



الجمهورية الديمقراطية الجزائرية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire



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

جامعة 20 أوت 1955 – سكيكدة  
Université 20 Août 1955 – SKIKDA

Faculté de Technologie  
Département de Pétrochimie

## Mémoire

En vue d'obtention du diplôme de master

**Filière** : Industries Pétrochimiques

**Spécialité** : Automatisation en industries pétrochimiques

### THÈME :

**Supervision et calibration des vannes de régulation  
de gaz SRV et GCV d'une turbine  
à gaz MS5002C avec le Mark VIe au niveau de  
Station de Boosting Centre à HASSI R'MEL**

Réalisé par : SADI Rayan

Soutenu devant le jury :

<b>Président</b>	KERBOUA Adlen	MCA	Université 20 Août 1955- Skikda
<b>Rapporteur</b>	CHETTAH Chouaib	MCA	Université 20 Août 1955- Skikda
<b>Examineur</b>	ROUAINIA Mounira	PROF	Université 20 Août 1955- Skikda

**Année universitaire 2023/2024**

## **Remerciements**

*Tout d'abord, je remercie le Bon Dieu, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la patience et le courage de mener à bien ce travail lapidaire.*

*Je remercie les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner et juger notre modeste travail.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon promoteur, Mr. Chettaï Chouaïb, pour son soutien, ses conseils pédagogiques ainsi que ses connaissances scientifiques et techniques fondamentales tout au long de mon travail, son aide et sa confiance également.*

*Je remercie très chaleureusement toutes les personnes qui m'ont aidé durant tous mes stages.*

*Tout d'abord, nous remercions le personnel de la station de compression du gaz - Boosting de Hassi R'mel, qui nous ont ouvert leurs portes et nous ont donné l'opportunité de réaliser ce projet, et plus particulièrement M. Benamraoui Alloua et mon encadrant, M. Mehadjoubi Abed Kayoum ainsi que le chef direction maintenance Mr Brahmî Hamîd.*

*Le personnel de la DP-In Amenas, service instrumentation, et plus précisément Mr Rekiî Karîm.*

*Le personnel de la direction régionale Staï -In Amenas, service instrumentation, section Speed Tronic, et plus précisément mon encadrant M. Hanout Hamza et M. Bennar Saad, un personnel vraiment qualifié et très compétent qui nous ont orientés tout au long de notre stage et même après.*

*Le personnel de la direction régionale Rhourde El Baguel-Hassi Messaoud- pour toutes les opportunités qu'ils nous ont accordées, plus précisément le chef de division maintenance, Mr Zid Tarek, mon encadrant, M. Haghgoug Mohammed, et tous les ingénieurs et techniciens du service instrumentation : Mr Ghezoula Badr Eddine, Mr Berrejem Housseem, Mekhtar, Djallal, sans oublier l'équipage d'ALGESCO, une équipe spécialisée en révision des turbines. Ce fut un honneur et une grande opportunité pour nous de travailler auprès de cette équipe, ils nous ont énormément apporté.*

## ***Dédicaces***

*Je dédie cet humble travail :*

*À ma mère, la source d'affection, de courage et d'inspiration, pour tout ce qu'elle a sacrifiée afin que je voie ce jour arriver.*

*À mon père, source de mon respect, témoignage de ma profonde gratitude, pour tous les efforts et le soutien indéfectible que j'ai toujours reçus.*

*À mes frères, oncles et tantes,*

*À toute la famille Sadi,*

*Et à tous les professeurs qui m'ont enseigné au cours de mon parcours académique.*

*À tout le personnel de Sonatrach qui m'ont aidé et motivé durant tous mes stages.*

*Un dévouement spécial à mes collègues et amis.*

*Enfin, je dédie ce travail à tous mes collègues et amis de la promotion Industrie*

*Pétrochimique 2023/2024.*

*SADI Rayan*

## ***Résumé***

Les turbines à gaz sont des machines tournantes qui transforment l'énergie thermique issue de la combustion du fuel gaz dans les chambres de combustion en énergie mécanique produite par le mouvement rotatif de deux rotors. Le premier rotor tourne à une vitesse constante tandis que la vitesse du second rotor est variable, ce qui rend ces machines idéales pour les charges variables des processus de l'industrie gazière. Elles contribuent de manière significative et efficace à plusieurs aspects de cette industrie.

Comme ces machines tirent leur puissance du gaz brûlé dans les chambres de combustion, le contrôle de cette alimentation en gaz doit être soigneusement vérifié pour éviter tout incident éventuel, notamment une sur vitesse. La régulation du flux de gaz, en termes de pression et de débit, est assurée respectivement par les deux vannes SRV et GCV, afin de garantir la sécurité et un rendement optimal de ces machines.

La présente étude a pour but d'examiner et de superviser l'influence de ces deux vannes sur le rendement de la turbine dans les trois principaux cas de son exploitation : le démarrage, l'arrêt volontaire et l'arrêt d'urgence.

**Mots clés :** Turbine à gaz, vanne SRV GCV, fuel gaz, la charge, TNH, TNL.

## Table des matières

<i>Remerciements</i> .....	I
<i>Dédicaces</i> .....	II
<i>Résumé</i> .....	III
Table des matières.....	IV
Liste des figures .....	VIII
Liste des tableaux.....	X
Liste des abréviations.....	XI
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	1
<b>Chapitre I : Généralité sur Sonatrach et le champ de Hassi R'Mel</b> .....	3
I.1 INTRODUCTION .....	3
I.2 DESCRIPTION DU SONATRACH .....	3
I.2.1 Historique et mission .....	3
I.2.2 Les activités de SONATRACH .....	4
I.2.2.1 Exploration-production.....	4
I.2.2.2 Liquéfaction et séparation.....	4
I.2.2.3 Transport par canalisation.....	5
I.2.2.4 Raffinage et pétrochimie.....	5
I.2.2.5 Commercialisation .....	5
I.3 LOCALISATION DE HASSI R'MEL.....	6
I.3.1 Situation géographique et climat .....	6
I.3.2 Histoire du champ de HASSI R'MEL .....	7
I.3.3 Développement du champ de HASSI R'MEL.....	7
I.3.4 Présentation des secteurs de Hassi R'mel.....	8
I.3.5 L'organisation de la direction régional de Hassi R'mel .....	9
I.4 DESCRIPTION DE LA STATION BOOSTING .....	10
I.4.1 Généralité sur la direction maintenance .....	10
I.4.2 Définition du Boosting .....	10
I.4.3 La station de boosting centre (SBC).....	11
I.5 LES DIFFERENTES SECTIONS DU BOOSTING .....	12
I.5.1 Section manifold.....	12
I.5.2 Section utilité .....	12
I.5.2.1 Système d'air .....	12
I.5.2.2 Système de gaz combustible .....	13
I.5.2.3 Autres utilités.....	13
I.5.3 Section auxiliaires.....	13
I.5.3.1 Réseau torche.....	13
I.5.3.2 Unité d'épuration de l'huile de lubrification .....	13

I.5.3.3	Système de drainage .....	14
I.5.3.4	Système anti-incendie.....	14
I.5.4	Section supervision.....	14
I.5.4.1	Le système DCS .....	14
I.5.4.2	Les systèmes Mark V et Mark VI.....	15
I.6	CONCLUSION .....	15
 <b>Chapitre II : Présentation de la turbine à gaz MS5002 C .....</b>		<b>16</b>
II.1	INTRODUCTION.....	16
II.2	DÉFINITION DE LA TURBINE À GAZ .....	16
II.3	DESCRIPTION DE LA TURBINE À GAZ MS5002C .....	16
II.3.1	Présentation de la turbine à gaz type MS5002C.....	16
II.3.2	Les sections de turbine à gaz.....	17
II.3.2.1	Section d'admission .....	17
II.3.2.2	Section du compresseur axial.....	18
II.3.2.3	L'arbre HP et BP .....	18
II.3.2.4	Les chambres de combustion .....	19
II.3.2.5	Les paliers.....	21
II.3.3	Caractéristique de la turbine à gaz MS5002C .....	24
II.4	PARTIE AUXILIAIRE.....	25
II.4.1	Le système de démarrage .....	25
II.4.2	Circuit d'huile.....	25
II.4.2.1	Système d'huile hydraulique (commande).....	26
II.4.3	Les pompes de l'huile.....	27
II.4.3.1	Pompe mécanique (principale).....	27
II.4.3.2	Pompe hydraulique auxiliaire 88HQ.....	27
II.4.3.3	pompe auxiliaire .....	27
II.4.3.4	Pompe d'urgence (88QE).....	28
II.4.4	Le collecteur hydraulique.....	28
II.4.4.1	L'accumulateur hydraulique.....	29
I.4.5	Le système d'air de refroidissement et d'étanchéité.....	29
II.5	INSTRUMENTATION ET SÉCURITÉ DE LA TURBINE.....	30
II.5.1	Mesure de pression.....	30
II.5.1.1	Le manomètre.....	30
II.5.1.2	Les pressostats .....	31
II.5.1.3	Les transmetteurs de pression.....	32
II.5.2	Mesure de débit .....	32
II.5.2.1	Transmetteur de débit.....	32
II.5.3	Mesure de Température.....	33
II.5.3.1	Le thermocouple.....	33
II.5.3.2	Les thermostats.....	34
II.5.4	Les détecteurs de flammes à Ultraviolet .....	34
II.5.5	Détecteur de vibration .....	35
II.5.5.1	Protection contre les vibrations .....	36
II.5.6	Capteur de vitesse.....	36

II.5.6.1 Protection contre la survitesse.....	37
II.5.7 Les capteurs de niveau .....	37
II.6 LE COMPRESSEUR CENTRIFUGE .....	37
II.6.1 Généralité .....	37
II.6.2 La section d'aspiration .....	38
II.6.3 La section intermédiaire .....	39
II.6.4 La section de décharge .....	39
II.6.5 Les caractéristique du compresseur BCL 605 .....	40
II.6.6 Le système de protection anti-surge (anti-pompage) .....	40
II.6.7 La vanne anti-surge .....	41
II.7 CONCLUSION .....	42
<b>Chapitre III : Système de contrôle Mark VIe .....</b>	<b>43</b>
III.1. INTRODUCTION .....	43
III.2 L'ARCHITECTURE DU MARK VIe.....	43
III.2.1 Les modules E/S (I/O packs) .....	44
III.2.2 Les borniers.....	45
III.2.3 Le contrôleur .....	46
III.3 LA COMMUNICATION .....	47
III.3.1 I/O Net.....	47
III.3.2 La communication avec DCS .....	47
III.3.3 L'interface Homme-Machine (HMI) .....	48
III.4 LA BOITE A OUTILS TOOLBOX .....	49
III.4.1 Définition .....	49
III.4.2 Les étapes à suivre pour accéder à un programme.....	50
III.4.3 Visualisation des trends .....	52
III.5 LE SYSTEME DE SURVEILLANCE BENTLY NEVADA 3500 .....	53
III.5.1 Généralité.....	53
III.5.2 Le système moniteur .....	53
III.5.3 Le moniteur sismique/ Proximitor .....	54
III.5.5 Le processus de communication utilisé avec les racks 3500 .....	56
III.5.6 Protection contre la survitesse.....	56
III.5.7 Le transducteur de proximité .....	57
III.6 LE SYSTEME DE COMMANDE .....	58
III.6.1 Conception de base .....	58
III.6.2 Séquence de marche /arrêt et régulation .....	59
III.6.3 Régulation de démarrage .....	60
III.6.3.1 Séquence de préchauffage (WARM-UP).....	61
III.6.4 Régulation d'accélération .....	61
III.6.5 Régulation de vitesse .....	61
III.6.5.1 Signal de vitesse.....	61
III.6.5.2 Référence de vitesse/charge TNR .....	62
III.6.6 Régulation de température .....	63
III.6.7 Régulation de combustible.....	63
III.6.7.1 Le filtre du combustible gaz.....	65

III.6.7.2 La purge du gaz combustible .....	65
III.7 CONCLUSION.....	65
<b>Chapitre IV : Supervision et calibration des vannes SRV et GCV .....</b>	<b>66</b>
IV.1 INTRODUCTION .....	66
IV.2 LE BLOC DES VANNES SRV ET GCV.....	66
IV.2.1 La vanne rapport arrêt /vitesse (SRV) .....	66
IV.2.2 La vanne de régulation de gaz combustible GCV .....	67
IV.2.3 Les vannes hydrauliques.....	68
IV.2.4 La boucle de régulation.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.3 LA SERVOVALVE ELECTROHYDRAULIQUE 90SR, 65GC (Moog).....	69
IV.4 L'ELECTROVANNE DE DECLENCHEMENT 20HD .....	70
IV.5 LES CAPTEURS DE DEPLACEMENT LVDT .....	71
IV.6 LES ALARMES ASSOCIEES A CES DEUX VANNES .....	72
IV.7 ANALYSE ET INTERPRETATION DES DONNEES.....	73
IV.7.1 La calibration des LVDT .....	73
IV.7.2 Réglage du décalage du zéro électrique (vérification d'étalonnage).....	77
IV.7.3 Fermeture de la fenêtre d'étalonnage.....	79
IV.8 SUPERVISION DES DEUX VANNES SRV GCV .....	80
IV.8.1 Le cas de démarrage .....	80
IV.8.2 Le cas d'arrêt d'urgence (trip) .....	82
IV.9 CONCLUSION.....	83
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>83</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>84</b>

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b>	Position géographique de Hassi R'mel	6
<b>Figure I.2</b>	L'organisation de la direction régional de Hassi R'mel	9
<b>Figure I.3</b>	Schéma du processus industriel du boosting	11
<b>Figure II.1</b>	La section d'admission d'air	17
<b>Figure II.2</b>	Le compresseur axial	18
<b>Figure II.3</b>	a) la roue HP, b) la roue BP	19
<b>Figure II.4</b>	Les chambres de combustion	20
<b>Figure II.5</b>	Les directrices variables (Nozzles)	21
<b>Figure II.6</b>	Le palier de butté inactifs	22
<b>Figure II.7</b>	Le palier porteur	23
<b>Figure II.8</b>	Le plénum d'échappement	24
<b>Figure II.9</b>	Le système de démarrage de la turbine à gaz	25
<b>Figure II.10</b>	Le système d'huile de lubrification	26
<b>Figure II.11</b>	Les pompes 88GA et 88QQE	29
<b>Figure II.12</b>	L'accumulateur hydraulique	30
<b>Figure II.13</b>	Circuit d'air de refroidissement et d'étanchéité	30
<b>Figure II.14</b>	Le manomètre	31
<b>Figure II.15</b>	Le pressostat	32
<b>Figure II.16</b>	Transmetteur de pression différentielle	33
<b>Figure II.17</b>	Le thermocouple	34
<b>Figure II.18</b>	Le détecteur de flamme a UV	35
<b>Figure II.19</b>	Le détecteur de vibration	36
<b>Figure II.20</b>	Le capteur de vitesse	37
<b>Figure II.21</b>	Le compresseur centrifuge BCL	38
<b>Figure II.22</b>	La section d'aspiration	39
<b>Figure II.23</b>	La section intermédiaire	39
<b>Figure II.24</b>	La courbe du système anti-surge	41
<b>Figure II.25</b>	La vanne anti-surge	42
<b>Figure III.1</b>	L'architecture de système	44
<b>Figure III.2</b>	Les I/O packs	45
<b>Figure III.3</b>	Les borniers	46
<b>Figure III.4</b>	Le contrôleur	47
<b>Figure III.5</b>	L'interface homme-machine HMI	49
<b>Figure III.6</b>	L'espace de travail Toolbox	50
<b>Figure III.7</b>	La fenêtre de saisie des tags ainsi les résultats de recherche	51
<b>Figure III.8</b>	La fenêtre des rungs du signal recherché	51
<b>Figure III.9</b>	La fenêtre de choix des trends de différents signaux	52
<b>Figure III.10</b>	Le trend d'un signal choisi	53

<b>Figure III.11</b>	Le système moniteur	54
<b>Figure III.12</b>	Le moniteur sismique	55
<b>Figure III.13</b>	Le moniteur de position	56
<b>Figure III.14</b>	Le système de protection survitesse	57
<b>Figure III.15</b>	L'utilisation du transducteur de proximité	58
<b>Figure III.16</b>	Schéma de régulation	59
<b>Figure III.17</b>	La courbe de démarrage Mark VI e	60
<b>Figure III.18</b>	Le système de régulation de gaz combustible	64
<b>Figure IV.1</b>	Les deux vannes SRV et GCV	67
<b>Figure IV.2</b>	Structure d'une vanne hydraulique	68
<b>Figure IV.3</b>	La boucle interne de la vanne SRV	69
<b>Figure IV.4</b>	La servo-soupape électrohydraulique	70
<b>Figure IV.5</b>	L'électrovanne 20HD	71
<b>Figure IV.6</b>	Le principe d'un LVDT	72
<b>Figure IV.7</b>	La fenêtre de sélection des cartes des I/O packs	74
<b>Figure IV.8</b>	La fenêtre de sélection de Regulator	74
<b>Figure IV.9</b>	Les courbes de variation de courant et position de la valeur minimum	75
<b>Figure IV.10</b>	La fenêtre de la valeur minimum	75
<b>Figure IV.11</b>	Les courbes de la variation de courant et position de la valeur maximum	76
<b>Figure IV.12</b>	La fenêtre de calibration	76
<b>Figure IV.13</b>	La fenêtre de sauvegarde de calibration	77
<b>Figure IV.14</b>	Le champ de consigne (SetPoint) & le trender	77
<b>Figure IV.15</b>	La fenêtre de NulBias	78
<b>Figure IV.16</b>	La fenêtre de consigne (SetPoint) & Feedback	78
<b>Figure IV.17</b>	La fenêtre d'étalonnage	79
<b>Figure IV.18</b>	La courbe du SRV GCV TNH TNL durant le démarrage	80
<b>Figure IV.19</b>	La courbe du SRV GCV TNH TNL durant le déclenchement	81

## Liste des tableaux

<b>Tableau II.1</b>	Les caractéristiques de la turbine	24
<b>Tableau II.2</b>	Les caractéristiques du compresseur BCL 605	40

## Liste des abréviations

SRV	Stop Speed Ratio Valve
GCV	Gas Control Valve
GE	General electric
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
LQS	Liquéfaction Séparation
TRC	Transport par Canalisation
SBC	Station Boosting Centre
SH	Sonatrach
DP	Division Production
HRM	Hassi R'Mel
DCS	Distributed Control System
PLC	Programmable Logic Controller
HMI	Human Machine Interface
HP	Haute Pression / High Pressure
BP	Basse Pression
IGV	Inlet Guide Valve
LP	Low Pressure
Tr/min	Tour par minute
NGV	Nozzles Guide Valve
88HQ	Pompe Hydraulique
88QE	Pompe d'urgence
UV	Ultra Violet
BCL	Barrel Compressor Low Pressure
E/S	Entrés/Sorties
I/O	Input/ Output
EGD	Ethernet Global data
GSM	Global Standard Messages
CAR	Régions d'Acceptations Circulaires
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
FSR	Fuel Strock Reference
TNR	Turbine Speed Reference
TNH	Turbine Speed High pressure shaft
TNL	Turbine Speed Low pressure shaft
FPRG	Fuel Pressure Reference Gas
FPKGRG	Fuel Pressure Reference Gas Control Constant Gain
FPKRGO	Fuel Pressure Reference Gas Control Constant Offset

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

En Algérie, ainsi que dans divers pays du monde, l'industrie pétro-gazière repose essentiellement sur les turbines à gaz pour le transport et la production d'électricité. Les turbines à gaz jouent un rôle crucial et dominant plusieurs secteurs industriels, notamment l'industrie pétrolière et gazière, où elles sont principalement utilisées pour la production d'énergie électrique et pour la compression, que ce soit pour le stockage, la réinjection ou le transport du gaz. Cela confère à la turbine à gaz une importance capitale dans l'économie nationale.

Ce type de moteur thermique transforme l'énergie contenue dans le carburant (gaz naturel) en énergie mécanique par l'intermédiaire d'un processus de combustion interne. Cette énergie mécanique est utilisée pour entraîner soit un alternateur, soit un compresseur.

En raison de leur efficacité, de leur flexibilité opérationnelle et de leur capacité à fonctionner de manière fiable dans des conditions diverses, les turbines à gaz sont devenues indispensables dans de nombreuses applications industrielles. [1]

Les turbines à gaz présentent de nombreux avantages. Elles sont des solutions rapides pour faire face aux fluctuations de la charge du compresseur centrifuge du processus. Ces machines peuvent répondre aux charges variables grâce à leur construction basée sur deux arbres (rotors) séparés par des aubes variables, permettant la régulation de la vitesse en fonction de la charge, ce qui les rend particulièrement adaptées aux installations pétrolières et gazières. En outre, leur capacité à utiliser divers carburants, tels que le gaz naturel et les carburants liquides, leur confère une grande flexibilité. La compacité et la légèreté des turbines à gaz sont également appréciées par rapport à d'autres types de machines utilisées pour entraîner les compresseurs, ce qui rend leur installation et leur maintenance plus faciles.

La demande d'énergie continue de croître, tandis que les ressources deviennent de plus en plus chères et limitées. Il est donc essentiel d'optimiser les performances techniques des turbines et d'améliorer leur rendement afin de rentabiliser les coûts d'investissement. La pression et le débit sont les paramètres les plus influents sur ces performances et ce rendement. [2]

Ces deux paramètres sont contrôlés par deux vannes de régulation de gaz qui fonctionnent en parallèle. La pression est assurée par la vanne de rapport arrêt/vitesse SRV (Stop/Speed Ratio Valve), tandis que le débit est contrôlé par la vanne de régulation de gaz GCV (Gas Control Valve).

Notre travail a pour but d'étudier ces deux vannes en analysant l'influence de leurs positions sur les performances de la turbine (la vitesse des deux rotors) tout au long des trois cas d'exploitation de ces machines : le cas de démarrage et le cas d'un arrêt d'urgence (trip), ainsi que la procédure détaillée de calibration et étalonnage de ces deux vannes

Notre travail est réparti en quatre chapitres, qui sont les suivants :

Le premier chapitre est dédié à la description de la région de HASSI R'MEL, ainsi qu'à SONATRACH et ses différentes divisions.

Le deuxième chapitre explore la turbine à gaz MS5002 ainsi que ses différentes sections et parties auxiliaires, en incluant également le compresseur axial entraîné par cette machine.

Le troisième chapitre porte sur la présentation du système de contrôle et de commande Mark VIe, la boîte à outils ToolBox, et le système de protection vibratoire Bently Nevada 3500.

Le dernier chapitre est consacré à l'étude des vannes de gaz SRV et GCV, qui font l'objet de notre étude. Nous y analysons et interprétons la position de ces deux vannes ainsi que leur influence sur le rendement de la turbine.

Enfin, nous clôturons notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

**CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR  
SONATRACH ET LE CHAMP DE HASSI  
R'MEL**

## **I.1 INTRODUCTION**

SONATRACH est une société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures créée le 31 décembre 1963, afin de servir d'instrument d'intervention de l'État dans le secteur pétrolier aux côtés des compagnies françaises. Aujourd'hui, SONATRACH est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2<sup>ème</sup> exportateur de GNL et de GPL, et 3ème exportateur de gaz.

Le champ gazier de Hassi R'Mel est le pôle économique le plus important au niveau national et international. Il est l'un des plus grands gisements de gaz à l'échelle mondiale. Considéré comme le poumon de l'Algérie, il est réparti en trois secteurs : Nord, Centre et Sud.

## **I.2 DESCRIPTION DU SONATRACH**

### **I.2.1 Historique et mission**

L'entreprise SONATRACH (Société Nationale pour le Transport et la Commercialisation des Hydrocarbures), créée le 31 décembre 1963, est une entreprise publique algérienne et un acteur majeur de l'industrie pétrolière.

Depuis 60 ans, SONATRACH joue pleinement son rôle de locomotive de l'économie nationale. Sa mission est de valoriser les importantes réserves en hydrocarbures de l'Algérie. Surnommée la "major africaine", SONATRACH tire sa force de sa capacité à être un groupe entièrement intégré sur toute la chaîne de valeur des hydrocarbures.

SONATRACH se développe également dans les activités de pétrochimie, de production électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer, et d'exploitation minière.

Dans l'amont, SONATRACH opère, soit en effort propre, soit en partenariat avec des compagnies pétrolières étrangères, des gisements parmi les plus importants du monde dans différentes régions du Sahara algérien : Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Hassi Berkine, Ourhoud, Tin Fouyé Tabankort, Rhourde Nouss, In Salah et In Amenas. SONATRACH emploie près de 50 000 employés permanents sur le territoire national et plus de 200 000 personnes à l'échelle du groupe.

Le groupe compte 154 filiales et participations, dont une quinzaine détenues à 100%, œuvrant quotidiennement à la valorisation de la chaîne de valeur pétrolière et gazière du pays. Parmi celles-ci figurent notamment l'Entreprise Nationale de Géophysique (ENAGEO), l'Entreprise Nationale de Forage (ENAFOR), l'Entreprise Nationale de Grands Travaux

Pétroliers (ENGTP), et la société nationale de commercialisation et de distribution des produits pétroliers (NAFTAL). [4]

## **I.2.2 Les activités de SONATRACH**

SONATRACH couvre l'ensemble de la chaîne de valeur des hydrocarbures :

### **I.2.2.1 Exploration-production**

Depuis sa création, SONATRACH concentre ses efforts sur la recherche de nouveaux gisements pétroliers et gaziers sur le territoire national afin de renouveler ses réserves et augmenter ses capacités de production.

L'activité Exploration-Production (EP) de SONATRACH a pour mission la recherche, le développement, l'exploitation et la production des hydrocarbures. Elle s'articule autour de trois axes :

- Le développement et l'exploitation des gisements pour une valorisation optimale des ressources.
- La gestion des activités en partenariat dans les phases d'exploration, de développement et d'exploitation des gisements.
- La recherche, la négociation et le développement de nouveaux projets sur le territoire national.

### **I.2.2.2 Liquéfaction et séparation**

L'activité Liquéfaction-Séparation (LQS) a pour mission la transformation des hydrocarbures par la liquéfaction du gaz naturel et la séparation des GPL. Pionnière dans le GNL, SONATRACH s'est hissée parmi les premiers acteurs mondiaux dans la production et la commercialisation du Gaz Naturel Liquéfié et des sous-produits tels que l'éthane, le propane, le butane et la gazoline.

Appartenant à l'activité Liquéfaction-Séparation, le premier complexe de liquéfaction au monde, dénommé GL4Z (ex-CAMEL), a vu le jour en 1964 à Arzew. Au fil du temps, et en réponse à une forte demande du marché mondial, SONATRACH a consolidé ses capacités de production par l'entrée en production de quatre nouveaux complexes de liquéfaction, atteignant ainsi une capacité totale de 56 millions de m<sup>3</sup>/an.

### **I.2.2.3 Transport par canalisation**

L'activité Transport par Canalisation (TRC) a pour mission d'assurer l'exploitation, la maintenance et le développement du réseau d'infrastructures de transport par canalisation des hydrocarbures, ainsi que le stockage, le chargement et le déchargement à travers les infrastructures portuaires à quai et en haute mer. Elle assure le transport des hydrocarbures depuis les pôles de production au sud vers les pôles de demande et de transformation au nord (marché national et exportation).

L'activité TRC couvre plusieurs domaines :

- L'exploitation des ouvrages de transport des hydrocarbures et des installations portuaires à quai et en haute mer.
- La maintenance des ouvrages de transport des hydrocarbures et des installations de chargement portuaires à quai et en haute mer.
- Les études et le développement, à l'exception des études relevant de la Direction Corporate Business Développement et Marketing (DBM), ainsi que la réalisation des projets relevant de la Direction Centrale Engineering et Project Management.

### **I.2.2.4 Raffinage et pétrochimie**

L'activité Raffinage & Pétrochimie a pour mission essentielle l'exploitation et la gestion des outils de production du raffinage et de la pétrochimie, afin de répondre principalement à la demande du marché national en produits pétroliers.

L'activité Raffinage & Pétrochimie gère cinq raffineries au niveau national, dont deux au sud et trois au nord, pour le raffinage du brut. Une raffinerie de condensat se trouve à Skikda, où est également située une raffinerie pour le brut. Les autres raffineries sont situées à Arzew, Alger, Adrar et Hassi Messaoud. Il existe aussi deux complexes pétrochimiques : un pour le méthanol à Arzew et un pour le PEHD à Skikda. L'effectif de cette activité atteint 6 520 employés, à 100 % algériens, tous grades et toutes spécialités confondus.

### **I.2.2.5 Commercialisation**

L'Activité Commercialisation a pour mission de veiller aux approvisionnements énergétiques du marché national, sa première mission statutaire en tant que garant du service public, et à la valorisation des hydrocarbures liquides et gazeux, primaires et transformés, exportés sur les marchés internationaux.

L'Activité Commercialisation est chargée de l'élaboration et de l'application des politiques et stratégies en matière de commercialisation des hydrocarbures.



### I.3.2 Histoire du champ de HASSI R'MEL

Le gisement de HASSI R'MEL a été découvert en 1951 et en 1952 le forage du premier puits d'exploration HR 1 à quelques kilomètres de Berriane, Ce puits a mis en évidence la présence de gaz naturel riche en condensât et en GPL qui présentait toutes les caractéristiques d'un excellent réservoir recouvert d'un tri salifère pouvant jouer le rôle de couverture.

En 1956 fut entrepris le sondage de HR1 à une dizaine de kilomètres, à l'Est du puits d'eau de HASSI R'MEL. En novembre de la même année, la profondeur de 2132 m fut atteinte et révéla la présence d'un réservoir de gaz humide sous une forte pression. Le puits HR1 venait d'être implanté sur le sommet de l'anticlinal, hypothèse vérifiée par la sismique à la même période.

Les forages qui suivirent confirmèrent l'existence d'un important anticlinal et permirent d'étudier avec plus de précision les niveaux géographiques ainsi que les caractéristiques de l'effluent R2-HR3-HR4-HR5-HR6-HR7-HR8 et HR9.

Le gisement de HASSI R'MEL est classé 4eme au monde et 1er en Algérie, il est d'une superficie de 3500 km<sup>2</sup>. Il s'étend sur 70 Km du nord au sud et de 50 Km d'est en ouest, avec une énorme réserve de gaz estimée de 2415 milliards m<sup>3</sup>, Ce gaz se trouve entre 2110 et 2280 m de profondeur.

Les principaux champs sont : Hassi R'mel, Djebel Bissas, Oued Noumer, Ait Kheir, Sidi Mezghiche et Makouda.

### I.3.3 Développement du champ de HASSI R'MEL

Le développement du gisement de Hassi R'mel a été réalisé en plusieurs étapes :

<b>1961-1969 :</b>	Mise en exploitation de 06 unités de traitement de gaz d'une capacité de 04 Milliards de m <sup>3</sup> par an
<b>1972-1974 :</b>	Mise en exploitation de 06 unités supplémentaires pour atteindre une de 14 Milliards de m <sup>3</sup> par an.
<b>1975-1980 :</b>	Mise en œuvre et réalisation de : <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Quatre modules de traitement de gaz dont la capacité nominale unitaire est de 20 Milliards m<sup>3</sup> de gaz par an (modules 1, 2,3 et 4).</li><li>▪ Deux stations de réinjections de gaz dont la capacité nominale unitaire est de 30 Milliards m<sup>3</sup> de gaz sec par an (station nord et sud).</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un centre de stockage et de transfert de condensât et de GPL (CSTF) pour augmenter la capacité de traitement de 14 à 94 Milliards m<sup>3</sup> par an et maximiser la récupération des hydrocarbures liquides tels que le condensât et le GPL.</li> </ul>
<b>1985 :</b>	Réalisation et mise en service d'une unité pour la récupération des gaz torches et la production du GPL des modules 0 et 1.
<b>1987 et 2000 :</b>	Réalisation et mise en service des centres de traitement du gaz de DJEBEL BISSA et HR-SUD.
<b>1981 – 1993 :</b>	Réalisation et mise en service de cinq (05) centres de traitement d'huile.
<b>1995 – 1999 :</b>	Mise en service des unités de déshydratation de gaz de SBAA (ADRAR) et IN SALAH.
<b>1999 :</b>	Réalisation et mise en service de l'usine de récupération des gaz associant provenant des centres de traitement d'huile.
<b>Janvier 2000 :</b>	Démarrage du centre de traitement de gaz CTG/HR sud d'une capacité de 2 ,4 Milliards m <sup>3</sup> par an.
<b>2004 :</b>	Réalisation et mise en service du projet BOOSTING qui est sensé augmenter la pression d'entrée des modules. [7]

### **I.3.4 Présentation des secteurs de Hassi R'mel**

Le champ de HASSI R'MEL comprend 3 secteurs : nord, sud et centre.

<b>Le secteur nord</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le module 3.</li> <li>▪ Une station de compression.</li> </ul>
<b>Le secteur centre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trois modules 0, 1 et 4.</li> <li>▪ CSTF (Centre Stockage and Transfers Facility).</li> <li>▪ CTH (Centre de Traitement d'Huile).</li> <li>▪ L'unité de phase B.</li> <li>▪ SBC.</li> </ul>
<b>Le secteur sud</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le module 2.</li> <li>▪ Une station de compression.</li> <li>▪ Djbel BISSA.</li> <li>▪ HR sud</li> </ul>

Les quatre unités 1, 2, 3 et 4 de traitement du gaz ont une capacité de 80 millions m<sup>3</sup>/ jour chacune. Cependant le module 0 a une capacité de 30 millions m<sup>3</sup>/jour et Djebel Bissa de 6 millions m<sup>3</sup>/jour. Les deux centres de compression Nord et sud sont conçus pour la réinjections du gaz sec dans des puits injecteurs pour faire entraîner Les lourds (la richesse) et réinjections du gaz de vente, gaz pour les GNL en cas de problème ou révision des unités.

Un autre poste de compression qui est appelé Boosting, il est conçu pour augmenter la pression d'entrées du gaz des modules de traitement du gaz afin d'assurer l'exploitation continue du champ du gaz. [8]

### I.3.5 L'organisation de la direction régional de Hassi R'mel

La Direction Régionale de HASSI RMEL est l'une des entités clés de SONATRACH, chargée de superviser et de gérer les opérations pétrolières et gazières dans la région. Cette direction comprend plusieurs divisions et directions qui travaillent en harmonie pour assurer le succès des activités régionales, direction exploitation, direction maintenance, direction technique, division HSE, division engineering des puits et division juridique.

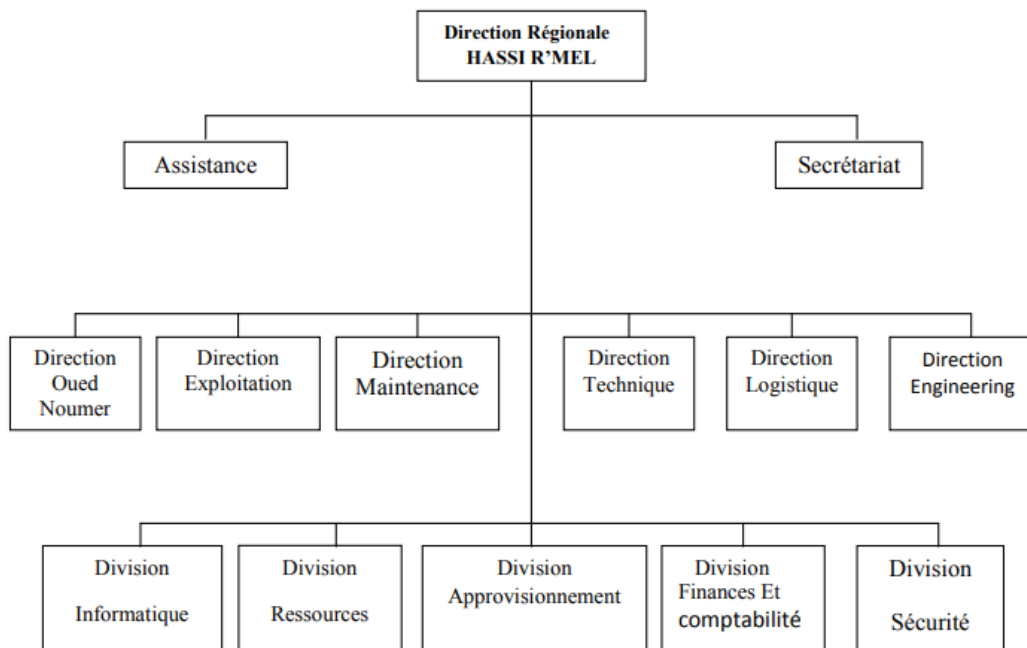


Figure I.2 L'organisation de la direction régional de Hassi R'mel. [9]

## **I.4 DESCRIPTION DE LA STATION BOOSTING**

### **I.4.1 Généralité sur la direction maintenance**

La Direction Maintenance de l'entreprise SONATRACH joue un rôle essentiel dans le maintien de l'intégrité et de l'efficacité de ses installations pétrolières et gazières. Cette direction se compose de plusieurs départements spécialisés, chacun ayant sa propre responsabilité dans le processus de maintenance. Parmi ces départements, le Département Boosting revêt une importance particulière. Il est chargé de garantir que les systèmes de refoulement de gaz fonctionnent de manière optimale pour maintenir la pression et le débit des gisements alimentant les modules 0, 1 et 4 de l'entreprise.

Au sein du Département Boosting, on trouve plusieurs services dédiés à des aspects spécifiques de la maintenance, SBC1, SBC2, SBN et SBS. L'un de ces services, le Service SBC1, se distingue par son expertise multidisciplinaire. Il rassemble des ingénieurs spécialisés dans différents domaines, notamment l'instrumentation, la mécanique et l'électricité. Ces professionnels travaillent en étroite collaboration pour élaborer des stratégies de maintenance efficaces, s'assurer que les équipements de refoulement de gaz fonctionnent de manière optimale et résoudre rapidement les problèmes techniques qui pourraient survenir.

Le Service SBC1 est un élément clé de la Direction Maintenance de Sonatrach, contribuant à la sécurité, à la fiabilité et à la performance des opérations de l'entreprise dans le domaine du refoulement de gaz. Le travail d'équipe entre les ingénieurs spécialisés dans différentes disciplines garantit que les activités de maintenance sont menées de manière coordonnée et efficace, contribuant ainsi à la réussite globale de l'entreprise.

### **I.4.2 Définition du Boosting**

Il s'agit d'une installation de refoulement de gaz conçue pour augmenter la pression et réguler le débit provenant du gisement alimentant les modules 0, 1 et 4. Le terme "boosting" provient de l'anglais "booster," signifiant "amplifier" en français, et est donc associé à l'idée d'amplification.

La nécessité de créer cette unité de boosting découle de la situation antérieure, où les modules 0, 1 et 4 étaient alimentés par des puits individuels, chacun présentant une pression de gisement supérieure à 100 kg/cm<sup>2</sup>. Cependant, l'utilisation excessive de ces puits entraînait une diminution de la pression, atteignant même la contrainte minimale requise, ce qui devenait un problème pour la production.

Face à ce défi, après des études approfondies, deux solutions ont été envisagées : la première consistait à réduire la production, mais cette option était économiquement peu viable

étant donné l'importance de la production pour les finances. Par conséquent, la priorité a été donnée à la création de cette unité de boosting afin de maintenir la production. [8]

Le débit d'alimentation des modules est de 150 millions m<sup>3</sup>/jour.

- Module 0 : 30 millions m<sup>3</sup>/j.
- Module 1 : 60 millions m<sup>3</sup>/j.
- Module 4 : 60 millions m<sup>3</sup>/j.

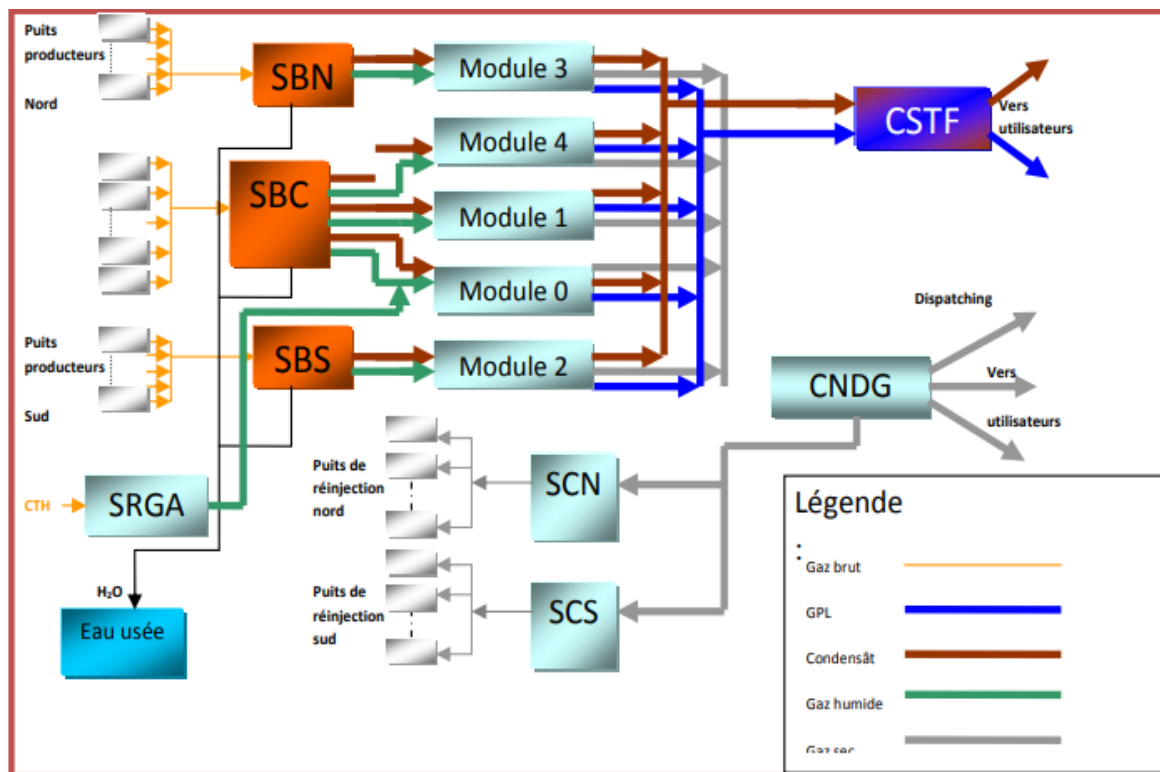


Figure I.3 Schéma du processus industriel du boosting [9]

#### I.4.3 La station de boosting centre (SBC)

La majeure partie de ces Stations Boosting est réalisée et mise en service lors de la Phase 1 du Projet Boosting HASSI R'MEL :

- 9 trains de compression à SBC pour la compression de gaz vers les modules 0, 1 et 4, zone centrale.
- Installation et mise en service de trois (03) compresseurs du gaz tampon (Buffer gas) pour les compresseurs centrifuges.
- Installations auxiliaires et annexes associées à ces trains de compression (eau, air et huile).
- Une unité de séparation des eaux huileuses CPI.
- Six(06) séparateurs d'entrée pour la Station Boosting.

- Les ballons tampons pour les turbocompresseurs phase 1 & 2.
- Les massifs pour les turbocompresseurs de la phase 2.
- La salle de contrôle et salle des racks.
- Une sous station pour transformation 30 Kv/5.5 Kv.
- Une Sous-station électrique pour la Station boosting.
- Groupe électrogène diesel de secours.
- Le système DCS et les systèmes Feu et Gaz pour les deux phases 1 & 2.
- Les transformateurs pour sous station.
- Construction d'un « poste blindé » et tirage deux lignes électriques 60Kv entre « Sonelgaz Tilghemt » et le « poste blindé ».
- 9 Turbines à gaz de type MS5002c menées d'une chambre de combustion avec tube à flamme (liner) de type EXTENDOR (STD) qui est : A, B,C,D,E,F,G,H et I.

## **I.5 LES DIFFERENTES SECTIONS DU BOOSTING**

### **I.5.1 Section manifold**

Elle s'occupe de la collecte des gisements des puits cette unité est ressourcée par 92 puits. Cette section est composée des éléments suivants :

- Manifolds d'entrée et de sortie.
- Ligne de by-pass de la station.
- Vanne d'arrêt (XV-901) et celle de sortie (XV-920,921et 922).
- La pression de calcul du manifold à l'entrée de la station de boosting est de 135 bar à 90 C° et celle de sortie est de 135 bar à 90C°.

### **I.5.2 Section utilité**

Il regroupe les besoins de la station tel que :

#### **I.5.2.1 Système d'air**

Il est composé des équipements suivants :

- Compresseur d'air axial monté sur le dispositif d'entraînement de l'unité de boosting.
- Refroidisseur d'air extrait E-903.
- Sécheur d'air instrument Z-904.
- Récepteur d'air D-907.

Le contrôle de la pression est prévu à la sortie du récepteur d'air D-907 pour éviter la diminution ou chute de la pression d'alimentation en air instrument , c'est en cas de descente de

la pression d'air instrument en raison d'une consommation relativement importante d'air service, la vanne de contrôle de la pression d'air servie (PV-921) se ferme automatiquement, rendant l'utilisation d'air service impossible pour assurer l'exploitation normale.

### **I.5.2.2 Système de gaz combustible**

Il est composé des éléments suivants :

- Ballon tampon de gaz combustible D-912.
- Système de contrôle de la pression PSV-923A/B.

Le gaz de vente venant de MPP-1 existant est envoyé vers SBC pour y être utilisé en tant que gaz combustible. Avant de distribuer ce gaz combustible vers ses utilisateurs, l'eau et le condensat hydrocarbure que comporte le gaz de vente, sont séparés dans le ballon tampon de gaz combustible D-912. La pression d'alimentation en gaz combustible est contrôlée à la sortie de D-912 par le système de contrôle de pression avec la gamme divisée (Sprit range).

En cas d'arrêt de la station boosting, la fermeture de la vanne d'entrée de gaz combustible XV-931 se fait automatiquement pour interrompre la fourniture du gaz aux turbines à gaz.

### **I.5.2.3 Autres utilités**

L'eau de service, le gaz inerte et l'eau potable sont fournis aux stations de manœuvre respectives de la station de boosting.

## **I.5.3 Section auxiliaires**

### **I.5.3.1 Réseau torche**

C'est un réseau qui collecte toutes les sorties de sécurité dans un ballon D-910 qui à son tour sépare le condensat et l'eau du gaz grâce au séparateur Z-910A/B. Le condensat est renvoyé aux modules, l'eau sera avant d'être relâché dans la nature, les huiles et le condensat soutirés dans le traitement des eaux sont envoyés dans les borbons pour être brûlé et le gaz sera orienté dans les torches afin d'être brûlé.

### **I.5.3.2 Unité d'épuration de l'huile de lubrification**

L'huile fraîche stockée dans D-904 est distribuée par P-906 au réservoir d'huile de chaque compresseur pour lequel elle est utilisée comme huile de lubrification et comme huile d'étanchéité. Les huiles alors usées sont pompées par P-905 vers l'épurateur pour recyclage. L'huile épurée est renvoyée dans le système d'huile pour chaque compresseur boosté, c'est-à-dire à D-904 ci-dessus par P-907.

### **I.5.3.3 Système de drainage**

L'eau huileuse drainée par chaque entonnoir de purge est collectée dans la fausse de puisard Z-901 via une tuyauterie souterraine avant d'être pompée vers le séparateur d'huile CPI, Z-903 par P-903.

Les eaux huileuses ainsi collectées dans Z-903 se séparent en deux phases, huile et liquide, qui sont séparément pompée, pour l'eau vers le bassin de vaporisation, et pour l'huile vers le MPP existant via le système vide-vite. [10]

### **I.5.3.4 Système anti-incendie**

L'unité de visualisation du panneau de contrôle alarme incendie ('FACP') et du panneau d'Alarme gaz ('GAP') sont installées dans la salle de contrôle du bâtiment de contrôle pour surveiller tous les détecteurs, incendie, gaz et fumée, couvrant les bâtiments et unités de boosting de SBC.

Les système d'extinction utilisés sont le CO2 pour les compartiments de la turbine a gaz et le système poudre pour le skid de compresseur.

## **I.5.4 Section supervision**

Tous les systèmes de contrôles disponibles a SH DP HRM sont numériques parmi ces systèmes on trouve :

### **I.5.4.1 Le système DCS**

Ou bien le système de contrôle distribué pour le contrôle des procédés , dans lequel les éléments régulateurs ne sont pas centralisés mais distribués , avec chaque système sous le contrôle d'un ou plusieurs régulateurs , les éléments du système peuvent être connectés au réseau pour assurer les fonctions de communication , de conduite ,de surveillance.

Le DCS est constitué de plusieurs sous-systèmes :

- Les dispositions d'entrées/sorties.
- Les contrôleurs individuels (PLC).
- Les interfaces opérateurs (HMI).
- La station d'ingénieur.
- Le réseau de communication (bus) pour L'échange des informations.

#### **I.5.4.2 Les systèmes Mark V et Mark VI**

Les systèmes de commande SPEEDTRONIC Mark V et VI sont prévus pour assurer la commande et la protection des turbines à gaz et à vapeur. Ils sont basés sur les automates programmables industriels API.

Les fonctions principales des systèmes de commande de la turbine Mark V et VI sont les suivantes :

- La commande de la vitesse pendant le démarrage et l'arrêt de la turbine.
- La commande de la charge de la turbine pendant le fonctionnement normal.
- La surveillance et la protection contre d'éventuelles survitesses, réchauffements, vibrations ou pertes de flamme Pour contrôler et commander les turbines. [10]

#### **I.6 CONCLUSION**

En conclusion, ce chapitre a offert une description approfondie de SONATRACH ainsi que du champ gazier de Hassi R'Mel et de son importance stratégique. Nous avons exploré ses différents secteurs ainsi que son développement.

Nous avons choisi de nous concentrer plus précisément sur la station de Boosting Centre, en présentant un aperçu essentiel de son rôle, ainsi que ses différentes sections et composants.

# **CHAPITRE II : PRÉSENTATION DE LA TURBINE À GAZ MS5002 C**

## II.1 INTRODUCTION

Les turbines à gaz font partie des turbomachines, définies comme étant des appareils dans lesquels a lieu un échange d'énergie entre un rotor tournant autour d'un axe à vitesse constante et un combustible, à gaz ou en fluide, en écoulement permanent. La turbine est une machine tournante dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure (fuel, gaz, etc.). Les turbines à gaz demeurent les moyens de production de puissance les plus révolutionnaires et n'ont jamais été égalées par des moteurs thermiques conventionnels.

La turbine est munie de plusieurs systèmes de commande et de protection prévus pour assurer la fiabilité et la sécurité de son fonctionnement.

## II.2 DÉFINITION DE LA TURBINE À GAZ

La turbine à gaz est une machine rotative qui pressurise de l'air, le mélange à un combustible et le brûle dans des chambres de combustion. Les gaz ainsi produits sont détendus au niveau des aubes d'une turbine. Actuellement toutes les grandes turbines à gaz sont de type à écoulement axial. Au moment du démarrage les turbines à gaz sont actionnées par un moteur de lancement.

Les turbines à gaz sont mono-arbre ou bi-arbre. Les turbines à un seul arbre sont aptes à l'entraînement des machines qui fonctionnent à vitesse constante, telle que les alternateurs pour cette raison elles sont employées dans la génération d'énergie électrique. Dans les applications où la puissance est réglée en variant la vitesse de la machine conduite, on utilise principalement des turbines à gaz à deux arbres (bi-arbres), dans ce cas la turbine est divisée en deux sections séparées mécaniquement :

- Une section à haute pression (HP) qui fonctionne à vitesse constante dans une plage de puissance et entraîne exclusivement un compresseur axial.
- Une section à basse pression (BP) liée à la machine conduite par l'intermédiaire d'un accouplement. Cette section peut changer sa vitesse de rotation indépendamment de la section turbine à haute pression. [11]

## II.3 DESCRIPTION DE LA TURBINE À GAZ MS5002C

### II.3.1 Présentation de la turbine à gaz type MS5002C

Le modèle et série MS5002C NUOVO-PIGNONE est une turbine à gaz à deux arbres, elle est employée à l'entraînement d'un compresseur centrifuge.

La portion d'une turbine à gaz pour entraînement mécanique est la partie dans laquelle le fuel et l'air sont utilisés pour produire une puissance sur l'arbre. Cette turbine possède deux roues de turbine indépendantes mécaniquement. La roue de la turbine du premier étage haute pression entraîne le rotor du compresseur d'air, du type axial à 16 étages et les arbres entraînent les accessoires (pompes de lubrification et hydraulique). La roue de la turbine du second étage basse pression, entraîne la charge (compresseur centrifuge).

Les deux roues de la turbine ne sont pas liées afin de leurs permettre de tourner à des vitesses variables pour s'adapter aux variations de charge.

### II.3.2 Les sections de turbine à gaz

#### II.3.2.1 Section d'admission

L'aspiration de la turbine est une enceinte ou compartiment où l'air ambiant est aspiré pour alimenter le processus de combustion qui abrite les filtres, la conduite, le silencieux, le coude, le caisson d'admission et d'autres accessoires. Ce système regroupe les fonctions de filtrage et de réduction de bruit à celle de direction de l'air dans le compresseur de la turbine.

Ce compartiment est muni de portes pour un accès facile aux filtres pour les besoins de maintenance.

La Modification de es conditions de la température, l'humidité et la contamination, rend l'air plus approprié pour l'utilisation. Les filtres minimisent au maximum la quantité de la poussière et d'humidité d'air, les filtres ont des pompes d'aspiration et protégés contre la surpression par des portes by passe. [12]

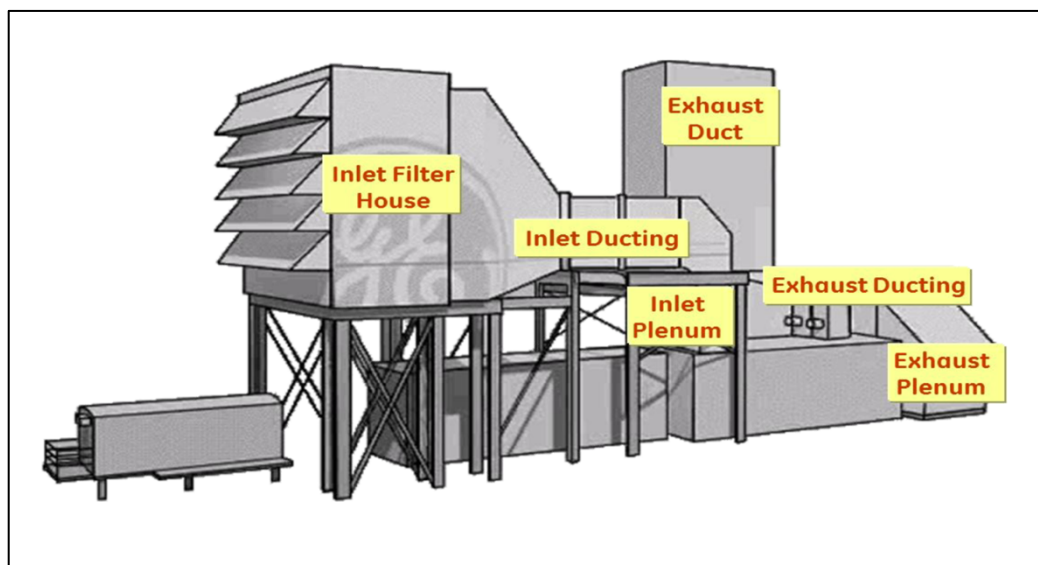


Figure II.1 La section d'admission d'air. [13]

### II.3.2.2 Section du compresseur axial

Le compresseur comprime l'air venant des filtres pour combustion et refroidissement par réduction de son volume. Le compresseur de MS5002C est un compresseur axial de 16 étages d'aubes orientables attachés à l'arbre HP de turbine ou son angle et sa forme sont conçus pour une circulation axiale d'air de débit plus élevée nécessaire pour obtenir une grande puissance avec des dimensions réduites.

Le volume des aubes diminue à chaque étage pour réduire le volume d'air afin d'augmenter leur pression. Les aubes de première étage IGV (Inlet Guide Vane) sont commandées pour guider le flux d'air en changeant l'angle des ailettes (ouvrir et fermer les aubes). Le compresseur sert également à fournir une source d'air nécessaire pour refroidir les parois des ailettes de la roue HP et LP et les disques de la turbines, qui sont atteints par l'intermédiaire de canaux à l'intérieur de la turbine, et par la tuyauterie de raccordement extérieur. En plus, le compresseur fournit l'air d'étanchéité aux joints à labyrinthe des quatre paliers de la turbine à gaz.



Figure II.2 Le Compresseur axial. [13]

### II.3.2.3 L'arbre HP et BP

Le compresseur et la charge de la turbine n'exigent pas la même vitesse ni la même énergie pour une meilleure performance et réduction de problème de pulsation (pompage) de compresseur axial d'une façon acceptable, delà vient l'exigence de diviser l'arbre de la turbine a deux arbres tournantes a différentes vitesses, un arbre HP (Haute Pression) qui entraine le

compresseur axial et les accessoires et l'arbre BP (Basse Pression) qui entraîne la charge (compresseur centrifuge).

Les deux roues sont positionnées en ligne dans la turbine, mais sont mécaniquement indépendante l'une de l'autre, elles sont refroidies par l'air extrait du 10<sup>ème</sup> étage du compresseur axial et par l'air d'étanchéité HP.

Le volume du gaz augmente quand sa pression diminue en traversant la roue de la turbine HP pour cela les ailettes de roue BP sont plus grandes que celles de HP.



(a)



(b)

Figure II.3 a) la roue HP, b) la roue BP. [13]

#### II.3.2.4 Les chambres de combustion

La section de combustion se compose de douze (12) chambres de combustion annulaire, chaque chambre reçoit le gaz et l'air comprimé du compresseur axial pour faire un mélange combustible qui allumer par une bougie et un injecteur en créant une grande énergie de chaleur dans le gaz, ce gaz chaud détend et s'écoule vers la turbine en forçant les roues de la turbine à tourner.

La combustion est initiée par deux bougies et l'allumage dans ces deux chambres s'écoulent par les tubes traversables pour faire l'allumage dans les autres chambres.

Le système l'admission de la turbine transforme les écoulements du gaz de chacune des chambres de combustion en un courant annulaire continu adapté à l'admission de l'anneau de la directrice du premier étage de la turbine. Trois quart d'air entré dans la chambre de combustion est utilisée au refroidissement, une quantité d'air s'écoule entre la chemise et le couvercle pour refroidir le couvercle et une autre quantité entre à l'intérieur de chemise à travers des trous pour refroidir le gaz chaud et l'éloigner des parois de chemise. [14]

La section de combustion de la turbine à gaz se compose de :

- Douze chambres de combustion (couvercle et doublure).
- Douze injecteurs de combustible (pilote).
- Quatre détecteurs de flamme à ultraviolet.
- Deux bougies à électrodes rétractiles.
- Douze tubes transversaux d'interconnexions.

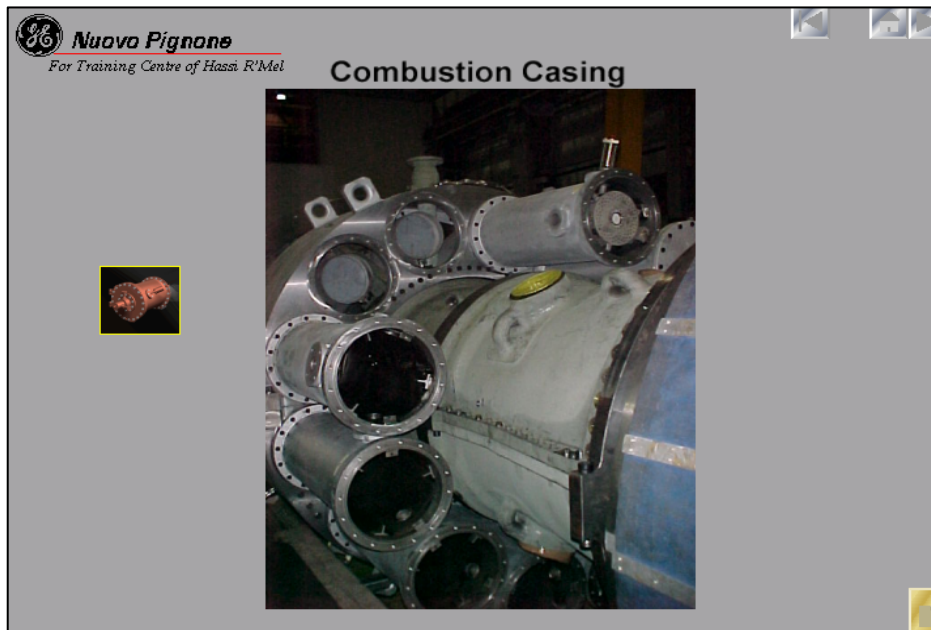
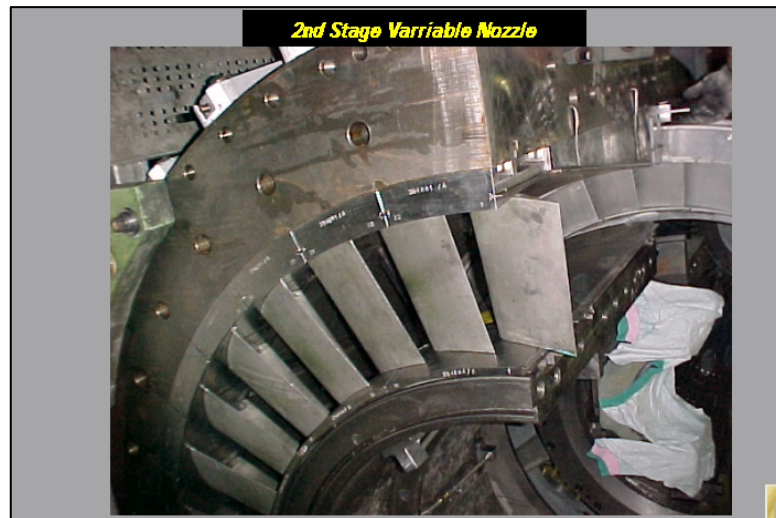


Figure II.4 Les chambres de combustion. [13]

### II.3.2.5 Les directrices variables (Nozzles)

Se trouvent entre la partie HP et BP. La directrice de deuxième étage comprend les déflecteurs formant une directrice à angle variable dans l'espace circulaire de la veine des gaz, juste à l'avant de la turbine du deuxième étage.

Ces déflecteurs peuvent être déplacés en même temps grâce à des arbres saillant dans la caisse de la turbine à travers des souilles. Des leviers, fixés à l'extrémité des arbres, sont reliés par des maillons à des montants d'une bague de commande qui tourne sous l'action d'un cylindre hydraulique afin de varier la vitesse de la roue BP. [2]



**Figure II.5** Les directrices variables (Nozzles). [13]

### **II.3.2.5 Les paliers**

#### **II.3.2.5.1 Les palier de butée (Thrust Bearing)**

Les paliers de butée sont fournis pour soutenir les poussées axiales formées aux surfaces du rotor d'une unité de turbine à gaz. La poussée axiale imposée sur un tel palier est la somme algébrique des forces qui agissent sur l'ensemble du rotor dans la direction au long de l'axe du rotor. Par exemple, les poussées axiales du n<sup>e</sup> compresseur à débit axial, comme ceux utilisés pour les turbines à gaz de General Electric, sont seulement partiellement compensées par les poussées contre axiales de la turbine qui el commande, et la poussée axiale qui en résulte à la tendance de déplacer l'ensemble du rotor dans une direction opposée à la direction de l'écoulement de l'air par le compresseur.

Pendant le fonctionnement normal de l'unité de la turbine à gaz, la poussée axiale d'un ensemble de rotor est unidirectionnelle ; de toute façon, pendant le démarrage et l'arrêt de l'unité, la direction de la poussée axiale est en général renversée/ ainsi, deux paliers de butée sont montés sur l'arbre du rotor afin de soutenir les poussées axiales imposée en n'importe quelle direction. Le palier qui prend la poussée axiale pendant le fonctionnement normal est dénommé "actif" ou "palier de butée à charge" et celui qui prend la poussée axiale pendant le démarrage ou l'arrêt de l'unité est dénommé "inactif" ou "palier de butée sans charge".



**Figure II.6** Les paliers de butée inactifs.

#### **II.3.2.5.1 Le palier porteur (Journal Bearing)**

Les paliers porteurs sont des composants clés du système de support de l'arbre principal de la turbine. Contrairement aux paliers de butée, qui absorbent les charges axiales, les paliers porteurs sont conçus pour supporter les charges radiales, c'est-à-dire les forces qui agissent perpendiculairement à l'axe de rotation de l'arbre.

Un palier porteur à patins oscillants est formé de deux pièces majeures : patins et anneau de retenue. Les patins sont faits d'une coquille cylindrique en acier qui est coupé en secteurs, équipée d'antifriction et avec un alésage de finissage. Dans la configuration finale, les patins sont déplacés dans la direction de l'intérieur, vers le centre du palier afin de produire des jeux convergents quand ils sont montés autour de la portée d'arbre du palier. Le cercle du jeu inscrit formé par les patins est placé en position supérieure en rapport avec le diamètre externe de l'anneau de retenue. Le but en est de déterminer le mouvement concentrique du rotor par rapport au stator, en conditions de fonctionnement à la vitesse maximale.

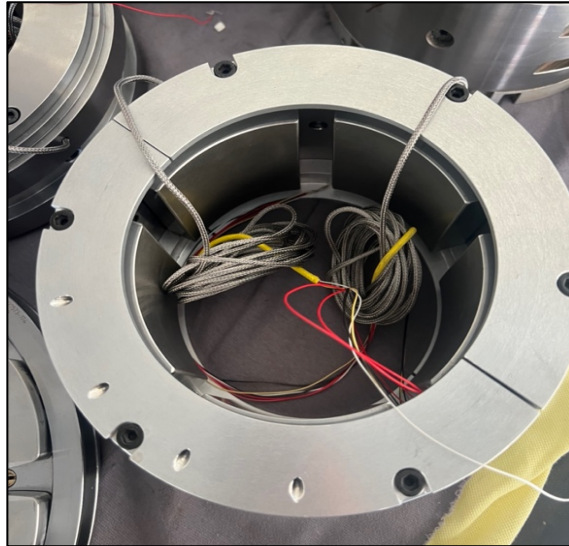
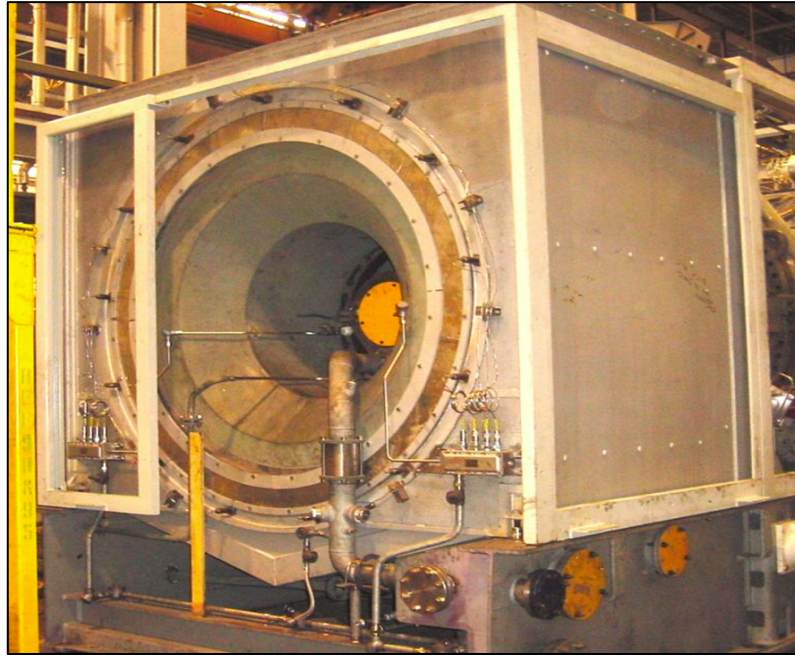


Figure II.7 Le palier porteur.

### II.3.2.6 Section d'échappement

La section d'échappement est la partie où les gaz de combustion sortent après avoir traversé les étages de la turbine. Une fois que les gaz de combustion ont transféré leur énergie cinétique à la turbine, les gaz utilisés pour alimenter les roues de turbine sont redirigés et dégagés dans l'atmosphère. Un composant du circuit est le plénum d'échappement auquel on a monté verticalement un joint de dilatation et un conduit de transition, en prolongation du côté de l'embase de turbine. Une section d'insonorisation est installée entre le conduit de transition et le circuit du conduit d'échappement.

Le plénum d'échappement est une structure comme une boîte rectangulaire où les gaz d'échappement de la turbine sont déchargés avant d'être canalisés aux amortisseurs de bruit et ensuite éventés dans l'atmosphère. Positionné au côté arrière de l'embase de turbine, il renferme le cadre d'échappement, le diffuseur et les aubes de turbine. Une enveloppe couvre la partie supérieure et latérale et sert à élargir le volume du plénum forçant les gaz d'échappement par l'ouverture latérale dans le conduit de transition. L'isolation de la fabrication du plénum assure la protection thermique et acoustique.



**Figure II.8** Le plénum d'échappement. [13]

### II.3.3 Caractéristique de la turbine à gaz MS5002C

Dans le **tableau II.1** les différentes caractéristiques de la turbine MS5002C sont présentées.

**Tableau II.1** Caractéristique de la turbine. [15]

Puissance		18500 Kw
Vitesse turbine HP		5100 Tr/min
Vitesse turbine BP		4600 Tr/min
Température de combustion		927 C°
Température d'échappement		450 C°
Compresseur d'air	Type	Flux axial
	Nombre d'étage	16
	Taux de compression	7
Vitesse minimale		3500 Tr/min
Vitesse de déclenchement		5600 Tr/min
Nombre de chambre de combustion		12
02 Gammes de vitesse		106 % max et 75 %min

## II.4 PARTIE AUXILIAIRE

### II.4.1 Le système de démarrage

Les composants du système de démarrage incluent : le moteur électrique de lancement, un convertisseur de couple, mécanisme d'encliquetage hydraulique, l'embrayage de démarrage, l'engrenage des accessoires.

Le but principal du système de démarrage est d'accélérer la turbine jusqu'à la vitesse minimale d'autonomie. Le lancement dans la turbine MS 5002C est assuré par un moteur de lancement 5.5 Kv courant alternatif.

Après le balayage, la flamme est ensuite enflammée, et le processus de démarrage commence l'accélération jusqu'à une vitesse de 60% de la vitesse nominale (3000tr/min). A la vitesse de 3000tr/min, le moteur de lancement est découplé de la turbine, et cette dernière atteint la phase de son autonomie, ou elle accélère jusqu'à sa vitesse nominale.

Les composants du système de démarrage assurent aussi une vitesse lente de rotation de la turbine pour les besoins de refroidissement après sa mise en arrêt.

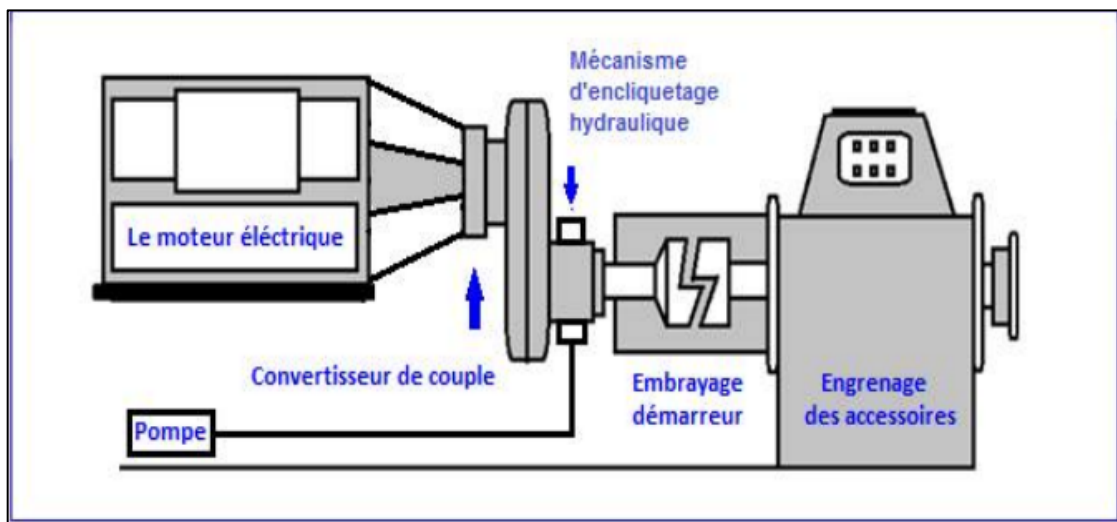


Figure II.9 Le système de démarrage de la turbine à gaz. [13]

### II.4.2 Circuit d'huile

La turbine à gaz est lubrifiée par un système à circulation forcée de l'huile en boucle fermée qui comprend un réservoir d'huile, pompes, échangeurs de chaleur (refroidisseurs d'huile), filtres, soupapes et divers dispositifs qui offrent du contrôle et de la protection au système. L'huile de graissage du système est fait circuler aux quatre paliers principaux de la turbine, aux accessoires de la turbine et aux équipements de charge menés. De plus, l'huile pour

le circuit d'alimentation hydraulique, le circuit d'huile de commande et le système des moyens de démarrage est prise de cette source.

Le circuit de graissage est conçu pour assurer une alimentation ample en lubrifiant filtré à température et pression appropriée pour le fonctionnement de la turbine et de ses équipements associés.

#### **II.4.2.1 Système d'huile hydraulique (commande)**

L'huile hydraulique, alimenté d'huile de lubrification, pressurisée à haute pression puis utilisée dans la turbine à gaz pour fournir une puissance de fluide de commande aux :

- Soupape des vannes SRV et GCV de système d'alimentation en combustible à gaz.
- Aubes directrices variables d'admission IGV.
- Aubes directrices variables du deuxième étage NGV (Nozzles).
- L'encliquetage hydraulique et le convertisseur de couple dans le système de lancement.
- Dispositifs de déclenchement hydraulique.

#### **II.4.2.2 Le système d'huile de contrôle (déclenchement)**

Le système d'huile de contrôle hydraulique est l'interface de protection primaire entre le panneau de commande de la turbine et les composants de la turbine qui fait admettre ou arrêter le combustible à gaz entrant à la turbine par le mécanisme de soupape de déclenchement VH-5 et de prendre également , comme un mesure supplémentaire de sécurité les aubes de deuxième étage a la position (complètement ouverte ).

Le système de déclenchement a basse pression arrête la turbine soit par l'électrovanne 20HD-1 excitée par un signal de déclenchement contre la survitesse ou bien par une soupape de déclenchement d'urgence à la main ,ces deux manière de déclenchement font verser l'huile de contrôle au drainage et cette section à son tour causera l'ouverture de la tuyère du deuxième étage et la fermeture de la soupape d'arrêt du combustible causant l'arrêt de la turbine .

Pour protéger les deux arbres de la turbine à gaz, l'arbre HP et l'arbre BP, contre la survitesse, un système mécanique utilise un boulon déclencheur remplace le système électronique en cas de défaillance de ce dernier.

### **II.4.3 Les pompes de l'huile**

Trois pompes sont utilisées dans le système d'huile de lubrification, pompe principale entraînée par un réducteur auxiliaire de vitesse, pompe auxiliaire par un moteur vertical à CA, pompe de secours par un moteur vertical à CC. La pompe auxiliaire et celle de secours sont montées sur le corps du réservoir d'huile.

#### **II.4.3.1 Pompe mécanique (principale)**

La pompe principale d'huile de lubrification est une pompe volumétrique, placée sur la base du réducteur auxiliaire de vitesse est entraînée par un arbre creux cannelé de l'engrenage de commande inférieur. Le refoulement de cette pompe au système d'huile de lubrification est réglé par une vanne de réglage VPR-1.

#### **II.4.3.2 Pompe hydraulique auxiliaire 88HQ**

C'est une pompe entraînée par un moteur à courant alternatif, elle pressurise l'huile à une pression de 80 bars environ. Elle fonctionne pendant la séquence de démarrage de la turbine ou en cas de chute de pression hydraulique pendant la marche normale, cette pompe est commandée par l'interrupteur 63HQ-1, s'il y a une chute de pression en dessous d'un réglage prédéterminé des transmetteurs redondants de pression 63HQ-2 et 96HQ-3, un arrêt d'urgence de la turbine sera initié. Toutefois, au moins deux des trois interrupteurs (63HQ-1,-2,96HQ-3) doivent sentir la basse pression avant que la turbine soit arrêtée. [17]

#### **II.4.3.3 pompe auxiliaire**

La pompe auxiliaire PL-2 est de type centrifuge assure la pression requise au démarrage et à l'arrêt de la turbine à gaz lorsque la pompe principale ne peut pas offrir une pression suffisante pour l'exploitation en toute sécurité.

Cette pompe est mise sous le contrôle d'un pressostat de basse pression d'huile de lubrification 63QA-1 ou transmetteur de pression 96QA-1.

Ce pressostat ou transmetteur a une fonction de signalisation en plus des fonctions de démarrage. Les signaux de ce pressostat feront fonctionner la pompe d'huile de lubrification dans les conditions de basse pression comme dans le cas du démarrage ou arrêt de la turbine à gaz. C'est justement le cas où la pompe principale, entraînée par le réducteur auxiliaire de vitesse pourrait ne pas assurer la pression demandée.

#### II.4.3.4 Pompe d'urgence (88QE)

La pompe de secours type centrifuge fonctionne pour alimenter le collecteur des principaux paliers en huile de lubrification a l'arrêt d'urgence dans le cas où la pompe auxiliaire a été forcée de s'arrêter ou est incapable de maintenir à une pression adéquate l'huile de lubrification.

La pompe de secours n'est utilisée que pendant l'arrêt de la turbine, en effet le dimensionnement de la pompe et du moteur d'entraînement ne se fait pas pour fournir l'huile de lubrification en qualité requise pour le fonctionnement normal de la turbine. [17]



Figure II.11 Les pompes 88QA et 88QE. [13]

#### II.4.4 Le collecteur hydraulique

C'est un ensemble d'huile conçue pour assurer les moyens de l'interconnexion d'une série de petit composants, les sorties des deux pompes hydrauliques mécanique et auxiliaire se connectent a l'admission des collecteurs, l'ensemble contient :

- Une soupape de sureté VR-22 contrôle la pression de la sortie de la pompe hydraulique auxiliaire 88HQ.
- Une soupape de sureté VR-21 fait protéger la pompe hydraulique mécanique contre l'endommagement en cas de défaillance de leur compensateur de pression.
- Une soupape d'arrêt à chaque pompe, ces deux soupapes maintiennent les lignes hydrauliques pleines lorsque la turbine est arrêtée.
- Deux soupapes de purge d'air évacuent tout air présent dans les lignes de décharge de pompe.

- Un manomètre différentiel à travers le collecteur.

#### II.4.4.1 L'accumulateur hydraulique

L'accumulateur connecté à la sortie du collecteur, transporte l'huile à haute pression par des tuyaux au filtre. Cette huile à haute pression commande et fait protéger la turbine et ces composants en assurant en fonctionnement normal ou bien un arrêt d'urgence dans le cas de fonctionnement en risque par l'arrêt d'alimentation en gaz combustible, l'ensemble d'accumulateur absorbe aussi tout choc sérieux qui pourrait apparaître au démarrage des pompes d'alimentation .



Figure II.12 L'accumulateur hydraulique. [18]

#### I.4.5 Le système d'air de refroidissement et d'étanchéité

L'air est utilisé pour refroidir les différentes parties de la section de la turbine et pour pressuriser les joints d'huiles des paliers dans la turbine à gaz.

Les paliers principaux de la section de la turbine refroidie par l'air sont :

- Roue de la turbine du premier et deuxième étage.
- Directrice du premier étage.
- Carter du rotor de la turbine.
- Tubes à flammes, les pièces de transition et les paliers.

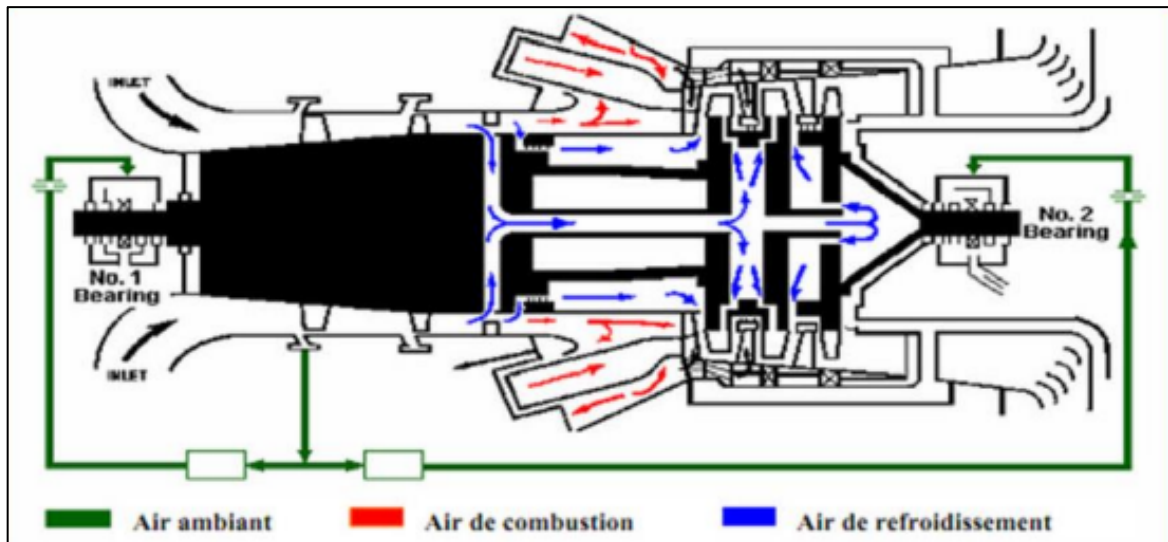


Figure II.13 Circuit d'air de refroidissement et d'étanchéité. [19]

## II.5 INSTRUMENTATION ET SÉCURITÉ DE LA TURBINE

### II.5.1 Mesure de pression

#### II.5.1.1 Le manomètre

Les manomètres utilisés sont de type de bourdon à indication locale, le principe de fonctionnement de ces capteurs est le suivant :

Le tube de bourdon est brasé, soudé ou vissé avec le support de tube qui forme généralement une pièce complète avec le raccord. Par l'intermédiaire d'un trou dans le raccord, le fluide à mesurer passe à l'intérieur du tube. La partie mobile finale du tube se déplace lors de changement de pression (effet Bourdon).

Ce déplacement qui est proportionnel à la pression à mesurer est transmis par l'intermédiaire du mouvement à l'aiguille et affiché sur le cadran en tant que valeur de pression.



**Figure II.14** Le manomètre. [20]

### II.5.1.2 Les pressostats

Un pressostat est un dispositif comprenant un commutateur électrique dans lequel le mouvement des contacts est réalisé pour une valeur prédéterminée de la pression du fluide.

Les pressostats utilisés sont des instruments robustes de haute fiabilité, ils sont munis d'un tube de Bourdon spécial ayant une excellente durabilité et de micro-interrupteurs à haute sensibilité.

On trouve deux modèles, celui à un contact et celui à deux contacts, ces pressostats sont de type résistant au feu par sa construction contre l'explosion. Ils sont montés sur la ligne d'alimentation de fuel gaz et utilisés pour les alarmes, pour donner une alarme en cas de très haute ou très basse pression, son principe de fonctionnement est le suivant :

Par l'action de tube Bourdon, le micro-interrupteur est entraîné directement pour ouvrir ou fermer le circuit. LA pression de tirage peut être changée en faisant glisser le porte-micro-interrupteur au moyen d'une vis de réglage.



Figure II.15 Le pressostat. [21]

### II.5.1.3 Les transmetteurs de pression

Il permet de convertir une pression différentielle en un signal pneumatique (électrique) proportionnel variant entre 0.2 et 1.0 Kg/cm<sup>2</sup> (4-20 mA). Sa sortie peut être connectée vers n'importe quel récepteur pneumatique (indication ou contrôle de mesure).

## II.5.2 Mesure de débit

### II.5.2.1 Transmetteur de débit

Pour mesurer le débit au niveau de la ligne de charge d'entrée on utilise un transmetteur de pression différentielle, le principe de fonctionnement est le suivant :

Le principe utilisé est celui de la technique capacitive à deux fils. La pression du procédé est transmise à travers les membranes isolantes et un fluide de remplissage constitué d'huile de silicone a une membrane détectrice placée au centre de la cellule. La membrane détectrice agit comme un ressort étiré qui fléchit en réponse à une pression différentielle qui la traverse.

Le déplacement de la membrane détectrice est proportionnel à la pression différentielle. Sa position est détectée par les plaques de condensateur qui sont situées de part et d'autre de la dite membrane. La différence de capacité entre la membrane détectrice et les plaques de condensateur est convertie électroniquement en un signal 4-20 mA.

Deux sources de pression agissent de chaque côté du capteur à diaphragme. Les différences de pression d'un côté à l'autre déplaceront le diaphragme et l'aimant qui lui est fixé en fonction du changement de débit. Un aimant à flèche, situé dans une cavité séparée du corps est mis en rotation par le mouvement de l'aimant du capteur et indique la pression différentielle sur le cadran d'un galvanomètre. [22]



Figure II.16 Transmetteur de pression différentielle. [23]

## II.5.3 Mesure de Température

### II.5.3.1 Le thermocouple

Les thermocouples est la réunion de deux métaux différents par une soudure chaude soumis à la différence de la température  $\Delta T$ . Ils sont utilisés pour assurer et indiquer la température.

Ils permettent la mesure dans une grande gamme de température, leur principal défaut est une mauvaise précision, il est relativement difficile d'obtenir des mesures avec une erreur inférieur à  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  .Il existe deux fonctions distinctes dans l'utilisation de ces appareillages :

- Indication de température de peau des tubes.
- Indication de température des fluides.

La mesure de température par des thermocouples est basée sur l'effet Seebeck.



**Figure II.17** Le thermocouple. [24]

### **II.5.3.2 Les thermostats**

Les thermostats ou contacteurs de température sont des appareils capables de détecter le franchissement d'un seuil de température utilisés pour protéger des systèmes, appareils contre les températures qui sont susceptibles de provoquer des anomalies. Ils sont constitués d'un bulbe sensible + capillaire sur soufflet ou membrane. Le liquide se trouvant à l'intérieur de la sonde se dilate sous l'action de la température, ceci provoque une pression qui s'exerce sur le piston qui à son tour agit sur le micro-switch. La distance entre le micro-switch et le piston caractérise le seuil de thermostats. Cette distance est commandée par une vis de réglage de seuil.

### **II.5.4 Les détecteurs de flammes à Ultraviolet**

La détection de flamme est un facteur de déclenchement de la turbine. Ceci est assuré par des détecteurs de flamme à Ultraviolet rempli d'un gaz qui réagit à la présence du rayonnement UV d'une flamme d'hydrocarbure. Lorsqu'une flamme est présente, l'ionisation du gaz dans le détecteur permet la conductivité dans le circuit qui active la partie électronique. L'absence de flamme produit un résultat opposé qui définit ' sans flamme '.

Le système de détection de flamme est considéré comme l'un des systèmes de protection de la turbine, il sert à détecter la flamme dans les chambres de combustion ce système a pour rôle de :

Protéger la turbine pendant le démarrage, au démarrage le combustible est enflammé par les bougies d'allumage a environs 20% de la vitesse nominale .Si les bougies d'allumage fonctionnent pendant une minute , le détecteur de flamme doit détecter après ce délai la présence

d'une flamme dans la chambre de combustion, sinon la tentative de démarrage est interrompue en fermant la vanne d'arrêt de combustible et la désexcitation du circuit de d'allumage.

Protéger la turbine contre la disparition de flamme, pour que la turbine se mets à l'arrêt pendant le fonctionnement, il faut que les deux détecteurs annoncent la disparition de la flamme. Si un seul détecteur annonce la disparition de la flamme la turbine continue à fonctionner. [25]



Figure II.18 Le détecteur de flamme a UV. [13]

### II.5.5 Détecteur de vibration

Dans la turbine MS5002C, le détecteur de vibration est un composant utilisé pour surveiller et détecter toute anomalie dans le fonctionnement de la turbine. Les détecteurs de vibration dans cette turbine à gaz sont généralement des capteurs spéciaux conçus pour mesurer les vibrations générées par les composants rotatifs de la turbine, tels que les rotors, les paliers et les pales. Ces capteurs peuvent être placés à des endroits stratégiques à l'intérieur de la turbine pour surveiller différents points critiques ils ont le même principe que celui de vitesse, un noyau en fer doux, entouré d'un bobinage, se trouve directement en face du rotor de la turbine dont il est séparé par un mince entrefer.

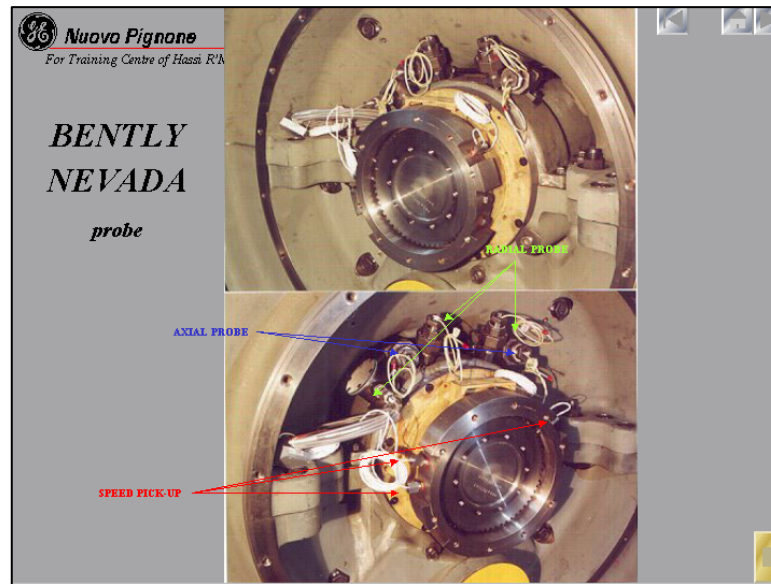


Figure II.19 Détecteur de vibration. [13]

### II.5.5.1 Protection contre les vibrations

Le système de protection contre les vibrations de la turbine se compose de 12 capteurs, le système détecte deux niveaux de vibration :

- Un niveau qui provoque une alarme mais n'interrompt pas le fonctionnement de la turbine.
- Un niveau trop élevé qui provoque l'arrêt de la turbine.

### II.5.6 Capteur de vitesse

La sonde de vitesse consiste d'une bobine électrique et d'un aimant permanent, la bobine est placée en regard d'un disque (roue d'entrée). Le défilement des continuités magnétiques portées par le disque en rotation provoque une variation périodique de la réluctance du circuit magnétique de la bobine qui induit dans celle-ci une force électromotrice d'induction, de fréquence.

Avec les 60 dents des roues HP et BP, la fréquence en sortie en Hz est exactement égale à une révolution par minute et donc la tension est une fonction directe de la vitesse.



**Figure II.20** Capteur de vitesse. [26]

### II.5.6.1 Protection contre la survitesse

La protection de la turbine contre la survitesse est assurée par 4 capteurs de vitesse, montés au voisinage de la roue denté (60 dents) qui se trouve dans la partie avant de l'arbre du compresseur.

### II.5.7 Les capteurs de niveau

La détection de niveau a pour but de signaler une certaine hauteur du liquide (l'huile).

Les applications les plus fréquentes consistent à détecter les niveaux des réservoirs pleins ou vides. Dans notre cas ils sont placés dans les carters de la turbine, en utilisant les principes de mesures suivants :

- Flotteur.
- Plongeur ou masse de déplacement.

La détection d'un niveau haut ou bas peut permettre la commande d'une alarme ou la sécurité de la turbine. [27]

## II.6 LE COMPRESSEUR CENTRIFUGE

### II.6.1 Généralité

Le compresseur centrifuge BCL est un type spécifique de compresseur centrifuge fabriqué par Siemens Energy. BCL signifie "Barrel Compressor, Low Pressure", ce qui se traduit approximativement par "Compresseur à barillet, basse pression".

Ce compresseur est conçu pour être utilisé dans des applications où des débits de gaz importants doivent être comprimés à des pressions relativement basses.

Le compresseur centrifuge BCL est réputé pour sa fiabilité, son efficacité énergétique et sa capacité à gérer des conditions de fonctionnement variables. Il est conçu pour offrir des performances optimales dans un large éventail de conditions de processus et est souvent utilisé dans des applications où la compression de grands volumes de gaz à des pressions relativement basses est nécessaire.

Le gaz est aspiré par le compresseur à travers la bride d'aspiration, il entre dans une chambre annulaire (volute d'aspiration) et converge uniformément vers le centre. Dans la chambre annulaire, du côté opposé à la bride d'aspiration existe une ailette pour éviter la formation de tourbillons de gaz. Le gaz passe ensuite dans la première roue pour augmenter sa vitesse.

Ensuite d'un mouvement en spirale, le gaz parcourt une chambre circulaire formée d'un diffuseur pour augmenter sa pression aux dépens de sa vitesse. Le gaz passe ensuite par un canal de retour, celui-ci est une chambre circulaire délimitée par deux anneaux formant le diaphragme intermédiaire qui a pour tâche de rediriger le gaz vers l'aspiration de la roue suivante.

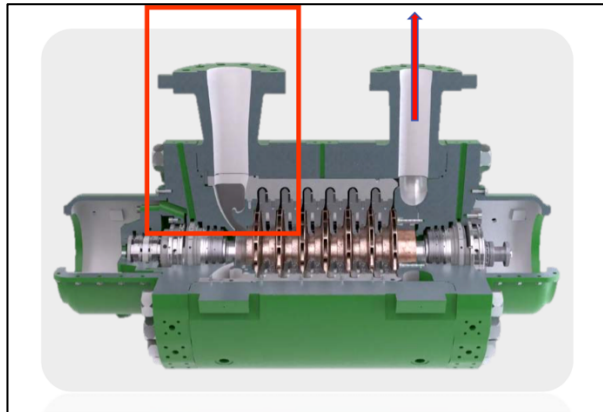


**Figure II.21** Le compresseur centrifuge BCL. [28]

### **II.6.2 La section d'aspiration**

C'est la partie du compresseur où l'air ou le gaz est aspiré avant d'être comprimé. Le but de l'étage d'aspiration est de transporter le gaz dans la première roue avec de faible perte de charge et une pression uniforme. L'étage d'aspiration à une nageoire positionné du côté opposé

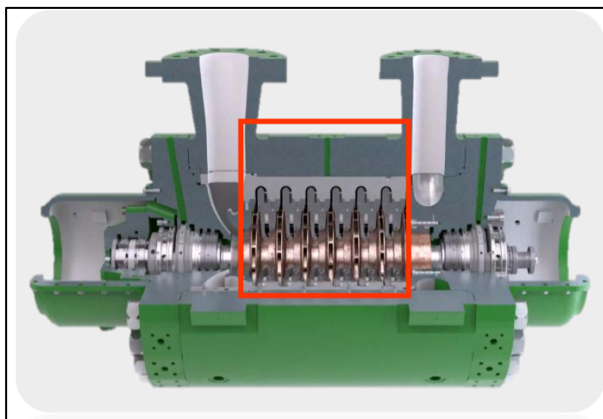
de la bride d'aspiration, qui divise l'écoulement du gaz pour éviter son recyclage dans la volute d'entrée.



**Figure II.22** La section d'aspiration. [29]

### II.6.3 La section intermédiaire

La section intermédiaire est entre celle d'aspiration et de décharge ; leur nombre dépend de nombre de roue installé sur l'arbre. La 1<sup>ère</sup> partie forme les passages de diffusion à travers lesquels l'énergie cinétique du gaz est transformée en pression, et la 2<sup>ème</sup> partie forme les passages de retour pour porter le gaz vers l'ouïe de la roue qui suit.



**Figure II.23** La section intermédiaire. [29]

### II.6.4 La section de décharge

La section de décharge de la voie de gaz est la connexion entre les parties intérieures du compresseur et la tuyauterie. La partie la plus importante est la volute de décharge. La volute de décharge est installée après le dernier diffuseur et transporte le gaz dans la tuyauterie de décharge.

La volute à une section variable pour conférer de faibles pertes de charge afin d'éviter de diminuer la pression. Un aileron est généralement installé près de la bride de décharge pour empêcher la recirculation du gaz à l'intérieur de la volute.

### II.6.5 Les caractéristique du compresseur BCL 605

Le tableau suivant représente les caractéristiques du compresseur centrifuge BCL 605.

**Tableau II.2** Les caractéristique du compresseur BCL 605. [30]

Débit		3958 Kg/ min
Admission	Pression	24.8 Kg/cm <sup>2</sup>
	Température	40° C
Refoulement	Pression	76.7 Kg/cm <sup>2</sup>
	Température	150° C
Taux de compression		3
Pression différentielle		52 Kg/cm <sup>2</sup>
Vitesse du compresseur		8900 Tr/min
Puissance		14500 Kw
Nombre d'étage		5
Diamètre des roues		600 mm

### II.6.6 Le système de protection anti-surge (anti-pompage)

Le but du système de contrôle anti-surge est d'empêcher le point de fonctionnement, à chaque vitesse respective, de dépasser la ligne limite de surtension SLL.

Dans le même temps, le système de contrôle anti-surge permet au compresseur de maintenir une plage de travail sûre. L'ouverture de la soupape anti-surge provoque une augmentation du débit d'aspiration du compresseur qui réduira la pente de la courbe de résistance externe du système, de sorte que le point de travail de la machine reste en toute sécurité à droite du débit de surtension critique.

Afin de maintenir le fonctionnement du compresseur dans une plage de fonctionnement sûre, tous les compresseurs centrifuges sont équipés d'un système anti-surtension.

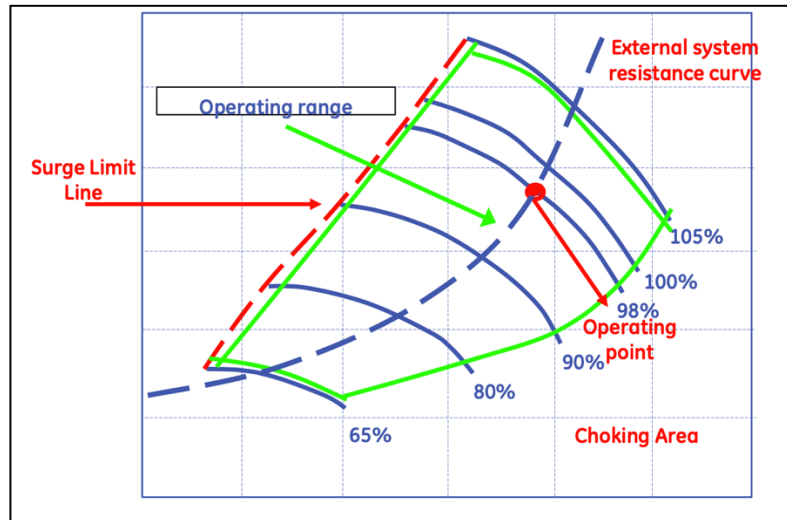


Figure II.24 La courbe du système anti-surge. [31]

### II.6.7 La vanne anti-surge

Il s'agit d'une vanne de régulation, pour éviter un recyclage excessif de l'écoulement qui réduira la sortie de la machine. Recycle le flux de la décharge à l'aspiration afin de réduire la résistance du système. Cv de cette valve, selon la course, est d'abord équexponentiel, pour une régulation en douceur, puis linéaire, pour la protection. Est une vanne ouverte de défaillance elle est équipée d'une électrovanne pour une ouverture rapide. La vanne anti-surge entièrement ouverte est un permissive de démarrage.

Pendant le démarrage, la soupape anti-surge reste entièrement ouverte jusqu'à ce que le compresseur atteigne le MOS, une fois cette vitesse atteinte, la vanne tourne en contrôle, en fonction de l'endroit où se trouve le point de fonctionnement.

Dès que la séquence d'arrêt commence, la vanne anti-surge devient immédiatement complètement ouverte pour éviter les surtensions.



**Figure II.25** La vanne anti-surge. [32]

## II.7 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté la turbine à gaz MS5002C ainsi que ses différentes sections. Ensuite, nous avons abordé les différents systèmes auxiliaires de la turbine tels que le système d'huile de lubrification, le système de commande, le système d'alimentation en combustible à gaz et le système de démarrage.

Les coûts élevés des turbines à gaz imposent l'utilisation d'une haute technologie d'instrumentation et de sécurité. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons discuté de cette instrumentation et des systèmes de protection utilisés pour éviter toute dégradation de la turbine en cas de dysfonctionnement.

En conclusion, nous avons abordé le compresseur centrifuge BCL accouplé à cette turbine à gaz, qui représente un élément crucial de ce processus industriel. Nous avons exploré ses différentes sections ainsi que le système de protection anti-surge.

# **CHAPITRE III : SYSTÈME DE CONTRÔLE MARK VIÉ**

### III.1. INTRODUCTION

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

La ToolboxST est utilisée pour le système Mark VIe et d'autres contrôles relatifs, comme une plateforme logicielle commune pour la programmation, la configuration des E/S, l'établissement des tendances et l'analyse des diagnostics. Elle fournit des données caractérisées par une qualité unique et une cohérence temporelle au niveau du contrôleur et de l'installation afin de gérer de manière efficace les équipements.

Ce chapitre a pour objectif de décrire comment les besoins de régulation et de contrôle de la turbine à gaz sont assurés par ce système de contrôle et de protection Mark VIe SPEEDTRONIC afin de garantir durabilité et performance optimale.

### III.2 L'ARCHITECTURE DU MARK VIe

Le système Mark VIe est basé sur un contrôleur monocarpe. Il comprend le processeur principal, des pilotes Ethernet redondant permettant la communication avec les E/S en réseau, et de pilotes Ethernet supplémentaires pour le réseau de contrôle. Un système d'exploitation QNX multitâches, en temps réel est utilisé pour le processeur principal et les E/S. Le logiciel d'application est fourni dans un langage de bloc de contrôle configurable et il est stocké dans une mémoire non volatile. Il est conforme au format à virgule flottante à 32 bits IEEE-854.

IO Net est un protocole ponctuel bidirectionnel simultané dédié qui fournit un réseau déterministe de télécommunication à 100 MB à haute vitesse, adéquat pour les E/S locales ou à distance avec une interface par fibres optiques. Il est utilisé pour communiquer entre le(les) processeur(s) principal (principaux) et les blocs E/S interconnectées en réseau, appelés modules E/S.

Chaque module E/S est monté sur une carte avec des borniers du type à vis ou à coffret. Le module E/S contient deux ports Ethernet, un bloc d'alimentation, un processeur local, et une carte d'acquisition des données. La puissance de calcul augmente au fur et à mesure que les modules E/S sont ajoutés au système de contrôle en permettant d'atteindre un taux d'encadrement de tout le système de contrôle de 10 ms dans une configuration simplex, à double et à triple redondance. Il est naturel que certains sous-systèmes de processus demandent des

performances encore plus enlevées ; c'est la raison pour laquelle, les processeurs locaux dans chaque module I/O exécutent des algorithmes à des taux plus enlevés suivant ce qui est demandé pour l'application.

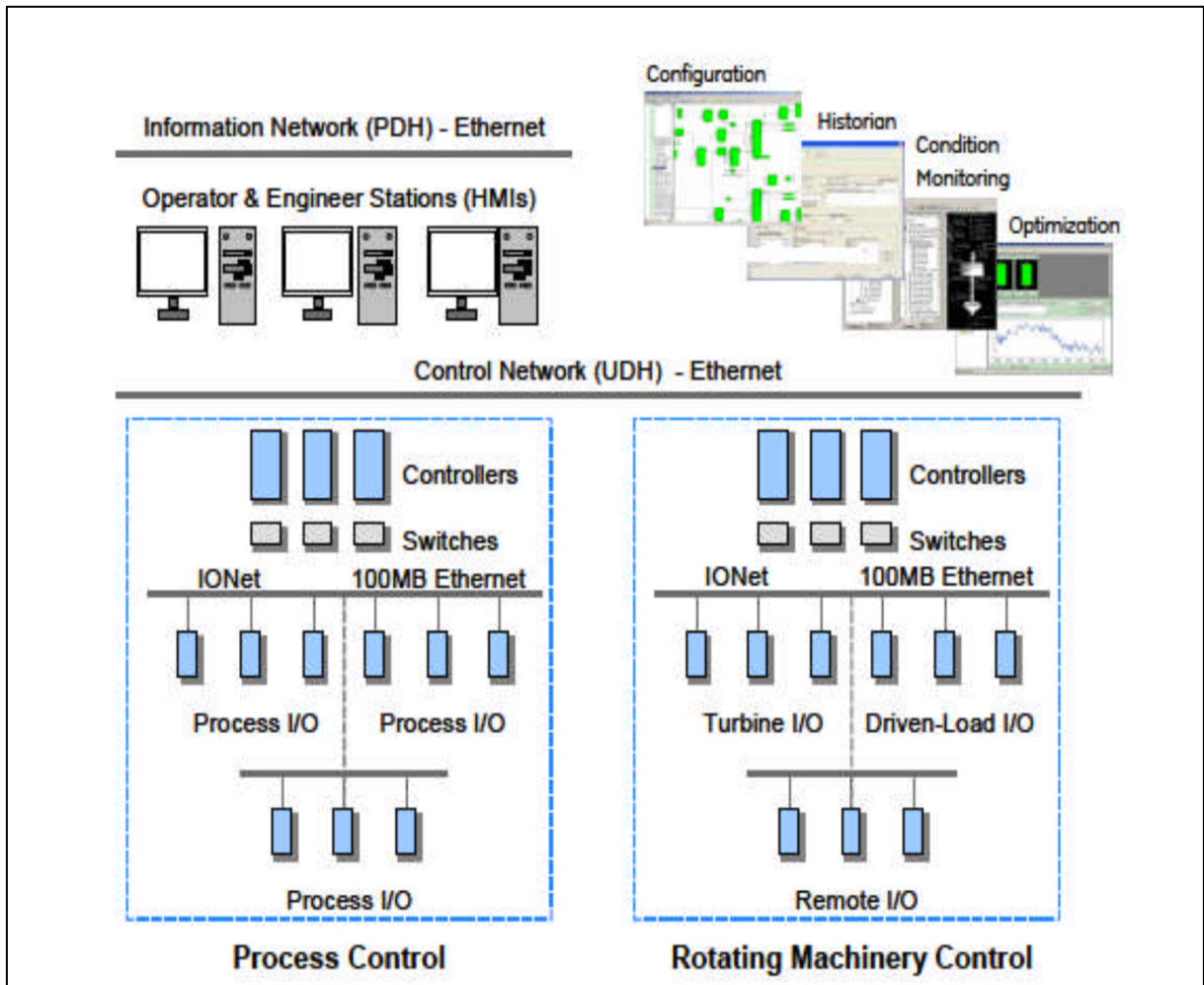


Figure III.1 L'architecture de système. [33]

### III.2.1 Les modules E/S (I/O packs)

Le module d'E/S (PAIC) analogique fournit l'interface électrique entre un ou deux réseaux Ethernet d'entrée/sortie (E/S) et une carte terminale d'entrée analogique. Il contient une carte de processeur commune à tous les modules d'E/S Mark\* VIe commercialisés et une carte d'acquisition spécifique à la fonction d'entrée analogique. Ce module est capable de prendre en charge jusqu'à 10 entrées analogiques, sur lesquelles les 8 premières peuvent être configurées comme des entrées de  $\pm 5$  V ou de  $\pm 10$  V, ou des entrées de boucle de courant de 0-20 mA. Les deux dernières entrées peuvent être configurées comme des entrées de boucle  $\pm 1$  mA ou 0-20 mA. Les résistances terminales de charge pour les entrées de boucle de courant sont situées sur la plaque à bornes et la tension est détectée vers ces résistances par le module

PAIC. Le système PAICH1 prend également en charge deux entrées de boucle de courant de 0-20 mA. Le PAICH2 comprend du matériel supplémentaire pour prendre en charge un courant de 0-200 mA au niveau de la première sortie.



Figure III.2 Les I/O packs.

### III.2.2 Les borniers

La circulation des signaux commence à l'aide d'un capteur connecté à un bornier sur une carte. Il y a deux types de cartes disponibles. Les cartes du type T contiennent deux borniers amovibles, du type à vis, à 24 points. Chaque point peut accepter deux fils de 3.0 mm<sup>2</sup> avec une isolation de 300 V par point avec des cosses du type à fourche ou à anneau. De plus, des brides prisonnières sont fournies pour les fils nus de raccordement. L'espacement entre les vis est de 9.53 mm (0.375 pouce) minimum, d'axe en axe.

Les plaques à bornes de type S prennent en charge un module d'E/S pour les systèmes unidirectionnels et pour les systèmes doubles redondants. Elles sont deux fois plus petites que les plaques de type T et sont montées sur socle en version standard. Elles peuvent également être montées sur rails DIN. Il existe deux versions de plaques, l'une dispose de borniers Euro-type fixes alors que l'autre dispose de borniers amovibles. Les borniers des plaques de type S acceptent un fil de 2,05 mm (AWG n° 12) ou deux fils de 1,63 mm (AWG n° 14), avec pour chacun un isolement de 300 V par point. L'espacement minimal entre les axes des vis est de 5,08 mm (0,2 pouces).

Les plaques larges et les plaques étroites sont disposées en colonnes verticales de câblage pour les différents niveaux de tension. Une plaque contenant des relais électromagnétiques avec circuits protégés par fusibles pour actionneurs.

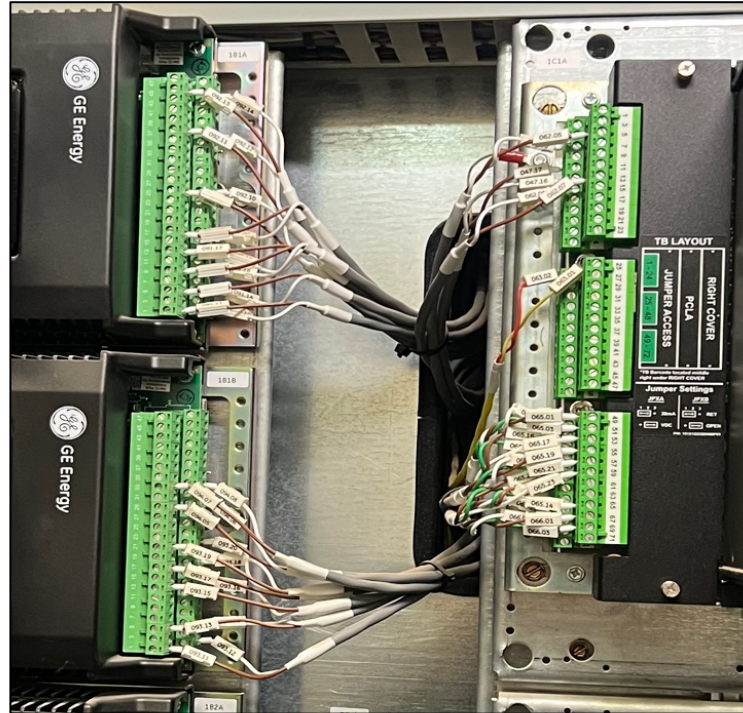


Figure III.3 Les borniers.

### III.2.3 Le contrôleur

Les contrôleurs Mark\* VIe UCSx constituent une gamme d'ordinateurs autonomes exécutant le code d'application. Le contrôleur est monté sur un panneau et communique avec les modules d'E/S via des interfaces réseau d'E/S intégrées. Le contrôleur utilise un système d'exploitation multitâche en temps réel, conçu pour des applications industrielles très fiables et très rapides. Cinq ports de communication fournissent des liens vers les E/S et vers les interfaces (ingénieur+opérateur).

Les contrôleurs disposent également de deux pilotes Ethernet pour permettre au réseau de contrôle une communication poste à poste avec d'autres systèmes Mark VI, Mark VIe et des systèmes de contrôle d'excitation EX2100, ainsi qu'avec des postes opérateurs et de maintenance. Les contrôleurs peuvent être synchronisés entre unités, ou à une source de synchronisation locale ou distante pour permettre une surveillance précise des séquences d'événements dans l'ensemble de l'usine. [34]



Figure III.4 Le contrôleur. [35]

### III.3 LA COMMUNICATION

#### III.3.1 I/O Net

La communication entre le contrôleur et les modules E/S est exécutée à travers l’IO Net interne. C’est un réseau Ethernet à 100 MB disponible au sein de configurations sans redondance, à double et à triple redondance. Le protocole Ethernet Global Data (EGD) et d’autres protocoles sont utilisés en vue de la communication. EGD se base sur le standard UDP/IP (RFC 768). Les paquets EGD sont diffusés au taux de trame du système à partir du contrôleur vers les modules E/S, qui répondent avec des données d’entrée.

I/O Net satisfait la norme IEEE 802.3. Il est fourni comme 100BaseTx et 100BaseFx (fibre optique) pour de plus grandes distances, antibruit, immunité à la foudre, et immunité de masse. Une topologie en étoile est utilisée avec le contrôleur à une extrémité, un commutateur de réseau au milieu, et les modules E/S à la fin.

#### III.3.2 La communication avec DCS

Des liaisons de communication externe sont disponibles pour communiquer avec le système de contrôle distribué (DCS) du site. Cela permet à l’opérateur du DCS d’accéder aux données temps réel de Mark VIe et permet de transmettre au contrôleur Mark VIe des commandes unitaires et des commandes analogiques.

Le contrôleur Mark VIe peut être relié au DCS du site de trois manières différentes :

- Liaison série Modbus esclave vers le DCS à partir du port RS-232C du serveur d’IHM ou à partir du contrôleur de passerelle dédié.
- Lien Ethernet à haut débit (100 Mbit/s) utilisant l’esclave Modbus sur protocole TCP/IP;

- Lien Ethernet à haut débit (100 Mbit/s) utilisant le protocole TCP/IP avec une couche application appelée GEDS Standard Messages « GSM ».

L'application « GSM » prend en charge le contrôle-commande de la turbine, les données et les alarmes Mark VIe, la fonction d'extinction d'alarme sonore, les événements logiques et la trace des événements en entrée avec une résolution d'1 ms. Modbus est très répandu pour assurer la liaison avec le DCS, mais « Ethernet GSM » a l'avantage d'être une application plus étroitement intégrée au système. [36]

### III.3.3 L'interface Homme-Machine (HMI)

Les HMI typiques sont des ordinateurs fonctionnant sous le système d'exploitation Windows avec des pilotes de communication pour les bus de données à haut débit et le logiciel d'affichage opérateur CIMPLICITY. L'opérateur génère des contrôles à partir des écrans graphiques temps réel et visualise les données et les alarmes de la turbine en temps réel sur les écrans graphiques CIMPLICITY. L'application boîte à outils courante permet d'effectuer des diagnostics d'E/S détaillés et d'obtenir la configuration du système. Une HMI peut être configurée comme un serveur ou un Viewer contenant des outils et des programmes utilitaires.

Il est possible de lier une HMI à un réseau de données à haut débit ou de faire appel à des cartes d'interface réseau redondantes pour relier l'IHM aux deux réseaux de données dans le but d'augmenter la fiabilité. Il est possible de monter l'IHM en armoire, sur un pupitre de contrôle ou sur une table.

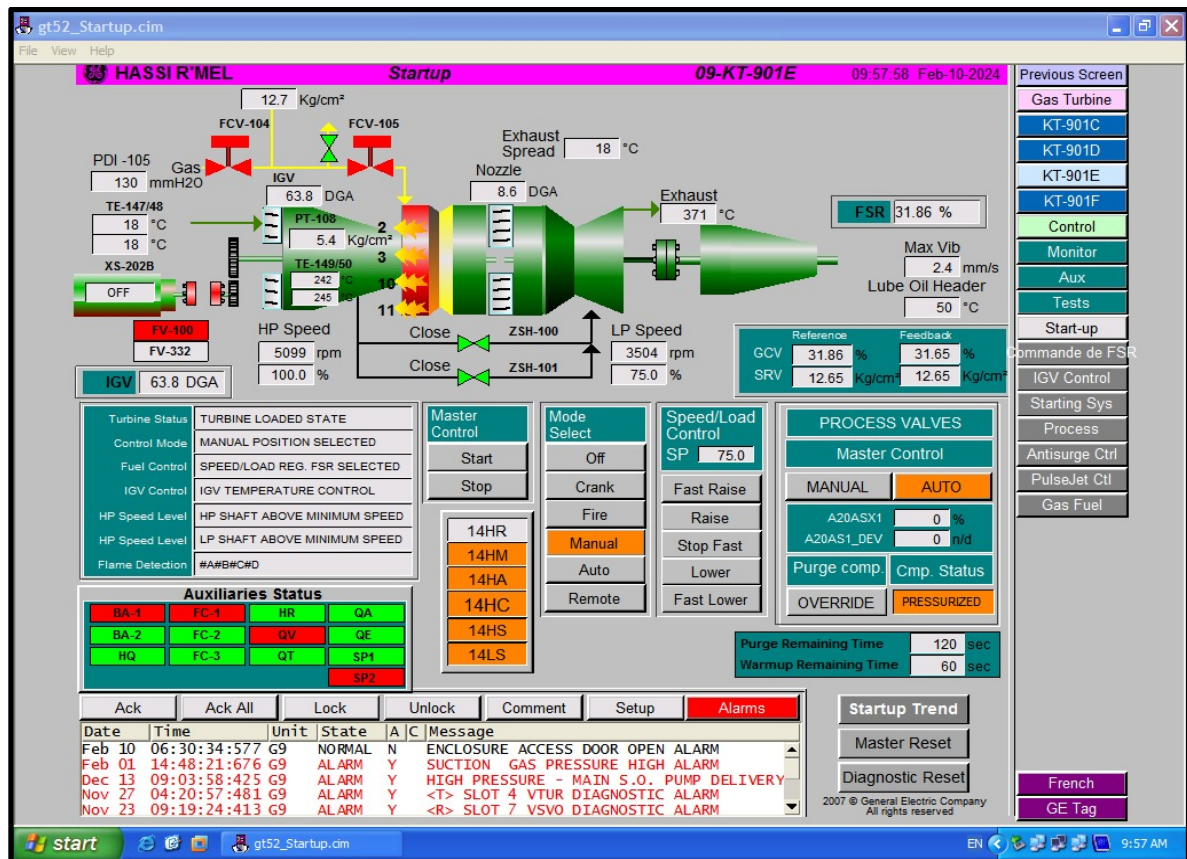


Figure III.5 L'interface homme-machine HMI. [37]

## III.4 LA BOITE A OUTILS TOOLBOX

### III.4.1 Définition

La boîte à outils Toolbox du système de commande Mark VI e est un produit de GE Control System Solutions, c'est un logiciel à base de microprocesseurs utilisé pour configurer et maintenir l'équipement de commande. L'application toolbox est une application s'exécutant sous Windows. Le logiciel de boîte à outils configure différents équipement de régulation. Par conséquent, chaque ensemble de produit peut se composé de la boîte à outils, des fichiers produits pour le contrôleur ou le pilot, l'historien de donné et des fichiers produit pour la base de donnée système.

Il est dédié à la maintenance, toute modification de programmes, graphes.... se fait au niveau de Toolbox. Les fonctions primaires de l'application Toolbox comprennent :

- Éditeur graphique pour la configuration du code d'application.
- Support pour blocs, macros et librairie de modules.
- Organigramme bloc de données en ligne.
- Modification du code (forçage des signaux) en ligne.
- Fichier d'aide en ligne.

- Configuration et surveillance des E/S.
- Gestion des signaux.
- Gestion des fichiers multi utilisateurs.
- Génération des rapports.

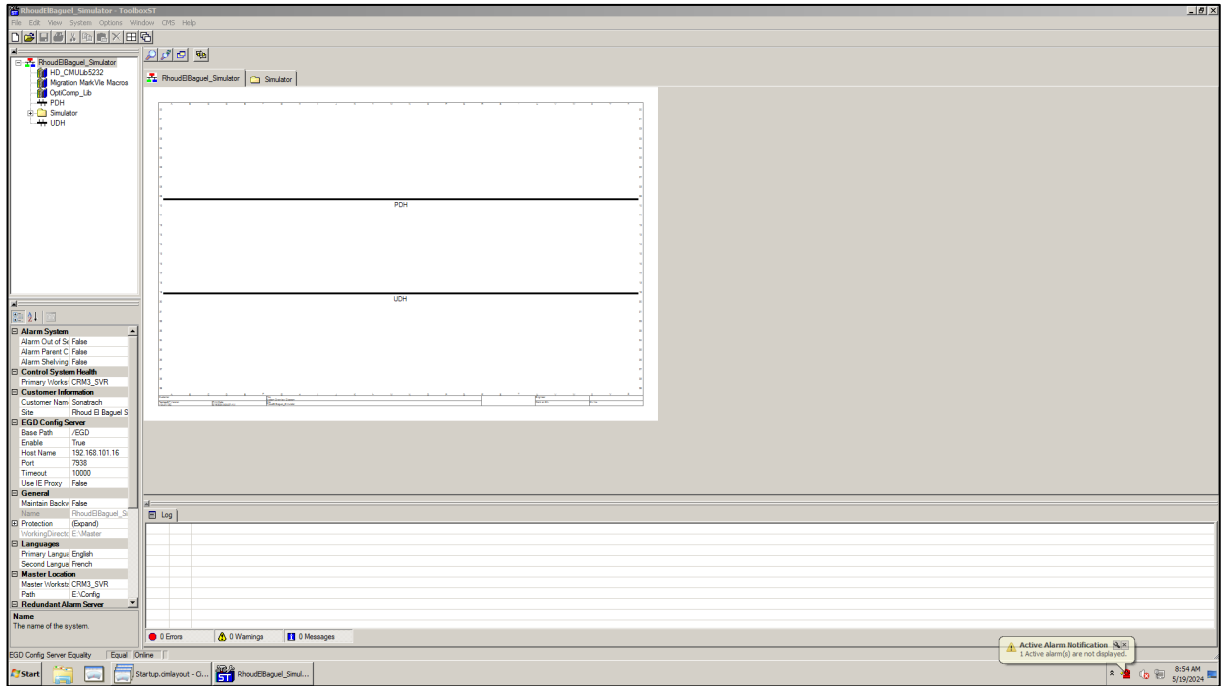


Figure III.6 L'espace de travail Toolbox.

### III.4.2 Les étapes à suivre pour accéder à un programme

Pour accéder à un programme au quelle la turbine est soumise et pour pouvoir visualiser toutes les séquences, il suffit de suivre les étapes suivantes :

- Cliquer sur le bureau Windows, Tous les programmes, GE Control System Solutions, et Control System Toolbox.
- Cliquer sur (File) puis sur (Open), après on cherche le dossier Local HMI dans laquelle sont incluses les différentes Unités, on sélectionne l'unité voulu.
- On clique sur l'icône de recherche (jumelle), une fenêtre s'affiche permettant d'écrire le tag de la séquence qu'on veut visualiser.
- Dans notre exemple on veut visualiser la séquence de la vanne SRV, donc on saisit son tag fsgr (la position de SRV %), on coche (include diagrams), et on clique sur Find.

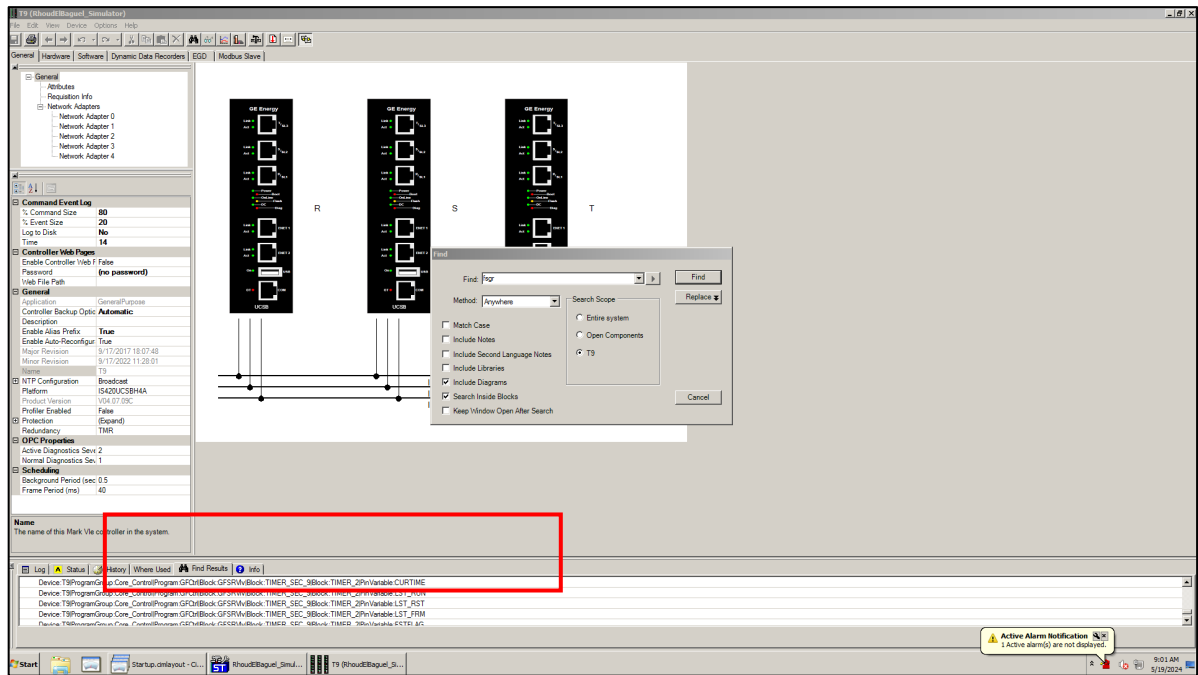


Figure III.7 La fenêtre de saisie des tags ainsi les résultats de recherche.

- Une fenêtre apparaît contient les rungs (échelons du programme Ladder), ou notre signal recherché (fsgr) est inclut.
- La séquence apparaît selon le signal recherché.

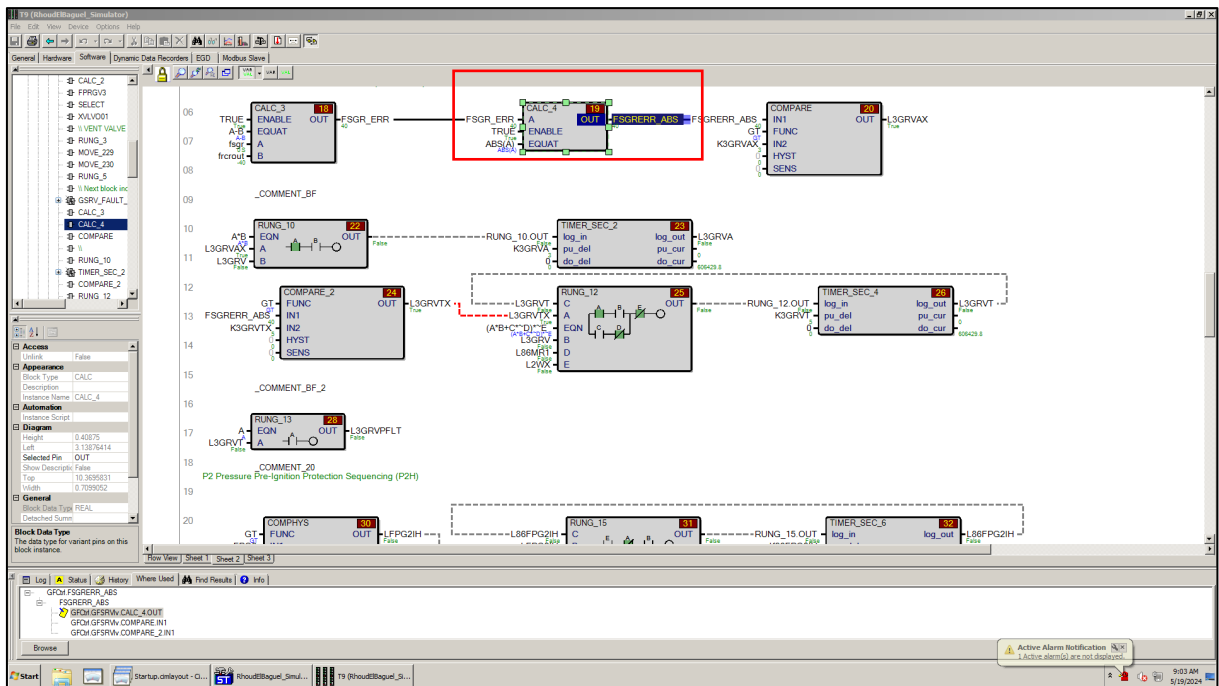


Figure III.8 La fenêtré des rungs du signal recherché.

### III.4.3 Visualisation des trends

Pour visualiser les variations des signaux en fonction du temps (trends, Coubes) durant une séquence donnée, il faut suivre les étapes suivantes :

- Cliquer sur le bouton Windows Start, Programme, GE Control System Solutions, et Control System Toolbox.
- Cliquer sur (File) puis sur STRTUP trend l'icône suivante s'affiche.
- Dans la fenêtre sélection visuel des signaux, on sélectionne les signaux qui nous intéresse, en cochant les cases correspondantes, et on valide notre choix en cliquant sur OK.

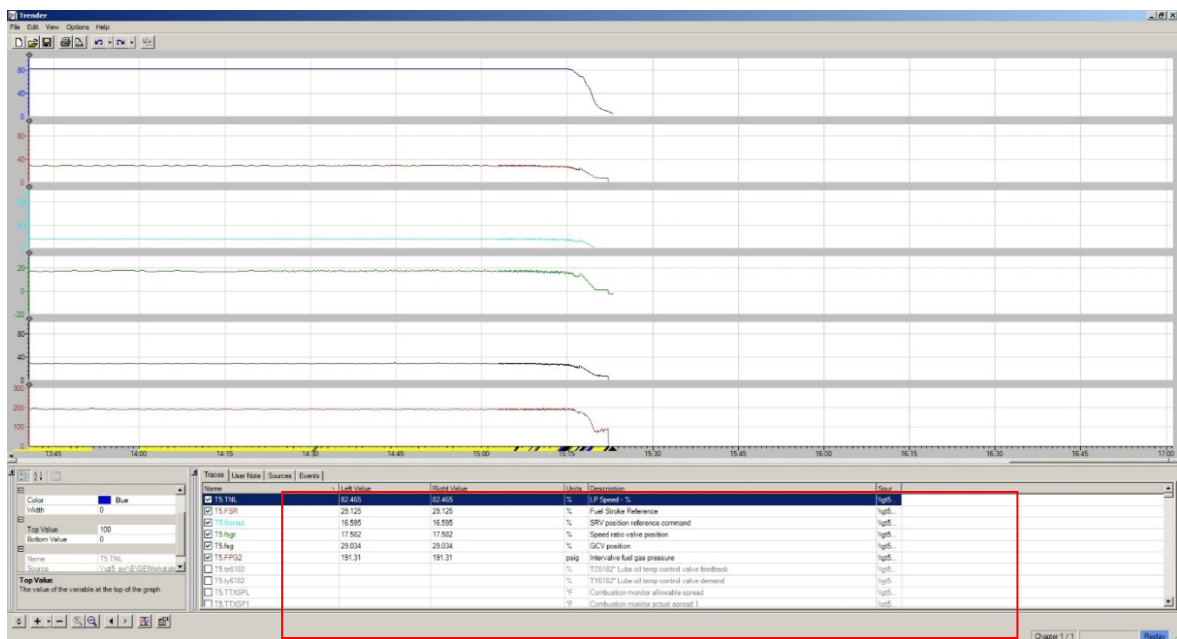
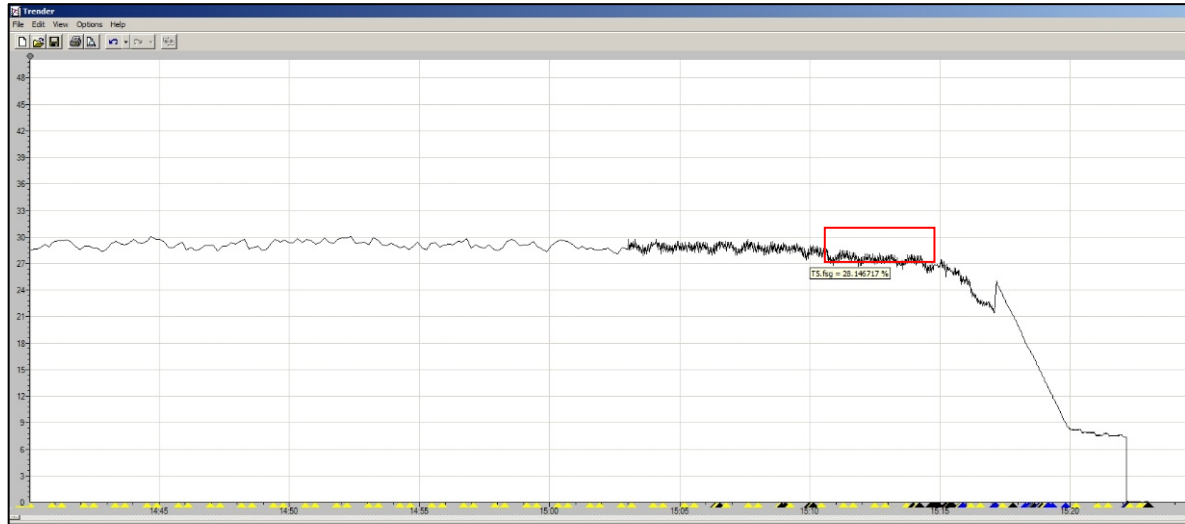


Figure III.9 La fenêtre de choix des trends de différents signaux.

A l'aide du curseur, on peut avoir la valeur de l'importe quelle signal qu'on veut en ligne en fonction du temps.



**Figure III.10** Le trends d'un signal choisi.

### III.5 LE SYSTEME DE SURVEILLANCE BENTLY NEVADA 3500

#### III.5.1 Généralité

Le système de surveillance 3500 peut faire bien plus que simplement acquérir et afficher les données. Il peut aussi assurer un rôle de protection en comparant les états des machines et du procédé avec des niveaux d'alarmes prédéterminés. Un signalement des conditions susceptibles de dépasser les niveaux d'alarmes peut faire passer une machine en mode de fonctionnement sûr. C'est ce qu'on appelle couramment déclenché, ou arrêter la machine, en fournissant des signaux ou des variations de signal aux appareils de contrôle des machines.

Les voies relais du 3500 ne sont pas câblées en dur jusqu'au rack mais elles fonctionnent selon des énoncés logiques. Ces énoncés sont des combinaisons logiques de signaux de déclenchement d'alarmes produits par des dépassements de seuils. La configuration du signal de déclenchement d'alarme et le logique relais doivent être considérées avec attention en tenant compte des changements de relais de surveillance et du fonctionnement des relais.

Le système de surveillance 3500 peut déclencher un changement d'état des relais suite à n'importe quelle combinaison d'états d'alarmes des machines. Par exemple, le dialogue d'association de relais (Relay Association). D'autres combinaisons de données du procédé, comme la température ou la pression, peuvent aussi être utilisées en même temps que des conditions vibratoires pour fournir une protection des machines sans intervention humaine. [38]

#### III.5.2 Le système moniteur

Le système de moniteurs 3500 aide à l'analyse et la protection / gestion des machines en traitant les signaux des transducteurs pour fournir des variables comme l'amplitude 1X, la phase 1X, l'amplitude 2X, la phase 2X, l'amplitude Non-1X, et Smax.

Ces données supplémentaires en plus des vibrations directes et de l'entrefer s'ajoutent aux capacités de protection et d'analyse et peuvent être affichées dans différents formats parmi lesquels l'affichage LCD /93, l'affichage VGA /94, l'affichage intégré /95, et le System.

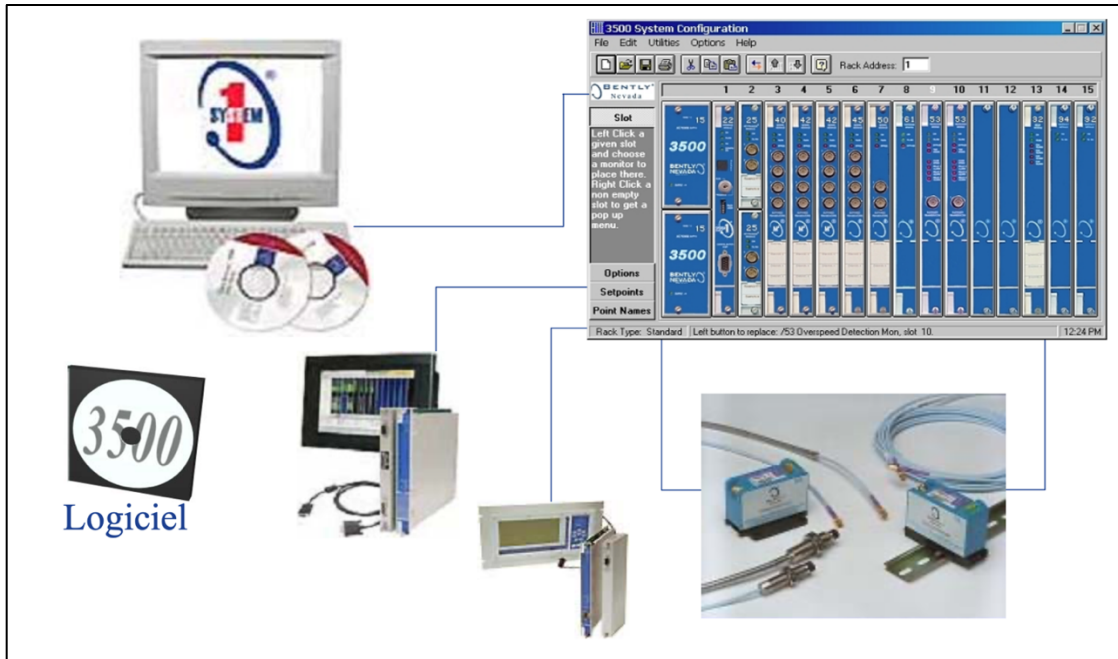


Figure III.11 Le système moniteur. [39]

### III.5.3 Le moniteur sismique/ Proximitor

Le moniteur sismique/Proximitor 3500/42M est un moniteur à quatre voies qui accepte les entrées des capteurs de proximité et sismiques, il traite le signal afin de prendre différentes mesures de vibrations et de position, et compare les signaux traités avec les alarmes programmables par l'utilisateur. Chaque voie du 3500/42M peut se programmer à l'aide du logiciel de configuration du rack 3500 pour réaliser une des fonctions suivantes :

- Vibrations radiales.
- Position axiale.
- Dilatation différentielle.
- Accélération et Vitesse.
- Accélération 2 et Vitesse 2.
- Excentricité à basse vitesse.
- Mesures absolues d'arbres.
- Régions d'acceptations circulaires (CAR).
- Fournir une sortie enregistrement 4-20 mA.



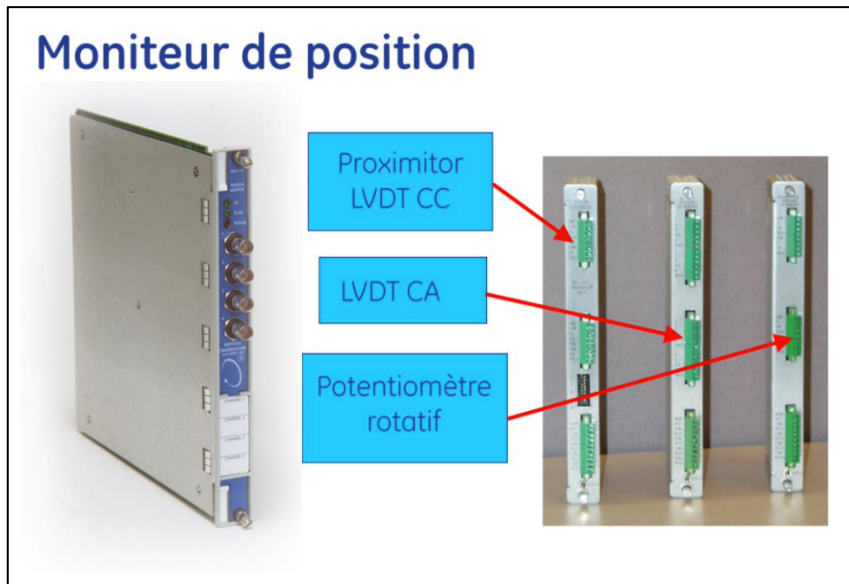
Figure III.12 Le moniteur sismique. [39]

#### III.5.4 Le moniteur de position

Le moniteur de position 3500/45 est un moniteur à quatre voies qui accepte les données des transducteurs de proximité, des transformateurs différentiels à variable linéaire (LVDTs CC & CA) et des potentiomètres rotatifs. Et il utilise ces données pour déclencher les alarmes.

Le 3500/45M peut se programmer à l'aide du logiciel de configuration du rack 3500 pour réaliser une des fonctions suivantes :

- Position axiale.
- Dilatation différentielle.
- Dilatation différentielle à une seule rampe standard et non standard.
- Dilatation différentielle double rampe.
- Dilatation différentielle à entrée complémentaire.
- Dilatation corps de machine.
- Position des soupapes.



**Figure III.13** Le moniteur de position. [39]

### III.5.5 Le processus de communication utilisé avec les racks 3500

Un processeur de communication collecte et stocke des informations à partir d'un système de surveillance et il communique ces informations à un ordinateur hôte et/ou un système de contrôle numérique (DCS). Les processeurs de communications vous permettent de collecter et traiter les formes de signal qui peuvent être utilisées pour un diagnostic avancé des machines. Les systèmes de moniteurs 3500 utilisent généralement deux processeurs de communications, le TDXnet et le TDI 3500/22M.

Le processeur de communications TDXnet est un appareil externe connecté au rack 3500 à l'aide des connecteurs sur le module E/S du Data Manager. Les racks qui utilisent un TDXnet doivent avoir un RIM 3500/20 et un module E/S Data Manager installé dans le rack.

Le processeur de communications TDI (Transient Data Interface) est intégré dans le RIM TDI 3500/22M. Les racks 3500 utilisant le processeur de communication TDI doivent comporter des moniteurs compatibles ("M enabled" : Activés pour la gestion des machines). Le rack doit aussi avoir un fond de panier compatible, contenant un troisième connecteur supplémentaire pour chaque moniteur.

### III.5.6 Protection contre la survitesse

Le système 3500 peut être étendu avec deux autres systèmes redondants. Le système de protection contre la survitesse (OPS) peut servir à contrôler une machine qui risque d'augmenter en vitesse avec peu ou pas d'avertissement. Le système de survitesse (OPS: Overspeed Protection System) peut répondre avec un changement d'état des relais dans un délai de 30

millisecondes pour arrêter une machine, ou la faire passer en mode de fonctionnement sécuritaire.

Le système OPS a aussi plusieurs capacités de tests automatiques flexibles qui peuvent être mis en place pendant que la machine tourne, sans supprimer la protection des machines.



**Figure III.14** Le système de protection survitesse. [39]

### III.5.7 Le transducteur de proximité

Les transducteurs de proximité ont plusieurs utilisations dans la surveillance du comportement d'un arbre de machine (cible). Les quatre applications les plus courantes sont vibrations radial (mouvement radial), position axiale (mouvement axial) et dilatation différentielle (différence entre la dilatation thermique du rotor et du châssis).

Le système du transducteur de proximité 3300XL fournit une tension de sortie directement proportionnelle à la distance entre la tige du capteur et la surface conductrice observée. Il peut prendre à la fois des mesures statiques (position) et des mesures dynamiques (vibration), et il sert principalement pour des applications de mesures de vibration et de position sur les machines équipées de paliers lisses lubrifiés, mais aussi pour des applications de mesure de vitesse.

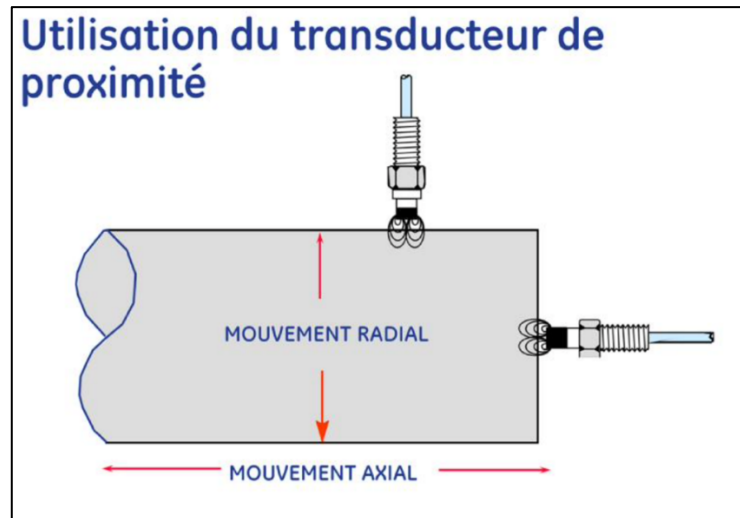


Figure III.15 L'utilisation du transducteur de proximité. [40]

## III.6 LE SYSTEME DE COMMANDE

### III.6.1 Conception de base

La régulation de la turbine à gaz se fait par des fonctions de commande de démarrage , d'accélération , de vitesse , de température , d'arrêt et de régulation manuelle illustrées en figure 11 .Des capteurs surveillent la vitesse de la turbine, la température d'échappement , la pression de refoulement du compresseur et d'autres paramètres pour déterminer les conditions d'exploitation de l'unité. Lorsqu'il est nécessaire de modifier les conditions de fonctionnement de la turbine en raison de changement dans les conditions de la charge ou d'environnement , la régulation module le débit du combustible à destination de la turbine à gaz .Ainsi si la température d'échappement tend à dépasser sa valeur admissible pour une condition de fonctionnement donnée ,le système de régulation de température réduit le combustible envoyé vers la turbine et par conséquent limite la température d'échappement.

Les conditions de fonctionnement de la turbine sont détectées et utilisées en tant que signaux de rétroaction vers le système de régulation SPEED TRONIC. Il y a trois boucles de régulation principales : démarrage, vitesse et température qui peuvent assurer le contrôle durant le fonctionnement de la turbine. La sortie de ces boucles de régulation est connectée a un portillon électronique a valeur minimale. Les modes de régulation secondaire de l'accélération, du FSR manuel et de l'arrêt fonctionnent d'une manière similaire.

La référence de course de signal de combustible (FSR) est le signal de commande pour débit de combustible. Le portillon de sélection a valeur minimale connecte les signaux de sortie des six modes de régulation vers le contrôleur de FST, la sortie FSR la plus basse des six boucles

de régulation est autorisée à traverser le portillon vers le système de régulation de combustible tant que FSR de contrôle.

Le FSR de contrôle établira l'entrée de combustible vers la turbine à un débit nécessaire par le système qui est contrôlé. Une seule boucle d'asservissement contrôlera à un moment particulier et la boucle d'asservissement qui contrôle le FSR sera affichée sur l'IHM.

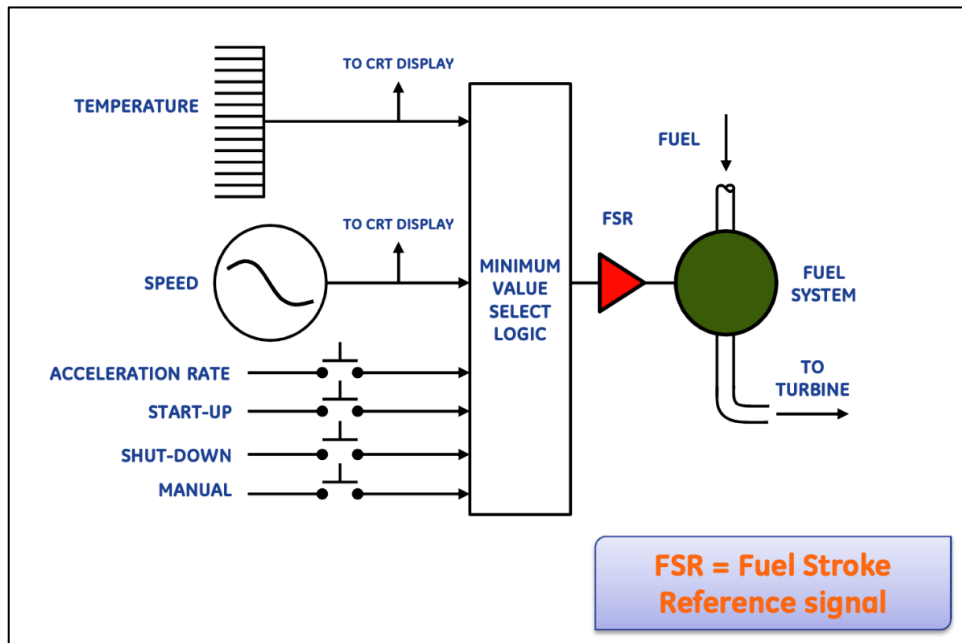


Figure III.16 Schéma de régulation. [41]

### III.6.2 Séquence de marche /arrêt et régulation

La régulation de démarrage fait passer la turbine à gaz de la vitesse zéro à la vitesse de fonctionnement de manière sûre en délivrant la bonne quantité de combustible pour établir la flamme, accélérer la turbine et le faire d'une manière qui permet de minimiser la fatigue du cycle bas des parties chaudes durant la séquence. Ceci implique un séquençement adéquat des signaux de commande vers les accessoires, le dispositif de démarrage et le système de régulation de combustible.

Une quantité importante de circuits logiques de régulation est associée non seulement aux dispositifs de régulation d'actionnement mais valide les circuits de protection et l'obtention de conditions permissives avant de poursuivre.

La turbine à gaz utilise un système de démarrage statique ou le générateur sert de moteur de démarrage. Un vireur est utilisé pour les démarrages du rotor.

### III.6.3 Régulation de démarrage

La régulation de démarrage fonctionne en tant que régulation en boucle d'asservissement utilisant des niveaux prédéfinis du FSR du signal de commande de combustible. Les niveaux sont : 'ZERO', 'FEU', 'CHAUFFAGE', 'ACCELERATION' et 'MAX'.

Les spécifications de régulation donnent les bons paramètres pour le combustible prévu sur le site, les niveaux de FSR sont définis en tant que constantes de régulation dans la régulation de démarrage SPEEDTRONIC Mark VI.

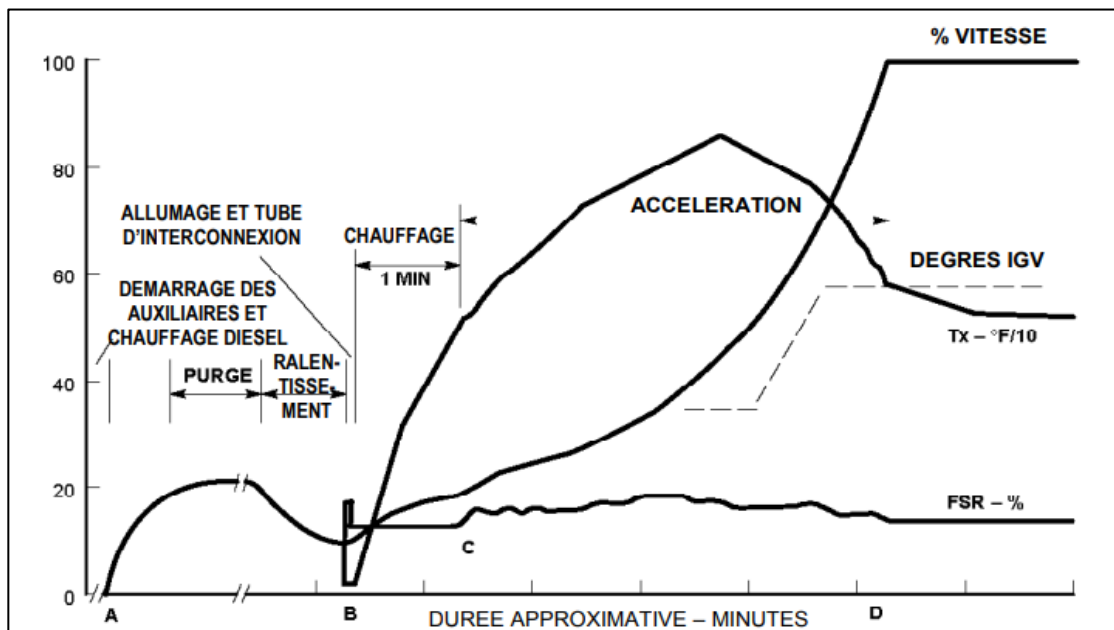


Figure III.17 Courbe de démarrage Mark VI e. [42]

L'embrayage de démarrage est une roue libre de type à dents positive qui s'engage automatiquement en mode démarrage et se met en libre rotation lorsque le rotor de turbine dépasse la vitesse du vireur.

Lorsque la turbine 'démarré', le vireur fait tourner le rotor de la turbine de 5 à 7 tr/min, lorsque le démarreur statique commence sa séquence et accélère le rotor, l'embrayage de démarrage désengage automatiquement le vireur du rotor de turbine. Le relais de vitesse de turbine L14HM indique que la turbine tourne à la vitesse nécessaire pour une purge adéquate et un allumage des chambres de combustion. Les unités avec un allumage à gaz qui ont des configurations d'échappement qui peuvent piéger les fuites de gaz ont une horloge de purge L2TV, qui est initiée avec le signal L14HM. Le délai de purge est réglé pour permettre trois à quatre renouvellement d'air dans l'unité pour s'assurer que tout mélange de combustible a été

purgé du système .Le moyen de démarrage maintiendra la vitesse jusqu'à ce que L2TV ait terminé son cycle .

### **III.6.3.1 Séquence de préchauffage (WARM-UP)**

Le signal L14HM ou la réalisation du cycle de purge (L2TV) permet le débit du combustible, l'allumage, définit le FSR du niveau d'allumage et initie l'enveloppe d'allumage L2F. Lorsque les signaux de sortie du détecteur de flamme indiquent qu'une flamme a été établie dans les chambres de combustion (L28FD), l'horloge de chauffage L2W démarre et le signal de commande de combustible est réduit au niveau FSR 'WARM-UP'.

Si la flamme n'est pas établie au moment où l'horloge L2 arrive au bout de son délai (60s) le flux de combustible est suspendu. L'unité peut recevoir un autre signal de démarrage mais l'allumage sera retardé par une horloge L2TV pour éviter une accumulation de COMBUSTIBLE DANS LES TENTATIVES SUCCESSIVES.

### **III.6.4 Régulation d'accélération**

A la fin de la période de chauffage (L2WX), la régulation de démarrage rampe le FSR a une cadence prédéterminée jusqu'au réglage pour 'ACCELERATE LIMIT'.

Au fur et à mesure que le combustible augmente la turbine commence la phase d'accélération de démarrage. L'embrayage est maintenu tant que le vireur délivre un couple vers la turbine à gaz. Lorsque la turbine met en libre rotation le vireur, l'embrayage se désengage, arrêtant le vireur, le relais de vitesse L14HA indique que la turbine accélère.

La phase de démarrage se termine lorsque l'unité atteint la pleine vitesse sans charge, le FSR est ensuite contrôlé par la boucle de vitesse et les systèmes auxiliaires sont automatiquement arrêtés.

Dans la phase d'accélération du démarrage, la régulation du FSR passe en général vers la régulation d'accélération qui surveille le taux d'accélération du rotor. Il est possible mais pas normal d'atteindre la limite de contrôle de température, l'écran de l'HMI montrera le paramètre qui limite ou contrôle le FSR.

### **III.6.5 Régulation de vitesse**

#### **III.6.5.1 Signal de vitesse**

Trois capteurs magnétiques sont utilisés pour mesurer la vitesse de la turbine. Ces capteurs magnétiques (77 Nh-1,-2,-3) sont des dispositifs a sortie haute qui se composent d'un aimant permanent entouré d'un boîtier scellé hermétiquement. Les capteurs sont montés dans

un anneau autour d'une roue à 60 dents sur le rotor du compresseur de la turbine à gaz. Avec la roue à 60 dents, la fréquence de la sortie de tension en Hertz est exactement égale à la vitesse de la turbine en révolutions par minute.

La sortie de la tension est affectée par le dégagement entre les dents de la roue et la pointe du capteur magnétique. Le dégagement entre le diamètre extérieur de la roue dentée et la pointe du capteur magnétique doit être maintenu dans les limites spécifiées dans des spécifications de régulation (environ 0,05 pouce ou 1,27 mm). Si le dégagement n'est pas maintenu dans les limites spécifiées le signal d'impulsion peut être déformé, la régulation de vitesse de la turbine doit ensuite fonctionner en réaction au signal de rétroaction de vitesse incorrecte.

Le signal venant des capteurs magnétiques est amené sur le tableau Mark VI, un capteur vers chaque contrôleur 'RST', ou il est surveillé par le logiciel de régulation de vitesse. [42]

### III.6.5.2 Référence de vitesse/charge TNR

Le logiciel de régulation de vitesse changera le FSR proportionnellement à la différence entre la vitesse turbine-compresseur actuelle (TNH) et la référence de vitesse demandée (TNR).

La vitesse demandée TNR détermine la charge de la turbine, la plage pour les turbines à entraînement.

Le schéma fonctionnel de référence de vitesse est montré dans l'image sou dessus, la TNR vient du Medium select ou les entrées sont :

1. TNKR3 limite maximum du control qui est 105% (vitesse d'arrêt à grande vitesse). La limite est automatiquement augmentée pendant l'essai de survitesse mécanique, mais doit être changée pour l'essai de survitesse électrique.
2. TNKR4 limite minimum du control (vitesse d'arrêt à basse vitesse) qui peut être comprise entre 50% et 85% selon le type et les exigences de la charge entraînée.
3. TNKR1-n l'éleveur /abaisseur, le signal qui ajoute ou soustrait à la dernière valeur échantillonnée de TNR.

Durant le démarrage, le TNR est pré réglé à une vitesse minimale de régulation (50-85%) qui est stocké en TNKR4, pour le chargement automatique à partir d'un processus de station ou d'un panneau distant, un signal est introduit dans la logique de montée/descente pour augmenter ou découpler automatiquement le TNR, ce qui modifie à son tour la vitesse/ charge.

### III.6.6 Régulation de température

Le système de régulation de la température limitera le débit de combustible vers la turbine pour maintenir les températures d'exploitation internes à l'intérieur des limites théoriques des parties chaudes de la turbine à gaz.

La température la plus élevée dans la turbine intervient dans la zone de flamme des chambres de combustion. Le gaz de combustion dans cette zone est dilué par l'air de refroidissement et s'écoule dans la section de turbine à travers la directrice première étage. La température de ce gaz lorsqu'il quitte la directrice premier étage est connue sous le nom de 'température d'allumage' de la turbine à gaz, c'est cette température qui doit être limitée par le système de régulation. A partir de relations thermodynamiques, de calculs de performance de cycle de turbine à gaz et des conditions connues du site, la température d'allumage peut être déterminée en fonction de la température d'échappement et du ratio de pression dans la turbine, ce dernier est déterminé à partir de la pression de refoulement du compresseur mesurée (CPD).

Le système de régulation de température est conçu pour mesurer et contrôler la température d'échappement de la turbine plutôt que la température d'allumage car il n'est pas pratique de mesurer les températures directement dans les chambres de combustion au niveau de l'admission de la turbine.

Cette régulation indirecte de la température d'allumage de la turbine est rendue pratique en utilisant des caractéristiques aérodynamiques et thermodynamiques connues de la turbine à gaz et en les utilisant pour polariser le signal de température d'échappement car la température d'échappement seule n'est pas une indication brève de la température d'allumage.

La référence de température d'échappement à deux arbres (TTRXB) est déterminée par le TTR de sortie d'une porte de sélection minimale dont les entrées sont une courbe biaisée CPD, une courbe biaisée FSR et l'isotherme de base. Il y a un signal additionnel généré pour polariser TTRXB qui est une fonction du régime rotor haute pression TNH. Ce signal biaise la référence de contrôle de la température vers une valeur plus élevée dans une relation linéaire avec TNH et modifie la référence de température uniquement lorsque l'arbre haute pression fonctionne à une vitesse nominale inférieure à 100%. Ce type de contrôle n'est significatif que sur les turbines à cycle régénérateur ou combiné.

### III.6.7 Régulation de combustible

Le système de régulation de combustible de turbine à gaz changera le débit du combustible vers les chambres de combustion en réaction au signal de référence de course de

combustible (FSR). Les systèmes de combustibles standard sont conçus pour un fonctionnement avec du combustible liquide et/ou du gaz combustible.

Le système de régulation de combustible régule la distribution du combustible gaz vers une organisation de chambre de combustion à plusieurs injecteurs. La distribution du débit de combustible vers chaque ensemble d'injecteurs de combustible est une fonction de la température de référence de combustion (TTRF1) et du mode de régulation de température des IGV. Par une combinaison du séquençement de combustible et du passage de mode de combustion à un autre mode de diffusion à l'allumage au prémélange des charges supérieures.

Le combustible gaz est contrôlé par une vanne d'arrêt et de détente de gaz (SRV), des vannes de régulation de gaz secondaire et quaternaire (GCV) et par le collecteur diviseur de prémélange (PMSV). Le collecteur diviseur de prémélange contrôle la séparation entre le flux de gaz secondaire et de gaz tertiaire, toutes les vannes ont un control asservi par les signaux venant du panneau de commande SPEEDTRONIC.

C'est la vanne de régulation de gaz qui contrôle le débit du gaz combustible désiré en réaction au signal de command FSR, pour lui permettre de le faire d'une manière prévisible, la vanne d'arrêt et de détente est conçues pour maintenir une pression prédéterminée (P2) a l'admission de la vanne de régulation de gaz en fonction de la vitesse de la turbine à gaz.

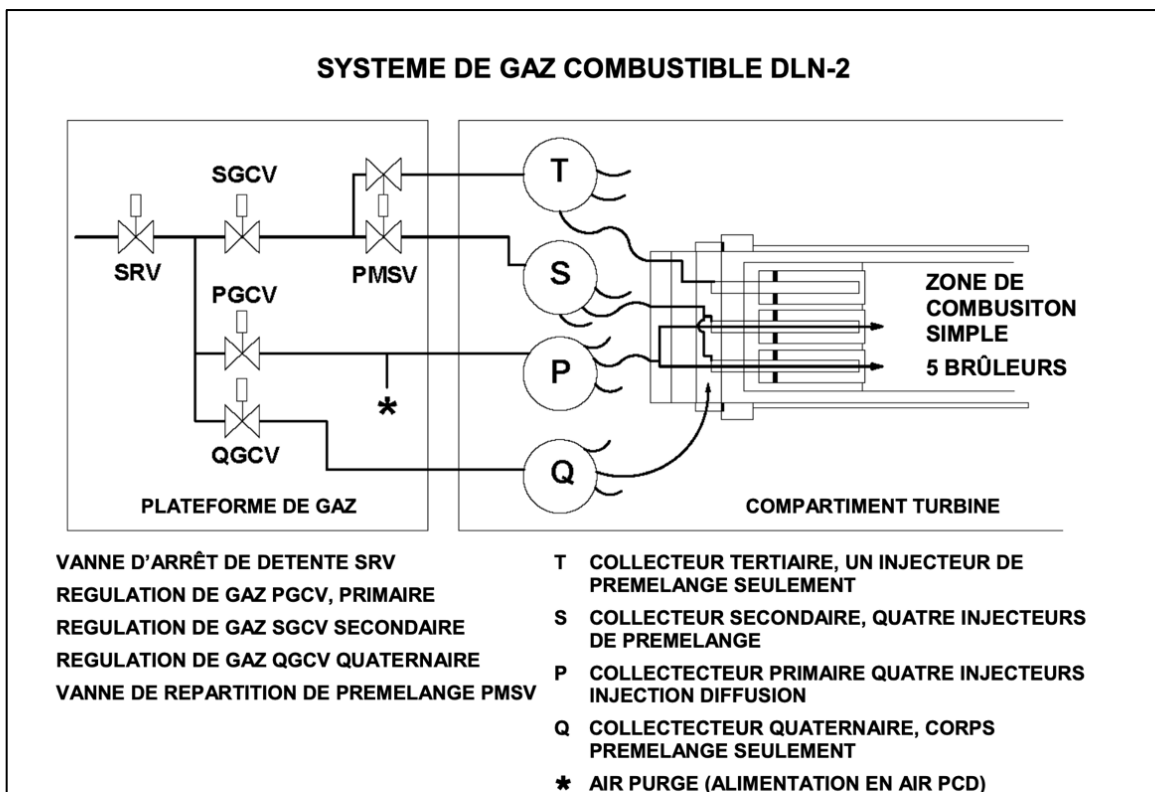


Figure III.18 Système de régulation de gaz combustible. [43]

### III.6.7.1 Le filtre du combustible gaz

Les particules étrangères qui risquent de se trouver dans le combustible gazeux d'arrivée sont éliminées par ce filtre. Une purge située à la partie inférieure du corps du filtre permet de nettoyer régulièrement le tamis, la fréquence du nettoyage dépend de la qualité de du combustible gazeux utilisé. Il faut nettoyer le filtre peu après que la turbine ait atteint le niveau de pleine de charge pour la première fois, et après tout démontage des conduites de combustible gazeux.

### III.6.7.2 La purge du gaz combustible

La purge de gaz primaire est nécessaire durant l'état stable de prémélange et le fonctionnement sur combustible liquide. Ce système implique un arrangement à deux robinets de sectionnement et un robinet de purge ou deux robinets de purge (VA 13-1,-2) sont fermés, pendant que le gaz primaire s'écoule et qu'un solénoïde de mise à l'atmosphère intervalles (20VG-2) est ouvert pour purger toute fuite sur les vannes. Les vannes de purge sont à fonctionnement pneumatique à travers les électrovannes 20PG-1,2.

Lorsqu'il n'y a pas d'écoulement de gaz primaire, les vannes de purge s'ouvrent et permettent à l'air de refoulement du compresseur de s'écouler à travers les passages de l'injecteur de combustible primaire.

La purge secondaire est nécessaire pour l'injecteur secondaire est tertiaire lorsque l'écoulement de combustible secondaire et tertiaire est amené à zéro et en cas de fonctionnement sur du combustible liquide. C'est un arrangement à sectionnement et purge similaire à la purge primaire avec deux vannes de purge (VAN 13-3,-4), un solénoïde de mise à l'atmosphère inter valve (20VG-3) et des solénoïdes des 20PG-3,-4. [45]

## III.7 CONCLUSION

En récapitulant, ce chapitre est dédié au système de contrôle SPEEDTRONIC Mark VIe. Nous avons abordé son architecture, ses différents composants, ainsi que les moyens de communication interne et externe de ce système de contrôle. Ensuite, nous avons exploré la station ToolBox, une partie primordiale de ce système de contrôle que chaque instrumentiste doit maîtriser, car tout changement, forçage, calibration, etc., se fait à l'aide de cette station.

En conclusion, nous avons parlé du système de protection vibratoire Bently Nevada 3500, qui joue un rôle crucial dans la protection de la machine. Nous avons également détaillé

les différentes séquences de mise en service de la machine ainsi que leur régulation, telles que la régulation de la vitesse, de la température et du combustible.

**CHAPITRE IV : SUPERVISION ET  
CALIBRATION DES VANNES SRV ET  
GCV**

## **IV.1 INTRODUCTION**

Les vannes de réglage du fuel gaz jouent un rôle crucial dans le fonctionnement efficace des turbines à gaz, telles que les SRV (Stop/Speed Ratio Valve) et les GCV (Gas Control Valves). Ces vannes sont conçues pour contrôler avec précision la pression et le débit de fuel gaz alimentant la turbine, ce qui influe directement sur sa vitesse de rotation et ses performances globales.

La vanne SRV est utilisée pour réguler la pression de carburant (fuel gaz) dans le système de combustion de la turbine, assurant ainsi un fonctionnement optimal et une réponse rapide aux changements de charge.

D'autre part, la GCV est une vanne de régulation du gaz qui contrôle le débit de fuel gaz alimentant les chambres de combustion, ce qui permet de maintenir des conditions de fonctionnement stables et de maximiser l'efficacité énergétique.

Dans ce chapitre, nous explorerons le rôle essentiel de ces deux vannes, ainsi que les différents composants de leur boucle de régulation, à travers une analyse et une supervision de leur influence sur le fonctionnement et le rendement optimal de la turbine à gaz, en exploitant et en interprétant les données que nous avons pu obtenir à l'aide du logiciel PI ProcessBook.

Nous verrons également la procédure détaillée d'étalonnage et de calibration de ces deux vannes.

## **IV.2 LE BLOC DES VANNES SRV ET GCV**

Ce bloc est composé de deux vannes associées l'une après l'autre pour assurer la pression et le débit du fuel gaz nécessaire pour la turbine à gaz.

### **IV.2.1 La vanne rapport arrêt /vitesse (SRV)**

La vanne rapport arrêt /vitesse est une vanne régulatrice qui assure une pression demandée par le système de contrôle suivant les besoins de charge voulu.

Le système de contrôle SPEEDTRONIC Mark VI e génère un signal électrique de commande vers une servo valve (Moog) qui permet le passage d'huile hydraulique actionnant un cylindre hydraulique (vérin) permettant l'ouverture ou fermeture de la dite vanne selon le pourcentage calculé par le système de contrôle.

En cas d'arrêt volontaire ou de déclenchement d'urgence (trip), l'huile hydraulique sera vidée automatiquement vers caisse ce qu'entraîne la fermeture de la vanne SRV donc l'alimentation du fuel gaz sera coupée.

Si la pression de l'huile de déclenchement est normale l'huile hydraulique s'écoule entre la servovalve (Moog) et le vérin hydraulique. Dans cette position la commande normale de la soupape d'arrêt /rapport est admise.

En cas de chute de la pression de l'huile de déclenchement en dessous d'une limite prédéterminée, un ressort dans l'électrovanne fait déplacer le tambour pour interrompre la voie d'écoulement de l'huile entre la servovalve et le vérin hydraulique. L'huile hydraulique est vidée vers caisse et la soupape d'arrêt /rapport se ferme, en arrêtant l'écoulement du gaz combustible vers la turbine. [46]

#### **IV.2.2 La vanne de régulation de gaz combustible GCV**

La vanne GCV est une vanne qui fournit le débit précis du fuel gaz. La position de cette vanne est linéaire par rapport à la référence FSR (fuel stroke référence) générée par le système de commande SPEED-TRONIC Mark VI e.

Un capteur de position appelé LVDT (Linear Variable Differentiel transformer) est un feedback permettant au système de commande de connaître la position actuelle de la vanne, qui sera comparé à la valeur de référence demandé (FSR) à travers le système de contrôle.

Si l'erreur entre la référence et le feedback supérieur à 2%, un signal d'erreur est généré, si l'erreur persiste on dépassant l'écart de 8% cela permet l'excitation d'une électrovanne nommée 20HD afin de purger l'actionneur de la vanne (vérin hydraulique), ce qui entraîne la fermeture de la GCV.



Figure IV.1 Les deux vannes SRV et GCV.

### IV.2.3 Les vannes hydrauliques

Les vannes hydrauliques contrôlent la direction et le débit de la vanne. Les vannes de commande hydrauliques peuvent être divisées en trois types : vannes de commande directionnelle, vannes de contrôle de pression vannes de contrôle de débit, dans notre cas ils font référence respectivement aux : Moog, SRV, GCV. Le système hydraulique utilise de nombreuses vannes pour contrôler le flux de fluides, les vannes hydrauliques régulent le débit en coupant, en détournant, en fournissant un soulagement de débordement et en empêchant l'écoulement inverse. Des soupapes hydrauliques sont utilisées dans les blocs d'alimentation hydrauliques pour diriger le fluide vers et depuis le cylindre. Les vannes hydrauliques peuvent être utilisées pour contrôler la direction et la quantité de puissance du fluide dans un circuit. Donc, ces vannes le feraient en contrôlant la pression et le débit dans diverses sections du circuit. La pression du système peut être contrôlée par des vannes hydrauliques.

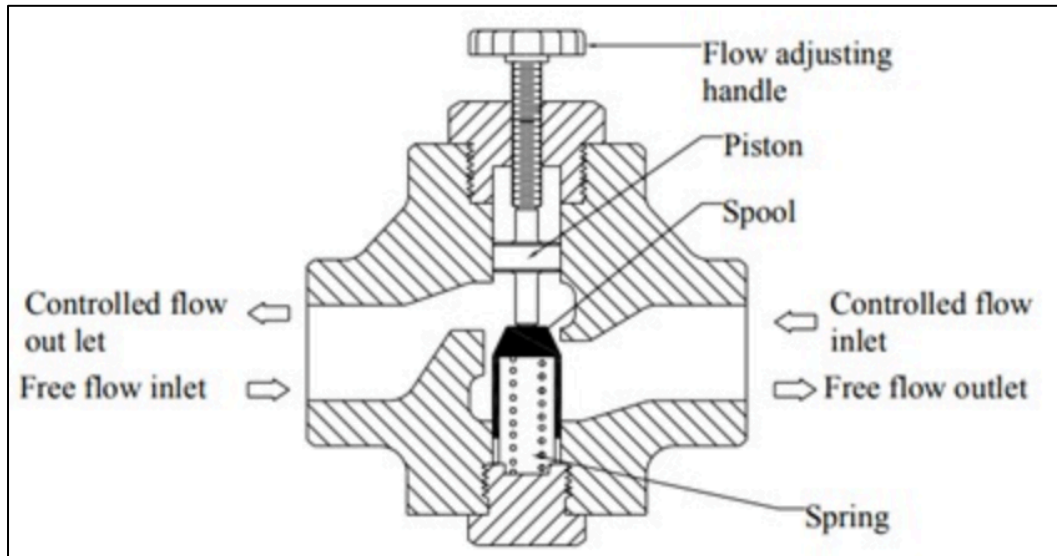


Figure IV.2 Structure d'une vanne hydraulique.

### IV.3 LA SERVOVALVE ELECTROHYDRAULIQUE 90SR, 65GC (Moog)

La servovalve (Moog) est le cœur du système de régulation des deux vannes SRV GCV, elle est composée de trois bobines d'asservissement. La servovalve est utilisée pour contrôler à la fois les systèmes électriques et mécaniques, en dirigeant le mouvement d'actionneurs (vérins hydrauliques) en assurant la cadence du mouvement, en se basant sur le signal d'entrée (courant).

La servovalve contient trois bobines isolées électriquement sur le moteur couple. Chaque bobine est connectée à l'un des trois contrôleurs <RST>. Ceci assure la redondance si l'un des contrôleurs ou les bobines s'avéraient défaillant. Il y a un ressort de polarisation nulle qui positionne l'asservissement de sorte que l'actionneur passe en position de sécurité intégrée si tous les signaux d'alimentation et/ou de régulation ont été perdus.

Si l'actionneur hydraulique est un piston à double action, le signal de régulation positionne la servo-valve de sorte qu'elle achemine l'huile haute pression (hydraulique) d'un côté ou de l'autre de l'actionneur hydraulique. Si l'actionneur a un rappel à ressort, huile hydraulique sera envoyée vers un côté du vérin et l'autre vers la vidange. Un signal de rétroaction prévu par un transformateur différentiel variable linéaire (LVDT) indiquera à la régulation si oui ou non il est dans la position requise. Le LVDT sort une tension C.A qui est proportionnelle à la position du noyau du LVDT. Ce noyau à son tour est connecté à la vanne dont la position est contrôlée, au fur et à mesure que la vanne se déplace, la tension de rétroaction change. Le LVDT a besoin d'une tension excitatrice qui est prévue par la carte MVRA. [48]

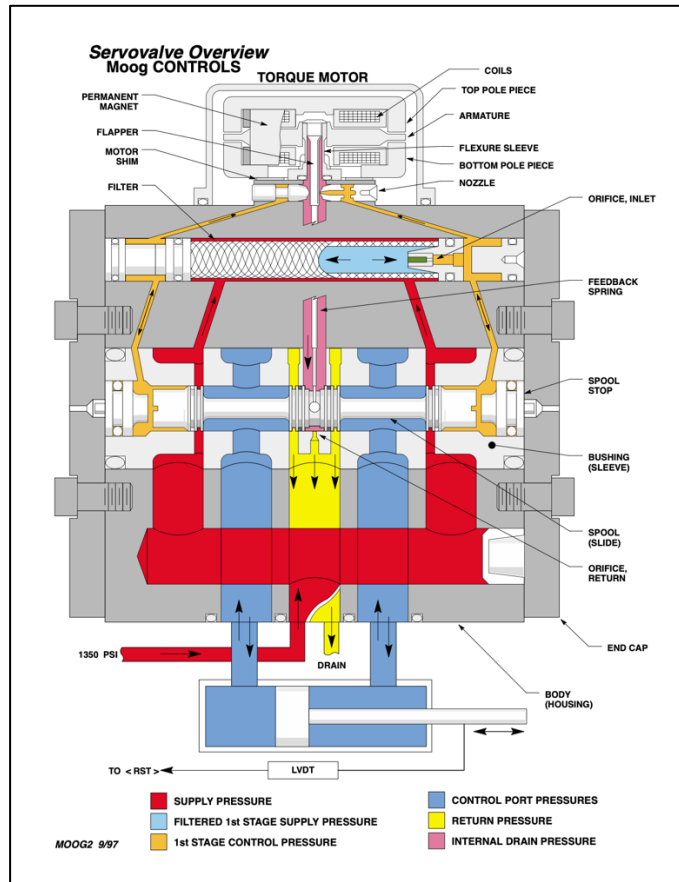


Figure IV.4 La servo-soupape électrohydraulique. [49]

#### IV.4 L'ELECTROVANNE DE DECLENCHEMENT 20HD

L'électrovanne 20HD est l'élément le plus important pour la protection de la turbine. Elle sert en cas d'urgence à vider le circuit d'huile hydraulique vers caisse, elle fonctionne en parallèle avec la servo valve (Moog).

Une électrovanne est une vanne à commande électrique qui comprend un cylindre et une électrode mobile, il comprend une bobine de fil électrique avec un noyau ferromagnétique mobile appelé un plongeur au centre du noyau. Une électrovanne se compose d'un ressort excentrique à son centre, il fonctionne sur le principe de la loi de l'électromagnétisme le champ magnétique dans la bobine est produit en passant une certaine quantité de courant électrique à travers cette bobine pour ouvrir ou fermer le chemin de la vanne. [50]

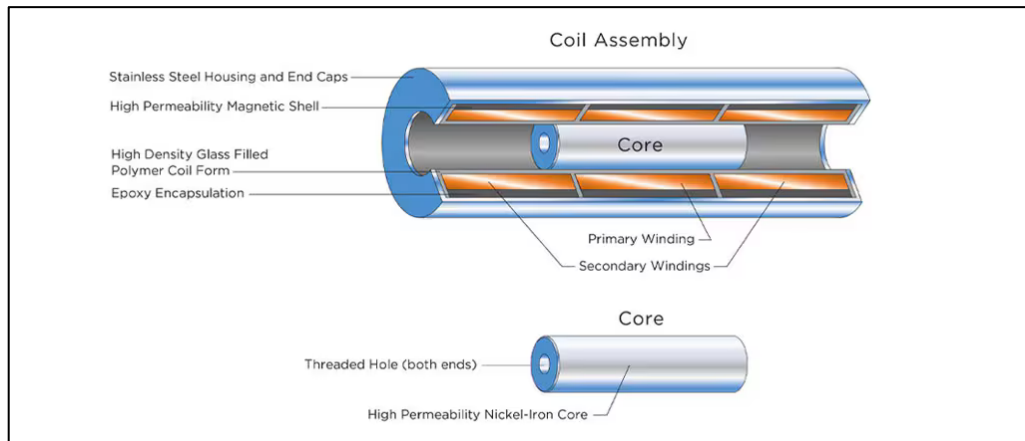


Figure IV.5 L'électrovanne 20HD.

#### IV.5 LES CAPTEURS DE DEPLACEMENT LVDT

Les deux vannes SRV GCV ainsi les nozzles sont équipés des capteurs de déplacement LVDT (Linear Variable Differential Transformer) qui sert comme un feedback pour la boucle de régulation de ces deux vannes en indiquant la position des vannes.

Le LVDT fonctionne selon le principe de l'effet d'inductance mutuelle selon la théorie du transformateur, les deux bobines sont couplées par un champ magnétique alternatif. Lorsque la tension CA est appliquée à l'enroulement primaire, le champ magnétique est produit. Ce champ magnétique induit un courant dans l'enroulement secondaire, par conséquent, il y a une tension induite dans la bobine secondaire. Le LVDT se compose d'un enroulement primaire P, de deux enroulements secondaires (S1 et S2) et d'un noyau en fer doux. Les enroulements secondaires sont disposés sur un ancien cylindrique avec un noyau mobile en fer doux. L'enroulement primaire est entouré de deux enroulements secondaires identiques (S1 et S2), dont chacun a un nombre égal de tours. Les enroulements secondaires sont connectés dans une opposition de série. [51]



**Figure IV.6** Le principe d'un LVDT. [52]

#### **IV.6 LES ALARMES ASSOCIEES A CES DEUX VANNES**

Les signaux de rétroaction et les signaux de régulation des deux vannes sont comparés aux limites d'exploitation normales et s'ils sortent de ces limites il y aura une alarme.

- L60FSGH : débit de gaz combustible excessif au démarrage.
- L3GRVFB : perte de rétroaction LVDT sur la SRV.
- L3GRVO : SRV ouvert avant permissif d'ouverture.
- L3GRVSC : Servo courant de SRV détecté avant permissif d'ouverture.
- L3GCVFB : perte de rétroaction LVDT sur GCV.
- L3GCVO : GCV ouverte avant permissif d'ouverture.
- L3GCVSC : courant asservi vers GCV détecté avant permissif d'ouverture.
- L3GFIVP: intervalve P2 basse pression.

Les servo-soupape sont dotées d'une polarisation de décalage nulle qui fait que la vanne de régulation de gaz ou la vanne de que la vanne de régulation de vitesse passe à la position de course zéro (condition de sécurité intégrée) si les signaux de servo-soupape ou d'alimentation sont perdus. Pendant une condition de déclenchement ou de non-fonctionnement, une polarisation de tension positive est placée sur les servo-bobines qui les maintient dans la position 'vanne fermée'.

## **IV.7 ANALYSE ET INTERPRETATION DES DONNEES**

### **IV.7.1 La calibration des LVDT**

L'étalonnage des LVDT se produit généralement pour s'assurer que ces capteurs fonctionnent dans les plages autorisées pour la précision et le bon fonctionnement des actionneurs (SRV GCV IGV NOZZLE) que. La procédure d'étalonnage exacte devrait être obtenue de l'entreprise GE Energy qui fournit la turbine, dans le guide O&M et la spécification de contrôle des paramètres.

- La turbine doit être en arrêt, consigné selon le type de calibration : GCV, SRV,IGV, NOZZLE.
- Le circuit d'huile doit être fonctionnel.
- La pompe de graissage 88QA mise en service manuel.
- La pompe hydraulique 88HQ mise en service manuel.
- Faire les forçages nécessaires :
  - 14\_XTP (Master protective signal)
  - L20HD1X (l'électrovanne 20HD)
  - L3ADJ (X) référence sur le signal Calib enable
  - L3ADJ 1 (SRV).
  - L3ADJ2 (GCV).
  - L3ADJ5 (IGV).
  - L3ADJ6 (NOZZLE).
- Ouvrez le component editor pour l'appareil Mark VIe souhaite pour effectuer l'étalonnage Servo LVDT.
- Dans le component editor sélectionnez l'onglet Hardware.
- Sélectionnez le PSVO ou PCCA IO pack à partir de la zone de tree view

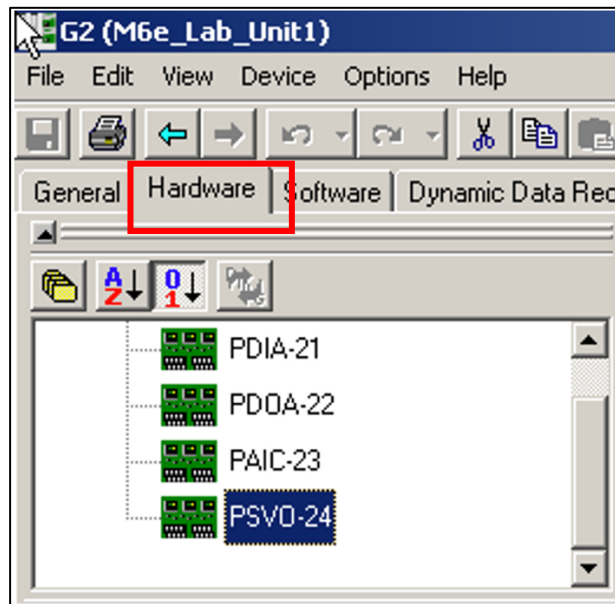


Figure IV.7 La fenêtre de sélection des cartes des I/O pack.

- Sélectionnez l'onglet regulators dans la zone summary view.
- Dans le summary view, sélectionnez le Régulateur approprié (Régulateur 1 pour SRV, 2 pour GCV, 5 pour IGV, 6 pour NOZZLE).
- S'assurer que la case a coché Enable est sélectionné.

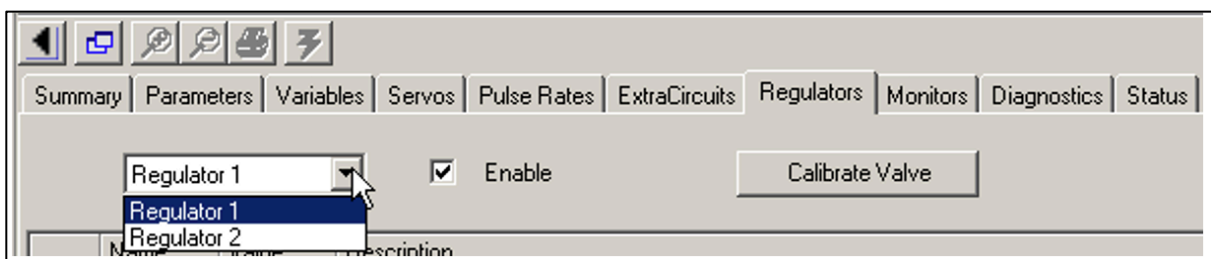


Figure IV.8 La fenêtre de sélection de Regulator.

- Sélectionnez le bouton 'Calibrate value'.
- Sélectionnez le bouton 'Calibrate Mode'.
- Une fenêtre trender s'ouvrira automatiquement et visualisera le courant servo et la position de la vanne.
- Sélectionnez le bouton 'Minimum End'.
- Observez les variations de courant (en bleu) et le changement de position de la vanne (rouge).

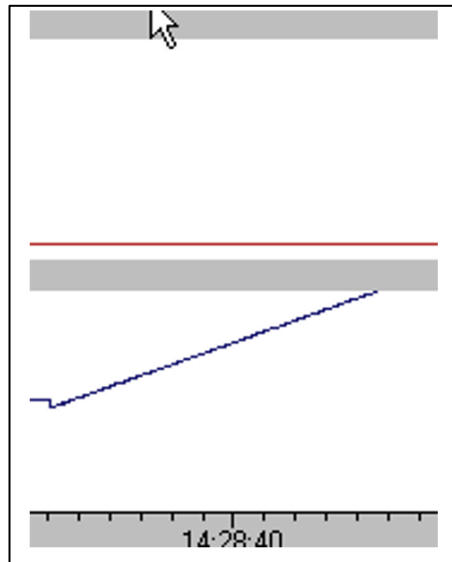


Figure IV.9 Les courbes de variation de courant et position de la valeur minimum.

- Vérifiez physiquement que la vanne soit fermée.
- Sélectionnez le bouton 'Fix Minimum End' ceci enregistre les tensions LVDT dans la position de fermeture totale.

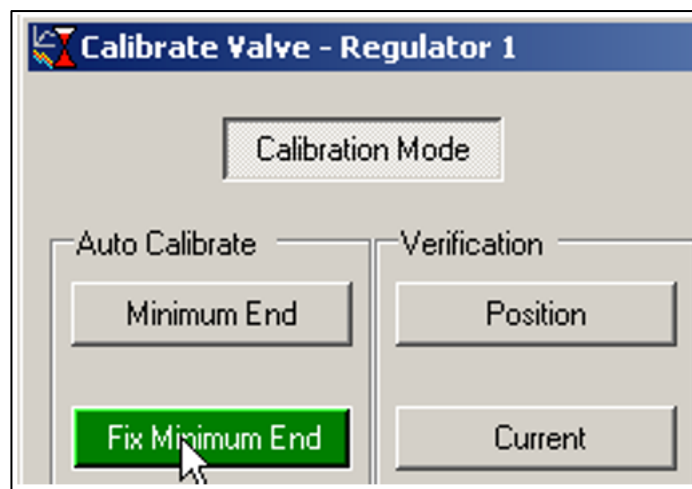


Figure IV.10 La fenêtre de fixation de la valeur minimum.

- Sélectionnez le bouton 'Maximum End'.
- Observez les variations de courant (en bleu) et le changement de position de la vanne (rouge).
- Vérifiez physiquement que la vanne soit ouverte.

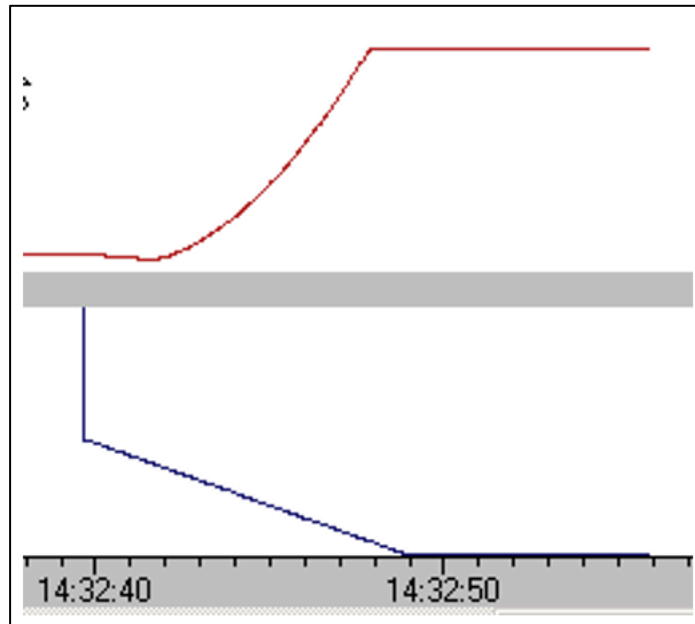


Figure IV.11 Les courbes de la variation de courant et position de la valeur maximum.

- Sélectionnez le bouton 'Fix Maximum End' ceci enregistre les tensions LVDT dans la position d'ouverture totale.
- Sélectionnez le bouton d'étalonnage : Calibrate ceci calcule l'équation  $y=mx+b$  pour chaque LVDT.

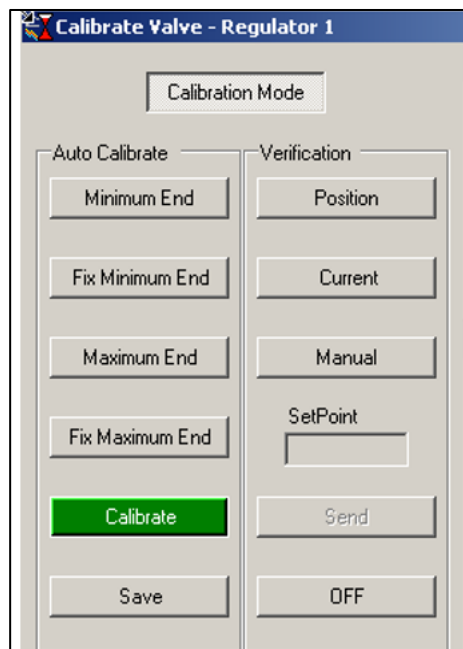


Figure IV.12 La fenêtre de calibration.

- Sélectionnez le bouton save.
- Puis sélectionnez oui.

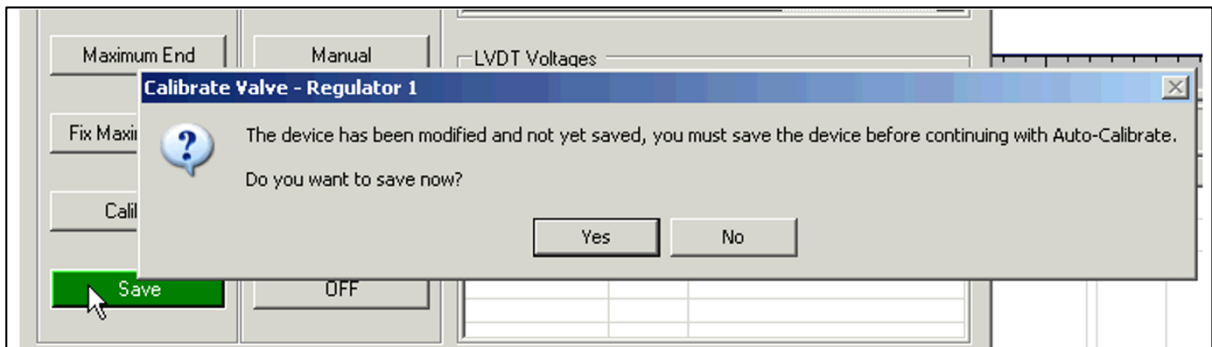


Figure IV.13 La fenêtre de sauvegarde de calibration.

- L'étalonnage ToolboxST la met à jour PSVO ou PCCA.

#### IV.7.2 Réglage du décalage du zéro électrique (vérification d'étalonnage)

- Sélectionnez le bouton manuel.
- Dans le champ de consigne entrez une valeur tel que 25%.
- Sélectionner 'send'.
- Vérifiez que la vanne se déplace (fenêtre de trender).
- Enregistrer la sortie Servo (servo Output).

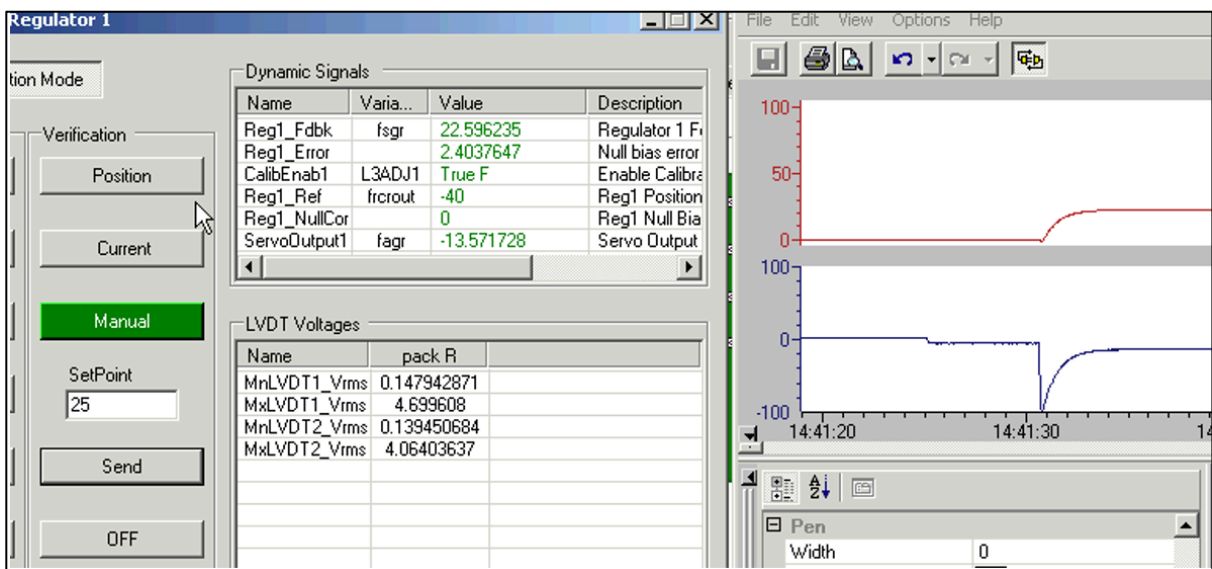


Figure IV.14 Le champ de consigne (SetPoint) & le trender.

- Entrez le numéro de sortie servo dans le champ RegNullBias.

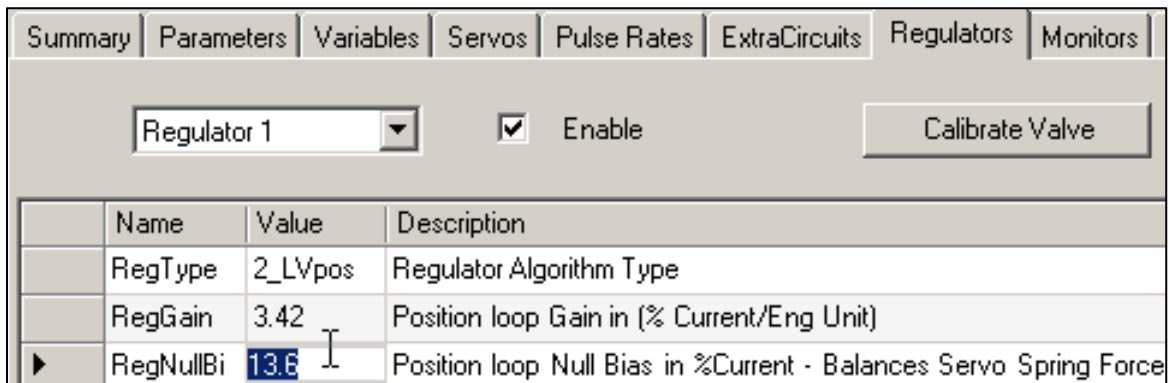


Figure IV.15 La fenêtre de NulBias

- Développez et téléchargez le logiciel dans le component editor.
- Dans la fenêtre d'étalonnage sélectionnez 'OFF'.
- Sélectionnez 'Manuel'.
- Dans le champ de consigne entrez 25.
- Sélectionnez 'send'.
- Vérifiez que la position et la rétroaction sont presque égales.

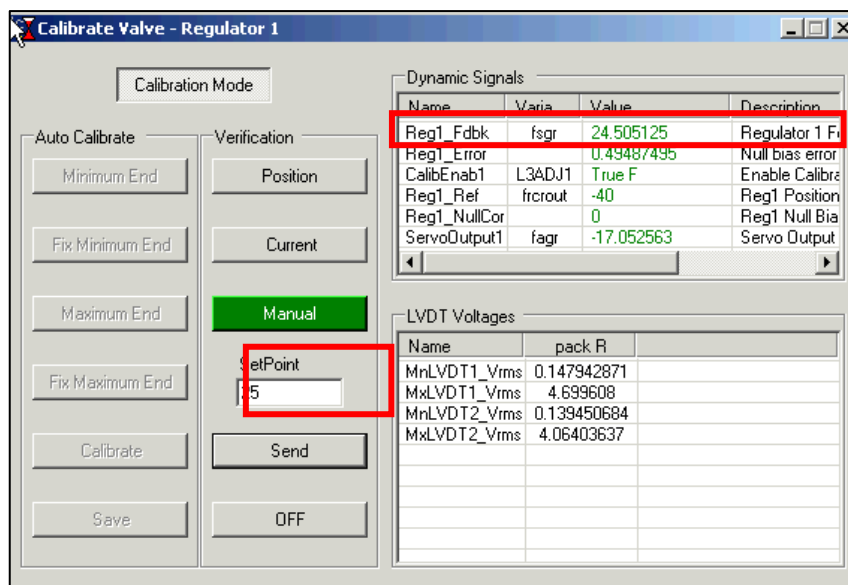


Figure IV.16 La fenêtre de consigne (SetPoint) & Feedback.

- Répétez l'opération pour 25, 50, 75 et 100.
- Vérifiez que la position et la rétroaction sont presque égales (presque est défini dans le guide O&M de l'appareil).

- Sélectionnez le bouton Courant dans la fenêtre d'étalonnage, cela devrait balayer le courant pour ouvrir et fermer la vanne, s'assurer que la position se déplace doucement (sans creux).

### IV.7.3 Fermeture de la fenêtre d'étalonnage

- Dans la fenêtre d'étalonnage sélectionnez le bouton 'OFF'.
- Une fenêtre de dialogue fermée appelée Régulateur1 s'affiche.
- Si l'on souhaite enregistrer le fichier tender à partir de la session d'étalonnage, sélectionnez 'OUI'

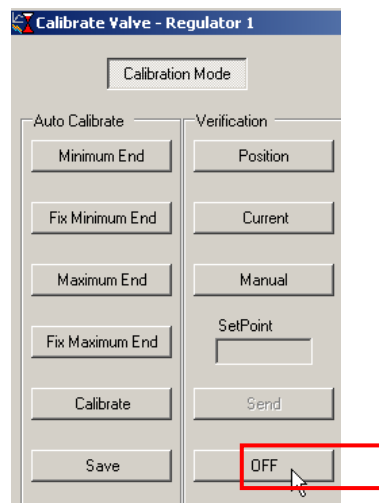


Figure IV.17 La fenêtre d'étalonnage. [52]

## IV.8 SUPERVISION DES DEUX VANNES SRV GCV

### IV.8.1 Le cas de démarrage

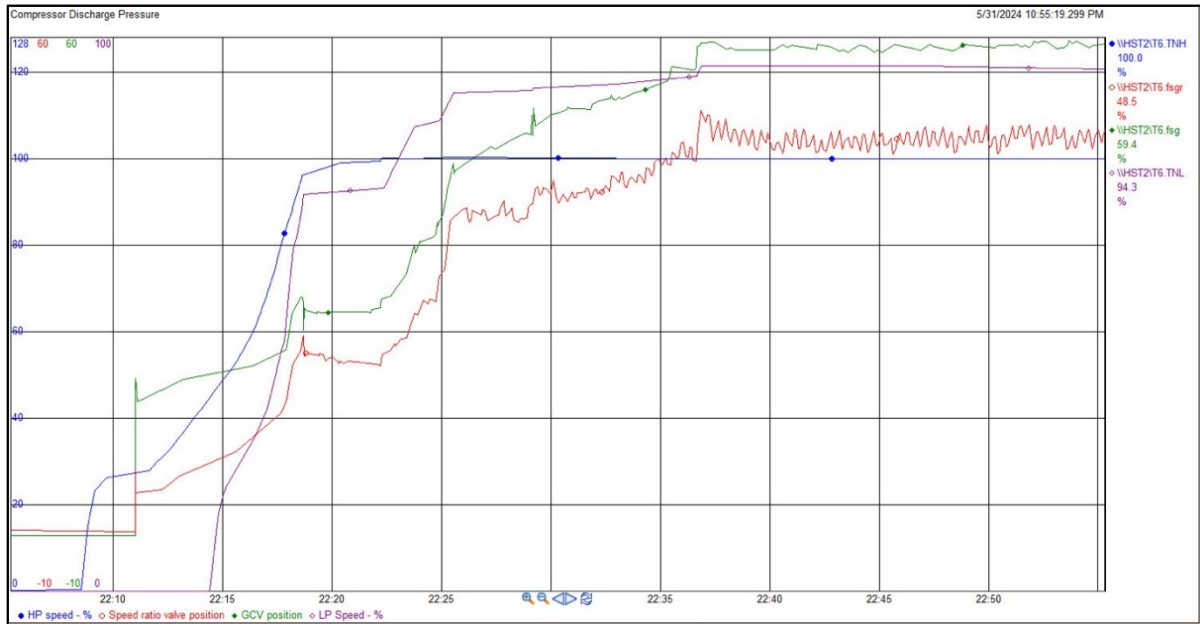


Figure IV.18 La courbe du SRV GCV TNH TNL durant le démarrage.

D'après la figure IV.18, qui présente la position des deux vannes par rapport à la vitesse de la machine en fonction du temps, durant la séquence de démarrage.

Le système de contrôle vérifie tous les signaux entrant dans la séquence de démarrage tel que la pompe d'huile hydraulique et de déclenchement, la température d'huile, le niveau ....etc, et nous donne l'habilité de démarré (READY TO START) par l'activation du signal master protective L4.

Lorsque on démarre, le signal L4CR démarre le moteur de lancement qui tourne la roue HP jusqu'à une vitesse de 20%, le signal 14HM s'active permettant le balayage (purge) du compresseur axial (READY TO CRANK) pendant 120S.

Après la fin de balayage, l'allumage commencent, d'après le graphe la vanne GCV s'ouvrent à 24 % tant dis que la SRV s'ouvrent à 18% permettant le passage du fuel gaz vers les chambres de combustions.

Une fois que l'allumage est confirmé par les détecteurs de flammes (28 FDX), la roue HP se décélère un peu, et le préchauffage commence pour éviter le choc thermique, l'instruction d'ouverture graduel de SRV GCV continue pour l'accélération de l'arbre HP, jusqu'au sa séquence complète environ 100% de sa vitesse (TNH) ou ces deux vannes sont maintenant dans une position presque environ 48,5% pour SRV, 59,4% pour GCV et une pression de 267,73psi (18 Bar) durant cette séquence.

La position d'ouverture de SRV GCV augmente progressivement jusqu'au la séquence complète (100% HP, 94,3% LP) et même durant le chargement du compresseur de charge suivant la demande d'exploitation.

Il est important de mentionner que la position d'ouverture et fermeture dépend de la charge de la machine, cette consigne de position est calculé par le FSR (Fuel Stroke Reference), on prend en considération plusieurs facteurs, selon le graphe à partir de 48% de TNH, la roue LP décolle et sa vitesse augmente progressivement jusqu'à la fin de sa séquence environ 94,3%.

Il est important de noter que la position des vannes avant le démarrage sont totalement fermées, cependant, le logiciel MARK VI e indique un pourcentage de fermeture de 0 % (feedback), vue la valeur demandée par le MARK VI e ces deux vannes sont amenés à une position de -10% pour s'assurer de la fermeture complète afin d'éviter d'éventuelles fuites.

Ce comportement peut être justifié avec l'équation suivante :

$$\mathbf{FPRG: (TNH \times FPKGRG) + FPKGRO} \quad \text{(IV.1)}$$

FPRG: Fuel Pressure Reference Gas

TNH= HP speed %

FPKGRG: Fuel Pressure Reference Gas Constant Reference Gain (psi/%)

FPKRG0: Fuel Pressure Reference Gas Constant Offset (psi)

On va prendre comme exemple durant le démarrage HP=20% donc :

$$\text{FPRG} = (20\% * 2,704 \text{ psi} / \%) + (-2,67 \text{ psi}) = 51,41 \text{ psi} = 3,55 \text{ bar}$$

Cette valeur de 3,55 Bar correspond à une ouverture de 18% de la SRV

Le débit de la GCV est proportionnel à cette pression ce qui correspond à une ouverture de 24% de la dite vanne.

Durant la séquence complète on a HP=100

Alors :

$$\text{FPRG} = (100 * 2,704 \text{ psi} / \%) + (-2,67 \text{ psi}) = 267,73 \text{ psi} = 18,46 \text{ Bar}$$

Cette pression correspond au pourcentage d'ouverture de la SRV durant la séquence complète de la machine qui aux environs de 48,7% qui est également proportionnelle à la GCV environ 59,4%

IV.8.2 Le cas d'arrêt d'urgence (trip)

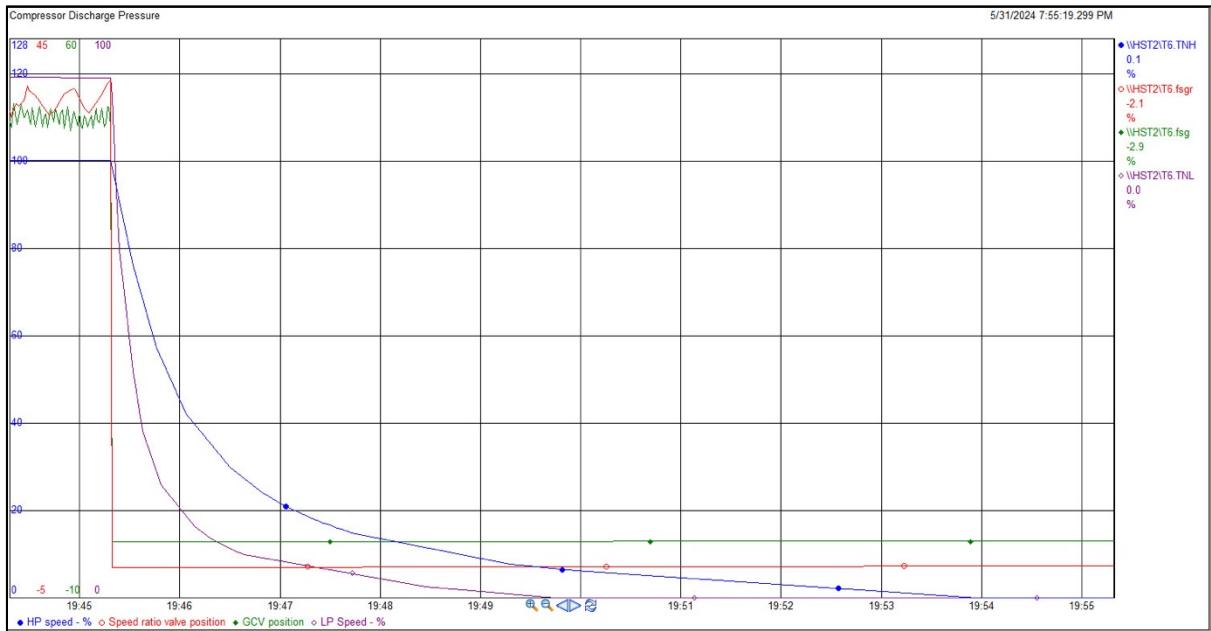


Figure IV.19 La courbe du SRV GCV TNH TNL durant le déclenchement.

La figure IV.19 représente l'évolution de la position de fermeture des deux vannes SRV GCV en fonction de la charge TNL et la vitesse de la roue HP, TNH durant le déclenchement de la machine.

Un trip c'est un déclenchement de la machine, suite à une alarme critique, une activation d'un relais L4 Master protective signal amène la fermeture brusque des deux vannes SRV GCV a une position de 0% immédiatement pour mètrent le fuel gaz à une valeur nulle afin de réduire les risques liés au disfonctionnement de la turbine.

Selon le graphe on peut constater que ces deux vannes sont passé d'une valeur d'environ 48,5% pour SRV et 59,7% pour GCV vers une valeur nulle -2,1% pour SRV et -2,9% pour GCV dans un délai très réduit (environ 10 s), ainsi que la vitesse des deux roue qui décelèrent rapidement jusqu'au l'arrêt dans un délai qui ne dépasse pas les 9 min, cela témoigne sur la sécurité et protection robuste que ces machines emploient.

Cette fermeture rapide est assurée par les actionneurs de boucle de régulation de ces deux vannes, premièrement l'électrovanne 20HD sera excité, ce qui entraine la fermeture du circuit d'huile hydraulique au niveau de la Moog, qui sera vider directement vers caisse, par conséquent les vérin hydraulique alimenté par cet huile sont amené à la fermeture immédiate et le fuel gaz entre valve (P2) sera vidé vers vent par la vanne de décharge.

## **IV.9 CONCLUSION**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les deux vannes SRV et GCV ainsi que tous les instruments de leur boucle de régulation. Durant notre stage, nous avons vu la calibration de ces vannes, en commençant par les LVDT jusqu'à la confirmation et la fermeture de la fenêtre d'étalonnage.

Ensuite, nous avons analysé les données concernant ces deux vannes. Notre analyse s'est basée sur l'évolution du pourcentage d'ouverture et de fermeture de ces deux vannes en fonction de la vitesse des deux roues de la machine : la TNH pour la roue HP et la TNL pour la roue LP, à travers le temps, durant deux cas. Le premier cas était le démarrage et le second cas était l'arrêt d'urgence et le déclenchement de la machine. Cette étude nous a permis de démontrer que les performances et le rendement de la machine sont directement liés à ces deux vannes, qui jouent un rôle crucial.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

Général Électrique, l'un des leaders mondiaux en technologie de pointe, domine le secteur pétrolier et gazier avec ses turbines à gaz dotées d'une technologie avancée et d'une protection optimale, aidant à répondre aux défis pressants liés à la production et au transport des hydrocarbures. Ces turbines à gaz occupent une place centrale et jouent un rôle crucial grâce à leur efficacité, leur flexibilité et leur capacité à répondre rapidement aux différentes exigences de cette méga-industrie.

Notre travail a pour but d'étudier l'influence des deux vannes de régulation de gaz, SRV et GCV, sur le rendement de la turbine à gaz MS5002C. Nous avons décrit la machine en question et son principe de fonctionnement, ainsi que les différentes parties et sections, telles que le système hydraulique et de déclenchement, et la chaîne de filtration d'air.

Ce travail est le fruit de plusieurs stages effectués au sein de la division production de SONATRACH sur plusieurs mois. Nous avons eu l'opportunité d'être en contact direct avec le milieu professionnel et ces machines, ainsi que de nous immerger dans une équipe dynamique d'ingénieurs speedtroniques et de participer à la majeure inspection de l'une de ces turbines.

Cette opportunité nous a permis de voir en temps réel les différents composants et parties de la turbine, mais aussi d'acquérir des compétences telles que la calibration et le montage de tous les instruments de la turbine, tels que les LVDT, les vannes SRV et GCV, les capteurs de vibrations axiales, radiales, Keyphasor, sismiques, NOZZLE, IGV, ainsi que le montage et les tests des thermocouples, LVDT, thermostats et pressostats.

Bien que notre stage se soit déroulé dans de bonnes conditions, nous avons rencontré quelques difficultés, telles que l'absence du simulateur du système de contrôle Mark VIe et de la boîte à outils ToolBox, en raison de licences non accordées à SONATRACH, ce qui a réduit notre champ d'action. Nous avons essayé de trouver des logiciels pouvant exécuter les mêmes tâches afin de réaliser notre simulation. Cependant, il était très difficile d'obtenir les différentes équations différentielles nécessaires à la modélisation du système en raison des restrictions imposées par le constructeur. Face à ces obstacles, nous avons choisi d'analyser et d'interpréter l'influence de ces deux vannes sur le rendement de la turbine, en exploitant au maximum les données auxquelles nous avons pu accéder.

Cette étude espère ouvrir la voie à des recherches futures sur ces vannes de régulation de gaz pour améliorer leur conception dans le but d'optimiser leur efficacité, à travers cette étude ainsi que tous les stages qu'on a effectué on a constaté que les déclenchement par des

alarmes de système hydraulique présente les cas le plus répétitifs durant l'exploitation de ces machines, l'étude vise à apporter une nouvelle perspective pour remplacer le système hydrauliques ( vérin hydraulique) par des vérin électrique qui compte plus d'avantage.

# **RÉFÉRENCES**

- 
- [1] NETTARI. K, « Maintenance de circuit de pompe hydraulique de démarrage d'une turbine à gaz ». Mémoire de master, Université de Kasdi Merbah- Ouargla, 2020.
- [2] KAKI. M & Belahcene El Hadj Amine, « Etude des vannes de gaz de la turbine à gaz MS5002C ». Mémoire de master, Université de Kasdi Merbah- Ouargla, 2016.
- [3] Rapport de stage du center stockage et transfert facilité, Centre de formation Hassi R'mel, 2010.
- [4] LOUIBA .M, « Naissance de Sonatrach documentation pour stagiaire TRC Béjaia »
- [5] La compagnie nationale pétrolière et gazière SONATRACH, <https://sonatrach.com/>
- [6] Amara Adnan, Boucle de régulation de la température de l'huile de lubrification, Rapport de stage, Ecole Nationale de Polytechnique,
- [7] Rapport de stage du center stockage et transfert facilité, Centre de formation Hassi R'mel, 2019
- [8] ABADI. I et HADJAJ. A, « Optimisation des paramètres de fonctionnement de section HP à l'aide de l'outil HYSYS au niveau de MPP0 à Hassi-R'mel ». Mémoire de Master, Université d'Ouargla 2019.
- [9] Khechana. I et Lebsaira. K, « Etude, modélisation et supervision de la séquence de start up d'un Turbocompresseur Heavy Duty 5002C dans le champ de Hassi R'mel ». Mémoire de master, Université de Biskra 2012.
- [10] Bouchalma. D.D , Rapport de stage SBC1 , Université de Boumerdes 2023
- [11] BELMILOUD. Y et BELGACEM. L, « Commande d'une turbine à gaz par le système de commande SPEEDTRONIC Mark VI ». Mémoire de master, université de Tizi ouzou 2010
- [12] Manuel opératoire pour SBC, projet Boosting Hassi R'mel, Sonatrach Algérie
- [13] Nuovo Pignone, For training center of Hassi R'mel , Algeria
- [14] SONATRACH MARK V Operation \* ENG (622457).Général électrique 2014.
- [15] NUOVO-PIGNONE : turbine à gaz MS5002C
- [16] Rehaïem. F et Boughenama. C, « Maintenance de circuit de pompe hydraulique de démarrage de la turbine à gaz ». Mémoire de master, Université d'Ouargla 2020.
- [17] NUOVO-PIGNONE : turbine à gaz MS5002C
- [18] Belmiloud.Y et Belgacem. L, «Commande d'une turbine à gaz par le système de commande SPEEDTRONIC Mark VI ». Mémoire de master, Université de Tizi Ouzou 2010
-

- 
- [19] Zaid. R, «Amélioration des performances thermodynamiques de la turbine à gaz MS5002C par refroidissement d'air à l'entrée du compresseur axial». Mémoire de master, Université de Annaba 2019.
- [20] Pierre Forestier DUT Génie Mécanique et DESS Marketing. Responsable Marketing Sud Europe, blog.wika.fr
- [21] Pressostat compact OEM, Fr.wika.ch.
- [22] Hadjloum.Y et Hadjadj. R, « Etude et programmation des séquences de démarrage de la turbine à gaz MS5002 sous Mark VI ». Mémoire de master, Université de Tizi Ouzou 2010.
- [23] [Honeywell STD700 Transmetteur de pression différentielle.](#)
- [24] Capteurs de température à thermocouple de type T-PRO K algeria.ubuy.com.
- [25] Manuel opératoire SBC F-09-1224-002 projet de Boosting Hassi R'mel -SONATRACH-Algeria.
- [26] Magnetic Pick up speed, Checkline.com.
- [27] GE Energy système de contrôle mark VIe Description du produit GEI-100600C\_fr.
- [28] <https://www.directindustry.fr/prod/elliott-group/product-34817-379303.html>
- [29] GE Oil & Gas Industry Application – Introduction and general overview.
- [30] Rapport de formation OPERATION, MAINTENANCE & BASIC CONFIGURATION, HEGUEHOUG Mohamed, SONARCO, 2010.
- [31] GE Oil & Gas Industry Application – Anti-surge protection system-
- [32] Vannes de régulation anti-pompage hautement fiables à effet rapide, mokveld.com.
- [33] GE Energy Contrôleur Mark\* VIe Guide du système vol. I GEH-6721K\_fr.
- [34] GE Energy Système de contrôle Mark VIe Description du produit -GEI-100600C\_fr.
- [35] <https://www.nexinstrument.com/is220ucsah1a>
- [36] manualslib.com , GE Mark VI e manual
- [37] Salle de contrôle SBC-Hassi R'mel.
- [38] GE Energy IHM (interface homme-machine) -Description du produit- GEI-100485D\_fr.
- [39] Baker Hughes- BENTLY NEVADA- Formation technique.
- [40] GE 3500 utilisation et maintenance - réfesM00004, Révision 10.
- [41] GE Heavy Duty Gaz Turbine Control Fundamental.
- [42] GE Power system elements fondamentaux du système de régulation mark VI speedtronic.
- [43] GE Power, Two-shaft Gaz turbine Control & Operation.
- [45] Manuel de l'usine, volume 27, Installation de traitement et de recyclage de Gaz Naturel, SONATRACH, ALRAR, ALGERIE
-

- [46] Kaki Mohammed et Belahcene El Hadj Amine, Etude des vannes de gaz de la turbine à gaz MS5002C, Mémoire de master, université d'Ouargla 2016.
- [47] MK V - Stop Ratio Valve (SRV) Configuration Handbook, Roberto Del Guasta, 2002.
- [48] moog.com, Motion control la référence.
- [49] Annexe 5 servo valve Moog, DP REB
- [50] Automation forum, what is a solenoid valve? Sundareswaran lyalunaidu, 2023.
- [51] Omega.co.uk, what is an LVDT.
- [52] te.com tutorial sur les LVDT.
- [53] Servo calibration, Mark VIe Maintenance Class Energy Learning Center, Salem VA.
- [54] Système de contrôle Mark VI e, SBC, SH-DP- REB.

## Abstract

Gas turbines are rotating machines that transform the thermal energy from the combustion of fuel gas in the combustion chambers, into mechanical energy produced by the rotary movement of two rotor, the first has a constant speed, while the second has a variant speed, which gives these machines an ideal appearance for variable loads in the gas industry, contributing significantly and efficiently to several aspects of this industry.

As these machines draw their power from the fuel gas burned in the combustion chambers, the control of this gas supply must be carefully checked to avoid any possible incidents (on speed), this regulation of fuel gas and very precise the pressure and the flow provided respectively by the two valves SRV and GCV, in order to ensure a safety and an optimal efficiency of these machines.

The purpose of this study is to study and supervise the influence of these two valves on the efficiency of the turbine during the different three cases of its operation, start-up, voluntary shutdown, emergency shutdown.

**Key words:** Gas turbine, SRV GCV valves, fuel gas, load, TNH, TNL

## ملخص:

التوربينات الغازية هي آلات دوارة تحول الطاقة الحرارية المنبعثة من احتراق غاز الوقود في غرف الاحتراق، الى طاقة ميكانيكية الناتجة عن الحركة الدوارة لدوارين، الأول له سرعة ثابتة، بينما الثاني له سرعة متغيرة، ما يمنح هذه الآلات مظهرًا مثاليًا للأحمال المتغيرة في الصناعة الغازية، المساهمة بشكل كبير وفعال في العديد من جوانب هذه الصناعة.

عندما تستمد هذه الآلات طاقتها من غاز الوقود المحترق في غرف الاحتراق، يجب فحص التحكم في إمدادات الغاز هذه بعناية لتجنب أي حوادث محتملة (تجاوز السرعة)، هذا التنظيم والدقة الشديدة للضغط والتدفق لغاز الوقود اللذين يوفرهما الصمامان SRV و GCV على التوالي، من أجل ضمان سلامة هذه الآلات وكفاءتها المثلى.

الغرض من هذه الدراسة هو دراسة ومعاينة تأثير هذين الصمامين على كفاءة التوربين خلال الحالات الثلاث المختلفة لإستغلاله، وبدء التشغيل، والإغلاق الطوعي، والإغلاق الطارئ.

**الكلمات المفتاحية:** توربين الغاز، صمام SRV GCV، غاز الوقود، الحمل، TNH، TNL