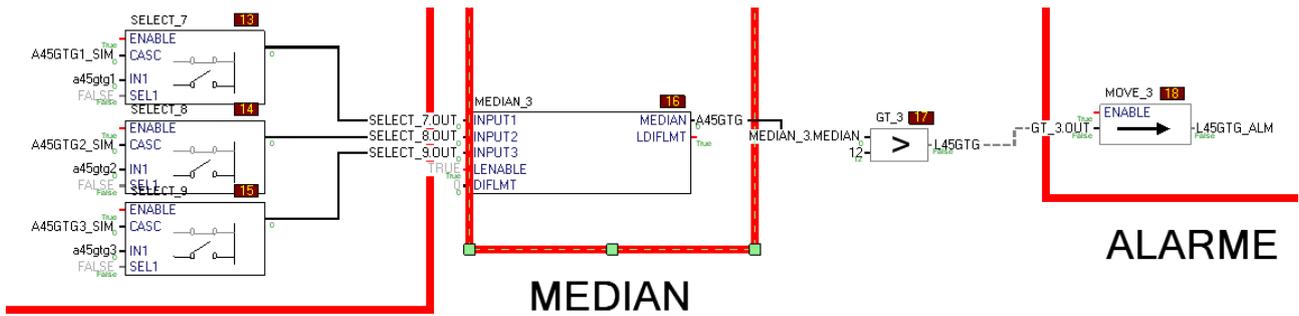


Figure 3.17: Le bloc de détection de gaz Zone-Enceinte

Détection de gaz Zone-Génératrice :



Transmetteur de gaz en

Figure 3.18: Bloc de détection de gaz Zone-Génératrice

<b>Signaux</b>	<b>Descriptions</b>
L45GTG ALM	Alarme détection de gaz / zone générateur
L45GTG	Détection du gaz / zone générateur assurée
L45GTE ALM	Alarme détection de gaz / zone enceinte
L45GTE	Détection du gaz / zone enceinte assurée
L45GTA ALM	Alarme détection de gaz / zone admission
L45GTA	Détection du gaz / zone admission assurée
A45GTG3 SIM	Signal de simulation TGG3
a45gtg3	Transmetteur 3 du gaz / zone de générateur
A45GTG2 SIM	Signal de simulation GTi1
a45gtg2	Transmetteur 2 du gaz / zone de générateur
A45GTG1 SIM	Signal de simulation TGG1
a45gtg1	Transmetteur 1 du gaz / zone de générateur
A45GTG	Valeur médiane des trois transmetteurs du gaz / zone générateur
A45GTE3 SIM	Signal de simulation GTi3
a45gte3	Transmetteur 3 du gaz / zone enceinte
A45GTE2 SIM	Signal de simulation TGE2
a45gte2	Transmetteur 2 du gaz / zone enceinte
A45GTE1 SIM	Signal de simulation TGE1
a45gte1	Transmetteur 1 du gaz / zone enceinte
A45GTE	Valeur médiane des trois transmetteurs du gaz / zone enceinte
A45GTA3 SIM	Signal de simulation TGA3
a45gta3	Transmetteur 3 du gaz / zone d'admission
A45GTA2 SIM	Signal de simulation TGA2
a45gta2	Transmetteur 2 du gaz / zone d'admission
A45GTA1 SIM	Signal de simulation TGA1
a45gta1	Transmetteur 1 du gaz / zone d'admission
A45GTA	Valeur médiane des trois transmetteurs du gaz

**Tableau 3.4:** Tableau des signaux du système de détection de gaz

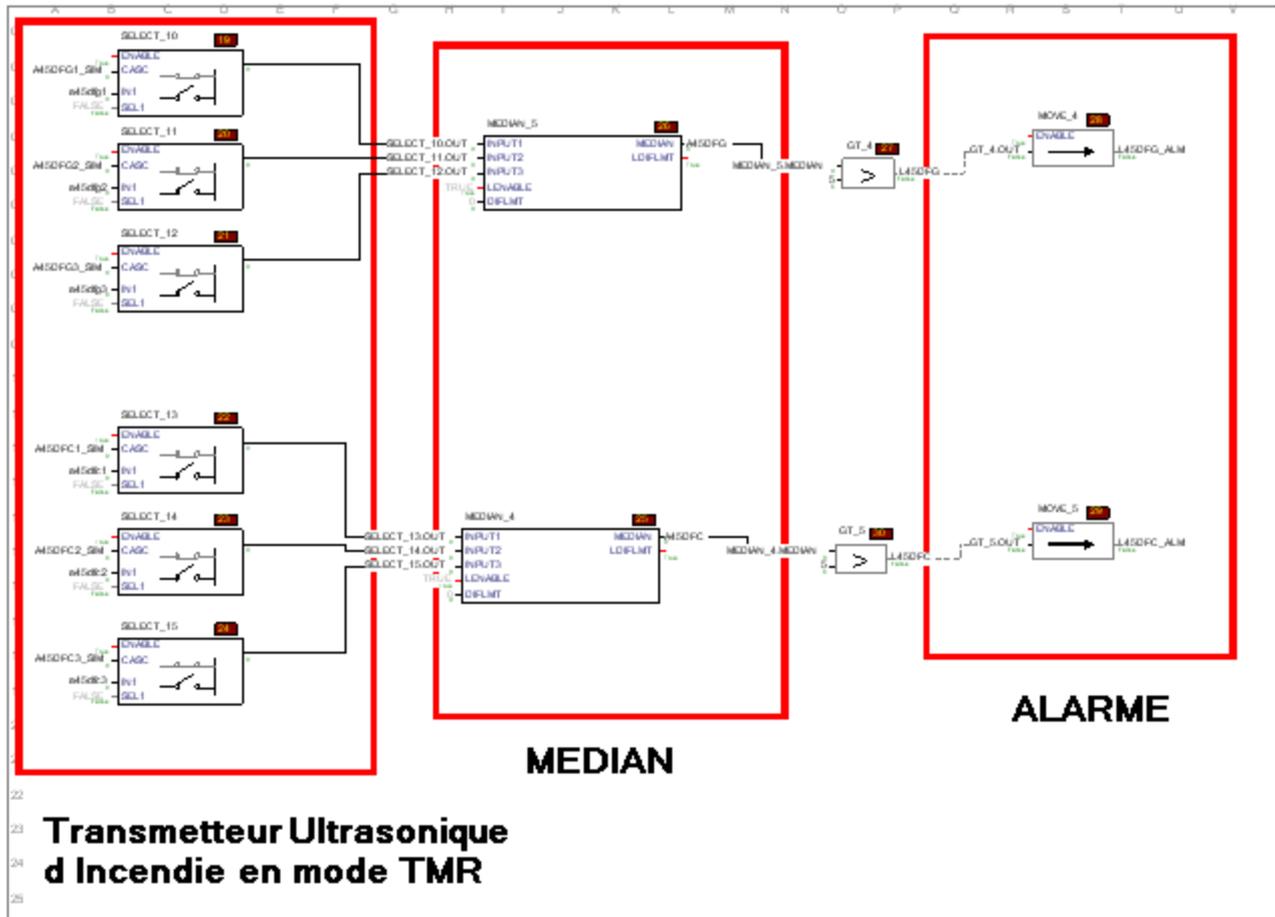


Figure 3.19: Le Système de détection de gaz et d'incendie

Signaux	Descriptions
A45DFG3 SIM a45dfg3	Signal de simulation TTg3 Transmetteur 3 incendie / zone de générateur
A45DFG2 SIM a45dfg2	Signal de simulation GTi2 Transmetteur 2 incendie / zone de générateur
A45DFG1 SIM a45dfg1	Signal de simulation TTg1 Transmetteur 1 incendie / zone de générateur
A45DFG	Valeur médiane dfg
A45DFC3 SIM a45dfc3	Signal de simulation TTc3 Transmetteur 3 incendie / zone compresseur
A45DFC2 SIM a45dfc2	Signal de simulation TTc2 Transmetteur 2 incendie / zone compresseur
A45DFC1 SIM a45dfc1	Signal de simulation TTc1 Transmetteur 1 incendie / zone compresseur
A45DFC	Valeur médiane dfc
L45DFG ALM L45DFG	Alarme détection incendie zone génératrice Détection incendie zone génératrice assurée
L45DFC ALM L45DFC	Alarme détection incendie zone compresseur Détection incendie zone compresseur assurée

Tableau 3.5: Tableau des signaux du système de détection d'incendie

**Explication :** La Détection d'incendie est faite dans les deux zones :

-**zone d'admission**, Dont le signal qui confirme une détection de gaz dans cette zone et transmettre une alarme est **L45DFC-ALM**.

-**zone de la Génératrice**, Tel que le signal qui confirme une détection de gaz dans cette zone et transmettre une alarme est **L45DFG-ALM**.

**Détection d'incendie Zone-Admission :**

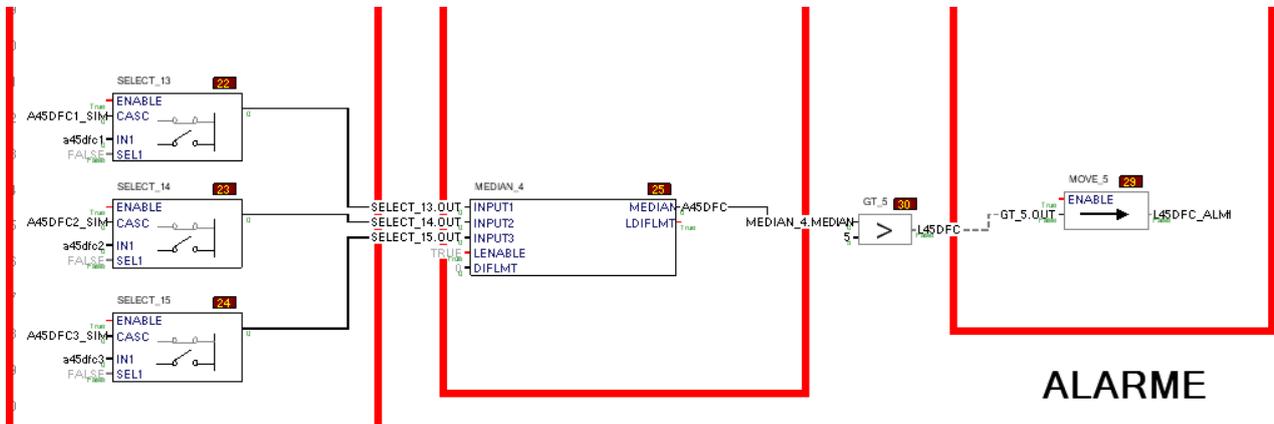


Figure 3.20: Le bloc de détection d'incendie Zone-Admission

**Détection d'incendie Zone-Génératrice :**

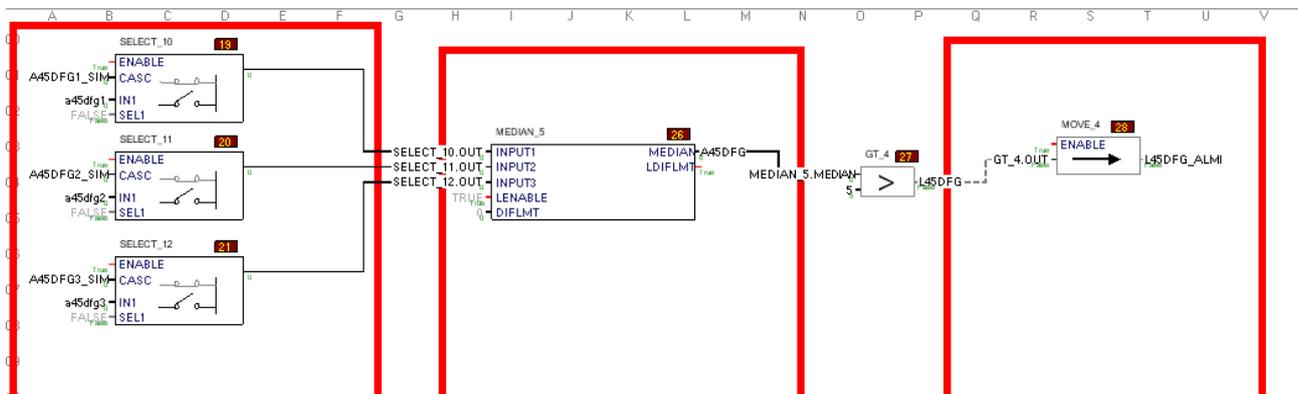


Figure 3.21: Le bloc de détection d'incendie Zone-Génératrice

3.4.1.7 Conditions de 'Ready To Start'

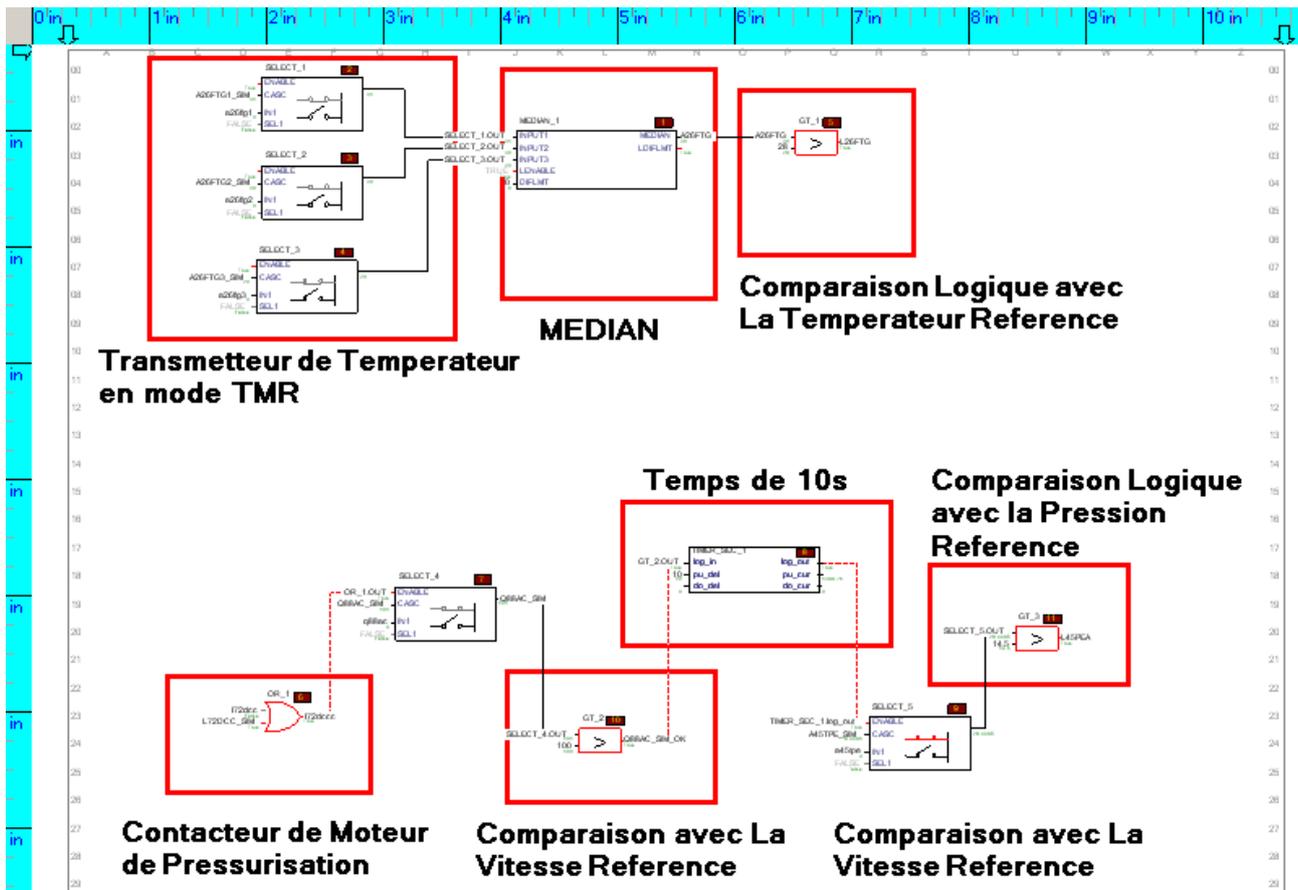


Figure 3.22: Le bloc des condition de démarrage

**Explication :** Pour avoir le 'Ready to start' nous devons vérifier que toutes les conditions de démarrage et de sécurité sont assurées ainsi les deux systèmes d'échauffement de gaz afin d'éviter le point de rosé de fuel gaz et le système de contrôle de pressurisation pour assurer l'évacuation des fuit de gaz et de feu dans l'enceinte.

**Pour le système d'échauffement de gaz**

Nous avons ajoutées un 'Heater' fonction automatiquement avec le signal de retour **A26FTG** de transmetteur de température qui fonction en mode TMR (Triple Modular redandancy) pour plus de précision, et ce 'HEATER' s'allumera et s'éteindra automatiquement selon la plage de fuel gaz sachant que les deux extrémités de cette plage est le point de rosé et le point explosion de fuel gaz. et pour avoir le le signal qui confirme que le fuel gaz est atteint la température référence, une comparaison du signal logique **L26FTG** avec la température référence de fuel gaz. cette température ça diffère, tout dépend les caractéristiques de fuel gaz.

**pour le système de contrôle de pressurisation**

Ce système est composé de quatre partie :

Le démarrage de ce moteur est avec le signal logique **I72dccc**, activant le contacteur de moteur électrique de pressurisation, puis l'excitation de ce signal activera le deuxième bloc, le bloc qui est lié avec l'afficheur de la vitesse de moteur électrique, comparant cette valeur avec la valeur de la vitesse référence qui nous assura que ce dernier est atteint la vitesse suffisante pour évacuer les fuit de gaz

et le fumer. Une fois ce signal **L72f OK** de confirmation est excité, il activera le bloc de 'TIMER', comptant dix seconde, puis nous vérifions que la pression dans l'enceinte est supérieure à la pression atmosphérique '1bar' dans ce cas le signal logique **L45PEA** s'excite afin de confirmer la pressurisation dans l'enceinte de la turbine à gaz.

**Le Système d'échauffement de gaz :**

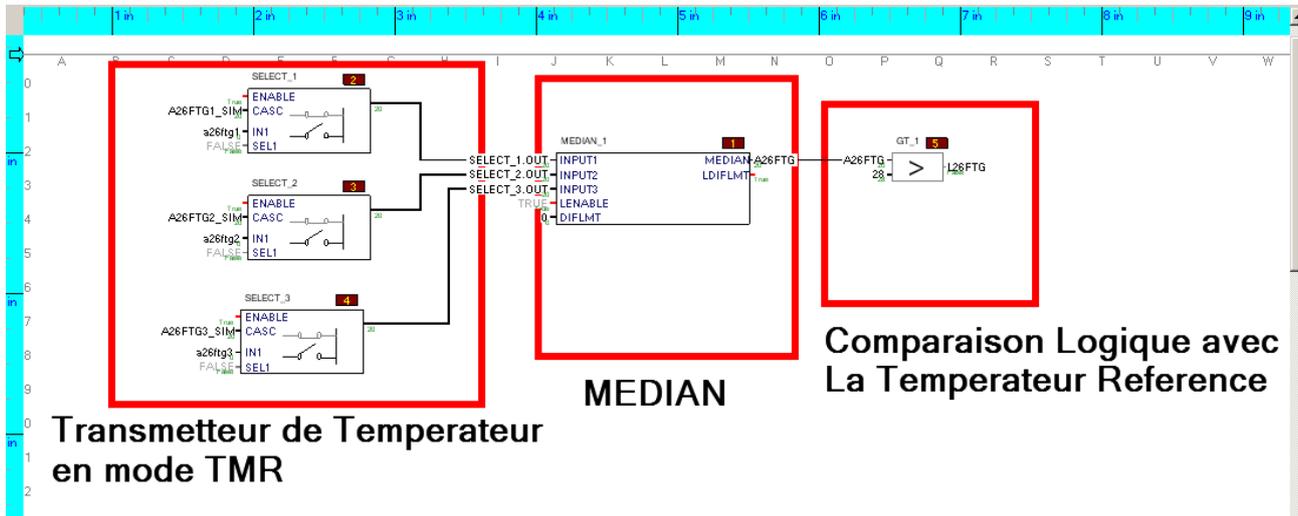


Figure 3.23: Le système d'échauffement de gaz

**Le Système de pressurisation de l'enceinte de la turbine à gaz :**

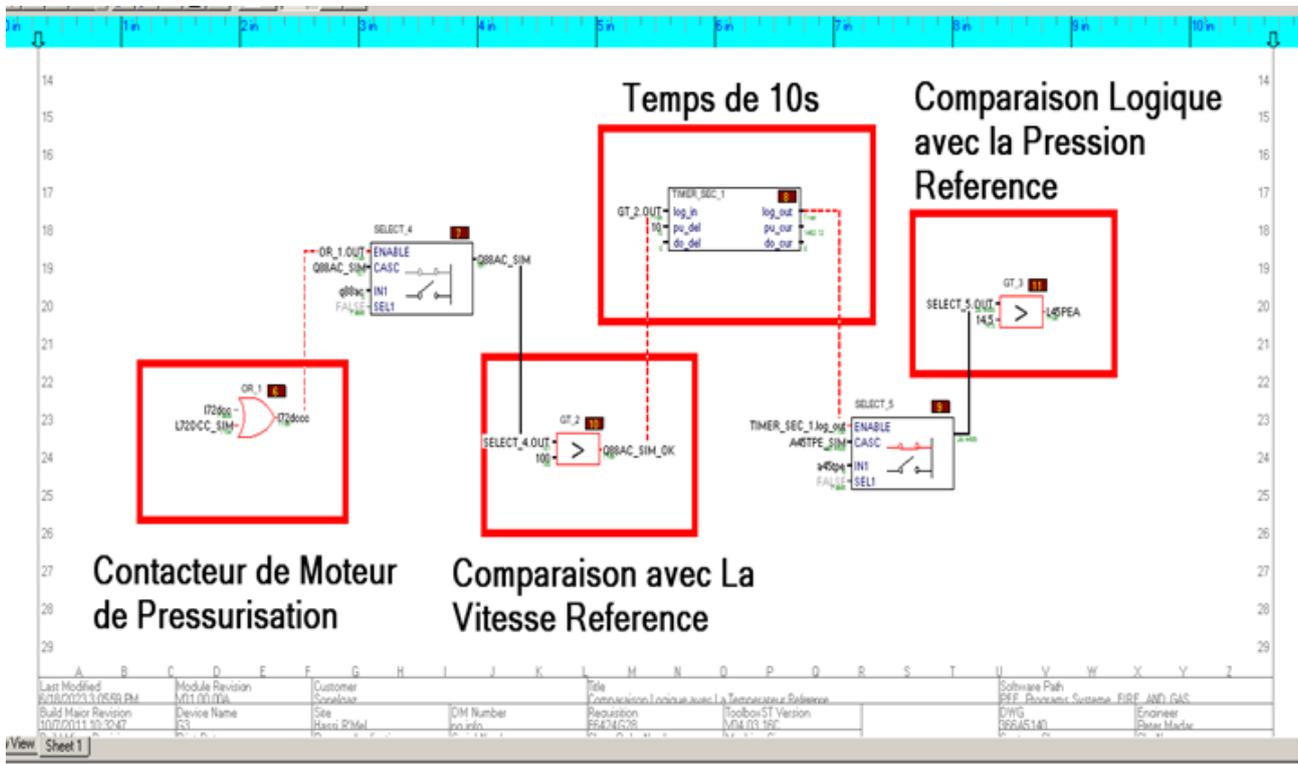


Figure 3.24: Le bloc de contrôle de pressurisation

Signaux	Descriptions
I72dcc	Contacteur moteur auxiliaire de pressurisation
L45PEA	Pressurisation assurée dans l'enceinte
a26ftg2	Transmetteur de température du fuel gaz 2
a26ftg3	Transmetteur de température du fuel gaz 3
a26ftg1	Transmetteur de température du fuel gaz 1
A26FTG	Valeur médiane de TFG des 3 transmetteurs
I72f	Chauffage
a45tpe	Taux de pressurisation dans l'enceinte
L72 SIM	Variable de simulation - chauffage
q88ac	Moteur auxiliaire de pressurisation
START	Démarrage
I72dcc	Position contacteur moteur auxiliaire de pressurisation
L26FTG	Valeur logique de comparaison avec la température de référence du FG
Q88AC SIM OK	Rotation du moteur assurée
L72DCC SIM	Signal de simulation du contacteur
A26FTG1 SIM	Variable de simulation de TFG 1
Q88AC SIM	Signal de simulation du moteur auxiliaire
A26FTG2 SIM	Variable de simulation de TFG 2
A26FTG3 SIM	Variable de simulation de TFG 3
A45TPE SIM	Signal de simulation TPE
L72F OK	Chauffage assuré

Tableau 3.6: Tableau des signaux des conditions de démarrage

### 3.5 Les composants de l'interface homme-machine

L'interface homme -machine (HMI) est une interface d'opérateur en temps réel de processus et équipements des centrales électriques . cette interface est fonctionné sur une station de travail" PC", utilisant une architecture client serveur basée sur Microsoft NT . [30] [7]

L'opérateur peuvent utilisée la HMI pour les fonctions de contrôle de turbines suivantes :

Surveiller une ou plusieurs turbines à travers des affichages graphiques par exemple :les alarmes,les vibrations ,le pourcentage d'ouverture des aubes .

Émettre des commandes à la turbine sélectionné ou a l'appareil entraîné .

Cette interface est composée de :

- A) **Cimplicity HMI** : L'utilisation de la "Cimplicity"est principalement pour afficher les écrans d'états de la turbine,ce qui permet à un opérateur de surveiller l'unité .La cimplicity ne permet pas a configurer le contrôle de système . [30] [7]
- B) **HMI Serveur** : Le noeud du système qui transmet les données et i assure la communication entre des dispositifs entre le réseau de donnée de l'unité UDH et le réseau de donnée de PDH.
- C) **HMI Viewer** : assure les fonctions visuelles,en étant le client du serveur,consiste les logiciels principale pour l'affichage graphique,les valeurs de donnée,les alarmes et en plus pour faire introduise des valeurs de commandes et d'accéder aux enregistrements de système . [30] [7]
- D) **Interface de commande de la turbine (TCI)** : est utilisé pour afficher des données à plus grande vitesse (plus rapides que des mises à jour d'une seconde) et pour configurer et contrôler

une unité de turbine.

E) **TCIMB** : TCIMB (TCI/CIMPLICITY Bridge, précédemment appelé CIMB ou CIMBridge) est une interface entre la CIMPLICITY et le TCI, comme suit : Permet au CIMPLICITY de collecter les données et les alarmes d'une unité de turbine.

Transmettre les points (Mark IVE) et les alarmes (toutes) à CIMPLICITY. [30] [7]

F) **Base de donnée** : La base de données est utilisée pour la configuration du système mais elle n'est pas requise pour l'exécution du système. [30]

**Affichage en mode graphique** : L'IHM affiche les données et traite les commandes de l'opérateur à l'aide d'écrans qui représentent une variété de signaux, de valeurs et d'unités.

Les éléments d'affichage changent de couleur en fonction des signaux logiques, tandis que certains objets sont dynamiques et l'actualisent à chaque mise à jour des données, comme les graphiques à barres.

La visualisation à grande vitesse permet d'actualiser les données affichées une fois par seconde, et des outils spéciaux permettent de collecter et de stocker des données à des vitesses pouvant atteindre jusqu'à 10 ms.

Le système graphique remplit les fonctions clés de l'IHM et fournit à l'opérateur une visualisation du processus en temps réel en utilisant ce qui suit :

A) **Cimedit** : CimEdit est un programme orienté objet qui crée et maintient les écrans graphiques de l'utilisateur. Les outils d'édition et d'animation, avec l'interface familière de Windows fournissent une interface intuitive et facile à utiliser.

B) **CimView** : est la partie de l'IHM en cours d'exécution, qui affiche les informations sur le processus dans des formats graphiques.

C) **Alarm Viewer** : fournit les fonctions de gestion des alarmes comme filtrage par priorité, par l'unité, par temps ou par le dispositif source . Un champ d'alarme est habituellement situé au bas de la plupart des écrans et la file d'attente complète des alarmes est accessible sur un autre écran. [30] [7]

### 3.5.1 Prête à marchée 'Ready To Start'

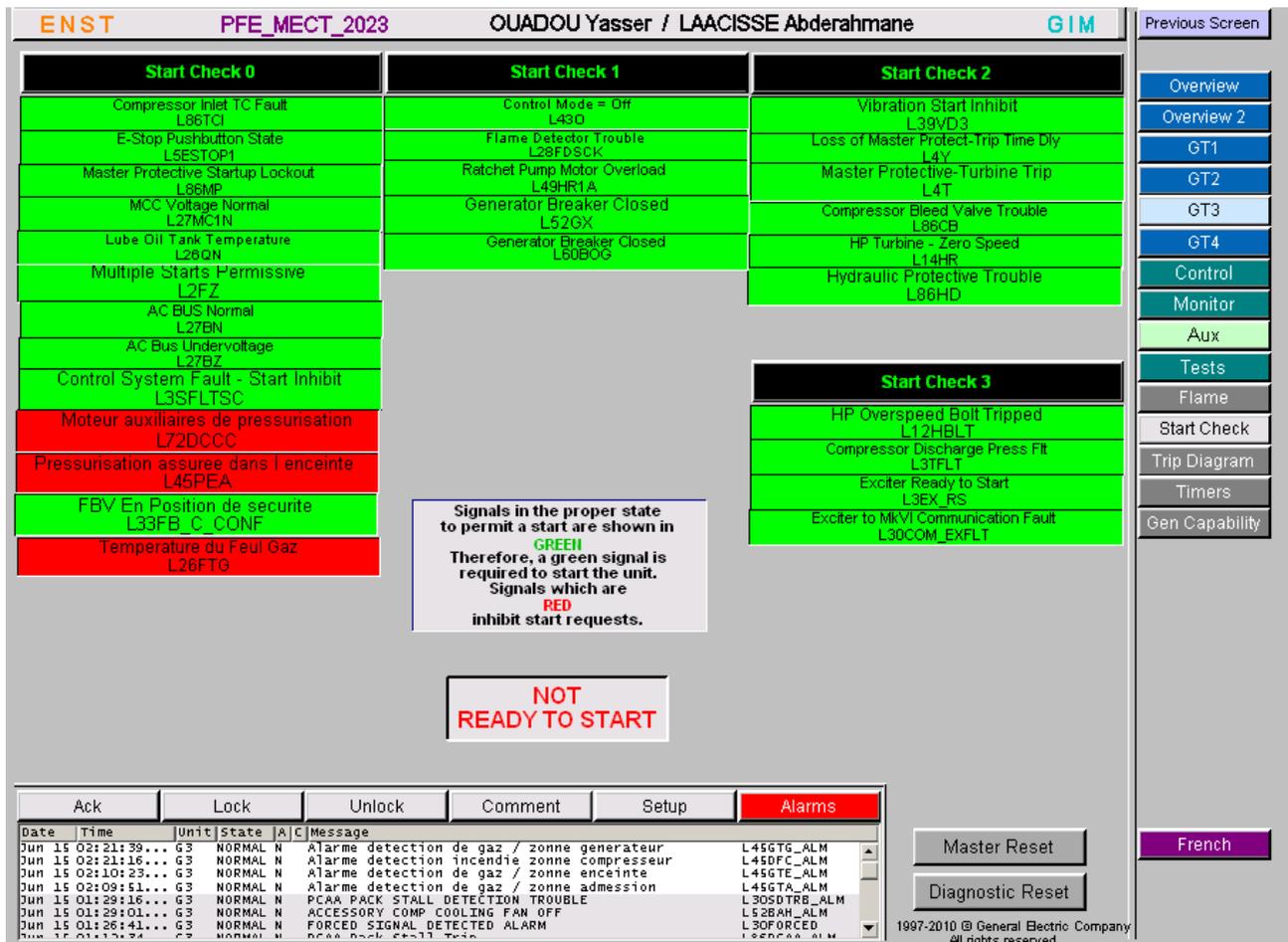


Figure 3.25: la fenetre de 'Ready To Start

**Explication :** Cette figure est affichera toutes les conditions de démarrage, sachant que la couleur verte indique que la condition est satisfaite et la couleur rouge indique qu'il y a un problème à régler. Nous avons ajoutées les conditions qu'on a crée et configurées dans le bloc de 'Ready To Start', ces conditions sont le signal de contacteur de moteur de pressurisation **L72DCCC** et le signal qui assura la pressurisation **L45PEA** et le signal de fin de course en position fermée de la vanne de sécurité FBV et le signal qui assure l'échauffement de gaz **L26FTG**. Et pour voir comment satisfaire ces conditions nous allons à la figure suivante qui nous montre l'affichage de la page de simulation de ces conditions de démarrage.

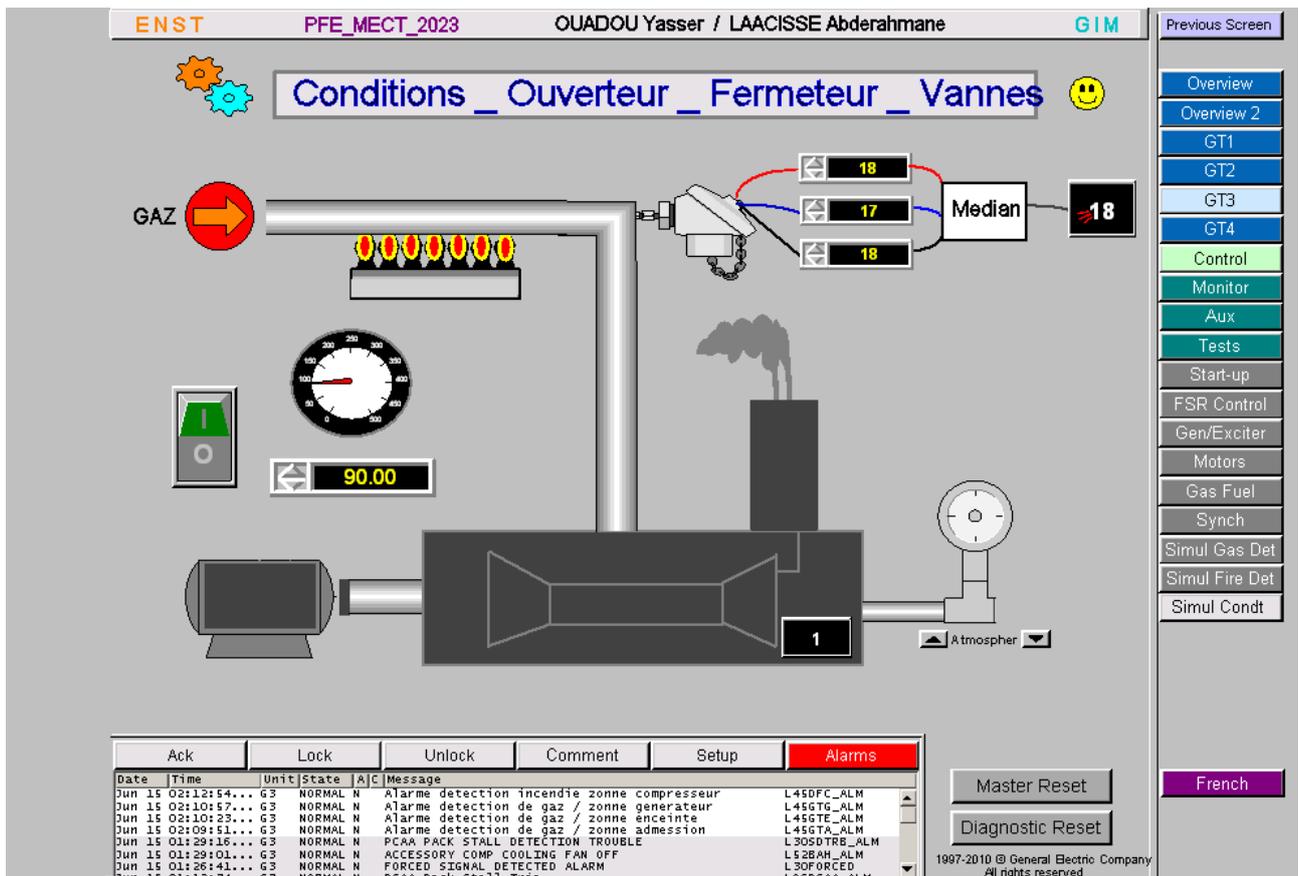


Figure 3.26: Le système de condition de démarrage

**Explication :** Cette figure comprend les deux système d'échauffement et de contrôle de pressurisation.

**Pour le système d'échauffement de gaz se compose :**

-un HEATER Pour l'échauffement de gaz et un transmetteur de température et trois afficheurs indiquant les valeurs de la température des trois mesures en mode TMR et un afficheur qui affichera la valeur choisi par la médian parmi les trois valeurs précédentes. Nous observons que l'afficheur de la température de gaz affiche 18°C, c'est la valeur initial variant entre [15°C-20°C].

**Pour le système de contrôle de pressurisation** Nous avons modélisées l'enceinte de la turbine à gaz avec le moteur électrique de pressurisation et un afficheur de sa vitesse et son contacteur de démarrage ainsi un manomètre, mesurant la différence de pression entre la pression dans l'enceinte avec la pression de l'environnement extérieur.

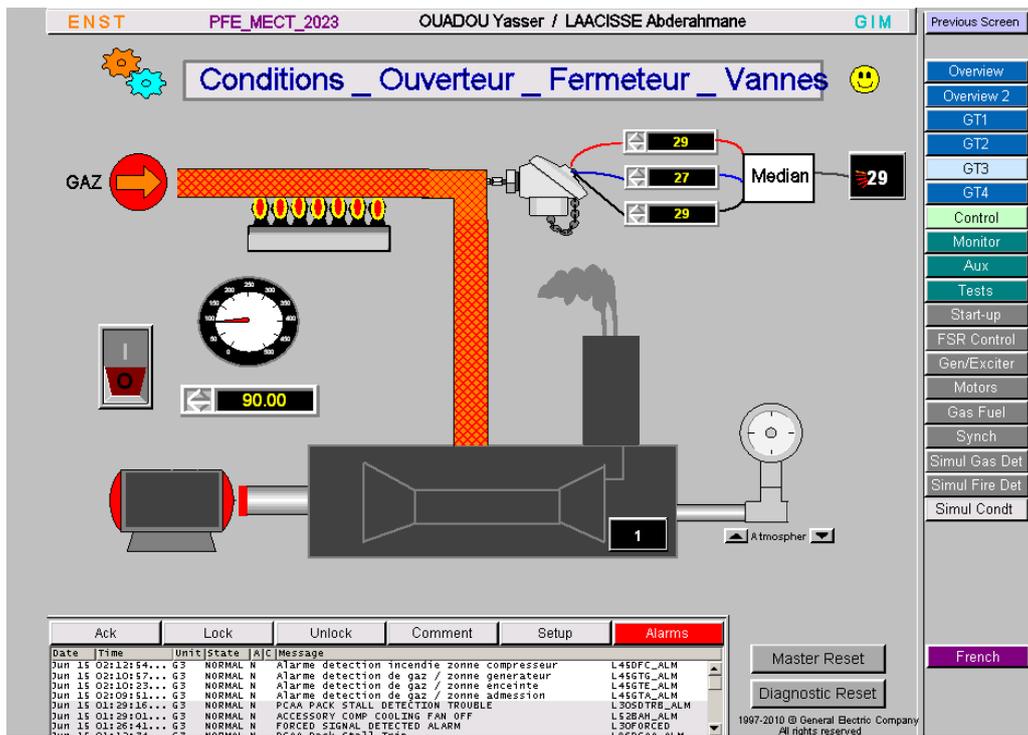


Figure 3.27: Le système de condition de démarrage

**Explication :** Nous observons dans cette figure que la condition d'échauffement de gaz est satisfaire une foi la valeur de température atteindre la température référence.

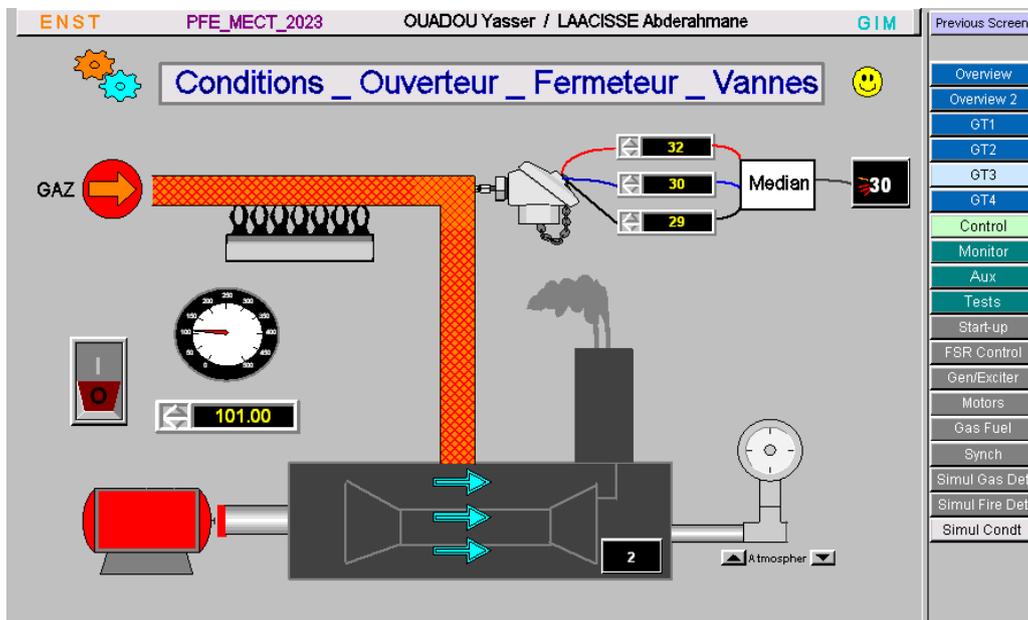


Figure 3.28: Le système de condition de démarrage

**Explication :** Dans cette figure nous remarquons que le moteur électrique de pressurisation est en marche avec une vitesse assurant l'évacuation des fuit de gaz ainsi le fumer, en revanche le manomètre affiche que la pression dans l'enceinte est supérieure à la pression atmosphérique. d'une autre façon la condition de contrôle de pressurisation est satisfaite.

Nous remarquons aussi que le 'HEATER' est éteint automatiquement quand il atteint à la tempé-

rature référence pré-définie afin d'évier la température d'explosion de fuel gaz.

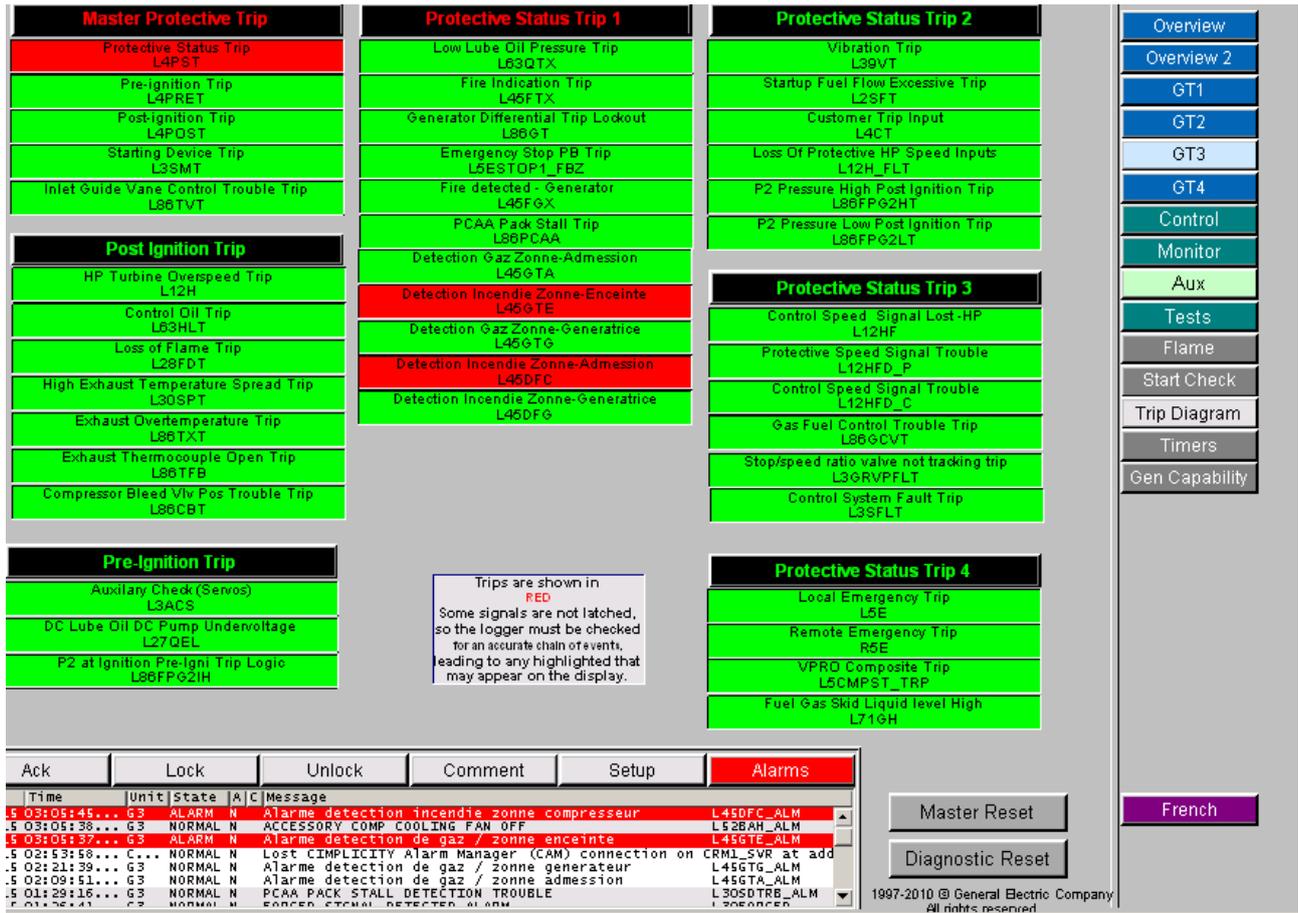


Figure 3.29: La fenêtre de trips

**Explication :** Cette figure affichera tous les signaux des trips, sachant que la couleur rouge est définie pour le confirmation de trip et la couleur verte est définie pour nous confirme que la turbine est sécurisé.

Nous avons ajoutées les cases des signaux des détections de gaz et d'incendie et nous remarquons l'apparition des alarmes au dessous de cette fenêtre.

Nous allons voir dans les figures suivantes la simulation des détection de gaz et d'incendie.

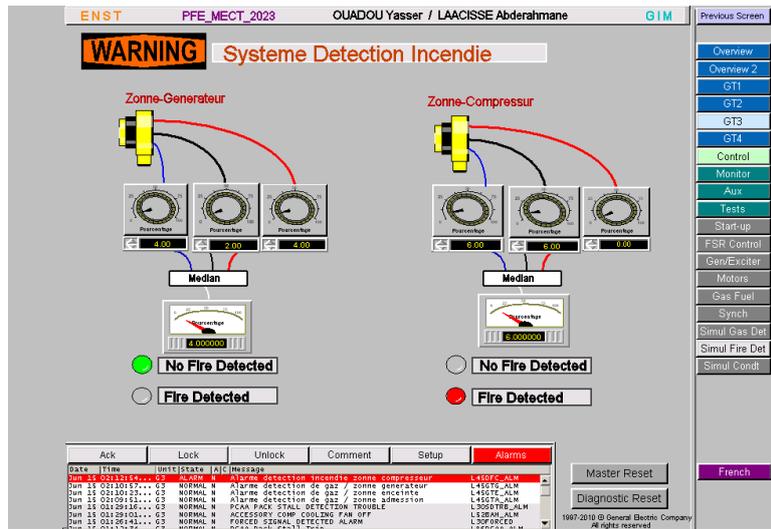


Figure 3.30: Le système de détection d'incendie

**Explication :** Cette figure représente le système de détection d'incendie dans la zone de compresseur axial et la zone de la génératrice ce système se compose par des transmetteurs des détection d'incendie en mode TMR avec l'afficheur de pourcentage détecté plus des voyants rouge et verte pour l'affichage d'état de ce processus.

Nous remarquons que une détection d'incendie est détecté dans la zone de compresseur, le voyant rouge est s'allumer et une alarme au dessous de la fenêtre apparaît.

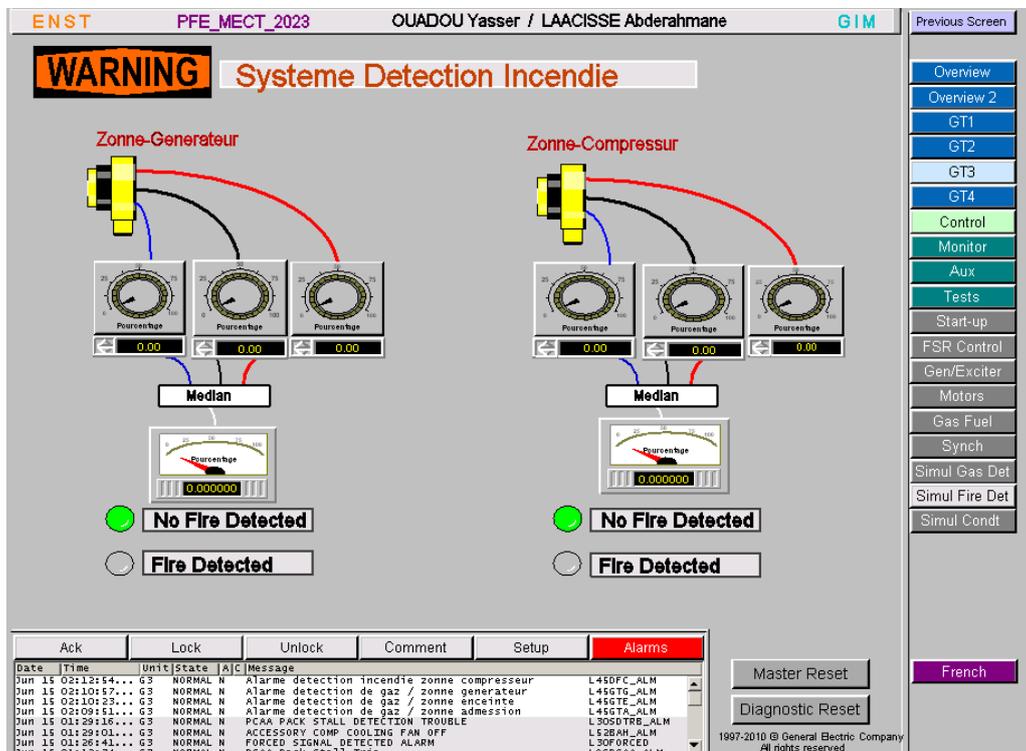


Figure 3.31: Le système de détection d'incendie après la maintenance

**Explication :** Dans cette figure nous remarquons que la détection d'incendie dans la zone de compresseur est maintenue et le voyant vert est s'allumer ainsi l'alarme au dessous de la fenêtre est

s'annuler. en revanche nous allons remarquées dans la fenêtre des trips que le signal de détection d'incendie dans zone de compresseur est en vert.

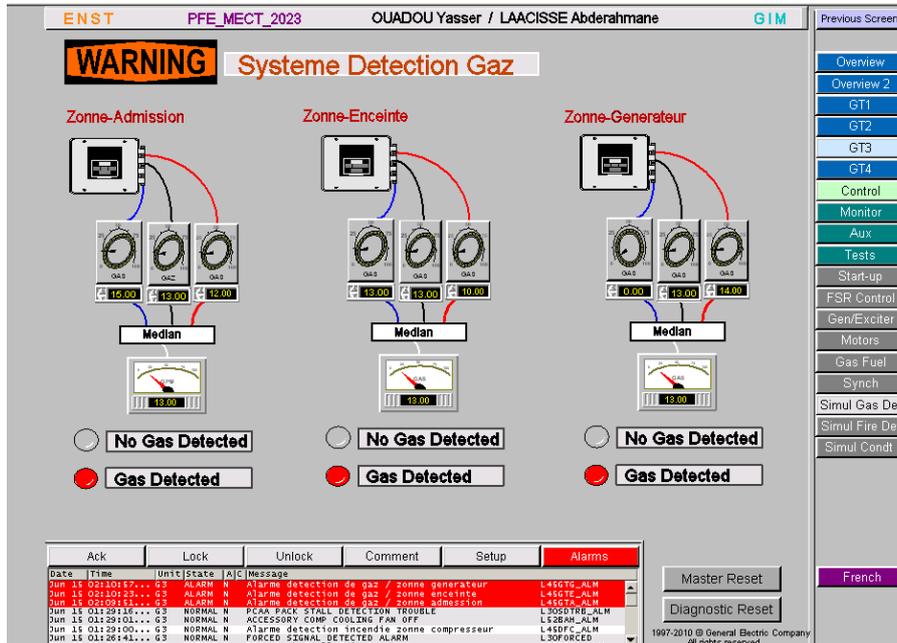


Figure 3.32: Le système de détection de gaz dans le cas de détection assurée

**Explication :** Cette figure représente le système de détection de gaz dans les trois zones : zone d'admission et la zone de l'enceinte de la turbine à gaz et la zone de la génératrice. Ce système se compose par des transmetteurs des détection de gaz en mode TMR avec l'afficheur de pourcentage de gaz détecté plus des voyants rouge et verte pour l'affichage d'état de ce processus. Nous observons que les trois voyants rouge sont s'allumer donc la détection de gaz est dans les trois zones ainsi les trois alarmes de ces détections sont apparu en rouge au dessous de cette fenêtre.

Dans la figure suivant nous allons maintenir ces détections.

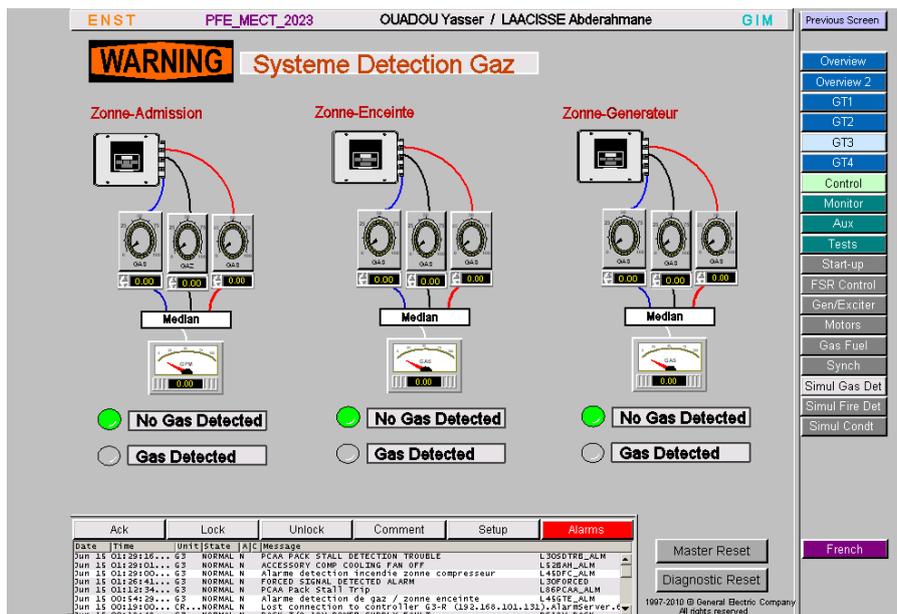


Figure 3.33: Le système de détection de gaz après la maintenance

**Explication :** Dans cette figure nous remarquons que la détection de gaz dans les trois zones est maintenue et les trois voyants vert sont s'allumer ainsi les trois alarmes au dessous de la fenêtre sont s'annuler. par conséquent nous allons remarquées dans la fenêtre des trips que les signaux des détections de gaz dans les trois zones, sont en vert.

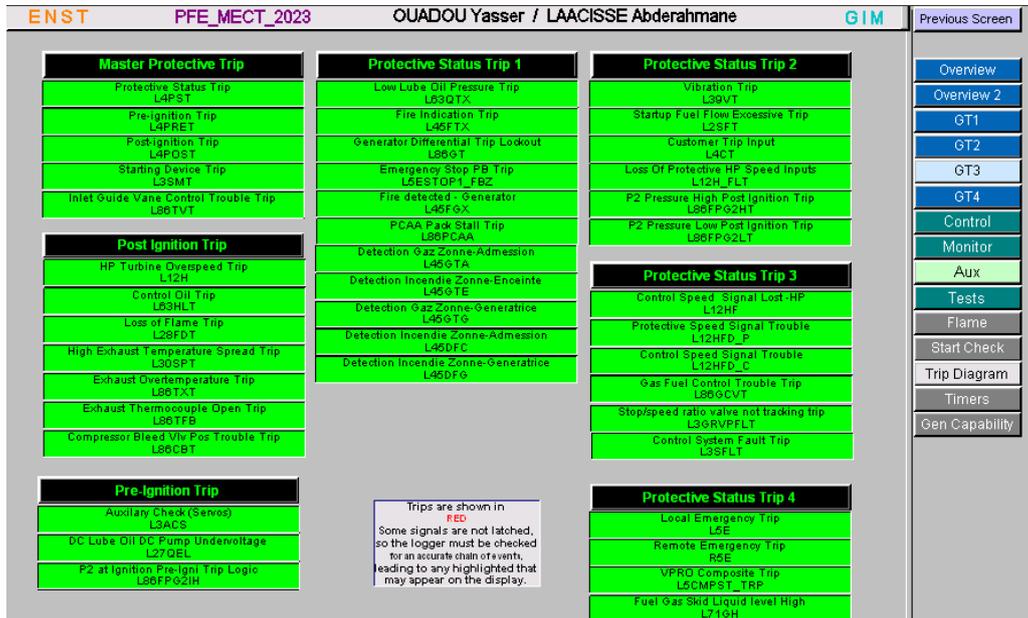


Figure 3.34: La fenêtre des Trips

**Explication :** Voila nous observons dans cette figure que la fenêtre des trips affiche que tous les signaux des trips sont en vert, et cela nous confirme que la turbine à gaz est en position de sécurité.

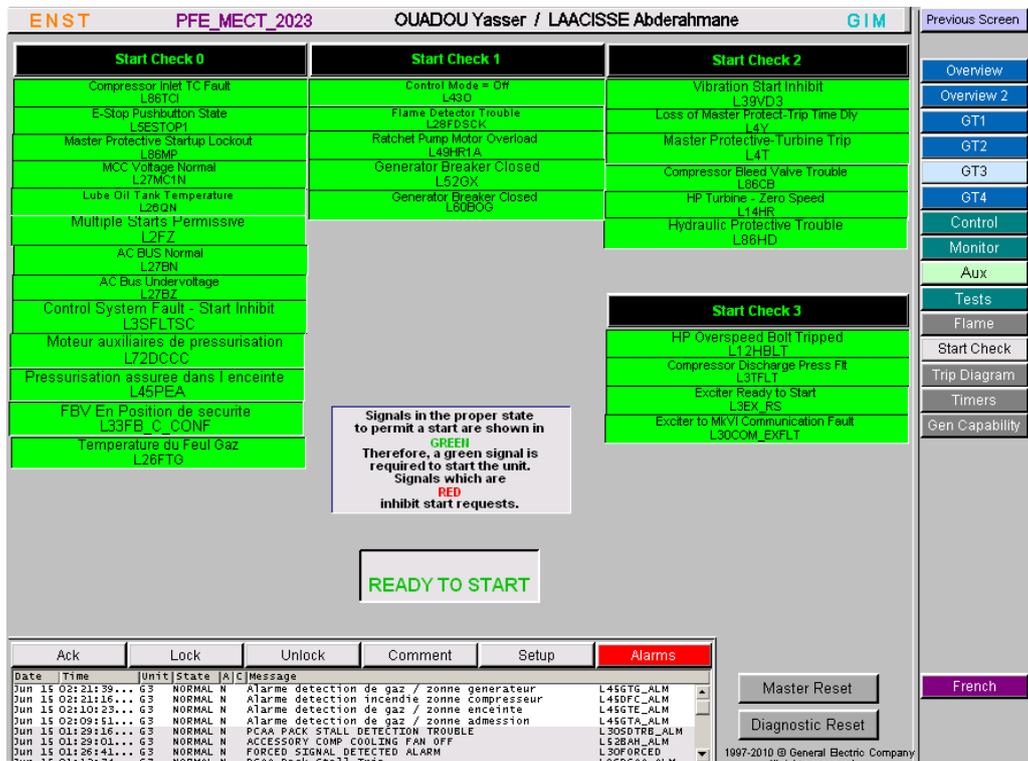


Figure 3.35: La fenêtre de 'Ready TO stat

**Explication :** Enfin, nous avons eue le 'Ready To Start' après la satisfaction de toutes les conditions de démarrage et dans ce cas nous pouvons commencer notre simulation des deux vannes FBV et FVV dans la fenêtre de simulation 'Start Up'.

Nous allons voir dans les figures suivantes l'emplacement des deux vannes commencer notre simulation des deux vannes FBV et FVV dans la turbine à gaz MS 5001 PA et son mode de fonctionnement avec sa réaction en cas de danger ou trip avec la fenêtre des alarmes.

### 3.5.2 L'installation et la Mise en marche des vannes FBV et FVV

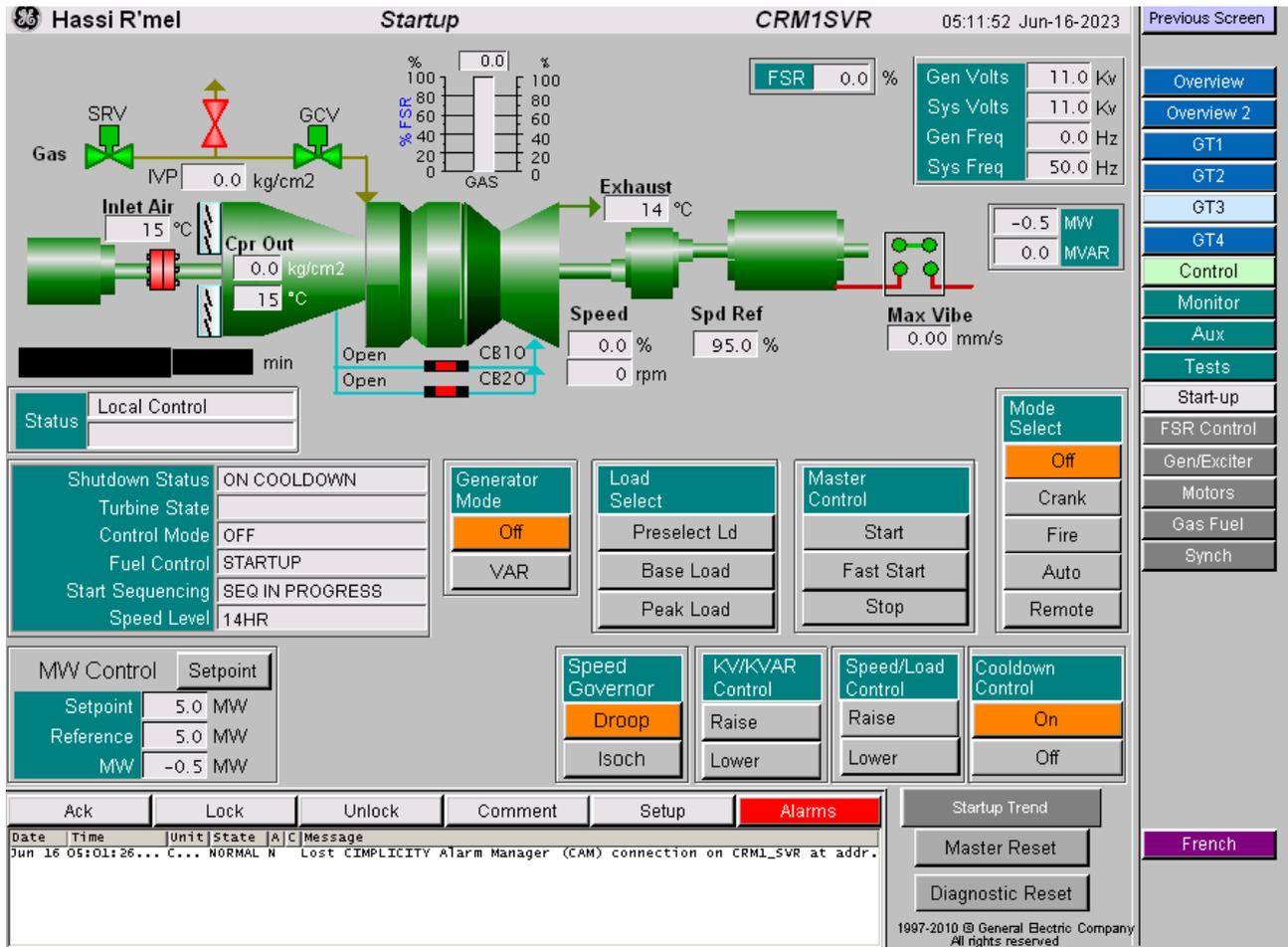


Figure 3.36: La fenêtre avant la création de vannes FBV et FVV

**Explication :** Nous observons dans cette figure la fenêtre de simulation 'Start Up' de la turbine MS 5001 PA avant la création des deux vannes de sécurité FBV et FBV.

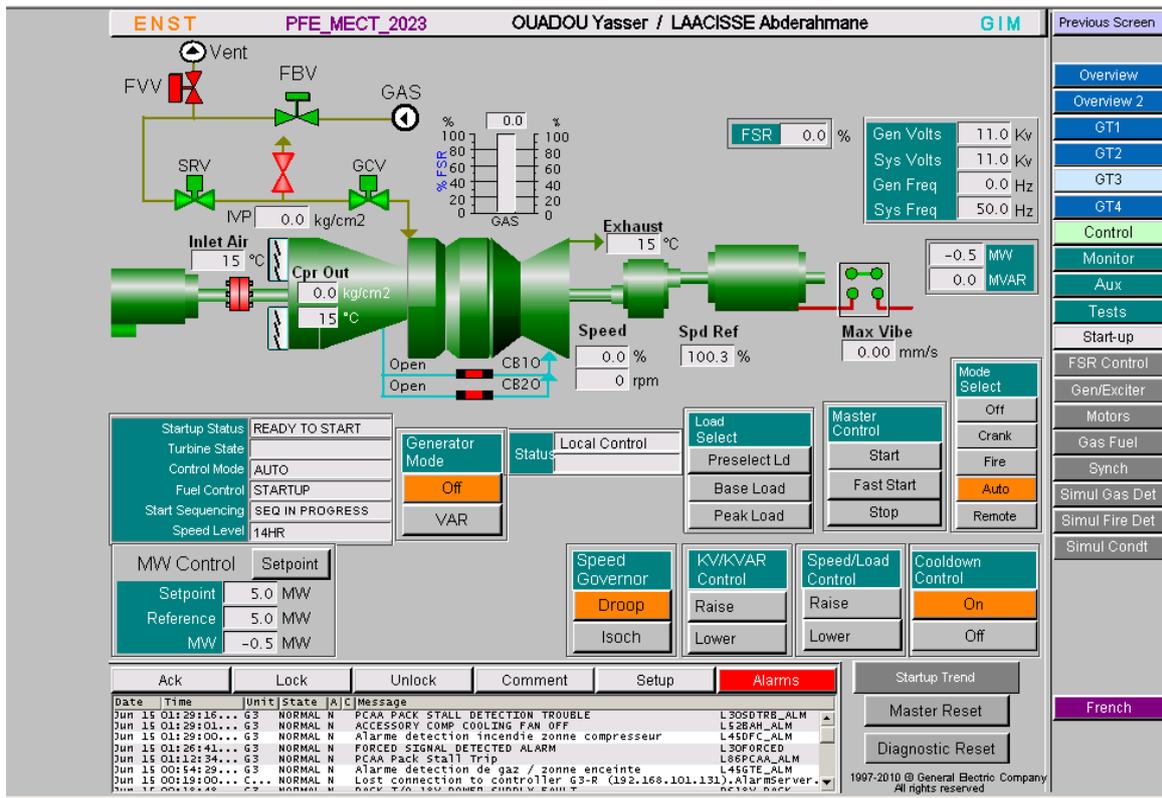


Figure 3.37: l'installation des vannes FBV et FVV

**Explication :** Voila l'installation des deux vannes de sécurité. Nous avons respectées les couleurs d'animation telle qu'elles est dont la couleur verte est montre la fermeture de la vanne et la couleur rouge montre l'ouverture de la vanne.

**La vanne FBV(Fuel Block Valve)** qui contrôla l'ouverture et la fermeture de la source de fuel gaz, c'est considérer comme le premier barrière de sécurité de cette turbine à gaz.

Elle est de type TOUT OU RIEN, nous avons choisi ce type des vannes car il est plus sécurisé et il assura une très bonne étanchéité, par contre les vannes régulatrices comme la vanne SRV qui était la vanne de contrôle et de protection au même temps avant la création de ces deux vannes, elle n'assure pas l'étanchéité nécessaire pour une solide protection.

Cette vanne est configuré fermée au repos(Normaly Close), donc elle s'ouvre avec l'excitation du signal de commande **I20fb** et elle devra être fermée avant le démarrage de la turbine à gaz et ainsi elle devra réagir avec n'importe quel signal de trip par la dés-excitation du signal de commande **I20fb** en revanche la fermeture de la source de fuel gaz qui arrête la turbine à gaz en mode arrêt d'urgence.

**La vanne FVV(Fuel Vent Valve)**, cette vanne assura la pressurisation dans la conduite entre la vanne FBV et la Vanne SRV, en dégageant vers atmosphère le gaz dans cette conduite en cas de la fermeture de la vanne FBV afin d'éviter la température d'explosion de ce gaz avec un élément extérieure ou un imprévue.

Le type de cette vanne est aussi TOUT OU RIEN ainsi elle est ouverte au repos(Normaly Open) car la vanne FBV est fermée au repos, elle se ferme par l'excitation de signal de commande **I20fv** pour maintenir la circulation de fuel gaz dans cette conduite dans le cas de fonctionnement normal de la turbine à gaz MS 5001 PA.

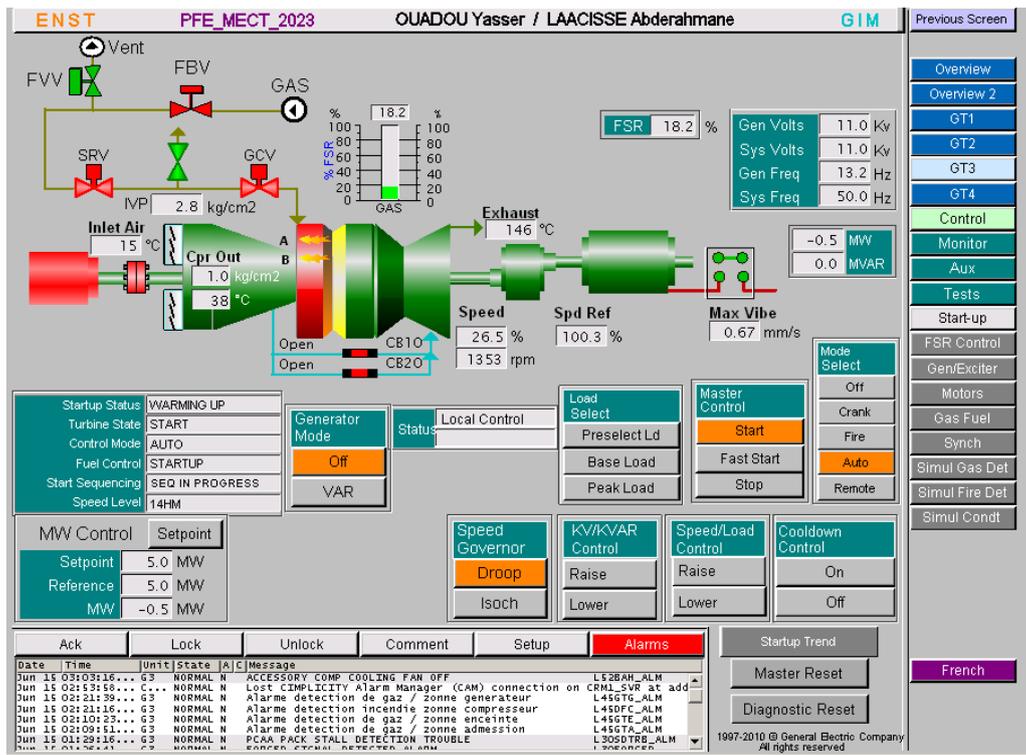


Figure 3.38: Le mode de fonctionnement normal

**Explication :** Nous remarquons dans cette figure le fonctionnement des deux vannes FBV et FVV telle que la vanne FBV est en rouge cela veut dire que elle ouverte et permettra la circulation de fuel gaz dans la turbine à gaz et au même temps la vanne FVV est en verte c'est à dire elle est fermée et maintenu la circulation dans la conduite entre la vanne FBV et la vanne SRV.

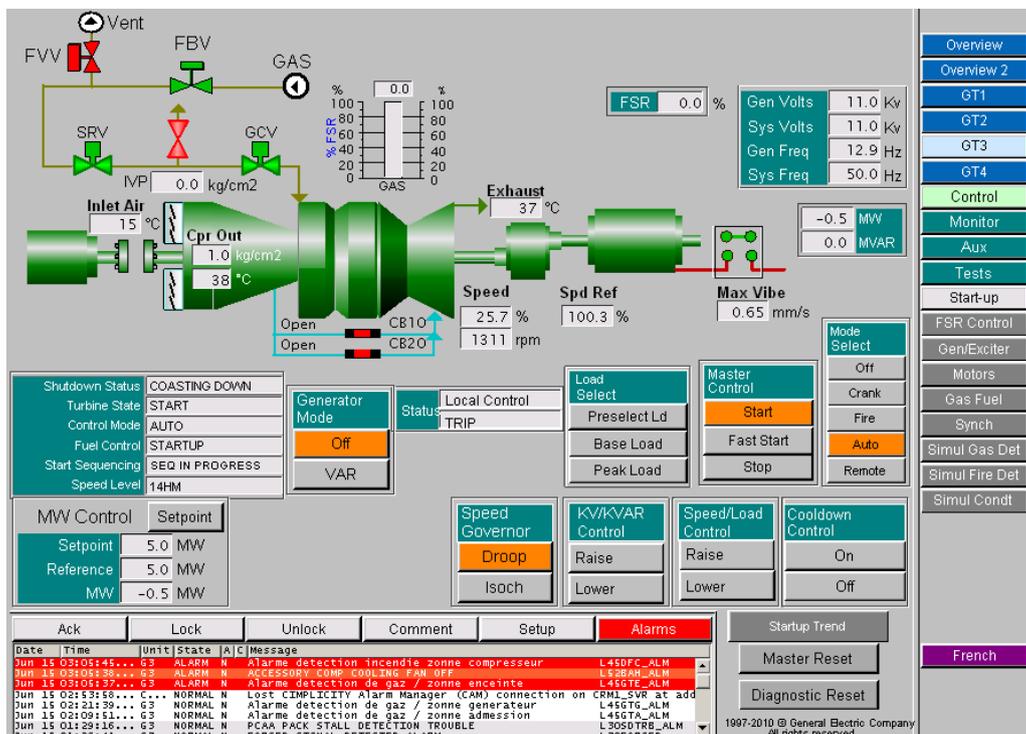


Figure 3.39: la phase de déclenchement

**Explication :** Nous remarquons l'apparition des alarmes en rouge au dessous de cette fenêtre, en indiquant une détection d'incendie au niveau de la zone de compresseur et une détection de gaz au niveau de la zone d'admission ainsi dans la zone de la génératrice, en revanche les deux vannes FBV et FVV réagissant avec succès à la présence de ce trip dont la vanne FBV est en verte (Fermée) afin de fermer la source de fuel gaz pour arrêter la turbine à gaz en mode arrêt d'urgence, c'est pour cela nous observons la diminution de la vitesse de la turbine à gaz et pour la vanne FVV est en rouge signifiant qu'elle est ouverte pour dégager le gaz qu'est dans la conduite entre la vanne FBV et la vanne SRV vers atmosphère.

Dans ce cas la nous pouvons dire que ces deux vannes fonctionnent parfaitement et réagissent en flexibilité avec les conditions de sécurité de cette turbine à gaz MS 5001 PA. De plus nous pouvons aussi considérer ces deux vannes FBV et FVV comme un premier barrière de protection de la turbine à gaz MS 5001 PA.

ENST PFE_MECT_2023 OUAOU Yasser / LAACISSE Abderrahmane							ALARMES GIM	
Date	Time	Unit	Alarm ID	State	A	C	Message	
06/18/23	16:52:36:320	G3	G3_P17021712	ALARM	N		Alarme detection de gaz / zone admission	L45CTA_ALM
06/18/23	16:52:20:120	G3	G3_P17021713	ALARM	N		Alarme detection de gaz / zone enceinte	L45CTE_ALM
06/18/23	16:52:08:160	G3	G3_P17021708	ALARM	N		Alarme detection de gaz / zone generateur	L45CTG_ALM
06/18/23	16:51:49:560	G3	G3_P17021882	ALARM	N		Alarme detection incendie zone compresseur	L45DFC_ALM
06/18/23	16:48:14:280	G3	G3_P17013847	NORMAL	N		FORCED SIGNAL DETECTED ALARM	L30FORCED
06/18/23	16:33:12:280	G3	G3_P17019656	NORMAL	N		PCAA PACK STALL DETECTION TROUBLE	L30SDTRE_ALM
06/18/23	16:32:58:040	G3	G3_P17019528	NORMAL	N		PACK I/O 18V POWER SUPPLY FAULT	P818V_PACK
06/18/23	16:32:58:040	G3	G3_P17019525	NORMAL	N		PACK I/O 28V POWER SUPPLY FAULT	P828V_PACK
06/18/23	16:32:57:080	G3	G3_P17011050	NORMAL	N		FUEL GAS PRESSURE LOW ALARM	L63PGL_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17021837	NORMAL	N		Default * Position indefinie* ALARME	L20FV_POS_TRB_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17019392	NORMAL	N		BUS UNDERVOLTAGE - NO AUTO SYNC	L27EN_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17018260	NORMAL	N		GENERATOR BREAKER TRIPPED	L52G1_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17017704	NORMAL	N		CONTROL SYSTEM FAULT TRIP	L38PLT_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17015097	NORMAL	N		EXHAUST TC HARDWARE COMMUNICATIONS FAULT	L3TTX_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17013852	NORMAL	N		COMMUNICATIONS FAILED WITH ANY IO PACK	L30COMM_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17013826	NORMAL	N		DC POWER SUPPLY UNDERVOLTAGE ALARM	L27DZ_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17013747	NORMAL	N		BATTERY 125VDC GROUND ALARM	L64D_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17005708	NORMAL	N		CO2 SHUTDOWN - DAMPER CLOSED	L33CP_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17005581	NORMAL	N		LUBE OIL TANK TEMPERATURE LOW	L26QN_ALM
06/18/23	16:32:57:040	G3	G3_P17005547	NORMAL	N		EMERGENCY LUBE OIL PUMP MOTOR RUNNING	L72QEX_ALM

Figure 3.40: la fenêtre des alarmes

**Explication :** Voila la fenêtre des alarmes affichant les signaux qui sont configurés alarmés soit pour un trip arrêtant la turbine à gaz et affichera une alarme soit pour informer qu'il y a un problème à régler mais la turbine à gaz reste en marche.

# Conclusion Générale

On a fait la mise en situation professionnelle dans les stations pétrolier de Rhourde nous, de DP In Amenas, DP Alrar et de DP Hassi R'mel, et cette dernière est considéré comme le gisement du gaz le plus important en Algérie.

Durant toute la période du stage pratique on a eue la chance de découvrir et de rapprocher vers le milieu industrielles des hydrocarbures notamment celle du gaz, ses infrastructures et ses installations, mais le plus important c'était de voir de plus près et de manipuler pratiquement toute chose en relation avec le domaine d'application.

Le travail qu'on a réalisé s'inscrit dans le cadre de l'étude de la turbine à gaz MS 5001 PA et de nouveau système du commande (SPEEDTRONIC MARK VI e). De plus, on a cherché à améliorer les mesures de sécurité de cette turbine à gaz en mettant en place une séparation entre le contrôle et la sécurité au niveau de la vanne SRV. Cette dernière est considérée comme le premier barrière de sécurité et joue un rôle crucial dans le contrôle de la pression du gaz combustible .

La solution adoptée repose sur la norme IEC 61511 qui préconise la séparation du contrôle et de la sécurité afin d'assurer une protection accrue des personnes, de l'environnement et de nos équipements. Par ailleurs, on a amélioré le système de contrôle de la pressurisation et le système d'échauffement de gaz.

Aux cours du stage on a exploité une partie du code d'application qui gère le premier barrière de sécurité de la turbine MS 5001 PA par l'ouverture et la fermeture des deux vannes FBV et FVV ainsi les deux systèmes d'échauffement de gaz et de contrôle de pressurisation puis on a eu les configurées dans le Hardware par les cartes d'entrée / sortie et les reliées avec le programme de commande et supervision Cimplicity HMI afin de visualisé notre simulation.

Bien que le stage se soit déroulé dans les bonnes conditions, on a rencontré quelques difficultés à cause du manque de documentation sur les notions de base ainsi le manque des données à cause de l'aspect non libre des logiciels de constructeur. A la fin on a terminé la modélisation par l'insertion des deux vannes FBV et FVV dans la fenêtre de simulation 'Start UP' de la turbine à gaz MS 5001 PA et d'un système de supervision des deux systèmes que on a cité précédemment afin de garantir l'interface Homme/Machine et assurer le contrôle et la surveillance du procédé.

La modélisation et la programmation du travail ainsi que les trois fenêtres de simulation qu'on a créé permettent la compréhension du déroulement et du fonctionnement de la solution proposée.

La résolution du problème du manque d'ingénieurs dans notre spécialité pourrait être obtenue en augmentant les investissements et en encourageant le recrutement de compétences universitaires. Finalement, on peut facilement constaté que la solution proposée a augmenté la sécurité de turbine.

# Bibliographie

- [1] Nouredine TALBI and Mohamed KEZRANE. Article (analyse expérimentale d'une turbine à gaz par intelligence artificielle). 2021.
- [2] Meherwan P Boyce. *Gas turbine engineering handbook*. Elsevier, 2013.
- [3] Hamid Asgari, XiaoQi Chen, and Raazesh Sainudiin. Modelling and simulation of gas turbines. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 20(3) :253–270, 2013.
- [4] Meherwan P Boyce. *Overview on gas turbine*. Elsevier, 2011.
- [5] Novo Pignon GE Oil Gas. *Manuel de fonctionnement et de maintenance VOL3'Turbine à gaz MS5001PA*. SONATRACH, 2019.
- [6] Novo Pignon GE Oil Gas. *GE Energy, Mark VIe™ Control System Guide*,. SONATRACH, 2018.
- [7] Novo Pignon GE Oil Gas. *HUMAN-MACHINE INTERFACE For SPEEDTRONIC Turbine Control*. SONATRACH, 2019.
- [8] Meinhard T Schobeiri. *GE Oil Gas Oil Gas Industry Applications ,CONTROL SYSTEMS Mark VI OPERATION*. Springer Nature, 2019.
- [9] Arzki Adjati, Saci Meddouri, Fahem Issaadi, Bilal Berkani, et al. *Automatisation Et Supervision D'une Turbine Centrifugeuse De L'entreprise CEVITAL*. 2020.
- [10] Sami Meddour. Article (régulation d'une turbine à gaz). 2014.
- [11] Selahattin Kucuk, Fahrettin Arslan, Mehmet Bayrak, and Gustavo Contreras. *Load management of industrial facilities electrical system using intelligent supervision, control and monitoring systems*. 2016.
- [12] Marouane LAOUAREM. *Automatisation et Supervision des systèmes par l'automate programmable industriel SIMATIC S7-400. Application : Equipement chauffant d'un four rotatif «Tuyère ROTAFLAM»*. PhD thesis, 2015.
- [13] Makhlof Lydia and Talhi Nouara. *Etude de boucle de vitesse dans la turbine à gaz contrôlée par le système MarkVIe cas de SONATRACH*. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [14] ELHACHEMI MAALEM, IBRAHIM TAOUADJI, Salim MAKHLOUFI, et al. *Les langages de programmation de l'automate programmable industriel*. PhD thesis, Université Ahmed Draia-ADRAR, 2017.
- [15] Michel BERTRAND. *Automates programmables industriels*. 2010.

- [16] Omar CHERIF. *Amélioration du circuit hydraulique des turbines à gaz «MS5001 PA» installées à El Gassi El Agreb SonaHess*. PhD thesis.
- [17] Abed Ammr and Khadraoui Ilham. *Révision générale sur les turbines à gaz 5001 P au niveau de la centrale de M'sila*. PhD thesis, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2019.
- [18] Smaine DELHOUM. *Upgrade des turbines de la centrale électrique du champ pétrolier GEA par le système DLN (Dry Low NOx)*. PhD thesis.
- [19] FATHEDDINE REHAJEM and CHARAFEDDINE BOUGHENAMA. *Maintenance de circuit de pompe hydraulique de démarrage de la turbine à gaz*. PhD thesis.
- [20] Nabil Rahmani and Mokhtar Hamidi. *Conception et simulation d'un système d'air comprimé pour l'assistance d'une station photovoltaïque*. PhD thesis.
- [21] Novo Pignon GE Oil Gas. *OPERATION MAINTENANCE TRAINING MANUAL'GAS TURBINE MS5001PA 'VOLI'*. SONATRACH, 2019.
- [22] O OULED ALI et al. *Etude d'un system hybride turbine à gaz générateur éolien connecté au réseau électrique d'Adrar*. PhD thesis, Université Ahmed Draia-ADRAR, 2017.
- [23] Mohamed GUENFOUD and Mounir BERRA. *Rénovation des coussinets pour les turbines à gaz*. PhD thesis, Univ M'sila, 2020.
- [24] Oussama Ihab CHERITI and Mohammed HAFSI. *DÉTECTION ET CORRECTION DU DÉFAUT DE BALOURD DU ROTOR D'UNE TURBINE GE3002*. PhD thesis, Université Ibn Khaldoun-Tiaret-, 2020.
- [25] Benrabe Djaidir, Ahmed Hafaifa, and Kouzou Abdallaha. *Modélisation et simulation des vibrations du rotor bp d'une turbine a gaz ms 5002b, et l'effet de répartition de masse sur le roulement à (bille)*. In *The 1st International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics (ICAAID 2015), Djelfa on*, pages 29–30, 2015.
- [26] Ahmed Mezidi. *Suivi sur site d'une unité de production d'électricité avec des relevés expérimentaux et analyse vibratoire*. PhD thesis, 2011.
- [27] Hassaine Daoudji and Doriane Ibtissam. *Repowering d'une mini-centrale électrique à turbine à gaz d'une puissance nominale de 25 MW au moyen d'un cycle de Rankine à fluide organique*. PhD thesis, 2017.
- [28] Boudjema Ada and Hamida Hamel. *Etude technico économique d'un renouvellement de la chambre de combustion d'une turbine à gaz MS5002C*. PhD thesis, Université Mouloud Mameri Tizi-Ouzou, 2016.
- [29] Mohamed. LISSAOUI. *amélioration des performances d'une installation de turbine à gaz par refroidissement de l'air d'admission*. 2011.
- [30] GE Energy. *Overview on gas turbine*. General Electric Company, 2008.

# Annexe A

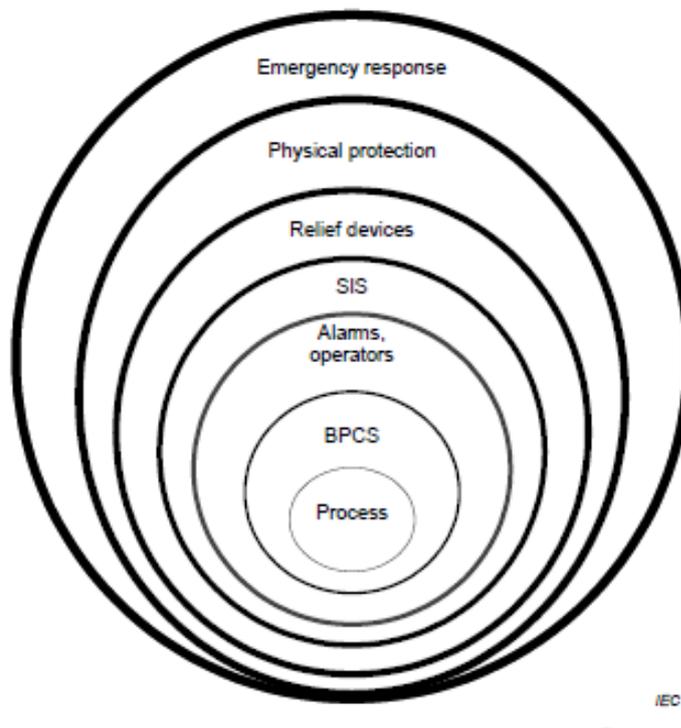
## La Norme IEC 61511

La norme IEC 61511 est une norme internationale qui définit les exigences de sécurité fonctionnelle pour les systèmes instrumentés de sécurité utilisés dans l'industrie des processus. Elle a été publiée pour la première fois en 2003 par la Commission électrotechnique internationale et est utilisée pour garantir que les SIS<sup>1</sup> sont conçus, installés et maintenus de manière à assurer la sécurité des personnes, de l'environnement et des équipements.

Dans chaque processus, il convient que la réduction de risque commence par les éléments les plus essentiels de la conception du processus : la sélection du processus lui-même, le choix du site et les décisions relatives aux stocks dangereux et à l'implantation de l'installation. Le fait d'accorder une attention toute particulière à la réduction de risque en sélectionnant soigneusement les paramètres de conception et d'exploitation du processus constitue une étape clé dans la conception d'un processus de sécurité. Il est également recommandé de rechercher des moyens d'éliminer les dangers et d'appliquer des méthodes de conception à sécurité intrinsèque lors de la phase de développement du processus. Malheureusement, même si cette philosophie de conception a été mise en application dans son intégralité, des dangers peuvent demeurer et il convient d'appliquer des mesures de protection supplémentaires. Dans le secteur des industries de transformation, plusieurs couches de protection sont utilisées pour assurer la protection d'un processus. A la Figure ci-dessus, chaque couche de protection est composée d'équipements et de commandes administratives qui fonctionnent de concert avec d'autres couches de protection pour contrôler ou atténuer le risque de processus.

---

1. Safety Instrumented System



**Figure A.1:** Les couches de protection

Le concept de couches de protection repose sur trois concepts de base :

- a) Une couche de protection est composée d'un ensemble d'équipements et/ou de commandes administratives qui fonctionnent de concert avec d'autres couches de protection pour contrôler ou atténuer le risque de processus.
- b) Une couche de protection satisfait aux critères suivants :
  - Elle réduit le risque identifié d'un facteur au moins égal à 10;
  - Elle présente les caractéristiques importantes suivantes :
    - Spécificité – Une couche de protection est conçue pour empêcher ou atténuer les conséquences d'un événement potentiellement dangereux. De nombreuses causes peuvent conduire au même événement dangereux et de nombreux scénarios d'événements peuvent donc initier une action de la part d'une couche de protection.
    - Indépendance – Une couche de protection est indépendante des autres couches de protection s'il peut être démontré qu'il n'existe aucun risque de défaillance de cause commune ni de défaillance de mode commun avec d'autres couches de protection revendiquées.
    - Sûreté de fonctionnement – Il peut être considéré avec certitude que la couche de protection remplit sa fonction prévue et traite aussi bien les défaillances aléatoires.