

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de Master

Présenté par

ZIANE Imane

DJABEUR Henen

Filière : Génie des procédés

Option : Sécurité industrielle

LES RISQUES LIÉS A L'EXPLOITATION DE LA CHAUDIÈRE IHI

Devant le jury :

Mr .KHELLASSI. S	M'HAMED BOUGARA	Président
Mme BENRAHOU. F	M'HAMED BOUGARA	Examineur
Mr. BEHABILES. M	M'HAMED BOUGARA	Examineur
Mme .YOUNSI. F	M'HAMED BOUGARA	Encadreur



Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier le DIEU notre créateur, pour nos avoir donné la force d'accomplir ce travail.

Nous adressons nos vifs remerciements à nos encadreurs M^{me} YOUNSI.F pour leur compréhension, leur patience, leur remarque qui ont été précieuse et leur soutien dans des moments très difficiles.

Nos plus sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de génie des procédés qui nous aidés, conseillés et guidés a fin de finaliser se présent mémoire dans des bonnes conditions.

Ainsi que à tous ceux qui nous aidés de prés ou de loin.

Nous remercions également les membres du jury qui nous ferons l'honneur de juger notre travail.

Henen et Imane





DEDICACE

Ce modeste travail est dédié à:

Mes parents qui ont été les bougies allumant mon chemin vers la réussite; pour leur bonté, leur générosité et encouragement.

Mes frères : ABED EL-HADI, NASRO

Mes sœurs : AFAF, SAMAH

Tous mes oncles et tantes.

Tous mes amis

Tout le groupe MASI/11, je vous exprime ma vive reconnaissance et je vous assure mon indéfectible amitié.

Imane





DEDICACE

Je dédie toute ma gratitude à mes chers parents qui m'ont aidé et qui n'ont épargné aucun effort pour m'instruire par leur sacrifice.

A mes frères et mes sœurs, à la personne qui compte beaucoup pour moi, à mes tantes et mes oncles, à mes chers cousins et cousines, et à toute ma famille.

A tout mes amis et collègues de cette promotion.

A tout ceux qui ont participés de près ou de loin pour la réalisation de ce travail et ceux qui m'espèrent la réussite.

HENEN



SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
PROBLEMATIQUE.....	3

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE COMPLEXE GL2/Z

INTRODUCTION	4
I.1 FONCTION DE L'USINE[1].....	4
I.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE DU COMPLEXE.....	4
I.3 HISTORIQUE DU COMPLEXE GL2/Z.....	5
I.4 DESCRIPTION DE L'USINE	5
I.5 DEFINITION DU GAZ NATUREL	10
I.6 CIRCUIT EAU-VAPEUR.....	11

CHAPITRE II : TECHNOLOGIE DE LA CHAUDIERE IHI

INTRODUCTION	13
II.1 PRESENTATION DE L'INSTALLATION.....	13
II.2 DESCRIPTION DE L'OUVRAGE [5].....	17
II.3 CARACTERISTIQUES DE LA CHAUDIERE IHI [5]	18
II.3.1 CRITERES DE CONCEPTION	18
II.3.2 DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS	19
II.3.2.1 Equipements principaux	19
II.3.2.2 Equipements auxiliaires	24
II.4 DESCRIPTION DU SYSTEME DE LA CHAUDIERE	26
II.5 REGULATION D'UNE CHAUDIERE[7].....	29

II.6 OPERATION ET SURVEILLANCE DE LA CHAUDIERE.....	29
II.7 BARRIERES DE SECURITE [8].....	32
CONCLUSION.....	35

CHAPITRE III : LES RISQUES LIES A L'EXPLOITATION DE LA CHAUDIERE

INTRODUCTION	36
III.1 RISQUE PRESSION [11].....	36
III.2 RISQUE CHIMIQUE [12]	37
III.3 RISQUE ELECTRIQUE [11]	39
III.4 RISQUE DE POLLUTION.....	39
III.5 RISQUE DE BRUIT.....	41
III.6 RISQUE DE CORROSION [13].....	42
III.7 RISQUE EXPLOSION [15]	44
III.8 RISQUE DE VIBRATION.....	50
CONCLUSION.....	54

CHAPITRE IV : IMPACTS DES VIBRATIONS

INTRODUCTION	55
IV.1 CALCULS D'IMPACTS D'EXCES D'AIR SUR LE SURCHAUFFEUR ET L'ECONOMISEUR.....	55
IV.1.1 IMPACTS SUR LE SURCHAUFFEUR.....	55
IV.1.2 IMPACTS SUR L'ECONOMISEUR :	57
IV.1.3 RELATION ENTRE L'EXCES D'AIR ET LE TENEUR DE L'OXYGENE DANS LES FUMEEES.....	59
IV.2 IMPACTS DES VIBRATIONS SUR LE RENDEMENT DE LA CHAUDIERE IHI.....	60
IV.2.1 RENDEMENT DE LA CHAUDIERE EN ABSENCE DES VIBRATIONS	60
IV.2.2 RENDEMENT DE LA CHAUDIERE EN PRESENCE DES VIBRATIONS	66
VI.2.3 COMPARAISON DES DEUX RENDEMENTS CALCULES AVEC LE DESIGN	71

CONCLUSION	72
-------------------------	-----------

CHAPITRE V : MODELISATION DU RISQUE EXPLOSION

INTRODUCTION	73
V.1 PERIMETRE DE L'ETUDE	73
V.2 SOURCES D'INFLAMMATION [18]	74
V.3 EFFETS DOMINOS	76
V.4 PRESENTATION DU SCENARIO D'ACCIDENT	76
V.5 CRITERES RETENUS POUR LA DETERMINATION DES ZONES DE DANGERS	77
V.5.1 EFFETS THERMIQUES[18]	77
V.5.2 EFFETS DE SURPRESSION[18]	78
V.6 HYPOTHESES D'ACCIDENT	79
V.7 RESULTATS DE LA SIMULATION	79
V.7.1 MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DU NUAGE DE GAZ INFLAMMABLE	79
V.7.2 MODELISATION DE LA CONCENTRATION DES POLLUANTS[19]	81
V.7.3 EFFETS DE SURPRESSION (VCE).....	82
V.7.4 EFFETS THERMIQUES	83
CONCLUSION ET RECOMMANDATION	85
CONCLUSION GENERALE	87
RECOMMANDATIONS	88
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	90
ANNEXES	

Liste des figures

Figure I-1: Schéma du procédé de la section de décarbonatation du gaz naturel du complexe GL2/Z.	8
Figure I-2: Schéma du procédé de la section de déshydratation du gaz.....	8
Figure I-3 : Schéma du procédé de la section de liquéfaction naturel du complexe GL2/Z.....	9
Figure I-4 : schéma synoptique d'un train de procédé.....	10
Figure II-1 : Disposition de la chaudière.....	15
Figure II-2 : Schéma général d'une chaudière à circulation naturelle.....	16
Figure II-3 : Ballon supérieur.....	20
Figure II-4 : chambre de combustion.....	21
Figure II.5 : Zone de récupération de chaleur.....	22
Figure II-6 : Dégazeur.....	24
Figure II-7 : Cycle eau-vapeur d'une chaudière.....	26
Figure II-8: Système de combustion.....	27
Figure II-9: Système d'air et gaz de fumée.....	28
Figure IV-1: L'impact de l'excès d'air sur le surchauffeur	57
Figure IV-2: L'impact de l'excès d'air sur l'économiseur.....	59
Figure IV-3 : variation d'excès d'air en fonction de la teneur d'oxygène dans les fumées...60	
Figure IV-4: Variation du rendement en absence et en présence des vibrations.....	71
Figure V-1: aménagement des chaudières IHI du complexe GL2Z.....	74
Figure V-2 : les zones menacées par les flammes.....	80
Figure V-3 : Les zone menacée par menacées par les polluants.....	82
Figure V-4 : Effets de surpression issus de l'explosion de la chaudière IHI.....	83
Figure V-5 : les zones des radiations thermiques.....	84

Liste des tableaux

Tableau I-1:	conditions de stockage du GNL.	5
Tableau I-2:	moyenne de gaz naturel entrée usine et celui liquéfié.	11
Tableau II-1 :	principales caractéristiques des chaudières IHI.	17
Tableau II-2 :	Composition molaire du fuel gaz.	18
Tableau II-3 :	Paramètres thermo-hydrauliques des économiseurs.	19
Tableau II-4 :	Paramètres thermo-hydrauliques des surchauffeurs.....	23
Tableau II-5 :	Les articles principaux pour la sureté de combustion.	31
Tableau III-1 :	Les risques spécifiques des produits chimiques.	38
Tableau III.2:	exemple de rapport des mesures de bruit du site GL2/Z.	41
Tableau IV-1 :	Résultats des calculs des quantités de chaleur absorbées par la vapeur saturée.....	56
Tableau IV-2 :	Résultats des calculs des quantités de chaleur absorbées par l'eau.....	58
Tableau IV-3 :	la teneur de l'oxygène dans les fumées pour chaque excès d'air	59
Tableau IV-4 :	La composition de fuel gaz en absence des vibrations.....	60
Tableau IV-5 :	Les chaleurs spécifiques des composants du combustible.....	63
Tableau IV-6:	Les chaleurs spécifiques des composants des fumées.....	64
Tableau IV-7 :	La composition de fuel gaz en absence des vibrations.....	66
Tableau IV-8 :	chaleur spécifique des composants du combustible.....	68
Tableau IV-9 :	chaleur spécifique des fumées.....	69
Tableau IV-10 :	Résultats des calculs du rendement.....	71
Tableau V-1 :	Sources d'inflammations dans l'unité.....	75
Tableau V-2:	Liste des valeurs seuils des effets thermiques.....	77
Tableau V-3:	Liste des valeurs seuils des effets de surpression.....	78
Tableau V-4:	Dispersion atmosphérique du nuage de gaz explosif.....	80
Tableau V-5 :	les distances maximales des effets toxiques.....	81
Tableau V-6:	Distances maximales des effets de surpression.....	82
Tableau V-7:	Distances maximales des radiations thermiques.....	83

Liste des abréviations

GNL	Gaz naturel liquéfié
BFP	pompe d'eau d'alimentation de la chaudière
FDF	Ventilateur à tirage forcé
FDCF	Ventilateur de refroidissement de détecteur de flamme
OAP	Port d'air supérieur
SHP	Surchauffeur primaire
SHS	Surchauffeur secondaire
PCS	pouvoir calorifique supérieur
MCR	Multi composant réfrigérant
FCV	vanne de contrôle d'eau alimentaire
HAR	zone de récupération de chaleur
DCS	système numérique de contrôle commande
LII (LIE)	Limite inférieure d'inflammabilité (d'explosivité)
LSI (LSE)	Limite supérieure d'inflammabilité (d'explosivité)

Introduction générale

L'Algérie possède une économie basée essentiellement sur l'exploitation des hydrocarbures, assurée par la société nationale "SONATRACH".

Les ventes du GNL étant réalisées généralement sur des bases contractuelles, à moyen et long terme, il est évident que pour satisfaire les engagements, le fonctionnement performant des complexes GNL, et en particulier celui de GL2/Z est un impératif, et les moyens de production doivent être disponibles, en particulier les utilités qui doivent être garanties en quantités nécessaires et particulièrement la vapeur d'eau.

En effet, le procédé de liquéfaction ne peut être réalisé sans la présence d'un important débit de vapeur car ce dernier est le fluide moteur d'un complexe de liquéfaction du gaz naturel, la génératrice de cette énergie indispensable à la production du GNL est la chaudière.

La chaudière est une installation d'une importance stratégique, et un équipement classé très critique. Ainsi pour la faire fonctionner dans les conditions nominales, et avoir un rendement le plus optimal possible, il est impératif d'avoir une régulation stricte et rigoureuse de ses différents paramètres clés.

L'objet de notre travail qui s'inscrit dans le cadre du projet de fin d'étude consiste à élaborer une étude approfondie sur le fonctionnement de la chaudière IHI et les différents risques liés à son exploitation.

L'analyse des risques liés à l'exploitation des chaudières constituent des thèmes de réflexion qui ne peuvent, à l'évidence, être traités qu'en classant chaque type de risque en fonction de sa nature.

La prévention et la protection des chaudières parmi les premières préoccupations du complexe GL2/Z pour éviter tout accident qui influera négativement sur le milieu industriel (les installations, la production, l'homme, l'environnement...) et même le milieu extérieur.

Mis à part l'introduction, nous avons réparti notre travail sur Cinq chapitres, les trois premiers constituent la partie théorique:

- Le premier chapitre comporte une description générale du complexe GL2/Z et celle du procédé.

- Le deuxième chapitre comporte une description détaillée de la chaudière IHI ainsi que les systèmes de contrôle et de régulation associés à l'installation, une description du mouvement des fluides, eau, vapeur et fumée ainsi que le mécanisme de transfert de chaleur et de changement de phase dans la chaudière.
- Le troisième chapitre comporte les principaux risques liés à l'exploitation de la chaudière IHI dont laquelle nous avons axés notre travail.

La partie pratique est composée de deux chapitres :

- Le premier chapitre nous avons choisi le risque vibration-vue son apparition actuelle au niveau du foyer- où on a étudié les impacts de ce phénomène sur la production de la chaudière IHI (impacts d'excès d'air sur le surchauffeur et l'économiseur, ensuite impacts des vibrations sur le rendement).
- Le deuxième chapitre, dans lequel nous parlerons de l'accidentologie typique à notre cas d'étude, du scénario proposé avec l'utilisation d'un logiciel de simulation afin de prévoir l'impact d'un pareil accident sur le voisinage du complexe.

Problématique

Suite à l'explosion de la chaudière à vapeur dans le complexe du GNL1K qui reste, de par son ampleur, l'accident industrielle le plus important dans l'industrie pétrolière Algérienne, nous allons axer notre étude sur l'installation des générateurs de vapeur (chaudières) IHI qui occupe un rôle essentiel dans une usine de liquéfaction comme le cas du complexe GL2/Z.

Dans ce contexte et pour éviter les accidents qui peuvent être causé par cette installation, plusieurs mesures prises visant à améliorer la sécurité des installations et la protection des personnes dans ce complexe.

On aura donc contribué à l'étude de diminuer les risques liés à l'exploitation des chaudières IHI à un niveau jugé tolérable ou acceptable dans le but de réduire la probabilité et la gravité des dommages associés à ces risques et dans un souci de protection du milieu industriel (Homme, machine, environnement).

Aussi, actuellement un problème se pose au niveau du complexe GL2/Z, réside dans la présence indésirable de phénomène de vibrations dans la chaudière IHI de 400T qui risquent de compromettre la satisfaction des besoins du complexe.

On aura étudié l'impact de ces vibrations sur le rendement de la chaudière et qu'est-il faut faire afin de trouver des solutions à ce phénomène.

Introduction

Dans le cadre de l'objectif stratégique de valorisation des ressources en GN principalement du gisement de HASSI R'MEL, des usines de Gaz Naturel Liquéfier (GNL) ont été construites en l'Algérie, dont le but principal est l'exportation du GNL vers l'Europe et les pays du nord par méthaniers.

L'Algérie possède deux pôles importants de production du GNL, ARZEW et SKIKDA.

I.1 Fonction de l'usine[1]

Le complexe **GL2/Z** a pour mission de liquéfier le gaz naturel provenant des champs gaziers de **HASSI R'MEL**, avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline. Le **GNL** (**Gaz Naturel Liquéfié**) est pompé et chargé dans des méthaniers spécialement conçus pour le transport cryogénique pour être expédié vers l'étranger.

Superficie : Le complexe GL2Z s'étend sur une superficie de 72 Hectares.

Produits :

- ✓ Gaz Naturel Liquéfié.
- ✓ Butane.
- ✓ Propane.
- ✓ Gazoline.

Capacité Contractuelle Installée de production :

- ✓ GNL : 17,8 Millions m³ / an.
- ✓ Propane : 410 000 Tonnes / an.
- ✓ Butane : 327 000 Tonnes / an.
- ✓ Gazoline : 196 000 Tonnes / an.

Capacité totale de stockage :

- ✓ 03 bacs aériens de stockage GNL : 100 000 m³ chacun.
- ✓ 02 bacs de gazoline : 14 000 m³ chacun.

I.2 Situation géographique du complexe

Le complexe **GL2/Z** est situé au nord-est de Béthioua environ 40Km à l'est d'Oran, son emplacement au bord de la mer lui permet d'utiliser son eau comme source d'alimentation pour le refroidissement, la production d'eau dessalée et la lutte anti-incendie. En outre, il permet de faciliter l'exportation des hydrocarbures notamment le GNL et ses extraits par voie marine (méthaniers).

I.3 Historique du complexe GL2/Z

Le complexe **GL2/Z** est la dernière usine de liquéfaction où l'engineering a été assuré par la société américaine d'engineering « **PULLMAN KELLOGG** » qui a été chargée des études de la construction et du démarrage des différentes installations.

Signature du contrat	09 février 1976
Ouverture du chantier	15 mars 1977
Pose de la première pierre.....	21 février 1978
Première production du GNL	20 janvier 1981
Première expédition du GNL	29 janvier 1981

I.4 Description de l'usine

L'usine de liquéfaction de gaz naturel d'Arzew (**GL2Z**) comprend 6 trains de liquéfaction indépendants fonctionnant en parallèle. Le gaz naturel d'alimentation est également distribué à chacun des trains par un réseau de canalisation. Le débit de gaz naturel distribué est d'environ **1.500.000 m³/h** pour les 6 trains soit en moyenne **250.000 m³/h /train**. Dans chaque train, le gaz naturel d'alimentation est traité pour éliminer le gaz carbonique et la vapeur d'eau, il est ensuite réfrigère et distille pour en extraire les hydrocarbures lourds et il est finalement liquéfié à **-162°C**.

Une fois liquéfié, le gaz naturel est envoyé par pompage dans 3 réservoirs de stockage sous une pression de **1,03 bar** absolu, qui desservent l'ensemble des 6 trains. Il est prévu que chaque train de liquéfaction produira en moyen **8.400 m³/h** de GNL soit l'équivalent de **47.000.000 Thermie**.

Les réservoirs de stockage ont une capacité de **100.000 m³** chacun et la capacité totale de stockage correspond à la production de 5 journées complète de l'ensemble des 6 trains.

Chaque méthanier a une capacité moyenne de **125.000m³** et lorsque ces réservoirs sont préparés, le chargement s'effectue en **12h30'** à raison d'un débit de chargement de **1.000m³ GNL/h**.

Masse moléculaire	18,2 g/mole
Pression	1,03 bar absolu
Température	- 162°C

Tableau I-1: Conditions de stockage de GNL.

L'usine est composée de trois zones :

- Les utilités.
- Les trains de procédé.
- La zone terminale « Stockage – Chargement ».

1^{ère}-ZONE : Utilités[2]

Les utilités constituent une zone importante au sein du complexe **GL2/Z**. Elles permettent d'assurer la fourniture de tous les besoins pendant le démarrage et la marche normale des trains de liquéfaction.

A/ Source d'énergie

La vapeur joue un rôle essentiel dans une usine de liquéfaction comme le cas du complexe GL2/Z. Cette vapeur convertie en travail permet l'entraînement de plusieurs équipements tels que les turboalternateurs, les turbopompes, les turbocompresseurs...etc.



B/ Source de refroidissement

L'eau est la source de refroidissement transportée par un ensemble de six (06) pompes de grande puissance de 175000 m³/h.



C/ Production d'électricité

La production d'électricité est assurée par trois (03) alternateurs entraînés par des turbines à vapeurs. Les turbo-alternateurs fournissent l'énergie de 36 MW par générateur.

D/ Unité de dessalement

Elle permet de produire l'eau distillée nécessaire à l'alimentation des chaudières de 225 m³/h.



E/ Production d'air comprimé

Une grande partie de l'instrumentation du complexe est pneumatique. La production de l'air comprimé est assurée par un ensemble de quatre (04) compresseurs et d'un compresseur d'air secours.

F/Azote

L'azote est fourni par l'entreprise nationale des gaz industriel (ENGI), et utilise pour l'inertage des installations pour la préparation aux travaux de maintenance ainsi que les démarrages.

2^{ème} ZONE : Process[3]

Cette zone est composée de six (06) trains qui produisent 9000 m³/jour/train du **GNL**. Chaque train dispose de sa propre production de vapeur, sa propre section de décarbonatation, de séchage et de liquéfaction des hydrocarbures. D'où :

A/ Section de traitement de gaz

Elle comprend trois étapes :

- Démercurisation : élimination de Hg.
- Décarbonatation : élimination du CO₂.
- Déshydratation : - Pré refroidissement du GN au propane
- Élimination de la vapeur d'eau

B/ Section de séparation et de liquéfaction

Elle comprend deux étapes :

- **Séparation**: séparation des hydrocarbures lourds.
- **Liquéfaction** : - Liquéfier le gaz naturel.
- Elimination de l'azote.

C/ Section de fractionnement

Elle traite le gaz qui provient du bas du ballon de séparation, c'est le système de fractionnement des hydrocarbures lourds, il comprend trois étapes :

- De-éthanisation: récupération de l'éthane.
- Dépropanisation: récupération du propane.
- Débutanisation : récupération du butane.

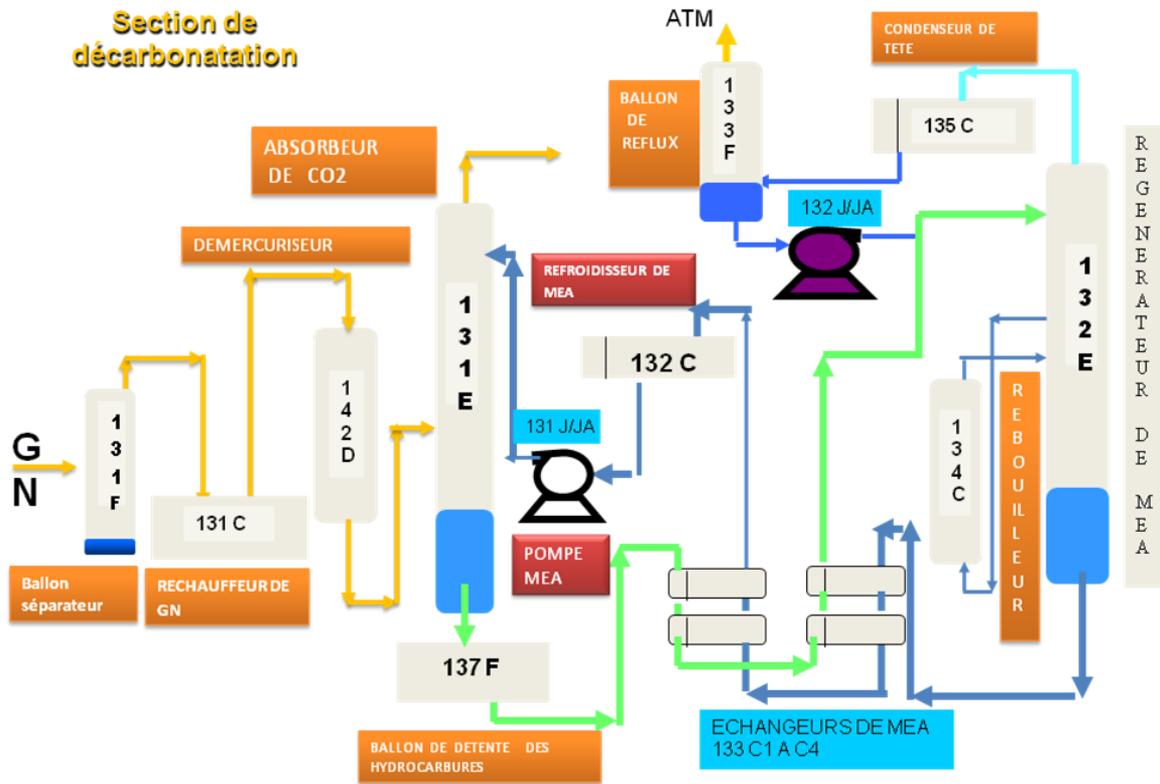


Figure I-1: Schéma du procédé de la section de décarbonatation du gaz naturel du complexe GL2/Z.

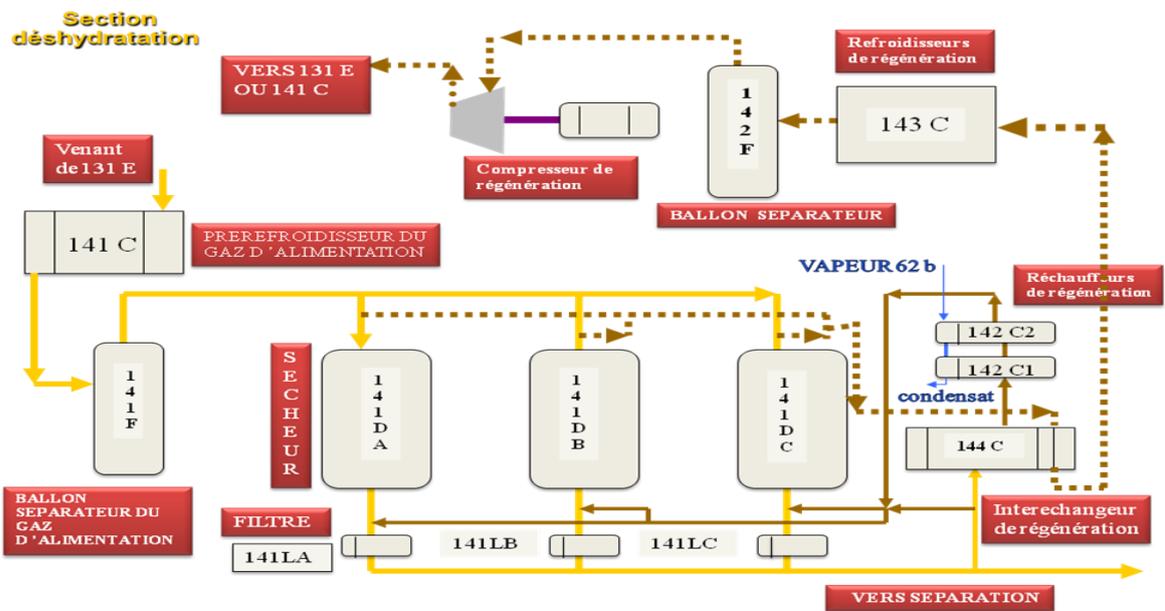


Figure I-2: Schéma du procédé de la section de déshydratation du gaz.

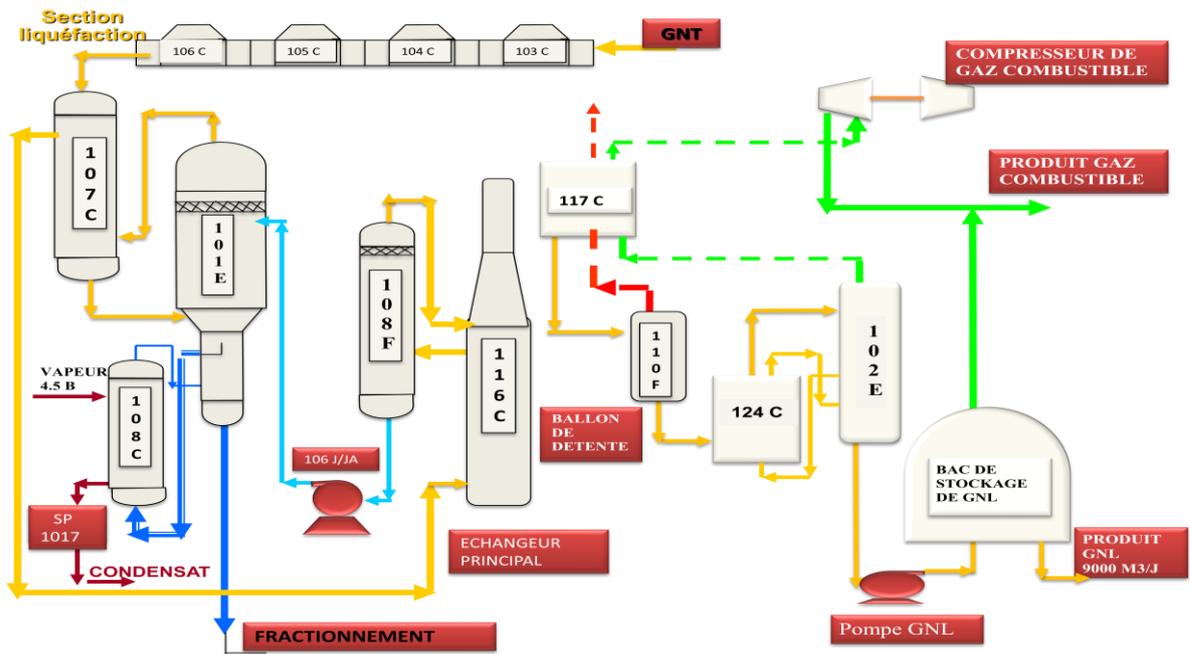


Figure I-3 : Schéma du procédé de la section de liquéfaction naturel du complexe GL2/Z.

3^{ème} ZONE : Terminal [4]

C'est la zone de stockage et de chargement, elle contient trois (03) réservoirs de **GNL** d'une capacité de 100000 m³, deux (02) réservoirs de gazoline d'une capacité de 14500 m³.



- Une station de pompage de **GNL** d'une capacité de 10000 m³/h.
- Deux (02) quais d'expédition avec dix (10) bras de chargement.

Un réseau d'annexe comprenant les systèmes d'épuration pour les torches et le brûlot.

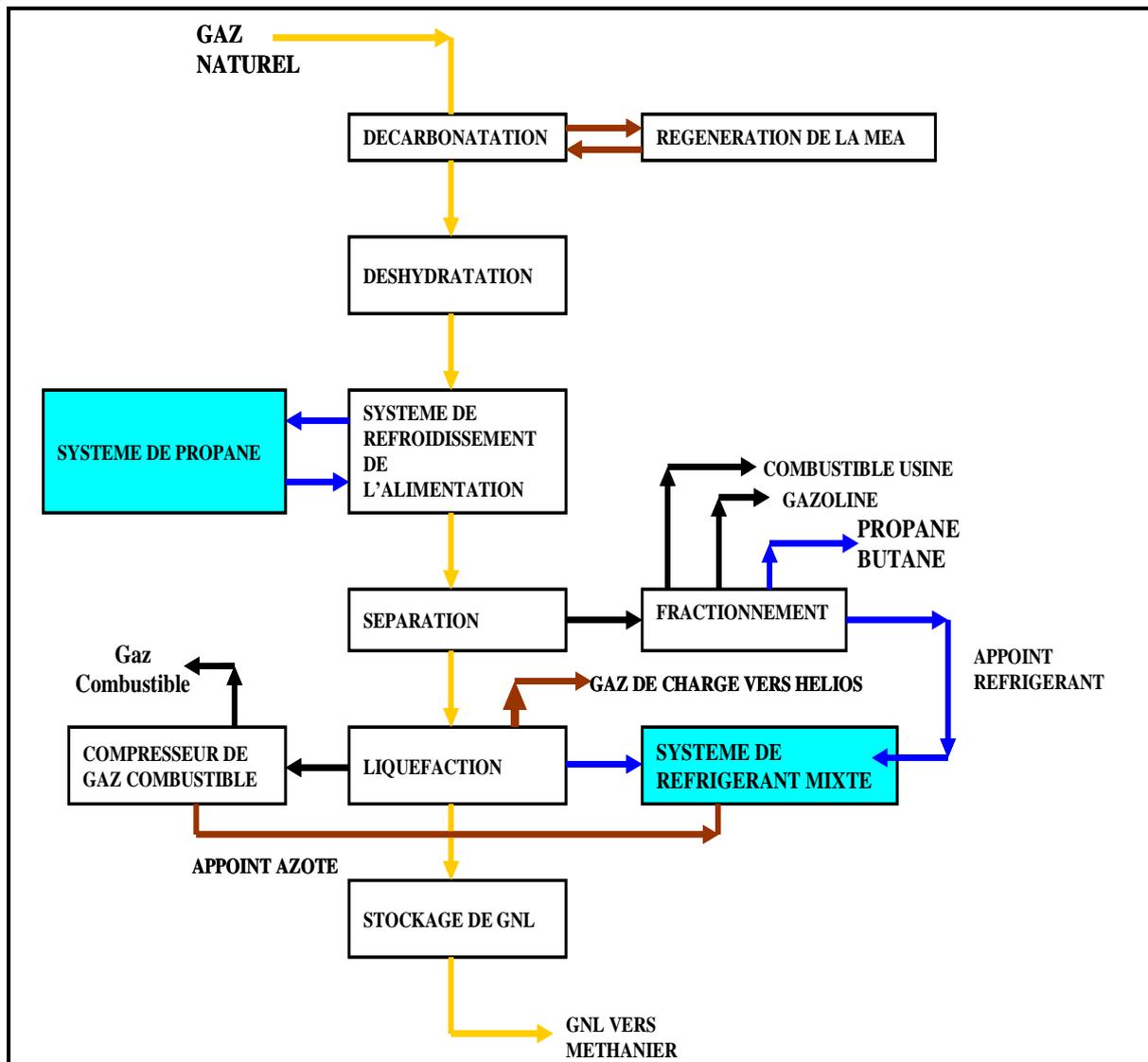


Figure I-4 : schéma synoptique d'un train de procédé.

I.5 Définition du gaz naturel

Le gaz naturel est un combustible fossile, il s'agit d'un mélange d'hydrocarbures trouvé naturellement sous forme gazeuse. C'est la deuxième source d'énergie la plus utilisée dans le monde après le pétrole et son usage se développe rapidement.

Le gaz naturel liquéfié consiste en du gaz naturel (composé essentiellement de méthane) condensé à l'état liquide (réduction du volume original d'environ 1/600). En effet, lorsque ce gaz est refroidi à une température d'environ -161 °C à la pression atmosphérique, il prend la

forme d'un liquide clair, transparent, inodore, non corrosif et non toxique. Le GNL est environ deux fois plus léger que l'eau.

Le tableau ci-après présente à titre la composition moyenne de gaz naturel entrée usine et celui liquéfié :

% molaire	Azote	Méthane	Ethane	Propane	Butane	Pentane +	He	CO ₂
GN	5.98	84.52	6.74	1.47	0.5	0.15	0.109	0.3
GNL	0.24	91.34	7.89	0.519	0.004	0	-	-

Tableau I-2: moyenne de gaz naturel entrée usine et celui liquéfié.

I.6 Circuit eau-vapeur

La vapeur d'eau est un fluide essentiel dans une usine pétrochimique en raison de son utilisation dans la distribution d'énergie en tant que fluide caloporteur et d'entraînement des turbines pour la production d'énergie électrique et mécanique. Outre ce rôle particulier la vapeur d'eau intervient également dans les procédés de production, en tant que réactif chimique, vapeur de dilution, de stripage et constitue aussi un élément de sécurité (vapeur d'étouffement).

La production de la vapeur de l'usine GL2/Z est assurée par les 26 chaudières de la section de chauffe, et ceci à différentes températures et pressions.

I.6.1 Distribution du vapeur

Le réseau de distribution de vapeur comprend les chaudières utilités et celles du procédé ainsi que les deux nouvelles chaudières IHI.

Les générateurs de vapeur 62 bars des différents trains alimentent un collecteur principale qui également relié au collecteur des utilités à l'aide d'une vanne actionnée quand c'est nécessaire ce même système s'applique au réseau vapeur 4.5 bars.

Nous présentations la distribution de vapeur plus de détails lorsqu'on abordera la zone des utilités et celle des procédés.

Il existe trois (03) réseaux de vapeur selon le niveau de pression demandé par les différents utilisateurs :

- Le réseau 62 bars.
- Le réseau 17.5 bars.
- Le réseau 4.5 bars.

Un réseau supplémentaire de 1.4 bars fournit la vapeur nécessaire à la climatisation des salles de contrôle.

A/Réseau HP 62 bars/440° C

Cette vapeur est produite par les chaudières de process ABB,IHI de capacité 400 T/h chacun et les chaudières utilité qui déversent dans un collecteur de 36 pouce.

Elle alimente principalement les 03 turbo générateurs, les pompes alimentaires des chaudières, le compresseur de propane, les compresseurs de MCR, compresseur fuel gaz réchauffeurs de gaz de régénération des sécheurs et le collecteur de MP 17.2 bars après détente et désurchauffe.

B/Réseau MP 17.2 bars/304° C

Cette vapeur est produite par la chaudière de la zone utilité, poste de détente 62/17.2 bars, l'échappement des turbines des pompes alimentaires et l'échappement du compresseur FG. Cette vapeur alimente les turbines à condensation, les turbines des pompes alimentaire, les ventilateurs à tirage forcée des chaudières, les turbines des pompes de lubrification et d'étanchéité des TG et compresseurs, éjecteur dessalement, réchauffeur de vapeur de stockage GNL, éjecteur des condenseurs sous- vide des TG, vaporisateur et turbopompe MEA et le collecteur BP 4.5 bars après détente et désurchauffe.

C/Réseau BP 4.5 BARS/229° C

Cette vapeur est produite au poste de détente 17.5 bars, ballon de détente et à l'échappement des turbines 17.5/4.5 bars, elle alimente le réchauffeur de GN, le réchauffeur de saumure de l'unité de dessalement, les dégazeurs, les rebouilleurs au fractionnement, le préchauffeur du GN d'alimentation, le chauffage des caisses d'huile de graissage, boîte étanche (turbopompe) et les postes de vapeur de service.

Introduction

Dans l'industrie, on utilise les générateurs de vapeur (chaudières) pour la production de la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. Cette vapeur est produite en chauffant de l'eau en utilisant une source de chaleur qui peut être fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon...) ou une résistance électrique.

Dans ce document, on ne s'intéressera qu'aux chaudières à combustion qui sont les plus couramment utilisées et plus précisément à la chaudière IHI.

Les installations de génération de vapeur sont construites et/ou fournies par IHI Corporation, Tokyo, Japon.

II.1 Présentation de l'installation

La chaudière de marque IHI est de type radiante-o-, de grande puissance, à circulation naturelle. C'est un type générateur de vapeur dans lequel l'eau circule dans les tubes qui sont chauffés extérieurement par le gaz de combustion. Elle fonctionne avec une puissance élevée pour produire 400t/h de vapeur sous une pression de 65bars, pour avoir la vapeur surchauffée à une température de 441°C.

Cette chaudière se compose de :

- 3 pompes d'eau d'alimentaire des chaudières.
- Un dégazeur avec un réservoir (Bâche alimentaire).
- 2 ventilateurs à tirage forcé.
- Ballon de vapeur supérieure.
- Economiseur, Evaporateur.
- 2 surchauffeurs, un à haute température et l'autre à basse température.
- Chambre de combustion avec 9 brûleurs.
- Canalisation de vapeur et d'eau d'alimentation.
- La cheminée.
- Les vannes et des clapets.
- Le système de régulation et de contrôle.

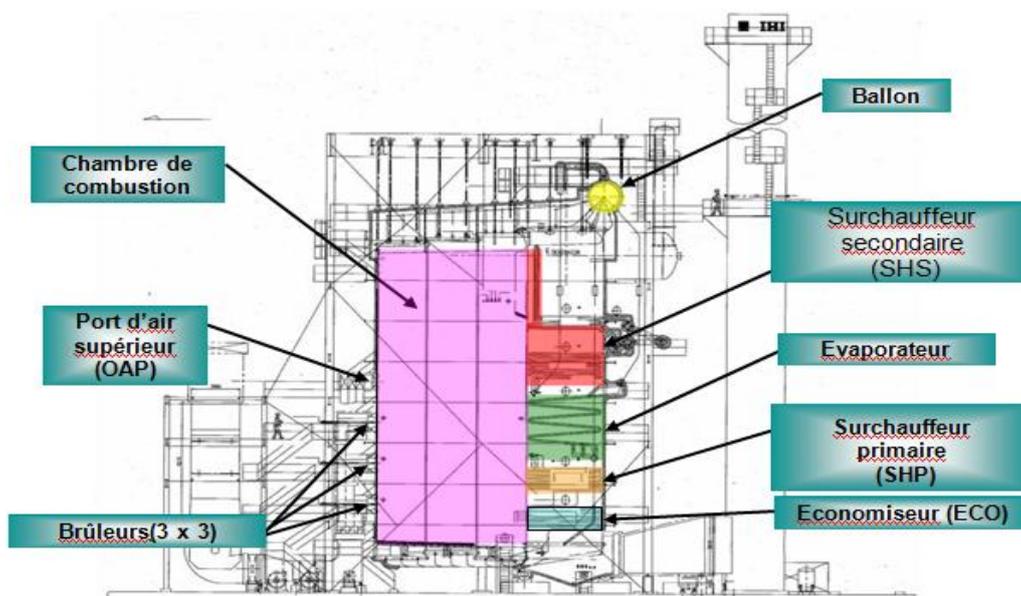
Le gaz procédé est utilisé comme combustible principal des installations de génération de vapeur et le gaz naturel est utilisé pour l'allumage et le démarrage.

La vapeur auxiliaire est alimentée aux équipements requis afin d'assurer un service économique. Par exemple, la pompe alimentaire de chaudière et le ventilateur à tirage forcé sont alimentés par la vapeur auxiliaire. Ceci réduit la demande en énergie auxiliaire

Pour confirmer la qualité de la vapeur et de l'eau et maintenir cette qualité à un niveau acceptable, un système d'échantillonnage de la vapeur et de l'eau et un système de dosage chimique sont prévus.

Le gaz de combustion est évacué par la cheminée avec transfert de chaleur sur les parois du foyer, les surchauffeurs et l'économiseur. Les chaudières de type IHI sont dotées d'orifices supérieurs (OAP) au-dessus des brûleurs, qui sont des ports d'injection d'air secondaire de combustion. L'air injecté par les OAP oxyde lentement les imbrûlés et la combustion lente désoxyde les NOX.

La figure II-1 suivante, représente une vue en coupe de la chaudière, vue de droite. La partie la plus large représente le foyer. Le ballon est monté au-dessus de la chaudière. Les autres parties sont l'économiseur, l'évaporateur, le surchauffeur primaire et le surchauffeur secondaire qui se trouvent à droite de zone de paroi de récupération de chaleur ainsi que la tuyauterie.



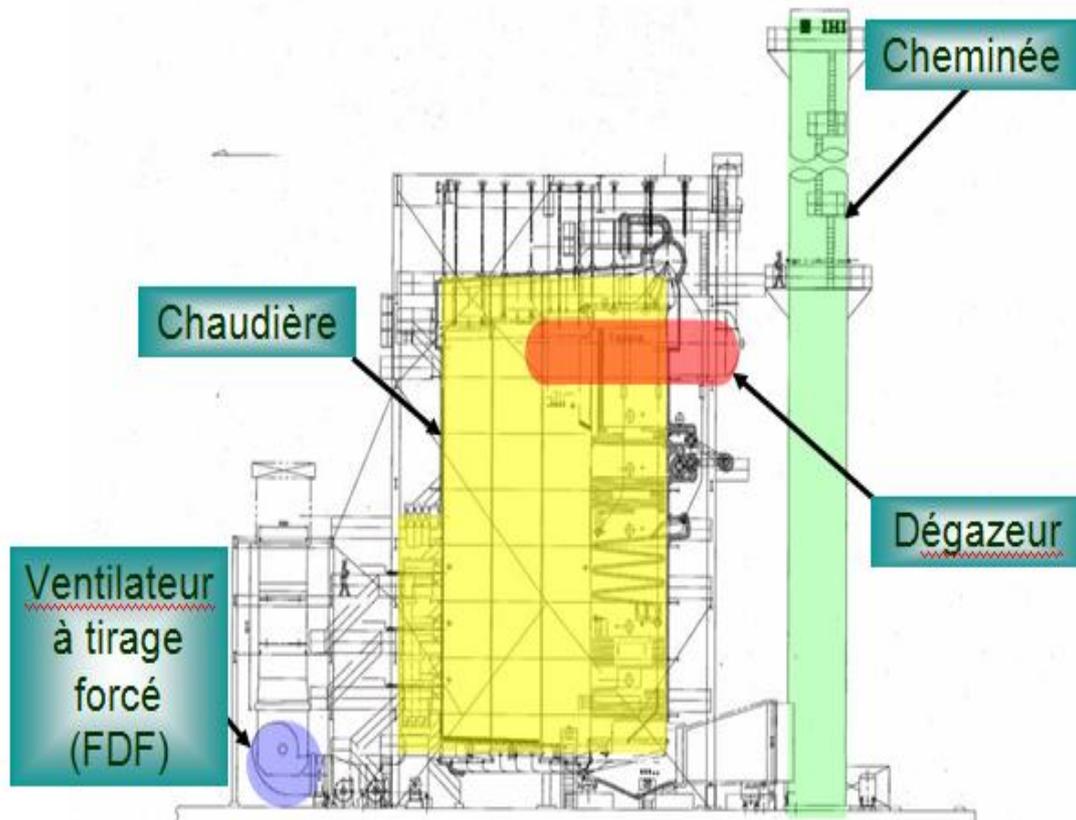


Figure II-1 : Disposition de la chaudière.

On peut subdiviser toute l'installation en trois parties principales, la ligne d'eau d'alimentation qui désigne la phase liquide saturée, le changement de phase liquide/vapeur (ébullition, évaporation et condensation) a lieu dans le générateur de vapeur et la ligne principale de vapeur qui désigne l'état vapeur et ses transformation (surchauffe, désurchauffe...). La figure II-2 schématise toute l'installation.

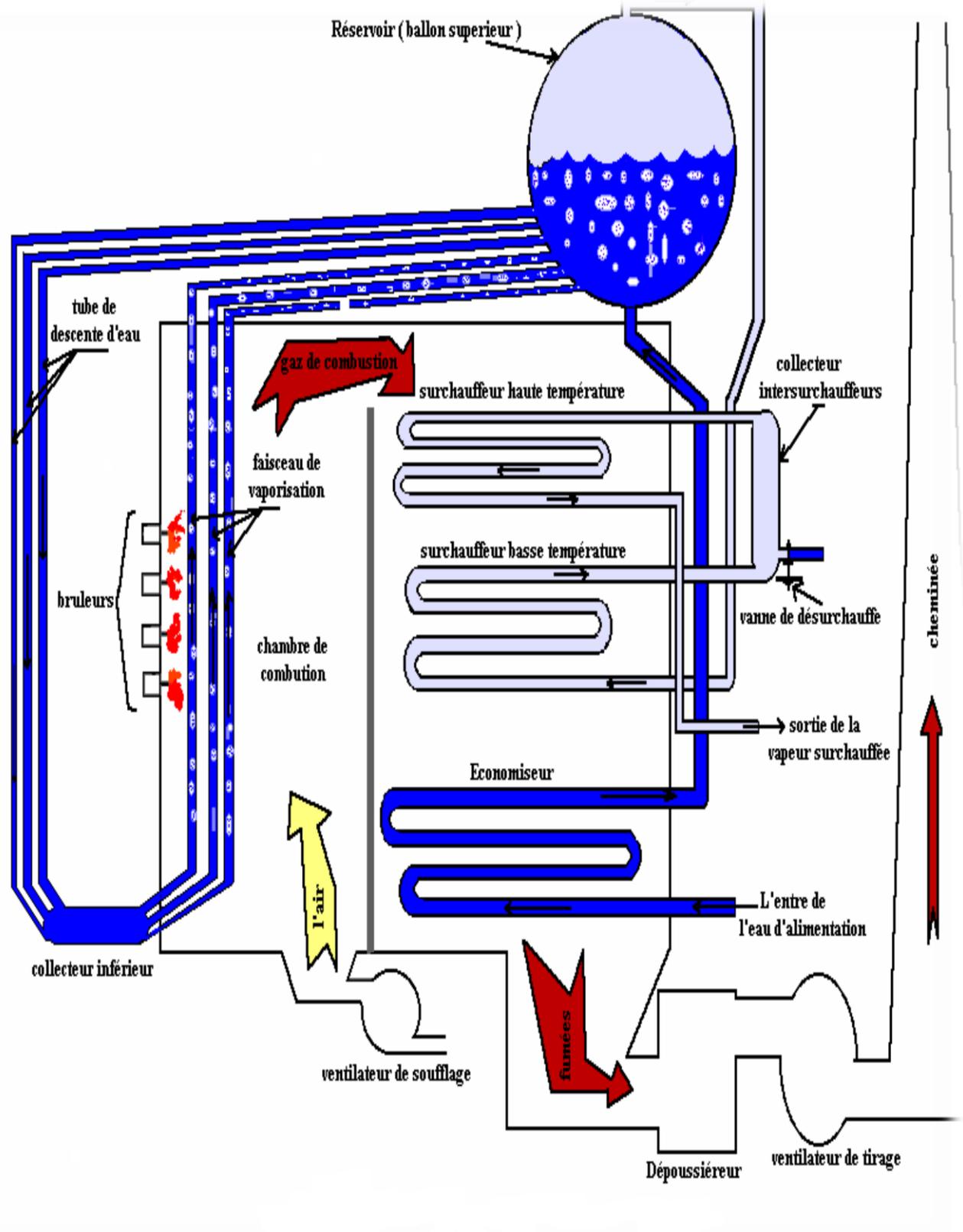


Figure II-2 : Schéma général d'une chaudière à circulation naturelle.

II.2 Description de l'Ouvrage[5]

II.2.1 Spécification et description de la chaudière

Les chaudières sont décrites par le tableau II1 ci-dessous :

Caractéristique	Valeur correspondante
Capacité nominale	400t/h (5jours de suite)
Pression de vapeur	65bars
Température de vapeur	441°C
Qualité de vapeur (1*)	Sèche à 99.957%
Teneur en sodium (1*)	0.02 ppm ou moins
Teneur en silice (1*)	0.02 ppm ou moins
Teneur en oxygène (2*)	0.005ppm ou moins
Température de calcul de fonctionnement	20°C
Humidité relative	76%
Pression barométrique	758 mm Hg
Emission des gaz de fumée	NOX : 300 µg/Kcal ou moins
	CO : 50ppm ou moins
PCS du gaz combustible	7724 Kcal/Nm3

Tableau II-1 : Principales caractéristiques des chaudières IHI.

(1*) : Sortie du ballon

(2*) : Sortie du dégazeur.

II.2.2. Analyse du gaz process (moyenne)

constituant	N2	CO2	He	CH4	C2H 6	C3H8	I- C4H10	N- C4H10	I- C5H12	N- C5H12	C6+
% molaire	25.75	0.05	1.06	66.29	4.51	1.22	0.32	0.71	0.04	0.04	0.01

Tableau II-2 : Composition molaire du fuel gaz.

Auxiliaires :

- ✓ FDF : Type centrifuge, ventilateur a tirage forcé.
- ✓ FDC : Type centrifuge, ventilateur de refroidissement de détecteur de flamme.
- ✓ BFP : Type centrifuge, pompe d'eau alimentaire de chaudière

Brûleurs :

- ✓ Brûleur : Type Multi-injecteur x 9/unité
- ✓ Allumeur : Allumage à étincelle à haute énergie x 9/unité

II.3 Caractéristiques de la chaudière IHI [5]

II.3.1 Critères de conception

Les critères de conception des chaudières pour un fonctionnement à charge nominale, avec un temps maximal de service effectif, seront:

- Le système à circulation naturelle contribue à réduire la maintenance et le besoin en énergie.
- La surface de chauffe est conçue pour permettre la vidange totale de l'eau.
- La chaudière sera entièrement étanche au gaz (construction soudée de tubes à ailettes).
- Le ventilateur à tirage forcé avec registre d'entrée contribue à réduire le coût d'exploitation.
- Les performances des pièces internes du ballon de vapeur sont très fiables.

II.3.2 Description des équipements

II.3.2.1 Equipements principaux

A/ Economiseur

L'économiseur est un échangeur de chaleur à multi passages placé dans l'écoulement des gaz d'échappement chauds sortant de la chaudière dont le but de réchauffer l'eau d'alimentation par les fumées de combustion avant d'entrer au réservoir pour maximiser l'efficacité thermique et réduire les émissions thermiques. Les paramètres thermo-hydrauliques des économiseurs sont regroupés dans le tableau II-3.

<i>Paramètres thermo-hydrauliques</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeurs</i>
Température d'entrée d'eau d'alimentation	°C	109
Température de sortie d'eau d'alimentation	°C	200
Température d'entrée des fumées	°C	600
Température de sortie des fumées	°C	280
Débit d'eau d'alimentation	t/h	349
Débit des fumées	Nm ³ /h	3904499

Tableau II-3 : Paramètres thermo-hydrauliques des économiseurs.

B/ Evaporateur

Les tubes de l'évaporateur constituent généralement les parois de la chambre de combustion et ils sont alignés en spirale.

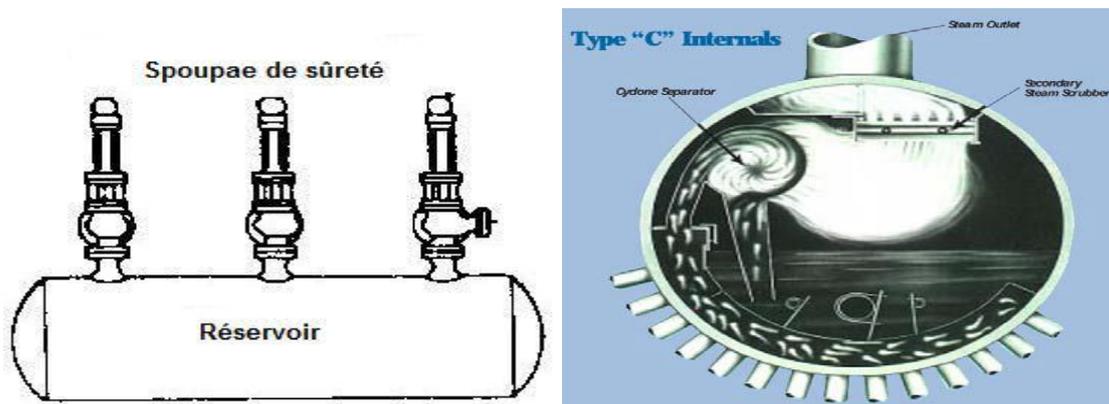
Dans la chambre de combustion, l'énergie chimique du combustible est libérée et transférée dans la chaudière et dans les parois de l'échangeur de chaleur vers le circuit eau/vapeur. L'eau chauffée est alors vaporisée dans l'évaporateur de la chaudière en, au minimum, une vapeur saturée pour les conditions de pression sous-critique du cycle eau/vapeur, ou en vapeur surchauffée pour des conditions supercritiques.

C/ Ballon de vapeur

Les ballons ont pour fonction dans une chaudière à circulation naturelle, de collecter l'eau et la vapeur et les distribuer au surchauffeurs et évaporateur.

Les chaudières IHI n'ont qu'un ballon placé à leur partie supérieure, les ballons inférieurs ont été remplacés par des collecteurs de sections beaucoup plus petites.

Dans un ballon eau-vapeur, il faut assurer la séparation des deux phases et éviter le primage, c'est-à-dire l'entraînement des gouttelettes d'eau par la vapeur lors de l'ébullition.



FigureII-3 : Ballon supérieur

Le DCS se charge de maintenir le niveau d'eau dans le ballon entre un niveau très haut 80% et niveau très bas 40% valeurs limites qui provoquent le déclenchement de la chaudière.

D/ Chambre de combustion et zone de récupération de chaleur

❖ Fonction de la chambre de combustion

La chambre de combustion offre un large volume avec des parois internes refroidies par l'eau où la combustion a lieu et guide le gaz de fumée vers la surface de convection.

La paroi tubulaire de la chambre de combustion fait bouillir l'eau provenant de la paroi arrière de zone de récupération de chaleur.

Les produits de la combustion sont refroidis par la paroi tubulaire de la chambre de combustion à la température de gaz appropriée.



Figure II-4 : chambre de combustion.

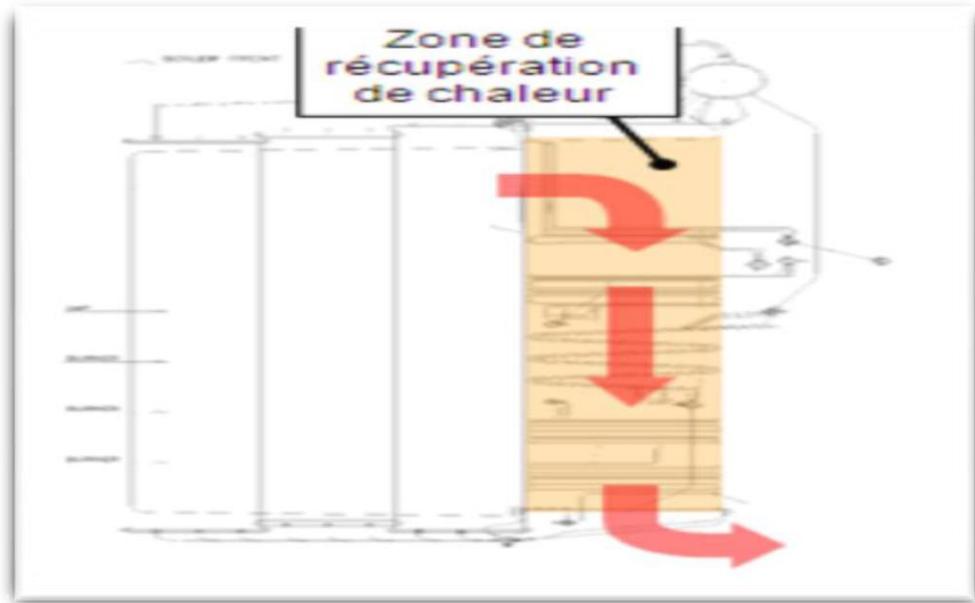
- **Brûleurs** : Les brûleurs ont pour rôles d'assurer le mélange intime fuel-gaz et de l'air, d'entretenir la combustion et d'assurer une forme de flamme correcte. Il existe un grand nombre de types de brûleurs, les uns pour combustible unique, les autres pour combustible multiple, parmi lesquels on peut citer :
- Brûleur à combustible gazeux.
 - Brûleur à combustibles liquides.
 - Brûleur mixtes.

La chaudière IHI, il construire 9 brûleurs à combustibles gazeux.

❖ **Fonction de la paroi de surface de récupération de chaleur**

La passe de convection contenant les surchauffeurs, l'économiseur et l'évaporateur sont incorporés dans les parois refroidies à l'eau de la zone de récupération de chaleur (ZRC).

La paroi tubulaire ZRC permet également de faire bouillir l'eau et constitue le système de circulation vapeur-eau.



FigureII-5: Zone de récupération de chaleur.

E/ Les surchauffeurs

Il y a deux surchauffeurs, un surchauffeur primaire travaillant à haute température (SHT), et un secondaire qui travaille à basse température (SBT), connectés en série, placés dans la partie haute du puits arrière du générateur de vapeur. Ils fonctionnent pour augmenter la température de la vapeur saturée sortant du réservoir jusqu'au 441 °C (vapeur surchauffée). Les paramètres thermo-hydrauliques des surchauffeurs sont regroupés dans le tableau II-4.

<i>Paramètres thermo-hydrauliques</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeurs</i>
Température d'entrée de la vapeur au SBT	°C	280
Température de sortie de la vapeur du SBT	°C	380
Température d'entrée de la vapeur au SHT	°C	380
Température de sortie de la vapeur du SHT	°C	441
Température d'entrée de fumées au SHT	°C	1147
Température de sortie de fumées du SHT	°C	853
Température de sortie de fumées au SBT	°C	653
Débit de vapeur surchauffée	t/h	400
Débit des fumées	Nm ³ /h	390499

Tableau II-4 : Paramètres thermo-hydrauliques des surchauffeurs.

La température de la vapeur surchauffée est contrôlée par une injection d'eau de désurchauffe pratiquée au niveau du collecteur inter surchauffeurs. Deux vannes de désurchauffe, aux caractéristiques identiques (un débit d'eau réglable de **0.5 t/h à 25 t/h** avec une différence de pression de **20 à 16 bars**) travaillent en cascade.

Note : la variation des températures est en fonction de la charge d'alimentation de l'eau.

F/ Porte d'air supérieur(OAP)

Les chaudières IHI sont équipées d'un mécanisme de réduction de la concentration de CO (oxyde de carbone) et de NOX (oxyde d'azote) dans les gaz cheminé par le port d'air supérieur OAP.

La réduction se fait par injection d'air dans la zone de haute température pour refroidir et diminuer la concentration de CO et de NOX

C'est une injection d'air à la partie des neufs brûleurs et sont contrôlés par le FIC-750.611 commandés par master demande. La quantité d'air injecté ne doit pas dépasser 30% du débit à pleine capacité de chaudière.

II.3.2.2 Equipements auxiliaires

A/ La bêche alimentaire

La bêche d'eau alimentaire est un grand réservoir considéré comme un collecteur d'eau déminéralisée (issue de la station de dessalement d'eau de mer) et l'eau des condensats. Cet endroit est le siège du processus de dégazage d'eau ceci pour éviter la cavitation des pompes alimentaire et pour protéger la chaudière.

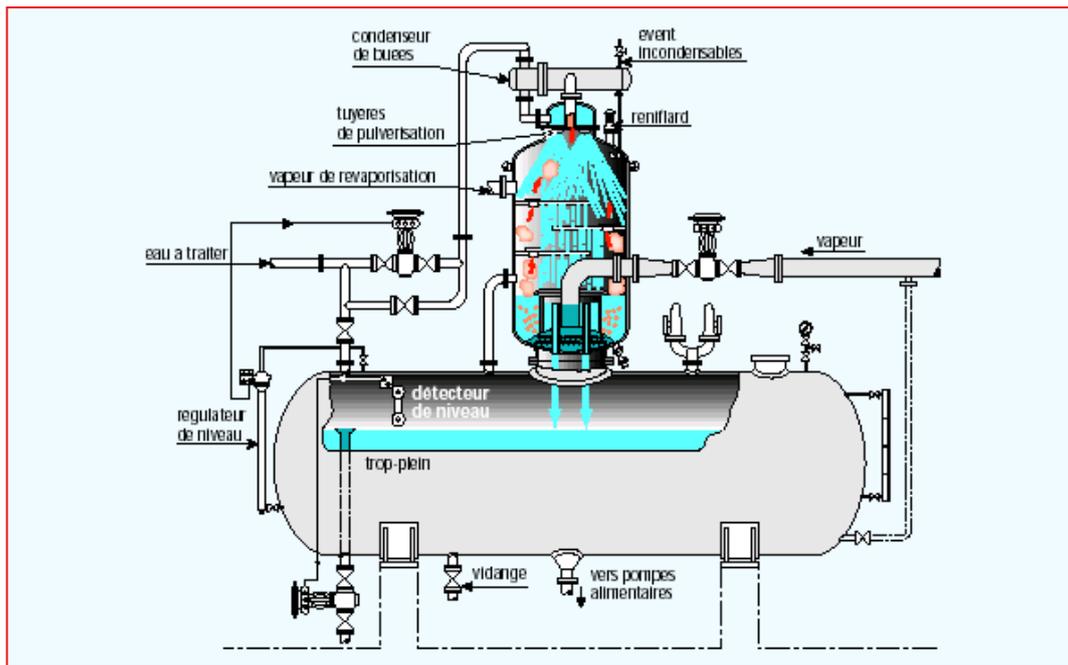


Figure II-6 :Dégazeur.

B/ Ventilateur à tirage forcé

Deux ventilateurs à tirage forcé sont fournis pour chaque unité de chaudière. Le rôle de ventilateur (FDF) est d'alimenter en air la chaudière pour la combustion.

Un FDF est entraîné par un moteur électrique et l'autre par turbine à vapeur. Quand la chaudière est en service normal, les deux fonctionnent en parallèle. Le débit réduit de l'air est régulé pour fournir le volume d'air adéquat pour assurer une bonne combustion en fonction de la densité de l'oxygène dans le gaz de fumée. On peut trouver aussi :

FDC : le ventilateur a pour fournir l'air qui est utilisé pour :

- Des détecteurs de flammes.
- Alimenter les allumeurs en air comburant.
- Le refroidissement.

C/ Pompe d'eau d'alimentation

Trois (03) pompes d'alimentations sont prévues pour chaque unité de chaudière. Le rôle de la pompe d'eau d'alimentation de chaudière (BFP) est de fournir l'eau nécessaire pour la production de vapeur. Deux (02) BFP sont entraînées par moteur électrique et la troisième par turbine à vapeur.

D/ Unité de dosage chimique

Deux unités de dosage chimique sont prévues pour deux chaudières, chaque unité est constituée des systèmes suivants :

- Système de dosage de phosphate de sodium qui est destiné au dosage dans le ballon de vapeur avec une solution à 3% de phosphate tri-sodium pour maintenir le PH et la dureté de l'eau circulant dans la chaudière.
- Système de dosage Eliminox qui est destiné au dosage dans le réservoir d'alimentation du dégazeur avec une solution d'Eliminox à 1% pour réduire l'oxygène dissous.
- Système de dosage de cyclohexamine qui est destiné au dosage à la sortie du dégazeur avec une solution de cyclohexamine à 2% pour maintenir le PH de l'eau d'alimentation de chaudière.

E/ Les vannes et les clapets [6]

Dans l'installation, il y a plusieurs vannes et clapets, dont les plus importants sont:

- 01 Vanne d'isolement à l'aspiration pour isoler l'eau alimentaire en cas de nécessité.
- 01 Filtre d'aspiration: pour filtrer l'eau et protéger la pompe contre les corps étrangers.
- Deux vannes de régulation d'eau d'alimentation (une à grand débit et l'autre à faible débit).
- Trois clapets anti-retour, un de refoulement, un juste à l'entrée de la chaudière, et l'autre dans la ligne de désurchauffe.
- Deux vannes de désurchauffe pour la régulation de la température de la vapeur surchauffée.
- Deux débit-mètres (ligne principale d'eau d'alimentation, et ligne de désurchauffe).
- Deux vannes d'isolement de la vapeur.
- Une vanne d'isolement d'eau de désurchauffe.
- Une vanne d'isolement d'eau d'alimentation.

Conditions de fonctionnement : Les vannes et les clapets sont ouverts en marche et fermés à l'arrêt. Le clapet anti-retour s'ouvre automatiquement sous l'effet de la pression et se ferme par un ressort de rappel en cas de chute de pression à un certain seuil.

G/Le système de purge[6]

Les purges ont pour rôle d'éliminer les condensats qui se forment dans les surchauffeurs et les collecteurs de vapeur pendant les démarrages froids ou les périodes de refroidissement. Les vannes placées sur ces purges sont équipées de servomoteurs et commandées soit par l'opérateur soit par automatisme. Elles sont placées aux points bas de :

- ✓ L'entrée SBT.
- ✓ L'entrée SHT.
- ✓ La sortie SHT.
- ✓ Les collecteurs vapeur.

La purge continue du réservoir, actionnée manuellement, a pour rôle est de déconcentrer les produits contenus dans l'eau de la chaudière, dont on aura déterminé la qualité par analyse chimique. Les vannes de vidange manuelle permettent de vider complètement la chaudière. Elles sont principalement localisées :

- ✓ A l'entrée de l'économiseur.
- ✓ Aux collecteurs de bas d'écrans de murs d'eau (le nourrisseur).

II .4 Description du système de la chaudière

II.4.1 Système eau-vapeur

Une chaudière est caractérisée par un cycle eau-vapeur, indiqué ci-dessous :

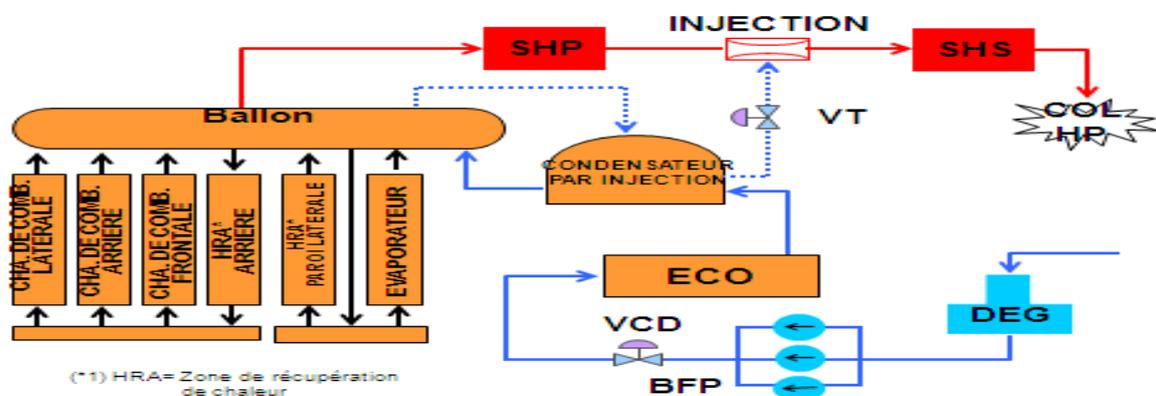


Figure II-7 : Cycle eau-vapeur d'une chaudière.

Sur le schéma ci-dessus, le cycle commence par le dégazeur (DEG).

L'eau d'alimentation pompée par les pompes alimentaires de chaudière passe par la vanne de contrôle d'eau alimentaire (FCV), l'économiseur (ECO) et le condenseur par injection avant de passer dans le ballon.

Dans le ballon, l'eau d'alimentation est mélangée à l'eau circulant de la paroi du foyer du HRA et de l'évaporateur. La vapeur produite dans la paroi du foyer, le HRA et l'évaporateur est refoulée dans le ballon sous la forme d'une émulsion eau-vapeur. La vapeur est séparée dans le ballon en vapeur saturée sèche et surchauffée par le surchauffeur. Le surchauffeur est constitué du surchauffeur primaire (PSH) et du surchauffeur secondaire (SSH). La température de la vapeur est régulée par le désurchauffeur par injection qui est installé entre le PSH et le SSH. La vapeur sortant du collecteur de sortie du SSH passe dans le collecteur de vapeur HP par la tuyauterie de vapeur principale.

Le système eau-vapeur dispose de trois moyens de régulation suivants :

- Régulation de débit d'eau alimentaire: régulation de niveau dans le ballon.
- Régulation de débit de vapeur /pression: régulation d'entrée de combustible.
- Régulation de température de vapeur: régulation de débit d'injection d'eau.

La régulation 1 : consiste à contrôler le niveau d'eau dans le ballon par la FCV avec un signal d'alimentation pour le débit de vapeur principal et le débit d'eau alimentaire.

La régulation 2 : consiste à contrôler le débit de vapeur et la pression avec régulation du débit de combustible.

La régulation 3 : consiste à maintenir constante la température de la vapeur en injectant de l'eau dans la vapeur surchauffée et le volume de l'eau injectée est contrôlée par le débit d'eau d'injection.

II.4.2 Système de combustion

Le schéma de principe du système de combustion est comme suit :

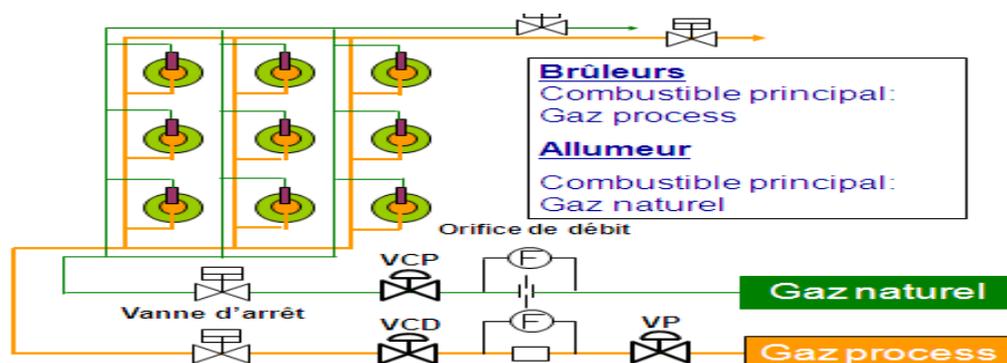


Figure II-8: Système de combustion.

Allumeurs : 09 allumeurs à étincelle à haute énergie.

Brûleurs : 09 brûleurs de type multi injecteur.

Le gaz combustible est fourni par le collecteur de gaz combustible. Ce gaz passe dans la vanne de contrôle de débit et la vanne de sectionnement. Le débit de gaz est régulé selon la charge de la chaudière par les vannes de contrôle de débit. La vanne de sectionnement peut couper l'alimentation de combustible en cas de déclenchement de la chaudière. Pendant le démarrage, un contrôle de fuite de la conduite de gaz combustible est effectué par le clapet anti-retour de fuite et dans ce cas la vanne de sectionnement est fermée.

Le gaz combustible pour l'allumeur passe dans la vanne de contrôle de pression automatique et la vanne de sectionnement. Pendant le démarrage, un contrôle de fuite de la conduite de gaz d'allumage est effectué dans la vanne de sectionnement.

II.4.3 Système d'air et gaz de fumée

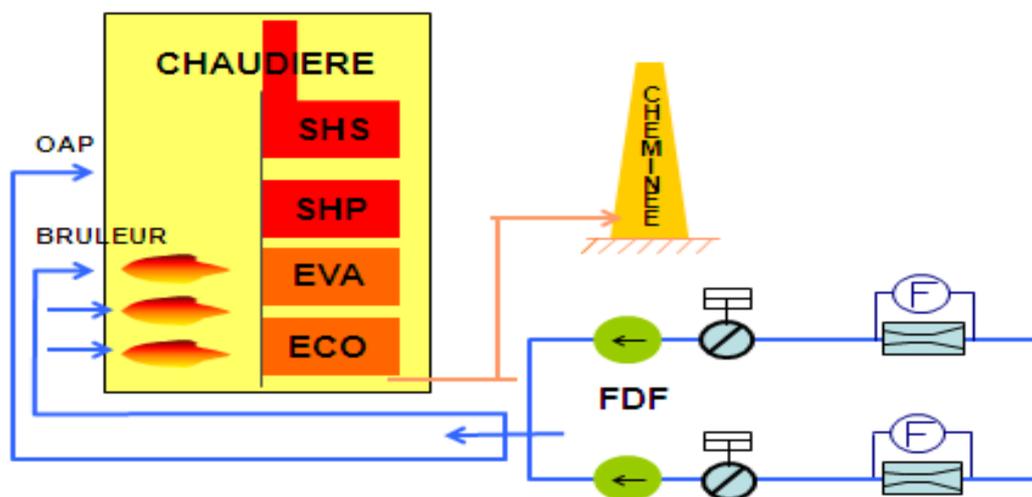


Figure II-9: Système d'air et gaz de fumée

L'air venant de 2 ventilateurs à tirage forcé (FDF) entre dans la boîte à vent séparée ou par l'orifice d'air supérieur (OAP). Le système (OAP) est un dispositif de réduction des NOx. L'air de la boîte à vent séparée non seulement tourne mais est aussi régulé par des régulateurs d'air et est mélangé avec le gaz combustible, avant de pénétrer dans la chambre de combustion.

II.5 Régulation d'une chaudière[7]

La perturbation essentielle dans un générateur de vapeur a pour origine la demande de vapeur des unités de consommation, en effet toute variation de la charge provoquera une action sur le débit demandé au générateur donc une action sur les grandeurs à régler, lesquels réagiront les uns sur les autres et qui sont:

- La pression de vapeur à la sortie de la chaudière qui doit être maintenue à 65 bars.
- L'excès d'air ou le rapport Air/Gaz.
- La température de la vapeur surchauffée (441°C).
- Le niveau d'eau dans le ballon, que cherche le DCS à maintenir stable, c'est une boucle de régulation sensible qui nécessite :
 - a) Une régulation à un élément (niveau du ballon) dans les périodes de démarrage, Jusqu'à 30% de la charge de chaudière.
 - b) Une régulation à trois éléments (débit eau d'alimentation + débit de vapeur sortante + niveau d'eau dans le ballon) pour un débit de vapeur élevé, Au-dessus de 30% de la charge de chaudière.

Pour compenser l'influence des perturbations sur le fonctionnement de la chaudière, le DCS agit sur les paramètres suivants:

- Le débit de combustible, pour compenser la variation de débit de vapeur.
- Le débit d'air, pour maintenir un rapport Air/Gaz convenable.
- Le débit eau, pour maintenir le niveau du réservoir.

II.6 Opération et surveillance de la chaudière

II.6.1 Contrôle de l'eau d'alimentation

Le niveau de l'eau dans la chaudière doit être surveillé. Un niveau trop haut peut être la cause d'entraînement d'eau dans la vapeur. La concentration dans la chaudière, l'alcalinité, le PH, la teneur en oxygène...etc, doivent être vérifiés périodiquement pour éviter les incidents d'exploitation correspondants à:

- L'entartrage.
- La corrosion.
- Le primage excessif.

S'il y a entrainement d'eau, la température de la vapeur baissera brusquement, puis se rétablira. Les fluctuations de température augmenteront en fréquence et importance, avec l'accroissement du taux des matières solides et de l'alcalinité de l'eau.

II.6.2 Surchauffe

Un certain nombre de facteurs peuvent provoquer une température anormale de la vapeur, parmi lesquels nous pouvons citer :

- Un excès d'air insuffisant.
- Une teneur excessive en humidité de la vapeur.
- Une surchauffe encrassée extérieurement et/ou intérieurement.

D'autre part, les conditions suivantes tendent à produire des températures anormalement élevées pour une marche déterminée :

- Chambre de combustion sale.
- Trop d'excès d'air.
- Température d'eau d'alimentation trop basse.
- Allumage irrégulier ou combustion déplacée vers le haut de la chambre, donc vers les surchauffeurs.

II.6.3 Contrôle de la combustion

Il faut vérifier périodiquement les bonnes conditions de marche de la combustion. L'examen des pertes est à effectuer périodiquement ce qui permettra de prendre en temps utile toutes les mesures propres à rétablir la bonne marche de la combustion. Les pertes contrôlables sont:

- Pertes par chaleur sensible à la cheminée. Elles dépendent de la température et du volume des fumées évacuées. Pour maintenir la perte sensible au minimum, il est nécessaire de réduire au minimum le volume des fumées évacuées à la cheminée en utilisant un excès d'air aussi peu élevé que possible pour la combustion et de réduire le plus possible la température des fumées à la sortie.
- Pertes par imbrûlés gazeux. La formation de CO est due à un manque d'air ou à un mauvais mélange de l'air et le combustible. Toutes les précautions devront donc être prises pour réduire à zéro la teneur en CO.

Article	Sûreté	Raison
Purge d'air (démarrage)	Avant d'allumer le brûleur de la chaudière, le ventilateur est actionné assez longtemps pour déplacer 4 fois le volume de la chambre de combustion	Si le gaz naturel et l'air sont à l'intérieur de la chaudière quand le brûleur s'allume, la chaudière peut éclater.
Pression élevée de gaz naturel	Un manostat dans la ligne de gaz naturel arrête le brûleur si la pression de gaz devient très élevée.	Si la vanne pression de gaz naturel échoue, une quantité excessive de gaz peut s'écouler dans le brûleur. Si trop de gaz naturel s'écoule dans la chambre de combustion, le brûleur pourrait s'éteindre ou la flamme pourrait être assez grande pour causer le surchauffe. Si la flamme s'éteint et le gaz naturel continue à s'écouler, un mélange combustible pourrait remplir chambre de combustion de chaudière (risque d'explosion).
Basse pression de gaz naturel	Un manostat dans la ligne de gaz naturel arrête le brûleur si la pression de gaz devient faible ou elle s'éteint.	Si la pression de gaz naturel tombe trop bas, le brûleur pourrait s'éteindre. Si le gaz naturel s'écoule toujours, un mélange combustible pourrait remplir la chambre de combustion de la chaudière (risque d'explosion).
Basse intensité de la flamme	Un détecteur de flammes arrête le brûleur si la flamme devient faible ou elle s'éteint.	Si la flamme s'éteint, le gaz naturel traversant le brûleur pourrait faire remplir le mélange explosif dans chambre de combustion de la chaudière (risque d'explosion).
Arrêt du ventilateur	Un commutateur arrête le brûleur si le ventilateur ne fonctionne pas	Si le ventilateur ne fonctionne pas, le brûleur ne peut pas fonctionner.
Un faible débit d'air de combustion	Un manostat dans l'espace d'air de brûleur arrête le brûleur si la pression d'air diminue.	Si le débit d'air diminue, la flamme peut s'affaiblir ou s'éteindre avec le gaz naturel qui s'écoule toujours (risque d'explosion).

Tableau II-5 : les articles principaux pour la sûreté de combustion.

II.7 Barrières de sécurité[8]

Pour affiner l'étude, il est nécessaire de prendre en compte les barrières de sécurité existantes dans les chaudières IHI.

Les différents appareils existants sur la chaudière sont :

- Détecteurs de gaz : 16 type IR ponctuelle, à barrière linéaire.
- Détecteurs d'incendie : 06 type triple-infrarouge-process, type UV+IR.
- Alarmes sonores et visibles : unité combinaison Hone/Strobe.
- Panneaux d'alarme : 01 panneau (pull-box).
- Avertisseurs bris de glace : point d'appel manuel.
- Skid à poudre sèche : 01 réservoir de poudre, 8 bouteilles d'azote.
- Extincteurs portatifs : 50 pour les deux nouvelles chaudières.
- Système d'extinction au CO₂ : 01 poste de vanne, 44 bouteilles de CO₂.
- Système eau : anti-incendie.

II.7.1 Détecteurs

II.7.1.1 Détecteurs de gaz[9]

Les détecteurs de gaz sont conçus pour échantillonner l'environnement dans lequel ils sont installés et prévenus du niveau potentiellement dangereux de gaz combustibles, conforme à la directive ATEX 94/9/CE. Selon le choix, ils peuvent être du type ponctuel ou à barrière. Ces deux configurations dépendent de l'équipement ou/et périmètre à protéger.

On utilisera une détection à barrière pour couvrir une zone, délimiter un périmètre et pour créer une barrière en terme de surveillance de passage de gaz.

On utilisera une détection ponctuelle pour couvrir une zone dont la surface est connue, généralement à proximité des sources potentielles des fuites de gaz.

Les deux types de détecteurs sont installés au niveau des chaudières 770UE/F à différents emplacements.

A/Détection de gaz ponctuelle

Le détecteur de gaz ponctuel (infrarouge antidéflagrant) est conçu pour détecter des gaz ou effluents dans l'atmosphère. Il peut également mesurer la concentration en gaz ou effluents dans la vapeur d'eau ou dans les atmosphères inertes ou pauvres en oxygène.

Ce détecteur ne peut détecter la présence d'hydrogène, ni gaz acétylène qui peut l'endommager et ne doit en aucun cas être utilisé à cette fin.

Ce détecteur peut être calibré avec différents gaz avec une correspondance en LIE.

Les détecteurs de gaz sont installés en deux points :

- Au niveau des bruleurs des 3^{èmes} étages des 770UE/F.
- Au niveau des Turbo/Moto ventilateurs.

L'ensemble de ces détecteurs sont configurés à des seuils d'alarmes pouvant selon une logique implémentée, provoquer l'arrêt de la chaudière.

B/Détection de gaz par barrières linéaire

Le détecteur de gaz à barrière détecte des gaz combustibles dans l'atmosphère ambiante sur une portée jusqu'à 140m même dans les conditions d'environnements extrêmes (poussière, brouillard, pluie, neige et vibration).

Les détecteurs de gaz à barrière IR sont installés sur la ligne Fuel-Gaz tout près de la vanne gaz FV206, ils sont au nombre de trois, alignés au niveau du 2^{ème} étage.

L'ensemble de ces détecteurs sont configurés à des seuils d'alarmes pouvant selon une logique implémentée provoque l'arrêt de la chaudière.

II.7.1.2Détecteurs d'incendie[10]

Les détecteurs de feu et flammes sont conçus pour détecter la présence d'un feu ou d'une flamme dont lesquels sont installés, afin d'alerter et éventuellement activer le système d'extinction automatique.

Le détecteur de flamme installé sur les chaudières conforme à la directive ATEX 94/9/CE.

Il détecte un feu de 0,1 m² à une distance jusqu'à 60 mètres, immunisé contre les fausses alarmes.

Un (1) détecteur incendie est installé à chaque étage de la chaudière.

II.7.2Boîtes d'alarmes « Pull-box »

Les boîtes d'alarmes sont installées sur les chaudières sont du type PB «PushButton» conformément à la directive ATEX 94/9/CE. Elles peuvent être déclenchées manuellement par l'exploitant pour avertir d'un danger ou incident devant l'absence de moyens de communication.

Un total de 05 boîtes d'alarmes sont installés par chaudière, La totalité de ces boîtes d'alarmes sont localisées au niveau sol des chaudières IHI.

II.7.3 Extincteurs à poudre portable ABC

Les extincteurs portatifs sont positionnés aux endroits dangereux, afin que le personnel puisse réagir rapidement en cas d'incendie.

II.7.4 Système d'extinction fixe (skid à poudre)

Un système d'extinction fixe à poudre est installé au niveau du sol devant chaque chaudière, permettant une extinction rapide et efficace en cas d'incendie au niveau des brûleurs ou au niveau du sol.

II.7.5 Avertisseur à bris de glace

Dix avertisseurs à bris de glace sont installés, deux (2) avertisseurs sont installés dans l'escalier du côté est et ouest au niveau du sol. D'autres avertisseurs à bris de glace sont installés autour du FDF entraîné par turbine et la BFP entraîné par turbine. L'installation sera dans un endroit relativement sécurisé.

II.7.6 Système eau (anti incendie)

Les chaudières 770UE/F sont dotées de moyens anti-incendie à eau réparti comme suit :

- Quatre (04) poteaux incendie (hydrant) avec lance par chaudière à débit 113 m³/h installé autour des chaudières.
- Deux (02) Dévidoirs à eau par étage (1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} étage).

II.7.7 Avertisseur Sonore et visible

Les avertisseurs sonores et visibles installés sur les chaudières conformément à la directive ATEX 94/9/CE, un total de 04 sirènes et de 04 avertisseurs visibles sont installés par chaudière.

Les différentes situations à envisager sont:

- Cas de fuite de gaz.
- Cas de détection d'incendie/fumée ou d'activation de l'avertisseur à bris de glace.
- Avertissement préalable de l'unité de poudre sèche.

L'emplacement et le nombre des alarmes sonores seront déterminés pour couvrir toute la zone où le personnel est présent, en tenant compte du bruit de fond afin que l'alarme sonore puisse être entendue par le personnel avec une puissance nominale de 115dB à 1 mètre d'une fonctionnalité de réglage des tonalités souhaitées.

Conclusion

En parcourant ce chapitre, nous avons appris beaucoup de choses sur les chaudières IHI : leurs éléments constitutifs, leur fonctionnement et leur sécurité, on a pu définir les principaux paramètres critiques de la chaudière (niveau du ballon, pression de vapeur....etc.) pour lesquels le bon fonctionnement et la sécurité des chaudières sont assurés.

Introduction

Les chaudières industrielles de grandes capacités présentent des risques extrêmement importants qui doivent être étudiés et évalués avec une grande précision; ces risques de différentes natures peuvent conduire à un dommage catastrophique (risque majeur : explosion) s'ils sont mal maîtrisés ou mal entretenus.

Dans ce chapitre on va citer les principaux risques liés à la mise en œuvre de la chaudière IHI à savoir :

- Risque pression.
- Risque chimique.
- Risque électrique.
- Risque pollution.
- Risque de nuisance sonore.
- Risque de corrosion.
- Risque explosion
- Risque de vibration.

III.1 Risque pression[11]

Les appareils soumis à une pression interne supérieure à la pression atmosphérique, et contenant un fluide (liquide ou gazeux), présentent des risques et des inconvénients pour la sécurité des personnes, la protection de l'environnement et la protection des biens.

L'énergie contenue dans les équipements de la chaudière IHI sous pression est très importante et peut, en cas de défaillance de l'enveloppe (chocs, corrosion...), entraîner la destruction de l'appareil avec des projections de fragments et une libération brutale de gaz ou de vapeurs provoquant des dégâts humains et matériels dans le voisinage des lieux de l'accident. Dans l'industrie et en particulier dans l'industrie pétrolière, ces équipements figurent parmi les principaux facteurs de risque.

Les dégâts sont caractérisés par la quantité d'énergie libérée à travers la détente de la pression de sa valeur initiale à la pression atmosphérique. Cette énergie peut être emportée par les projectiles composés par les éléments de la chaudière.

La probabilité d'occurrence dépend d'un certain nombre de facteurs liés à la conception de la chaudière, à ses conditions d'exploitation, à sa maintenance et à son inspection...

Pour cela il faut avoir des propriétés mécaniques pour les matériaux qui peuvent être classées comme suite :

- L'élasticité ou aptitude à subir des déformations temporaires.
- La dureté superficielle ou résistance à la pénétration d'autres corps.
- Certaines qualités spéciales, telles que la conduction thermique, la résistance à l'attaque de tel ou tel fluide, la résistance à la corrosion.
- Résistance aux efforts lents et répétés.

Les causes probables des phénomènes de fissuration sont simultanément:

- Fatigue de métal.
- Opérations de réparation de longues durées (retubage).
- Présence de vibrations (qui accentuent la fatigue des matériaux) à cause des déclenchements/arrêts et démarrages.
- Vétusté des supports qui se sont dégradés avec le temps.

III.1.1 Les systèmes de sécurité liés à l'exploitation des équipements sous pression

❖ Soupapes de sécurité

Plusieurs Soupapes de sécurité sont installées sur la chaudière, ces soupapes protègent les parties sous pression contre une haute pression de vapeur inacceptable, elle sont montées sur le ballon vapeur et sur le collecteur de sortie du surchauffeur. L'économiseur est muni d'une Soupape de sécurité, car il peut être isolé de sorte que la pression peut atteindre un niveau inacceptable, si cette partie n'est pas purgée.

❖ Manomètre

Appareil de mesure indiquant la pression à l'intérieur de la chaudière. Il doit impérativement comporter une marque visible indiquant la pression à ne pas dépasser (trait rouge). Son fonctionnement est basé sur la déformation sous l'action de la pression d'un tube métallique.

III.2 Risque chimique[12]

Lorsqu'on se trouve face aux problèmes que pose l'utilisation de produits dangereux, plusieurs attitudes sont possibles; la meilleure est celle qui consiste à chercher des produits de remplacement comportant moins de risques mais il faut être conscient du fait que ce n'est pas toujours possible aussi, lorsque le danger est présent, il faut prendre toutes les mesures nécessaires pour le supprimer.

Une condition indispensable à la réduction des risques est leurs connaissances lorsqu'il s'agit de substances et de préparations dangereuses.

Cette connaissance est intimement liée à la mise au point d'un système d'identification et d'information efficace.

Ce système doit permettre d'identifier rapidement les produits, de noter les risques dus à ces substances et de recommander les mesures préventives.

Dans une chaudière les produits utilisés et accessibles de provoquer des effets néfastes pour l'opérateur sont les suivants :

- Phosphates de sodium.
- Cyclohexylamine.
- Eliminox.

Les risques spécifiques de ces produits sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

	Explosif	Toxique	Corrosif	Irritant	inflammable
Eliminox				X	
CEA	X	X		X	X
PO4		X			

Tableau III-1: les risques spécifiques des produits chimiques.

❖ **Recommandation**

L'injection de ces produits chimique dans la chaudière est réalisée par l'opérateur de façon manuelle, d'où l'aggravation du risque par contact direct, donc il est impératif de suivre une ligne de conduite face à ces produits dangereux :

- Le personnel travaillant avec des produits chimiques doit être instruit quant aux procédures et au matériel de sécurité à mettre en œuvre.
- Les conteneurs des produits doivent être conservés hermétiquement clos et porter un marquage clair spécifiant le contenu et les risques.
- Il faut se débarrasser des conteneurs vides avec les mêmes précautions qu'à la manipulation.
- Les zones de stockage et de manipulation doivent être signalées.
- Les récipients de stockage doivent être équipés de moyens appropriés pour en extraire le produit.

- Les produits concentrés ne doivent être utilisés que dans les locaux ouverts et bien ventilés.
- Les matériels de sécurité de premiers secours doivent être signalés et à proximité des zones d'utilisation.
- Pendant les manipulations, il faut s'abstenir de boire, manger ou fumer.
- Porter des vêtements de protection allant de la paire de gants et les lunettes, à la tenue antiacide complète avec protection respiratoire.
- Rincer à l'eau douce le matériel utilisée après chaque emploi.
- En cas de contact avec la peau ou les parties sensibles, se laver abondamment et immédiatement à grande eau, enlever les vêtements souillés, consulter le médecin.
- En cas de problème respiratoire pratiquer une assistance respiratoire ou la ventilation.

III.3 Risque électrique[11]

Comme l'homme n'a aucun organe sensitif pour saisir le courant électrique, celui-ci est particulièrement dangereux pour lui; le rythme cardiaque est perturbé et dans les cas les plus graves, il peut y avoir un arrêt du cœur. Pour se protéger des risques électriques il faut procéder à la :

- Protection par isolation des personnes par rapport aux sols et aux parois de la chaudière.
- Protection par l'inaccessibilité des masses métalliques.
- Protection par l'emploi de la très basse tension.
- Protection par mise à la terre.
- Protection par liaison équipotentielle.

III.4 Risque de pollution

L'analyse des rejets liés à la protection des chaudières et leurs prévention constituent des thèmes de réflexion qui ne peuvent à l'évidence être traités qu'en classant chaque type de rejet en fonction de sa nature. La protection d'une chaudière doit reposer sur un traitement méthodique des rejets.

Cela consiste à déterminer :

- Les polluants atmosphérique ou gazeux.
- Les rejets liquides.

III.4.1 Les rejets de la chaudière

a) **Les rejets gazeux** : Illustrés principalement par :

-La formation de CO₂, CO, gaz de fumée issus du gaz de combustion.

-Une fuite de H₂O surchauffé (vapeur) au niveau des vannes, raccord...

b) **Les rejets liquides** :Généralement issus de :

-L'évacuation vers égouts de produits chimiques : (Phosphates, Eliminox).

-L'utilisation de produits chimiques pour le traitement de l'eau de chaudière après avoir précipité les sels contenus dans l'eau sont rejetés vers la mer et favorise la pollution marine.

III.4.2 Impact sur l'environnement et santé humaine

➤ **Effet de serre:** (CO₂ et H₂O surchauffé)

- Augmentation de la température
- Emigration des populations
- Elévation des niveaux des mers
- Changement climatique
- Désertification de la faune

➤ **Pollution acide (CO.OH) (HC) formation des oxydants qui favorisent**

- Le dépérissement des forêts.
- Diminution des rendements agricoles par effet O₃.
- Diminution de la croissance des plantes.
- Perturbation de la photosynthèse.
- Acidification des sols et des lacs.
- Dépérissement des forêts.

❖ **Recommandations**

- Assurer une bonne régulation du rapport air/gaz pour éviter les imbrûlés (CO et CO₂) et éviter les fuites de gaz combustibles.
- Avoir une installation ou système pour récupérer la quantité excessive de calories des gaz d'échappement de la chaudière à une température inférieure à 50°C.
- Assurer une bonne étanchéité des installations et équipements pour minimiser les fuites de vapeurs d'eau surchauffée.
- Réutilisation de la station de neutralisation de l'eau d'égout des chaudières et assurer leur perfectionnement d'après les normes prescrites par la réglementation.

III.5 Risque de bruit

Ces prises de mesures des niveaux de bruit (voir tableau ci-dessous) auquel notre personnel est exposé quotidiennement, nous ont permis de nous situer par rapport à la norme (seuil admissible: 85 dB pendant 8h en continu).

Localisation	dB
Chaudière 770 UE	100-104
Chaudière 770 UF	105
Turbo-ventilateur 770 UE	100
Turbo-ventilateur 770 UF	102
Chaudière 370 UA Turbo-ventilateur	100
Chaudière 370 UB	95
Chaudière 370 UC	92
Turbo-ventilateur 470UB	105
Turbo-ventilateur Chaudière 570UB	105
Turbo-ventilateur Chaudière770UB	100
Chaudière 770UC	110-113
Turbo-ventilateur Chaudière 770UD	104

Tableau III-2: exemple de rapport des mesures de bruit du site GL2/Z.

D'après les résultats obtenus sur le tableau III-2, on remarque que les niveaux de bruit au périmètre de la chaudière dépassent la VLE (seuil de danger 80 dB)

En 2015, le service médicale du complexe GL2/Z a enregistré 7 cas de surdité, cette maladie professionnelle touche les travailleurs exposés directement à la nuisance sonore des équipements en particulier les chaudières qui sont nombreuses et qui présentent un grand risque de bruit dans le complexe.

III.5.1 Source de bruit dans l'installation

- Les bruits de chocs engendrés par des vibrations de corps.
- Les bruits d'origine aérodynamique ou hydrodynamique provoqué par les mouvements de gaz vapeurs ou liquides en turbulence provoquant des chocs de particules les unes contre les autres.
- Exemples : cavitation dans pompes, vannes automatiques,etc.

L'action de réduire le bruit n'est pas coûteuse et nécessite la prise en charge pour la réparation des fuites de vapeur (source importante de bruit) durant les arrêts programmés et de prendre les mesures nécessaires de prévention et d'intervention afin de diminuer ces effets, on recommande :

- ✓ La structure Production doit identifier toutes les fuites de vapeur et les planifier afin de les éliminer.
- ✓ Le personnel intervenant au niveau des installations doit obligatoirement porter son équipement antibruit.
- ✓ Un suivi médical particulier, par le service médical, est préconisé pour nos agents exposés quotidiennement à de tels niveaux sonores.

III.6 Risque de corrosion[13]

La corrosion est le phénomène de dégradation le plus répandu dans les unités de procédés. Les chaudières Process ont toujours été le sujet de préoccupation majeure au GL2/Z à cause des percements fréquents des tubes induisant des coûts de maintenance élevés et un taux de disponibilité faible. Cette corrosion est favorisée par les facteurs suivants :

- Mauvais traitement des eaux de chaudières.
- Insuffisance de nettoyage chimique.

III.6.1 Les arrêts volontaires des chaudières [14]

En 2011, on a enregistré 104 arrêts volontaires et 104 déclenchements des chaudières de la zone Procédé.

En effet, durant les cinq dernières années les taux de disponibilité des chaudières enregistrées n'ont pas dépassé le seuil des 50 %, ce qui est alarmant. Ce qui veut dire que la station des chaudières de la zone Procédé constitue réellement le point faible du complexe et que la production de la vapeur de cette zone est supportée presque totalement par les deux chaudières IHI qui risquent, à ce train, de se dégrader.

III.6.2 Les causes de ruptures des tubes chaudières

Toutes les expertises ont confirmées que les causes réelles du problème de ruptures des tubes est en grande partie dû à la corrosion qui l'on peut définir comme une dégradation du matériau ou de ses propriétés par réaction chimique avec l'environnement. Cette dégradation est favorisée par les facteurs suivants :

❖ Oxygène dissous

La surface d'un métal peut contenir des creux qui peuvent retenir des bulles d'oxygène mélangées avec des sels. L'oxygène diffuse difficilement au fond du creux alors que le pourtour de la cavité sera très aéré.

❖ Corrosion par CO₂

La source du CO₂ dans les ballons provient de la transformation des bicarbonates en carbonates. Le CO₂ s'hydrolyse avec l'eau pour former de l'acide carbonique (réduction du PH).



Cet acide est normalement neutralisé par le cyclohexylamine au niveau du condensat.

❖ La silice

C'est un corps extrêmement dur, très difficile à éliminer de l'eau. A l'état naturel c'est le quartz, dans la chaudière on le trouve sous forme de silicate de soude NaSiO₃.

Sous l'action de la chaleur, le silicate de soude s'hydrolyse pour donner de l'acide silicique.



La présence en grande quantité de l'acide silicique risque de s'incruster pour former des tartres très durs et très adhérents. La silice passe facilement dans la vapeur (vaporisation de l'acide silicique) et forme des dépôts d'une grande dureté sur les tuyères et les ailettes des turbines.

Le phosphate tri sodique permet de la retenir et de l'évacuer avec l'acide de la purge continue, on doit la maintenir à une valeur aussi faible que possible (10ppm).

❖ Attaque ou fragilisation par l'hydrogène

La fragilisation par l'hydrogène dans la tuyauterie des chaudières en acier à lieu dans les chaudières à haute pression (supérieure à 10 bars).

L'hydrogène imprègne le métal de la tuyauterie, où il peut réagir avec les carbures de fer pour former le gaz de méthane, ou avec d'autres atomes d'hydrogène pour former le gaz d'hydrogène. Ces gaz évoluent principalement le long des joints de grain du métal. En résultat, la pression augmente et mène à la rupture du métal, le maintien de surfaces propres et l'utilisation de procédure adaptées pour le nettoyage chimique (acide) réduit le potentiel de l'attaque d'hydrogène.

III.7 Risque explosion[15]

Les explosions constituent l'un des dangers les plus graves auquel le personnel est exposé au cours des opérations d'exploitation.

On ne combat pas une explosion, car ses effets sont instantanés, mais on doit s'efforcer de la prévenir en supprimant ou en combattant les causes qui peuvent la produire.

Toutes les chaudières industrielles modernes sont équipées d'automates programmés pour gérer les sécurités et les séquences (allumage, gestion en marche normale, arrêt) malgré cela ces équipements peuvent être le siège d'incidents graves si les règles élémentaires de sécurité ne sont pas observées.

Généralement, les explosions des générateurs de vapeur sont de deux sortes :

1. Explosion des parties sous pression (côté eau).
2. Explosion de la chambre de combustion (côté feu)

Les causes qui conduisent à l'explosion d'une chaudière sont diverses. Les plus importantes et les plus fréquentes étant:

A/ Manque d'eau

Pour une chaudière, le manque d'eau est sans doute l'incident le plus sérieux qui puisse survenir, car, le niveau d'eau dans le ballon diminue rapidement et les parois des tubes sont surchauffées. Cet incident peut être provoqué par un mauvais fonctionnement de l'alimentation, causé par la défaillance d'une pompe d'eau alimentaire, la carence de la commande automatique, ou par une rupture dans un tube, etc. Cet accident menace l'intégrité structurale du système et provoque l'explosion des parties sous pression du générateur de vapeur. Les opérations à effectuer dans ce cas sont :

- Stopper les feux immédiatement (ils seront coupés automatiquement si le niveau de l'eau est très bas).
- Prendre l'alimentation en manuelle et procéder à:
 - a) Si le débit d'eau d'alimentation, bien qu'insuffisant, s'est maintenu il faut le réduire progressivement sans toutefois l'annuler.
 - b) Si l'eau d'alimentation, après disparition temporaire, redevient disponible, il faut reprendre l'alimentation à un débit très nettement inférieur à celui enregistré au moment de l'incident, pour le stabiliser à une valeur faible correspondant à celle de la dernière phase du cas précédent.

Le but de la mise en commande de l'alimentation et de la réduction graduelle du débit d'eau est d'éviter de baigner brutalement certaines parties sous pressions où le métal aurait pu être surchauffé.

B/ Rupture des tubes

Plusieurs paramètres peuvent produire une rupture dans les tubes vaporisateurs, on peut citer la défaillance ou la corrosion des tubes. Quand l'incident se produit, le ballon supérieur (réservoir) se vide rapidement. L'eau d'alimentation qui entre dans le réservoir vient directement en contact avec les parois du ballon, ce qui entraîne des tensions dangereuses du fait de la grande différence de température entre l'eau d'alimentation et celle des tôles. Les opérations à effectuer dans le cas de cet incident sont les suivantes:

- Si la fuite dont la conséquence est une perte d'eau peu importante, le niveau doit être maintenu et la chaudière mise hors service de manière normale.
- En cas de rupture créant une perte d'eau tel que le niveau ne peut être maintenu avec le débit maximum des pompes alimentaires, il faut procéder sans délai aux opérations successives suivantes :
 - a) Stopper les feux immédiatement et complètement.
 - b) Réduire les ventilateurs de soufflage dès la disparition de la flamme
 - c) Couper l'alimentation de la chaudière.
 - d) Régler le soufflage pour assurer l'échappement à la cheminé de la vapeur Formée dans le foyer.
 - e) Isoler la chaudière côté vapeur.
 - f) Laisser en service le soufflage pendant 2 à 3 heures après la chute de la pression effective de la chaudière à zéro.

C/ Mauvaise combustion

Si la combustion est élevée plus que la moyenne de fonctionnement, le niveau d'eau diminue rapidement dans la chaudière et la pompe d'alimentation travaille beaucoup ce qui peut causer sa surchauffe et par la suite son endommagement. Un autre incident peut se produire tel que l'arrêt d'urgence du combustible, dans ce cas il faut exécuter les opérations suivantes :

- Maintenir le débit d'air environ 30% pour purger le circuit des fumées pendant au moins 5 minutes.
- S'assurer que toutes les vannes individuelles gaz aux brûleurs sont fermées.

D/ Explosion du foyer

Les explosions de foyer sont généralement le résultat des causes suivantes :

- L'existence de combustible imbrûlé dans le foyer résultant d'une combustion incomplète ou d'un manque d'allumage.
- Le mélange de ce combustible imbrûlé avec l'air en proportion explosive.

Les explosions de foyer peuvent être évitées en prenant quelques précautions telles que:

- Maintenir un débit d'air de combustion minimum de 30% de la pleine charge pendant l'allumage pour prévenir toute accumulation de mélanges explosifs.
- S'assurer que les vannes d'entrée du combustible sur les brûleurs non utilisés sont étanches lorsqu'elles sont fermées.
- Porter attention aux feux afin que le combustible puisse être coupé sans délai s'il y a extinction. Purger immédiatement le foyer pendant plusieurs minutes avec le ventilateur maintenu en service, avant de rallumer.
- En démarrage, si l'allumage n'est pas établi en quelques secondes, purger le foyer, comme indiqué ci-dessus, avant d'essayer à nouveau d'allumer.
- Ne pas maintenir la pression des combustibles dans le circuit alimentant les brûleurs si cela n'est pas nécessaire.

E/ Qualité de l'eau

La qualité de l'eau influe fortement et peut conduire à la destruction des surfaces internes des tubes vaporisateurs. Il est donc impératif de traiter l'eau de la chaudière afin d'éviter le dépôt de tartre à l'extérieur du tube foyer. En effet, le tartre provoquerait un mauvais échange thermique, un temps de mise en pression-température plus long, un risque de surchauffe au niveau du tube foyer, une surconsommation de combustible, une augmentation de la température des fumées au niveau de la cheminée. L'expérience a montré qu'il est nécessaire de maintenir à une valeur convenable les caractéristiques chimiques de l'eau des différents circuits afin d'éviter :

- La corrosion définie comme étant l'ensemble des processus destructifs que subit un corps solide sous l'action de certains paramètres extérieurs (agent atmosphérique ou produit chimique).
- L'entartrage ou dépôt qui est localisé directement sur les parois externes des tubes de la chaudière. Le tartre joue le rôle d'un isolant thermique au transfert de chaleur. La chaleur s'accumule dans la paroi ce qui engendre des points chauds.

Les explosions dans les chaudières peuvent se produire dans 3 cas :[16]

❖ Explosions en cours d'allumage

Les explosions au démarrage sont souvent le fait de défaillances humaines. Elles résultent, dans ce cas, de la combinaison de plusieurs facteurs qui peuvent conditionner le comportement du personnel exploitant:

➤ Disfonctionnement sur les séquences d'allumage suite à des problèmes de maintenance (impossibilité d'obtenir la séquence balayage, l'autorisation d'allumer ou impossibilité de mettre en service les allumeurs ou les brûleurs ...) ce qui cause des retards de démarrages.

- 'Impératifs de production' invoqués et tentative de 'gain de temps'.
- Cas le plus fréquent : Pose d'un shunt sur une ou plusieurs sécurités fondamentales
 - Débit d'air insuffisant (temporisation temps de balayage ...).
 - Test d'étanchéité des vannes combustible (chute de pression).
 - Détection flamme (allumeur ou et parfois même brûleur).

L'inhibition de l'une de ces sécurités (débit d'air insuffisant, fuite de gaz, défaut d'étanchéité des vannes, défaut de détection de flamme ...) peut être à l'origine de situations où se produit une accumulation de mélange explosif dans le foyer avant l'allumage.

De ce fait, l'explosion survient dès apparition de l'étincelle sur l'électrode d'allumage.

❖ Explosions en marche perturbée

Les régulations de chauffe actuelles sont conçues de manière à éviter une combustion en manque d'air : en cas de demande de charge, il y a d'abord augmentation du débit d'air avant augmentation du débit gaz et en cas de baisse de charge, il y a d'abord baisse du débit gaz avant baisse du débit air.

Par ailleurs, tant qu'il y a présence d'une flamme stable dans le foyer, les risques d'explosion sont pratiquement inexistantes. En effet, le combustible imbrûlé qui peut s'accumuler en certains points est en très faible quantité. De plus, il est dilué dans les gaz inertes de combustion.

❖ Explosions avec chaudière à l'arrêt

Dans ce cas particulier, la chaudière est dans la situation suivante :

- Les feux viennent d'être coupés (déclenchement).
- Il y a tentative de réallumage immédiat.

Dès que la séquence balayage est lancée, il y a introduction importante d'air qui, en présence de points incandescents, peut conduire à une explosion si du combustible imbrûlé se trouve encore dans le foyer.

Pour éviter ce genre d'incident, certaines chaudières sont équipées d'une temporisation appelée temps de neutralisation qui retarde l'autorisation de balayage après un déclenchement, la préventilation se faisant à faible débit d'air. Jusqu'à ce que tout le gaz soit évacué. Cette temporisation est généralement réglée entre 4 et 5 mn.

Dans le cas où cette protection n'est pas installée, on limitera volontairement le lancement de la séquence balayage 5 à 6 mn après le déclenchement.

III.7.1 Les accidents survenus en Algérie et à l'étranger [17]

III.7.1.1 En Algérie

- ❖ **Accident N°1** : Le 19 janvier 2004, à Skikda, un accident au niveau des chaudières a fait 27 morts, 78 autres blessés et un (01) milliard de dollar américain de dommages dans un rayon de 2km.

La chronologie des faits

- ✓ Fuite d'origine indéterminée sur le train 40.
- ✓ Produit aspiré par l'entrée d'air de la chaudière.
- ✓ Première explosion dans la chaudière.
- ✓ Deuxième explosion plus forte à l'extérieure.
- ✓ Dommages sur les trains 30 et 20 qui étaient en exploitation.
- ✓ Feu sur les trains 40/30/20.
- ✓ Arrêt d'urgence de l'ensemble de l'usine, feu étaient après 8 heures de combat.

Bilan matériel : destruction des unités 40,30 et 20 ainsi que le bloc administratif du complexe. Des dommages limités à l'extérieur (vitres brisées) + une pollution aigue.

- ❖ **Accident N°2** : 06 avril 1989, à Oran, dans la localité de Béthioua, explosion d'une chaudière utilités 170 t/h, complexe GL1/Z, Sonatrach.

Cause de l'accident : L'origine n'a pas été identifiée mais elle peut être due à :

- ✓ Un manque d'air et une combustion incomplète.
- ✓ Un excès d'air très important.
- ✓ Une anomalie sur l'alimentation en combustible suite à une défaillance des chaînes de sécurité.
- ✓ Formation d'un mélange explosif et présence d'une source de chaleur.

Cet accident a causé la blessure de deux (02) personnes, un opérateur et chef d'équipe ainsi que l'endommagement important de la chaudière (Détachement du mur frontal de la chambre

de combustion, Détérioration complète de la cheminée, des supports, piliers et tuyauterie vanne).

- ❖ **Accident N°3** : Oran, béthioua2002, explosion au niveau du complexe GL2/Z :
Explosion dans la chambre de combustion.

Cause de l'incident : Déclenchement par baisse pression d'huile non détecté par l'opérateur qui a causé la perte des turbo-ventilateurs ainsi que les pompes alimentaires.

Cet incident n'a causé aucune perte humaine ni blessure mais la chaudière a subi des endommagements graves.

III.7.1.2 À l'étranger

Aux Etats-Unis

En1980 ; dans une chaufferie, une chaudière est arrêtée en urgence a la suite d'une panne d'instrumentation puis explose au redémarrage en raison vraisemblablement d'une purge et d'un pré-balayage insuffisants

En 1987, dans une chaufferie urbaine la foudre tombe sur une chaudière alimentée au gaz naturel et perce une vanne au niveau de l'entrée du gaz aux bruleurs.

En 2000, une fuite intervient sur un réservoir de propane dans une usine d'embouteillage de boisson et le nuage explose au contact d'une chaudière conduisant au BLEVE de la capacité.

- ❖ **En Allemagne**

En1994, La rupture d'une conduite de vapeur surchauffée à 550°C, lors d'opérations de réglages, fait 6 morts et un blessé parmi les employés de la chaufferie urbaine. Neuf jours avant l'accident, un organisme de contrôle aurait effectué une ré-épreuve de la partie decircuit concernée à une pression inférieure à la pression prévue et l'attestation aurait été falsifiée.

- ❖ **En France**

En2006, Dans une société de production et distribution de chaleur, une violente déflagration se produit à l'intérieur d'une chaudière au gaz naturel de 12 MWth. Cette chaudière faisait l'objet d'une intervention d'un technicien du constructeur suite à des anomalies de fonctionnement du brûleur. L'explosion survient à l'intérieur de la chaudière côté fumées et entraîne l'arrêt immédiat du générateur par les sécurités gaz. Dans le même temps, le technicien constate par l'œilleton arrière une flamme molle et incomplète autour du brûleur. L'hypothèse d'une accumulation de gaz naturel suite à un décrochage de flamme est privilégiée.

En Zambie

En 2000, Une conduite bouchée par la rouille est à l'origine d'une accumulation de chaleur dans une partie de la chaudière et d'un grave incendie qui ravage la raffinerie.

III.8 Risque de vibration

L'ensemble des compresseurs de propane de MCR et de gaz combustible ainsi que les générateurs d'électricités sont entraînés par des turbines à vapeur. Il est alors d'une importance primordiale que la vapeur 62 bars soit disponible en quantité nécessaire dans le complexe GL2/Z.

Dans ce but il faut que l'ensemble des chaudières 400T, les chaudières process et les chaudières utilités soient en bon états de fonctionnement pour assurer les besoins du complexe en vapeur.

Mais actuellement un problème se pose au niveau du complexe GL2/Z, réside dans la présence indésirable de phénomène de vibrations dans la chaudière IHI de 400T qui risquent de compromettre la satisfaction des besoins du complexe.

Ce phénomène est à l'origine de plusieurs perturbations, qui se manifestent par :

- Déplacement des paramètres thermodynamiques qu'il s'agit de l'apparition des vibrations au niveau de la chambre de combustion de la chaudière.
- Impact négatif sur l'environnement dû à l'intensité des vibrations autour de la chaudière.

Ces vibrations sont anormales et intenses apparaissant d'une façon périodique, nécessitant l'action des opérateurs qu'ils doivent apporter les modifications nécessaire.

Pour mener à bien notre étude sur l'origine de vibration nous avons pris en considération les points suivants :

1. Le pouvoir calorifique supérieur <<PCS>>.
2. La composition de fuel gaz qui alimente la chaudière IHI.
3. La relation entre le débit d'air et le débit de gaz.

III.8.1 Identification et localisation du problème

Dans la construction d'une chaudière, il y a toute une étude à faire par des personnes concernées pour sortir en dernier avec cahier de charge, ce dernier contient des informations sur la quantité de l'air, la qualité de gaz process (pouvoir calorifique supérieur), le débit, la pression et la température de la vapeur à la sortie de la chaudière, etc.

Avec ces données le constructeur peut faire son étude sur le nombre des brûleurs, le diamètre des buses, les tubes à utiliser, etc.

Néanmoins cette étude n'a pas été faite d'une façon correcte, car la construction de la chaudière IHI est faite selon une fourchette de pouvoir calorifique supérieur <<PCS>> très limitée, car la fourchette réelle actuelle dépasse cette fourchette limitée.

Dans la construction de cette chaudière, les constructeurs ne prenaient pas en considération les valeurs minimums et maximums du pouvoir calorifique supérieur du fuel gaz ou gaz process du complexe, ce qui fait que les éléments qui constituent cette chaudière sont dimensionnés avec la fourchette limitée (le calorimètre, la vanne de gaz, le diamètre des buses, etc.), peut avoir plusieurs perturbations qui influent directement sur les différents systèmes de régulation, et par la suite sur le fonctionnement de la chaudière IHI par l'apparition des phénomènes indésirables dont le phénomène de présence des vibrations au niveau du foyer de la chaudière.

III.8.2 Fonctionnement du calorimètre

III.8.2.1 Calorimètre en service

Le calorimètre est en service lorsque le pouvoir calorifique supérieur <<PCS>> compris dans la fourchette design c.-à-d.

$$7560 \text{ Kcal/Nm}^3 \leq \text{PCS} \leq 7880 \text{ Kcal/Nm}^3$$

Pour le fonctionnement de la chaudière IHI, l'opérateur donne une valeur de PCS entre les deux valeurs min et max (à partir d'une régulation automatique), cette valeur correspond à une telle ouverture de la vanne de gaz (FV_{gaz}) et telle ouverture de la vanne air (FV_{air})

Dans le cas où le PCS varie (augmente ou diminue) mais toujours reste entre le PCS_{min} et PCS_{max} , instantanément le calorimètre régule l'ouverture des deux vannes soit il joue sur la vanne (FV_{gaz}) soit sur la vanne (FV_{air}) ou les deux en même temps.

III.8.2.2 Calorimètre hors service

Le calorimètre est hors service lorsque le pouvoir calorifique supérieur (PCS) dépasse les valeurs minimums et maximums comme l'indiquent les cas suivants :

1^{er} cas : $\text{PCS} < \text{PCS}_{\text{min}}$ (c.-à-d. $\text{PCS} < 7560 \text{ Nm}^3/\text{h}$)

Dans le cas où le PCS diminue et cette fois-ci la diminution est hors fourchette design ($\text{PCS} < \text{PCS}_{\text{min}}$) dans ce cas on peut avoir des perturbations au niveau du système de régulation de la combustion car le calorimètre ne peut pas donner la valeur exacte du PCS donc il

n'envoie pas de signal au régulateur principal, ce dernier ne peut pas commander la vanne de gaz pour régler son ouverture pour augmenter le débit de gaz, pour à la fin compenser le pouvoir calorifique supérieur.

Donc avec la même ouverture de la vanne (FV_{gaz}) et par le même débit de gaz, mais une diminution du PCS, le débit d'air devient plus grand par rapport au débit de gaz.

c-à-d : $\text{PCS} < \text{PCS}_{\text{min}} \longrightarrow \mathbf{R} > \mathbf{R}_{\text{max}}$

2^{em} cas : $\text{PCS} > \text{PCS}_{\text{max}}$ (c.-à-d. $\text{PCS} > 7880 \text{ Nm}^3/\text{h}$)

Dans le cas où le PCS augmente et cette fois-ci l'augmentation est hors la fourchette design ($\text{PCS} > \text{PCS}_{\text{max}}$), c'est la même chose que le premier cas mais cette fois le calorimètre ne peut pas commander la vanne de gaz pour diminuer l'ouverture et régler le débit de gaz.

Donc avec la même ouverture de la vanne (FV_{air}) et par le même débit d'air, mais une augmentation du PCS avec le même débit de gaz, le débit d'air devient plus petit par rapport au débit de gaz.

Donc : $\text{PCS} > \text{PCS}_{\text{max}} \longrightarrow \mathbf{R} < \mathbf{R}_{\text{min}}$

Dans les deux cas précédents le rapport air/gaz varie et la flamme devient instable ce qui peut engendrer des instabilités de combustion et contribue à l'apparition des vibrations anormales au niveau du foyer.

III.8.3 Point de situation sur les problèmes des vibrations au complexe[14]

Le réseau fuel gaz du complexe GL2Z présente un souci important pour le complexe tant sur le plan énergétique que sur le plan écologique (gaz à effet de serre généré).

Les efforts consentis jusque-là par le complexe restent insuffisants pour réduire considérablement l'excès du fuel gaz et par la suite les quantités de gaz qui sont torchés.

Ci-après un bref historique sur les problèmes majeurs du réseau fuel gaz :

Le problème des vibrations des deux (02) chaudières IHI 770UE/F persiste depuis sa première apparition après exactement un mois de mise en service.

Les rapports d'investigations établies par l'entrepreneur IHI ont révélées que ces vibrations sont dues aux variations de la valeur du pouvoir calorifique du fuel gaz (PCS) au-delà des valeurs de dispositions contractuelles. Cette valeur PCS n'est pas contrôlable et dépend principalement des rentabilités trains de production sur les plans liquéfaction, séparation et fractionnement, déclenchements équipements et/ou train.

Les valeurs actuelles du PCS fuel gaz enregistrées varient entre 5200 et 8000 Kcal/Nm³, tandis que les valeurs contractuelles sont comme suit :

- **PCS min = 7559,7 Kcal/Nm³.**

- **PCS max = 7881,2 Kcal/Nm³.**
- **PCS garanti = 7761,1 Kcal/Nm³.**

Les valeurs actuelles du PCS fluctuent entre 5200 et 8000 Kcal/Nm³ ce qui est responsable à grande partie, sur la perturbation du contrôle des combustions de ces chaudières ainsi que l'apparition du phénomène des vibrations.

Suite aux explications présentées par IHI sur le mécanisme d'apparition des vibrations et l'impossibilité de contrôler les variations du PCS au niveau de GL2Z, IHI ont procédé aux modifications des brûleurs et l'augmentation du diamètre de chaque brûleur d'une manière calculé.

Toujours sous observations, les deux chaudières n'ont pas enregistré de vibrations après la modification des brûleurs jusqu'au jour du 04/06/2008 où de nouvelles vibrations ont eu lieu. Un rapport de suivi de ces vibrations a été élaboré par IHI et leurs investigations ont révélé qu'il s'agissait encore une fois d'une variation du PCS au-delà des dispositions contractuelles. La modification des brûleurs n'a été pas suffisante selon IHI qui ont procédé à l'installation d'un système de surveillance des vibrations au niveau de chaque chaudière ainsi que la configuration sur DCS, des alarmes de signalisation en cas de baisse de la valeur du PCS afin d'attirer l'attention du tableautiste.

L'étude d'optimisation du réseau fuel gaz existant va nous permettre de déterminer de nouveaux paramètres d'exploitation et d'élaborer de nouvelles procédures d'exploitation, afin de donner la possibilité au système de contrôle d'agir rapidement et en toute harmonie selon les sources qui alimente le réseau à ce moment-là.

III.8.4 Impact des vibrations

Les vibrations ont des impacts sur l'homme comme sur les équipements.

La conséquence des vibrations sur l'homme et surtout liée au bruit libère qui joue un rôle sur la santé c'est ce qu'on appelle nuisance sonore qui dépasse dans un temps les décibels de l'écoute et peut affaiblir l'oreille, et qui peut attaquer le cerveau en l'entraînant dans une déconcentration plus de ça elle accélère la circulation du sang qui accélère le rythme cardiaque.

Les conséquences sur les équipements sont les suivants :

- Risque élevé au fonctionnement de la chaudière.
- Fissuration des équipements internes et externes de la chaudière, surtout des parties sensibles présentant des soudures.

- Lors de la manifestation des vibrations, il y'a un risque inquiet d'extinction de la flamme de bruleurs et accumulation de carburant et de comburant pouvant conduire a une explosion.

Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons analysés les différents risques liés à l'exploitation de la chaudière IHI, dont il serait utile de mettre l'accent sur la prévention et l'intervention au niveau de cette installation en augmentant les barrières contre tous types de risques.

Parmi les risques les plus redoutés, les explosions et les vibrations, ils ont des conséquences graves sur la vie des travailleurs, l'environnement et influent négativement sur la production de cet équipement pour cela on est intéressé dans la partie pratique pour ces deux derniers risques.

Introduction

Plusieurs paramètres thermodynamiques sont à l'origine du phénomène de vibration au niveau de la chaudière et qui ont des impacts sur la production de cette dernière.

Dans ce chapitre on va étudier l'influence de ces paramètres (débit d'air, composition du fioul-gaz, pouvoir calorifique du gaz...) sur la production de la vapeur d'eau (rendement de la chaudière).

IV.1 Calculs d'impacts d'excès d'air sur le surchauffeur et l'économiseur

Nous avons vu que si le $PCS < PCS_{min}$, donc $R > R_{max}$, c.-à-d. débit d'air et plus grand que le débit gaz, l'excès d'air augmente et le débit de vapeur diminue, donc il faut une explication pour comprendre pourquoi ce dernier diminue avec l'augmentation d'excès d'air, c'est pour cela nous avons fait une étude sur l'impact de la variation de l'excès d'air sur le surchauffeur et sur l'économiseur.

IV.1.1 Impacts sur le surchauffeur

Le surchauffeur est conçu de telle façon que la plus grande partie de la chaleur dégagée par la combustion est absorbée par la vapeur produite, ceci a une influence sur la température de la sortie vapeur.

❖ Méthode de calcul

Le calcul de la quantité de chaleur absorbée par la vapeur saturée pour les différentes valeurs d'excès d'air.

La formule utilisée pour calculer cette quantité est :

$$Q_{sur} = D_v(h_s - h_e)$$

Avec :

D_v : débit de vapeur en Kg/h.

h_s : enthalpie de la vapeur sortie surchauffeur en Kj/Kg.

h_e : enthalpie de la vapeur entrée surchauffeur en Kj/Kg.

Les points réels considérés pour l'excès d'air y compris le point design sont respectivement : 24.28%, 16.37%, 14.27%, 24.87%, 43.42%, 10% (ces données d'excès sont des données relevées lors des essais de démarrage de la chaudière IHI).

- Calcul de la quantité de chaleur absorbée par la vapeur saturée pour le 1^{er} point

$$DV_1=265.63662 \text{ T/h}$$

$$e_1=24.28\%$$

$$Q_{sur1} = DV_1 (h_{s1} - h_{e1}) \quad (a)$$

a) Calcul des enthalpies à partir de l'annexe «C».

$$\left. \begin{array}{l} T_{S1}=434.137^\circ\text{C} \\ P_{S1}=63.3 \text{ bar} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{h_{S1}= 3255 \text{ Kj/Kg}}$$

Et

$$\left. \begin{array}{l} T_{e1}=284.1 \text{ }^\circ\text{C} \\ P_{e1}=62.2 \text{ bar} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{h_{e1}= 2783.37 \text{ Kj/Kg}}$$

Finalement en remplaçant dans l'équation (a), nous trouvons :

$$\boxed{Q_{sur 1}=125282,19 \cdot 10^3 \text{ Kj/h}}$$

Le calcul de la quantité de chaleur absorbé des 5 points d'excès d'air restants sont fait par la même méthode que le 1^{er} point ; les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau suivant :

Points	Excéder (%)	DV (T/h)	T _e (°C)	P _e (bar)	h _e (Kj/Kg)	T _s (°C)	P _s (bar)	h _s (Kj/Kg)	Q _{sur} (Kj/h)
1 ^{er}	24,28	265,636	284,1	62,2	2783,37	434,137	63,3	3255	125282,19.10 ³
2 ^{eme}	16,37	297,674	285,38	62,8	2785,51	436,275	63,6	3261	141541,01.10 ³
3 ^{eme}	14,27	325,914	286,14	63,7	2786,24	437,003	64,8	3268	157012,38.10 ³
4 ^{eme}	24,87	266,185	284,93	62,4	2784,12	432,285	63,2	3250	124010,55.10 ³
5 ^{eme}	43,42	189,334	283,22	62	2782,2	424,421	62,4	3210	80997,48.10 ³
6 ^{eme}	10	400	280	65	2779,55	460	65	3370	236180.10 ³

Tableau IV-1 : Résultats des calculs des quantités de chaleur absorbées par la vapeur saturée.

A partir de ce tableau, on peut tracer le graphe $Q_{sur} = f(e)$

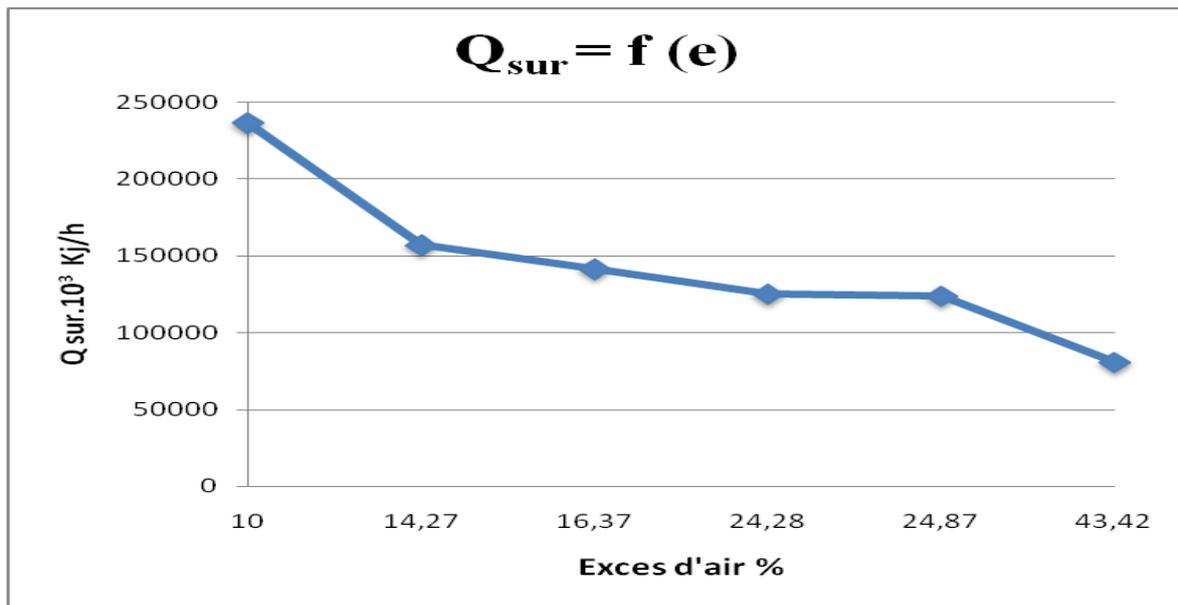


Figure IV-1: L'impact de l'excès d'air sur le surchauffeur

- ❖ D'après ce graphique on remarque que la diminution de l'excès d'air a favorisé une augmentation marquée de la quantité de la chaleur récupérée par le surchauffeur, en effet à un $e=10\%$ la quantité de chaleur est environ 3 fois plus importante que celle récupérée à $e=43,42\%$.

IV.1.2 Impacts sur l'économiseur :

Pour déterminer l'effet de cet excès sur l'économiseur on possède aux calculs des quantités de chaleur absorbées par l'eau dans ce dernier.

Les points d'excès d'air réels considérés pour mieux voir l'effet sont respectivement :

24.28%, 16.37%, 14.27%, 24.87%, 43.42%, 10%

❖ Méthode de calcul :

La quantité de chaleur absorbée par l'eau pour chaque point donnée par la formule suivante :

$$Q_{eco} = D_e (h_s - h_e)$$

Avec :

D_e : débit d'eau d'alimentation de la chaudière en Kg/h.

h_s : enthalpie d'eau à la sortie de l'économiseur en Kj/Kg.

h_e : enthalpie d'eau à l'entrée de l'économiseur en Kj/Kg.

- Calcul de la quantité de chaleur absorbée par la vapeur saturée pour le 1^{er} point :

$$De_1=279.783 \text{ T/h}$$

$$e_1=24.28\%$$

$$Q_{eco1} = De_1 (h_{s1} - h_{e1}) \quad (b)$$

a) Calcul des enthalpies à partir ANNEXE «C»

$$\left. \begin{array}{l} T_{S1}=196.8^{\circ}\text{C} \\ P_{S1}=72.6 \text{ bar} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{h_{S1}= 837.35 \text{ Kj/Kg}}$$

Et

$$\left. \begin{array}{l} T_{e1}=118.11 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ P_{e1}=73 \text{ bar} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{h_{e1}= 497.85 \text{ Kj/Kg}}$$

Finalement en remplaçant dans l'équation (b), nous trouvons :

$$\boxed{Q_{eco 1}=101097,33 \cdot 10^3 \text{ Kj/h}}$$

Le calcul de la quantité de chaleur absorbé des 5 points d'excès d'air restants sont fait par la même méthode que le 1^{er} point ; les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau suivant :

Points	Excéder (%)	De (T/h)	T _e (°C)	P _e (bar)	h _e (Kj/Kg)	T _s (°C)	P _s (bar)	h _s (Kj/Kg)	Q _{eco} (Kj/h)
1 ^{er}	24,28	279,783	118,11	73	497,85	196,8	72,6	837,3	101097,33.10 ³
2 ^{eme}	16,37	308,478	118,02	73,5	497,10	197,2	72,8	842,64	106591,49.10 ³
3 ^{eme}	14,27	333,583	117,96	74,4	492,02	201,3	73,9	858,55	122268,18.10 ³
4 ^{eme}	24,87	278,531	118,18	74,9	479,9	201,4	73,4	858,55	100452,2.10 ³
5 ^{eme}	43,42	215,790	118,68	71,7	498,02	189,5	70,4	806,5	66566,9.10 ³
6 ^{eme}	10	400	110	75	480	185	75	800	128000

Tableau IV-2 : Résultats des calculs des quantités de chaleur absorbées par l'eau.

A partir de ce tableau, on peut tracer le graphe $Q_{eco} = f(e)$

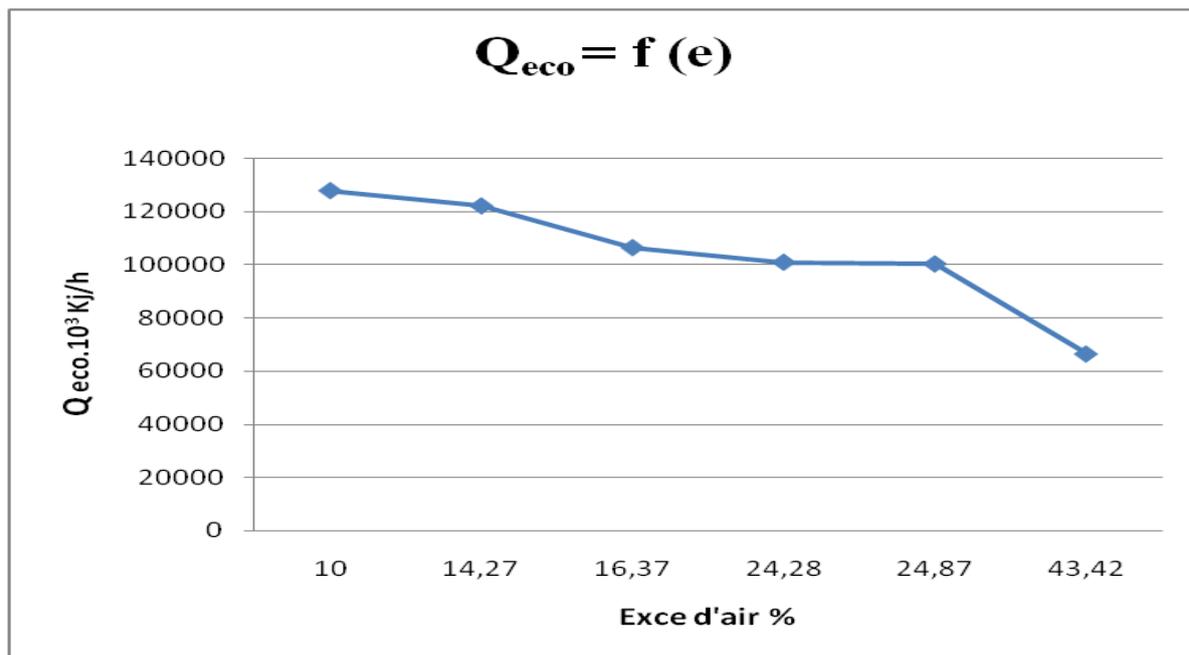


Figure IV-2: L'impact de l'excès d'air sur l'économiseur

- ❖ On remarque qu'au fur et à mesure que l'excès d'air augmente la quantité de chaleur absorbée par l'eau dans l'économiseur diminue, cela veut dire que les fumées sortantes en passant par l'économiseur ont réchauffées l'air en excès qui est inutile à la combustion au lieu de réchauffer l'eau.

IV.1.3 Relation entre l'excès d'air et le teneur de l'oxygène dans les fumées

La teneur de l'oxygène dans les fumées pour l'excès d'air correspondant.

% e	24,28	16,37	14,27	24,87	43,42	15,27
% O ₂	5,099	3,437	2,997	5,223	9,12	3,207

Tableau IV-3 : La teneur de l'oxygène dans les fumées pour chaque excès d'air

Le graphe suivant représente la variation d'excès d'air en fonction de la teneur de l'oxygène (% O₂) dans les fumées :

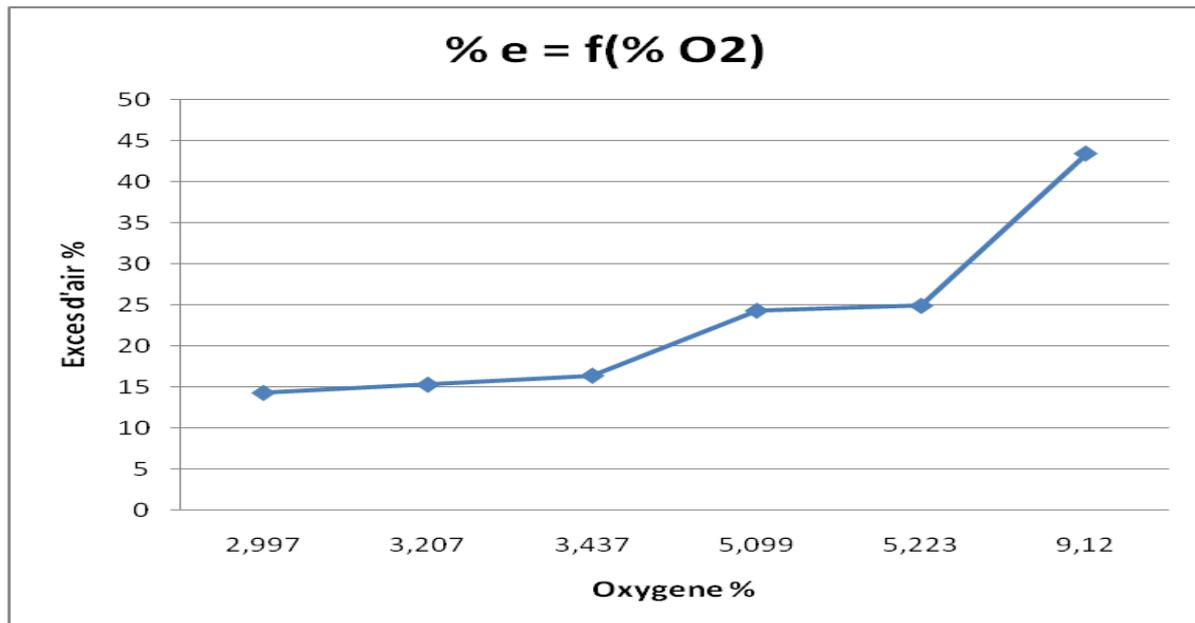


Figure IV-3 : variation d'excès d'air en fonction de la teneur d'oxygène dans les fumées.

- ❖ D'après ce graphe on voit que l'augmentation de l'excès d'air a favorisé une augmentation marquée de la quantité d'oxygène dans les fumées, alors qu'avec un excès d'air de 43.42% la teneur d'oxygène était de 9.12, donc la teneur d'oxygène dans les fumées nous a permis de contrôler le pourcentage d'excès d'air présent pour la combustion.

IV.2 Impacts des vibrations sur le rendement de la chaudière IHI

Dans le but de connaître les impacts des vibrations sur le fonctionnement de la chaudière IHI, nous avons calculé leur rendement dans le fonctionnement normal (absence des vibrations) et dans le fonctionnement où il y a apparition des vibrations.

IV.2.1 Rendement de la chaudière en absence des vibrations

Le calcul a été établi sur la composition suivante de fuel gaz relevé du Tableau IV-4.

Composant	He	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	IC ₄ H ₁₀	n C ₄ H ₁₀	Total
Composition % mol	0.049	32.114	56.139	4.968	6.648	0.039	0.043	100

Tableau IV-4 : La composition de fuel gaz en absence des vibrations.

PCS = 7798 Kcal /Nm³

❖ **Résultats d'analyse des fumées :**

%CO₂=9.418 %

%O₂=2.007%

%CO=0.00022%

%N₂=68.459%

%H₂O=20.116%

❖ **Réactions chimiques de combustion :**

CH₄ + 2 O₂+7.6 N₂ → CO₂ + 2H₂O +7.6 N₂

C₂H₆ + 7/2 O₂ + 13.23 N₂ → 2CO₂ + 3 H₂O +13.23 N₂

C₃H₈ + 5 O₂ + 18.9 N₂ → 3CO₂ + 4 H₂O + 18.9 N₂

C₄H₁₀ + 13/2 O₂ +24.57 N₂ → 4CO₂ +5H₂O +24.57N₂

❖ **Expression du rendement :**

$$\eta = \frac{\text{PCS} + \text{Ha} + \text{Hc} - \text{Ph}_2\text{o} - \text{Hf} - \text{Pp} - \text{Pimbrulés}}{\text{PCS}}$$

Où :

PCS : pouvoir calorifique supérieur en Kcal/Nm³.

C_p : la chaleur spécifique Kcal/Nm³ °C.

Ha : l'enthalpie d'air en Kcal/Nm³.

Hc : l'enthalpie de combustible en Kcal/Nm³.

H_f : l'enthalpie des fumées en kcal /Nm³.

P_{H₂O} : perte due à la vaporisation de l'eau liquide en Kcal/Nm³.

P_p : perte par les parois.

P_{imbrulés} : perte par les imbrulés en Kcal/Nm³.

➤ **Calcul de l'enthalpie d'air :**

$$\text{Ha} = V * C_{p \text{ air}} * T_a$$

A partir de l'annexe «B », on calcul :

C_{p air} = 0.2425 Kcal/Nm³ °C.

$$\rho_{\text{air}} = 1.292 * 273.5/T, \quad \rho_{\text{air}} = 1.184 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_{P \text{ air}} = 0.28712 \text{ Kcal/Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Va : volume d'air réel.

➤ **Calcul du volume d'air théorique (Va) :**

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \quad \longrightarrow \quad 9.52 \text{ Nm}^3 \\ 0.56139 \text{ Nm}^3 \quad \longrightarrow \quad \text{Va}_1 \end{array}$$

$$\Rightarrow \text{Va}_1 = 5.3444 \text{ Nm}^3$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Nm}^3 \text{ C}_2\text{H}_6 \quad \longrightarrow \quad 16.66 \text{ Nm}^3 \\ 0.04968 \text{ Nm}^3 \quad \longrightarrow \quad \text{Va}_2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \text{Va}_2 = 0.8277 \text{ Nm}^3$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Nm}^3 \text{ C}_3\text{H}_8 \quad \longrightarrow \quad 23.8 \text{ Nm}^3 \\ 0.06648 \text{ Nm}^3 \quad \longrightarrow \quad \text{Va}_3 \end{array}$$

$$\Rightarrow \text{Va}_3 = 1.5822 \text{ Nm}^3$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Nm}^3 \text{ iC}_4\text{H}_{10} \quad \longrightarrow \quad 30.94 \text{ Nm}^3 \\ 0.00039 \text{ Nm}^3 \quad \longrightarrow \quad \text{Va}_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \text{Va}_4 = 0.01207 \text{ Nm}^3$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Nm}^3 \text{ nC}_4\text{H}_{10} \quad \longrightarrow \quad 30.94 \text{ Nm}^3 \\ 0.00043 \text{ Nm}^3 \quad \longrightarrow \quad \text{Va}_5 \end{array}$$

$$\Rightarrow \text{Va}_5 = 0.01330 \text{ Nm}^3$$

Donc :

$$\boxed{\text{Va} = 7.78 \text{ Nm}^3}$$

➤ **Calcul du volume d'air réel (V'_a) :**

Calcul de n :

n : facteur d'air

$$\% O_2 = \frac{(n-1)V_a \times 21}{V_{ft} + (n-1)V_a}$$

Donc :

$$V'_a = V_a \times n$$



$$V'_a = 7.78 \times 1.1161$$

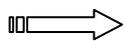


$$V'_a = 8.68 \text{ Nm}^3$$

Donc :

$$H_a = V'_a \times C_p \times T_a$$

$$H_a = 8.68 \times 0.287 \times 25$$



$$H_a = 62.279 \text{ Kcal/Nm}^3$$

➤ **Calcul de l'enthalpie du combustible :**

$$H_c = V_c \times C_p \times T_c$$

Où :

T_c = température du combustible = 31°C.

Calcul de la chaleur spécifique à partir de l'annexe « B ».

	C_p Kcal/kg °C	C_p Kcal/m ³ °C
N ₂	0.2475	0.3095
CH ₄	0.51	0.365
C ₂ H ₆	0.81	1.087
C ₃ H ₈	0.65	1.279
I C ₄ H ₁₀	0.59	1.53
n C ₄ H ₁₀	0.57	1.479

Tableau IV-5 : Les chaleurs spécifiques des composants du combustible.

$$H_c = [0.32114 \cdot 0.3095 + 0.56139 \cdot 0.365 + 0.04968 \cdot 1.087 + 0.06648 \cdot 1.279 + 0.00039 \cdot 1.53 + 0.00043 \cdot 1.479] \times 31$$

$H_c = 13.77 \text{ Kcal} / \text{Nm}^3$

➤ Calcul de l'enthalpie des fumées :

$H_f = V_{fr} \times C_{pf} \times T_f$

Où :

T_f : température des fumées a la sortie de l'économiseur ($T_f = 184 \text{ }^\circ\text{C}$).

- Calcul de la chaleur spécifique à partir de l'annexe « B »

	$C_p \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$	$C_p \text{ Kcal/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$
N_2	0.25	0.3126
O_2	0.2275	0.325
CO_2	0.235	0.462
CO	0.2475	0.309
H_2O	0.465	0.374

Tableau IV-6: Les chaleurs spécifiques des composants des fumées.

➤ Calcul du volume théorique des fumées (V_{ft}) :

$$1 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \longrightarrow 10.52 \text{ Nm}^3$$

$$0.56139 \text{ Nm}^3 \longrightarrow V_{f1}$$

$$\Rightarrow V_{f1} = 5.9058 \text{ Nm}^3$$

$$1 \text{ Nm}^3 \text{ C}_2\text{H}_6 \longrightarrow 18.16 \text{ Nm}^3$$

$$0.04968 \text{ Nm}^3 \longrightarrow V_{f2}$$

$$\Rightarrow V_{f2} = 0.9022 \text{ Nm}^3$$

$$1 \text{ Nm}^3 \text{ C}_3\text{H}_8 \longrightarrow 25.8 \text{ Nm}^3$$

$$0.06648 \text{ Nm}^3 \longrightarrow V_{f3}$$

$$\Rightarrow V_{f3} = 1.7152 \text{ Nm}^3$$

$$\begin{array}{lcl}
 1 \text{ Nm}^3 \text{ iC}_4 \text{ H}_{10} & \longrightarrow & 33.44 \text{ Nm}^3 \\
 0.00039 \text{ Nm}^3 & \longrightarrow & V_{f4} \\
 \Rightarrow & & V_{f4} = 0.01304 \text{ Nm}^3
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl}
 1 \text{ Nm}^3 \text{ nC}_4 \text{ H}_{10} & \longrightarrow & 33.44 \text{ Nm}^3 \\
 0.00043 \text{ Nm}^3 & \longrightarrow & V_{f5} \\
 \Rightarrow & & V_{f5} = 0.01438 \text{ Nm}^3
 \end{array}$$

Donc : $V_{ft} = 8.55 \text{ Nm}^3$

➤ **Calcul du volume réel des fumées (V_{fr}) :**

$$V_{fr} = V_{ft} + (n - 1) V_a + \frac{1}{2} V_{co}$$

$$V_{fr} = 8.55 + (1.1161-1)7.78 + \frac{1}{2} 0.0000022$$

$$V_{fr} = 9.4533 \text{ Nm}^3$$

➤ **Calcul de la chaleur spécifique des fumées (C_{pf}) :**

$$C_{pf} = 0.09418 + 0.0000022 + 0.02007 + 0.68459 + 0.20116$$

$$C_{pf} = 0.339 \text{ Kcal/Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donc : $H_f = 9.4533 \times 0.3024 \times 184.1$

$$H_f = 589.65 \text{ Kcal/Nm}^3$$

➤ **Calcul des pertes dues à la vaporisation de l'eau liquide :**

$$P_{H_2O} = PCS - PCI$$

$$\begin{aligned}
 PCI &= (0.56139 \times 8560) + (0.04968 \times 15370) + (0.06648 \times 22350) + (0.00039 \times 29280) + \\
 &(0.00043 \times 2928)
 \end{aligned}$$

$$PCI = 7078.9176 \text{ Kcal/Nm}^3$$

Donc :

$$P_{H_2O} = 719.882 \text{ Kcal/Nm}^3$$

➤ **Calcul des pertes par les parois :**

$P_P = 2.5 \%$ de PCI (donnes du département de production du complexe GL2/Z)

$$P_P = \frac{2.5 \times \text{PCI}}{100}$$

$$P_P = \frac{2.5 \times 7078.9176}{100}$$

$$P_P = 176.9729 \text{ Kcal/Nm}^3$$

➤ **Pertes par les imbrulés :** Les pertes par les imbrulés = 0%

❖ **Calcul du rendement :**

$$\eta = \frac{7798.8 + 62.279 + 13.77 - 589.65 - 719.882 - 0 - 176.9729}{7789.8}$$

$$\eta = 82 \%$$

IV.2.2 Rendement de la chaudière en présence des vibrations

Le calcul a été établi sur la composition suivante de fuel gaz :

Composant	He	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	IC ₄ H ₁₀	n C ₄ H ₁₀	Total
Composition % mol	0.040	32.732	60.343	2.868	3.927	0.039	0.051	100

Tableau IV-7 : La composition de fuel gaz en absence des vibrations.

$$\text{PCS} = 7197.40 \text{ Kcal/Nm}^3$$

❖ **Résultats d'analyse des fumées :**

$$\% \text{ CO}_2 = 9.718 \%$$

$$\% \text{ O}_2 = 6.003 \%$$

$$\% \text{ CO} = 0.00022 \%$$

$$\% \text{ N}_2 = 54.28\%$$

$$\% \text{ H}_2\text{O} = 29.998\%$$

➤ **Calcul de l'enthalpie d'air :**

$$H_a = V_A * C_{P \text{ air}} * T_a$$

Où :

$$C_{p \text{ air}} = 0.287 \text{ Kcal/Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ta : température d'air (Ta=25 °C)

Va : volume d'air réel.

➤ **Calcul du volume d'air théorique (Va)**

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \quad \longrightarrow \quad 9.52 \text{ Nm}^3 \\ 0.60343 \text{ Nm}^3 \quad \longrightarrow \quad V_{a1} \\ \boxed{\longrightarrow} \quad V_{a1} = 5.7456 \text{ Nm}^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Nm}^3 \text{ C}_2\text{H}_6 \quad \longrightarrow \quad 16.66 \text{ Nm}^3 \\ 0.02862 \text{ Nm}^3 \quad \longrightarrow \quad V_{a2} \\ \boxed{\longrightarrow} \quad V_{a2} = 0.4768 \text{ Nm}^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Nm}^3 \text{ C}_3\text{H}_8 \quad \longrightarrow \quad 23.8 \text{ Nm}^3 \\ 0.03927 \text{ Nm}^3 \quad \longrightarrow \quad V_{a3} \\ \boxed{\longrightarrow} \quad V_{a3} = 0.9346 \text{ Nm}^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Nm}^3 \text{ iC}_4\text{H}_{10} \quad \longrightarrow \quad 30.94 \text{ Nm}^3 \\ 0.00039 \text{ Nm}^3 \quad \longrightarrow \quad V_{a4} \\ \boxed{\longrightarrow} \quad V_{a4} = 0.01206 \text{ Nm}^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Nm}^3 \text{ nC}_4\text{H}_{10} \quad \longrightarrow \quad 30.94 \text{ Nm}^3 \\ 0.00051 \text{ Nm}^3 \quad \longrightarrow \quad V_{a5} \\ \boxed{\longrightarrow} \quad V_{a5} = 0.01577 \text{ Nm}^3 \end{array}$$

Donc :

$$V_a = 7.18 \text{ Nm}^3$$

➤ **Calcul du volume d'air réel (V'a) :**

Calcul de n :

n : facteur d'air

$$\% \text{ O}_2 = \frac{(n-1)V_a \times 21}{V_{ft} + (n-1)V_a}$$

Donc : $V'a = V_a \times n$

$$\Rightarrow V'a = 7.18 \times 1.4407$$

$$\Rightarrow V'a = 10.35 \text{ Nm}^3$$

Donc : $H_a = V'a \times C_p \times T_a$

$$H_a = 10.35 \times 0.287 \times 25$$

$$\Rightarrow H_a = 74.26 \text{ Kcal/Nm}^3$$

➤ Calcul de l'enthalpie du combustible :

$$H_c = V_c \times C_p \times T_c$$

Où :

T_c = température du combustible, 28°C.

Calcul de la chaleur spécifique à partir de l'annexe «B».

	C_p Kcal/kg °C	C_p Kcal/m ³ °C
N ₂	0.2475	0.3095
CH ₄	0.5075	0.363
C ₂ H ₆	0.80	1.074
C ₃ H ₈	0.64	1.260
I C ₄ H ₁₀	0.58	1.505
n C ₄ H ₁₀	0.56	1.4531

Tableau IV-8 : chaleur spécifique des composants du combustible.

$$H_c = [0.32732 \times 0.3095 + 0.60343 \times 0.363 + 0.02868 \times 1.074 + 0.03927 \times 1.260 + 0.00039 \times 1.505 + 0.00051 \times 1.4531] \times 28$$

$$H_c = 7.348 \text{ Kcal / Nm}^3$$

➤ Calcul de l'enthalpie des fumées :

$$H_f = V_{fr} \times C_{pf} \times T_f$$

Où :

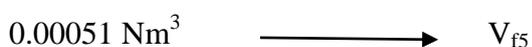
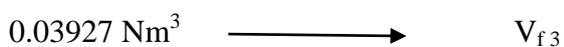
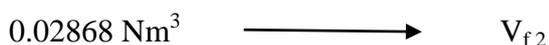
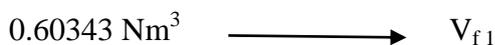
T_f : température des fumées a la sortie de l'économiseur ($T_f = 195.4$ °C).

Calcul de la chaleur spécifique à partir de l'annexe «B »

	C_p Kcal/kg °C	C_p Kcal/m ³ °C
N ₂	0.25	0.3126
O ₂	0.23	0.3285
CO ₂	0.235	0.4616
CO	0.255	0.319
H ₂ O	0.45	0.3616

Tableau IV-9 : chaleur spécifique des fumées.

➤ **Calcul du volume théorique des fumées (V_{ft}) :**



Donc :

$$V_{ft} = 7.91 \text{ Nm}^3$$

➤ Calcul du volume réel des fumées (V_{fr}) :

$$V_{fr} = V_{ft} + (n - 1) V_a + \frac{1}{2} V_{co}$$

$$V_{fr} = 7.91 + (1.4407 - 1)7.78 + \frac{1}{2} 0.0000022$$

$$V_{fr} = 11.07 \text{ Nm}^3$$

➤ Calcul de la chaleur spécifique des fumées (C_{pf}) :

$$C_{pf} = 0.09718 * 0.4616 + 0.0000022 * 0.319 + 0.06003 * 0.3285 + 0.5428 * 3126 + 0.29998 * 3616$$

$$C_{pf} = 0.3428 \text{ Kcal/Nm}^3$$

Donc : $H_f = 11.07 \times 0.3428 \times 195.4$

$$H_f = 741.49 \text{ Kcal/Nm}^3$$

➤ Calcul des pertes dues à la vaporisation de l'eau liquide :

$$P_{H_2O} = PCS - PCI$$

$$PCI = (0.60343 \times 8360) + (0.02868 \times 15270) + (0.03927 \times 22350) + (0.00039 \times 29280) + (0.00051 \times 1947.69)$$

$$PCI = 6386.6549 \text{ Kcal/Nm}^3$$

Donc :

$$P_{H_2O} = 810.7451 \text{ Kcal/Nm}^3$$

➤ Calcul des pertes par les parois :

$$P_P = 2.5 \% \text{ de } PCI \text{ (donnes du département de production du complexe GL2/Z)}$$

$$P_P = \frac{2.5 \times PCI}{100}$$

$$P_P = \frac{2.5 \times 6386.6549}{100}$$

$$P_P = 159.66 \text{ Kcal/Nm}^3$$

➤ **Pertes par les imbrulés** : Les pertes par les imbrulés = 0%

❖ **Calcul du rendement** :

$$\eta = \frac{7197.4 + 74.26 + 7.34 - 810.7451 - 741.49 - 0 - 159.66}{7197.4}$$

$$\eta = 77.34 \%$$

VI.2.3 Comparaison des deux rendements calculés avec le design

	Design	En absence des vibrations	En présence des vibrations
Rendement(n) %	84	82	77.34

Tableau IV-10 : Résultats des calculs du rendement.

Le graphe suivant représente la variation du rendement en présence et en absence des vibrations de la chaudière IHI.

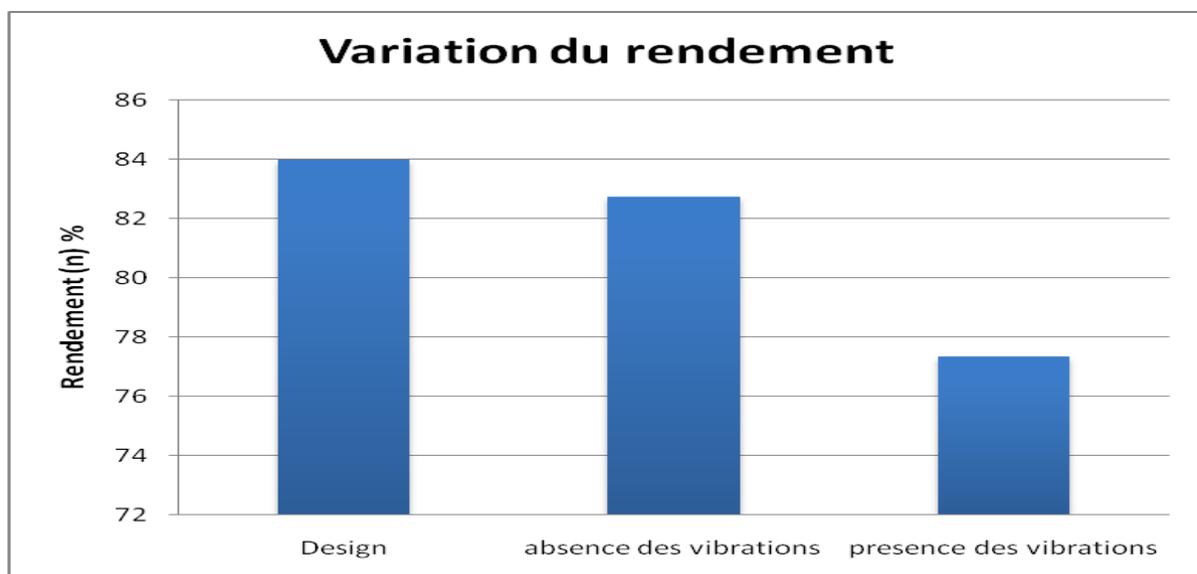


Figure IV-4: Variation du rendement en absence et en présence des vibrations

❖ Interprétation des résultats :

Les résultats de nos calculs illustres dans le graphe ci-dessus nous permettent de constater que :

- Le rendement de la chaudière IHI en présence des vibrations est plus faible que celui du design de (7%), contrairement au rendement en absence des vibrations qu'il est proche de design.
- La variation du rendement est due principalement aux pertes par les fumées qui l'augmentent avec l'augmentation d'excès d'air.

Conclusion

Cette étude nous a permis de faire un suivi du fonctionnement de la chaudière IHI et leurs différents systèmes de régulation afin de réaliser des calculs de rendement de cette machine.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une diminution du rendement en le comparant avec celui du design. Cela est dû à plusieurs causes et principalement le phénomène de vibration.

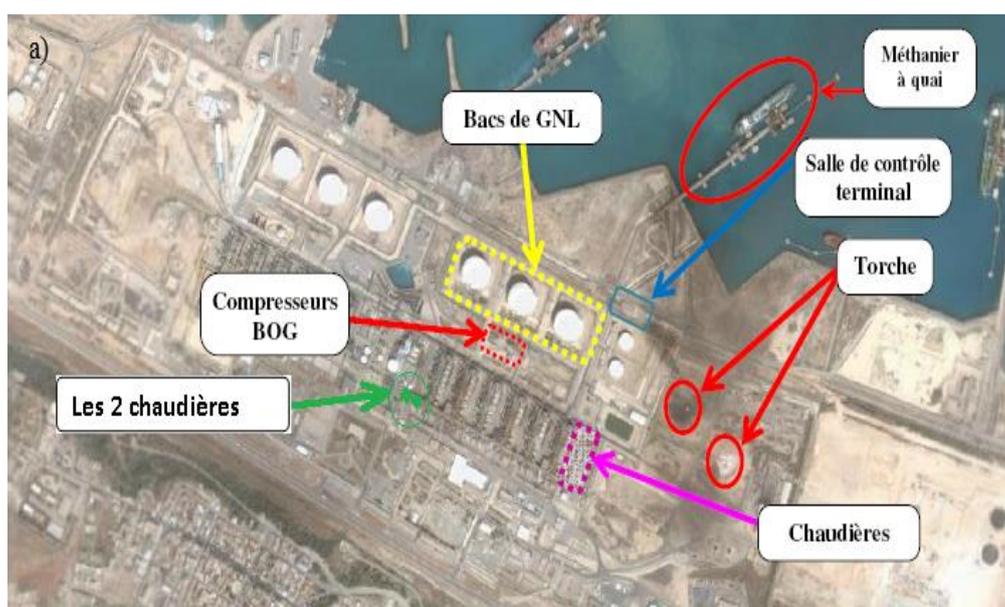
Introduction

Dans le cadre de la réalisation des études de danger, la réglementation prévoit le calcul de périmètres de sécurité autour des établissements industriels à risques surtout dans le domaine d'hydrocarbures qui présente des divers types de risque. Ce qui conditionne la mise en œuvre de mesures importantes en matière de prévention et de protection.

La libération accidentelle de gaz toxique ou inflammable constitue un scénario d'accident important, puisque pouvant conduire à des distances d'effet importantes. Le rejet accidentel d'un produit peut entraîner la formation de nuages dangereux pour les personnes, les équipements et pour l'environnement. La propagation de ces nuages dans l'atmosphère est un phénomène extrêmement complexe, régi par de nombreuses variables. Afin de modéliser les conséquences et donc d'estimer les périmètres de sécurité, l'étude de la dispersion atmosphérique des nuages de gaz fait appel à des logiciels de simulation. Parmi les nombreux outils disponibles sur le marché ou développés en interne par les entreprises, le logiciel ALOHA ("Areal Locations of Hazardous Atmospheres") qui sont souvent utilisés lors des analyses préliminaires de risques et d'étude des dangers.

V.1 Périmètre de l'étude

Les données de base de l'évaluation des risques au niveau Des chaudières IHI du GL2/Z, présentées dans les sections suivantes en termes de description de l'installation, de conditions météorologiques et d'autres facteurs importants.



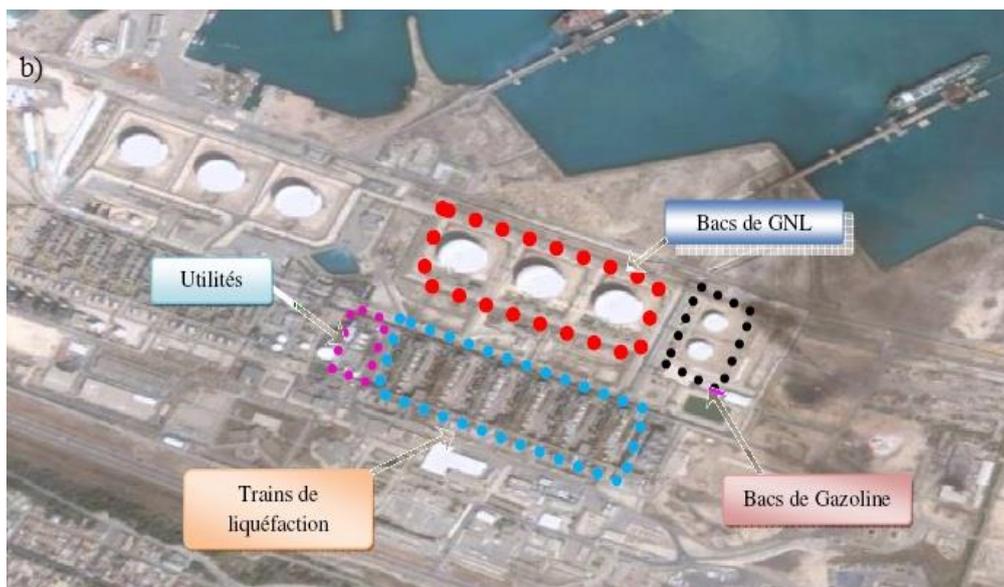


Figure V-1:aménagement des chaudières IHI du complexe GL2Z.

V.2 Sources d'inflammation [18]

Les sources d'inflammation sont les moyens par lesquels l'énergie nécessaire à l'inflammation d'un mélange combustible est dégagée. Le tableau ci-dessous résume les sources d'inflammation présentes sur site et leurs probabilités d'occurrence respective.

On peut citer d'autres sources d'inflammation autour de la chaudière IHI :

- Les allumeurs.
- Les brûleurs.
- Zones de compresseurs.
- Trains de production.
- Zone de torchage.
- Circulation routière.

Type	Origine	Cause	Probabilité
Surfaces chaudes	- Tuyauterie de vapeur	- Les parties non calorifugées.	Basse
		- Dur mécanique entraînant le réchauffement du casing	Basse
		- Echauffement excessif des paliers, Vibration excessive, Survitesse de la machine d'entraînement, mauvaise lubrification	Basse
Flammes et gaz chauds	- Cigarettes ou Allumettes - Gaz d'échappement - des véhicules	- Personnel des sous-traitants par inattention.	Basse
		- La route à proximité.	Basse
Les étincelles mécaniques	- Etincelles dues aux impacts - Echauffement	- Outillage métallique	Basse
Les équipements électriques	- Éclairage - Court-circuit - Moteurs entraînant les aérocondenseurs	- Défaut électrique. - Durant les activités de maintenance. - Echauffement, Défaut électrique.	Basse Basse Basse
L'électricité statique	- Défaut de terre - Décharge d'un outilmétallique	- Durant les opérations de maintenance	Improbable Basse
La foudre			Basse
Les ondes Electromagnétiques	- Téléphone portable	- Personnel par inattention	Basse
Inconnu	- Inflammation spontanée	- Inconnu	Basse

Tableau V-1 : Sources d'inflammations dans l'unité.

V.3 Effets dominos

Les accidents qui peuvent survenir aux chaudières IHI pourraient se propager à d'autres équipements ou d'autres installations industrielles. Les effets dominos potentiels suivants ont donc été évalués d'une façon arbitraire.

➤ ***Effet domino vers une autre installation industrielle :***

La possibilité d'une propagation vers d'autres installations industrielles est très probable puisqu'il existe d'autre complexe (GL1Z et HELIOS) à proximité de la chaudière. La propagation vers le gazoduc du quai de chargement est également probable, puisque ce dernier est aérien et donc n'est pas à l'abri des flux de radiations thermiques.

➤ ***Effet domino interne d'un accident :***

Les accidents avec propagation interne qui peuvent avoir des effets sur le personnel sont différents, et ne peuvent être totalement cernés dans ce rapport.

Aucun scénario d'accident avec propagation interne n'a été évalué au niveau des conséquences potentielles.

V.4 Présentation du scénario d'accident

Le complexe GL2Z est le premier exportateur de GNL au niveau national puisque il assure à lui seul 42 % des ventes de GNL du groupe SONATRACH, cela se définit par d'importantes quantités de GNL. Pour cela il est nécessaire d'effectuer une évaluation quantitative des risques que représentent les chaudières IHI de GL2Z tel qu'une explosion. Ce scénario a été incorporé au logiciel ALOHA en incluant des paramètres tels que la pression, la température et les paramètres techniques suivant :

➤ ***Débit de fuite***

Les débits de fuite sont estimés selon la taille de la rupture, la pression de même la vitesse de dispersion du gaz. Ces débits ont été pour la plupart estimés par RMP et ALOHA.

➤ ***Durée de la fuite***

La durée totale de la fuite est basée sur la somme du temps de détection et d'isolement des vannes.

➤ ***Direction du rejet***

Pour les rejets de gaz naturel, la direction du rejet est un facteur important pour la vitesse et la dispersion ultérieure du gaz. On estime que les fuites de gaz naturel sont de type jet libre ou impactant, si le jet rencontre un obstacle.

➤ *Conditions météorologiques saisonnières*

Il y a un grand écart dans les conditions météorologiques entre l'hiver et l'été. La température et l'humidité relative ont moins d'effet sur la dispersion du nuage de vapeur que la vitesse, la direction et la stabilité du vent. Tous ces facteurs sont inclus dans l'évaluation quantitative des risques avec des valeurs basées sur les statistiques météorologiques pour l'été et pour l'hiver.

V.5 Critères retenus pour la détermination des zones de dangers

V.5.1 Effets thermiques[18]

Les valeurs seuils de référence retenues sont celles de l'arrêté ministériel du 29/09/2005.

	Valeurs	Commentaires
Effets sur l'homme	8 kW/m ² ou 1 800 [(kW/m ²) ^{4/3}].s	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement
	5 kW/m ² ou 1 000 [(kW/m ²) ^{4/3}].s	Seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement => zone dans laquelle il convient de limiter l'implantation de constructions ou d'ouvrages concernant notamment des tiers
	3 kW/m ² ou 600 [(kW/m ²) ^{4/3}].s	Seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine » => zone dans laquelle il est possible d'autoriser la construction de maisons d'habitation ou d'activité économique à l'exclusion toutefois d'aménagements et de constructions destinés à recevoir du public dont l'évacuation pourrait se trouver compromise
Effets sur les structures	Contact des flammes ou 200 kW/m ²	Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes
	20 kW/m ²	Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures, correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton
	16 kW/m ²	Seuil d'exposition prolongée des structures, correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures (hors structures béton)
	8 kW/m ²	Seuil des effets dominos correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures
	5 kW/m ²	Seuil de destructions des vitres significatives

Tableau V-2: Liste des valeurs seuils des effets thermiques.

V.5.2 Effets de surpression[18]

Les effets de surpression engendrés par une explosion, sont relativement restreints en champ libre. En fonction du degré de confinement et d'encombrement du lieu où se produit l'explosion, les effets de surpression peuvent devenir importants. Dans les cas de fort confinement, elle peut atteindre une dizaine de bars. La quasi-totalité des explosions de gaz présentent des vitesses de flamme inférieures à 100 mètres par seconde et des surpressions inférieures à 10 bar : ce sont des déflagrations.

Les valeurs seuils réglementaires pour l'évaluation des effets de surpression sur l'homme ou les structures, sont énumérées dans le tableau suivant :

	Valeurs	Commentaires
Effets sur l'homme	200 mbar	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement
	140 mbar	Seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement => zone dans laquelle il convient de limiter l'implantation de constructions ou d'ouvrages concernant notamment des tiers.
	50 mbar	Seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine » => zone dans laquelle il est possible d'autoriser la construction de maisons d'habitation ou d'activité économique à l'exclusion toutefois d'aménagements et de constructions destinés à recevoir du public dont l'évacuation pourrait se trouver compromise
	20 mbar	Seuil des effets délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme
Effets sur les structures	140 mbar	Seuil des dégâts graves sur les structures
	50 mbar	Seuil des dégâts légers sur les structures
	20 mbar	Seuil de destructions des vitres significatives

Tableau V-3: Liste des valeurs seuils des effets de surpression.

V.6 Hypothèses d'accident

Hypothèse 01:

Nous prenons le cas où la chaudière est à l'arrêt, et la possibilité que les détecteurs de gaz soient défectueux. D'un autre côté, l'existence d'une fuite de gaz (GN) au niveau du train 100, avec la contribution de la vitesse du vent à l'enrichissement en GN de l'air aspiré par le ventilateur à tirage forcé FDF.

Lors du démarrage de la chaudière, elle est remplie à sa capacité maximale et dès que les allumeurs sont actionnés, il se produit alors une violente explosion.

- ✓ Phénomènes à quantifier : VCE

Hypothèse 02 :

Cette deuxième hypothèse part du même principe que la première, la chaudière est supposée à l'arrêt et les détecteurs de gaz sont défectueux. Nous supposons également la non-fermeture ou à la défaillance des vannes de la ligne de fuel gaz de l'alimentation d'un brûleur (vanne fuyarde).

L'accident survient lors du redémarrage de la chaudière IHI suite à l'accumulation du fuel gaz dans le foyer de la chaudière, cela aurait pu être évité par la purge de la chaudière, mais cette opération a été by passée (Ce type de scénario a déjà eu lieu).

- ✓ Phénomènes à quantifier : VCE

V.7 Résultats de la simulation

V.7.1 Modélisation de la dispersion atmosphérique du nuage de gaz inflammable

L'expérience montre que la concentration de flammes est assez limitée, et que l'effet létal est dimensionné par la distance à LII (limite inférieure d'inflammabilité). Dans le cas de l'explosion de la chaudière, les considérés sont :

Scénario	
Accumulation du Gaz naturel à l'intérieur de la chaudière	
Caractéristique du produit	
Température d'ébullition. (°C)	-161.5°
Point de congélation. (°C)	-182.5
Poids moléculaire. (g/mole)	16,04
Chaleur de combustion.(kJ/g)	55.5
LII. (ppm)	5% 44000
Conditions opératoires de la chaudière	Chaudière au cours de démarrage
Conditions météo pour le calcul du rayonnement thermique	
Vitesse du vent : (m/s)	5
Direction du vent	Nord-Ouest
Classe de Stabilité	C
Humidité(%)	75
Température de l'air (°C)	23
Résultats	
Longueur à 60% de la LIE (m)	430
Longueur à 43% de la LIE (m)	502
Longueur à 10% de la LIE (m)	858.6

Tableau V-4:Dispersion atmosphérique du nuage de gaz explosif.

La figure suivante représente les zones d'inflammabilités :

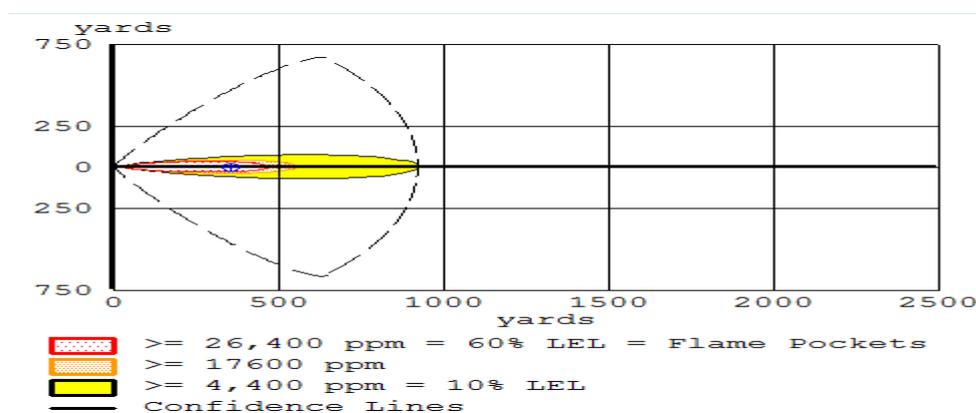


Figure V-2 : les zones menacées par les flammes.

Interprétation :

D'après ces résultats les zones touchées par le menace des flammes est plus de 800 mètres, ce qui signifie que la zone de confiance (la zone de sécurité) pour protéger les opérateurs, les équipements contre les effets de flammes commence à partir 800 m.

V.7.2 Modélisation de la concentration des polluants[19]

Aux Etats-Unis, l'A.I.H.A (American IndustrialHygienist Association) publie desvaleurs E.R.P.G (Emergency Response Planning Guidelines) en cas d'émission de substances toxiques pour une exposition d'une heure. Ces valeurs seuils n'existent pas pour le monoxyded'azote. Néanmoins, des valeurs s'apparentant aux ERPGs mais basés sur une méthodologie spécifique, sont également disponibles. Il s'agit des TEELs (TemporaryExposure Emergency Limits) définis par le Ministère des transports et utilisés lorsque les ERPGs ne sont pasdisponibles. Ils sont destinés à évaluer les effets sur une population générale en cas d'exposition accidentelle pour une durée de 60 minutes. Ils sont définis sans facteur de sécurité et caractérisés comme suivant :

- TEEL-0 : seuil pour lequel il n'y a aucun risque appréciable pour la santé
- TEEL-1 : seuil d'irritation et d'effets mineurs
- TEEL-2 : seuil d'effets irritants et réversibles
- TEEL-3 : seuil d'effets sérieux, effets létaux possibles.

zone	concentration (ppm)	distance (m)
TEEL-1	50000	408
TEEL-2	25000	321
TEEL-3	15000	225

Tableau V-5 : les distances maximales des effets toxiques.

La figure suivante représente les zones toxiques.

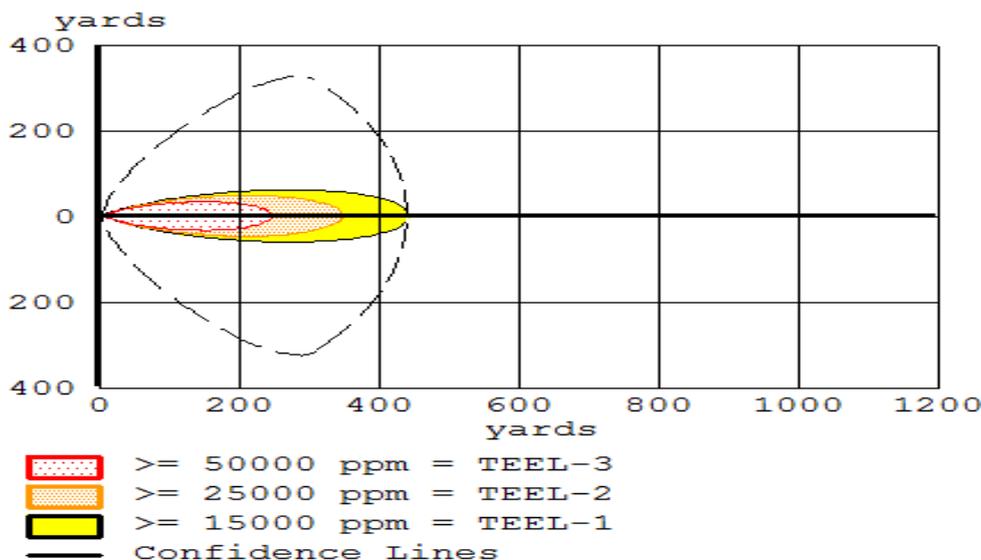


Figure V-3 : Les zone menacée par menacées par les polluants.

Interprétation :

D’après ces résultats les zones touchées par le menace des polluants est plus de 400 mètres, ce qui signifie que la zone de confiance (la zone de sécurité) pour protéger les opérateurs, contre les polluants commence à partir 400 m , avant cette distance il faut prendre les mesures nécessaires de protection tels que l’utilisation les équipements de protection individuelle (cache poussière ,masque respiratoire).

V.7.3 Effets de surpression (VCE)

Les effets des ondes de surpression et de radiations thermiques sont présentés par le tableau suivant:

N° du scénario	Phénomènes Dangereux	Distances d’effets (m)		
		8.0 psi	3.5 psi	1.0 psi
		Destruction de bâtiments	Blessures sérieuses	bris du verre
01 et 02	VCE	418	482	917

Tableau V-6: Distances maximales des effets de surpression

La figure suivante représente les zones de surpression.

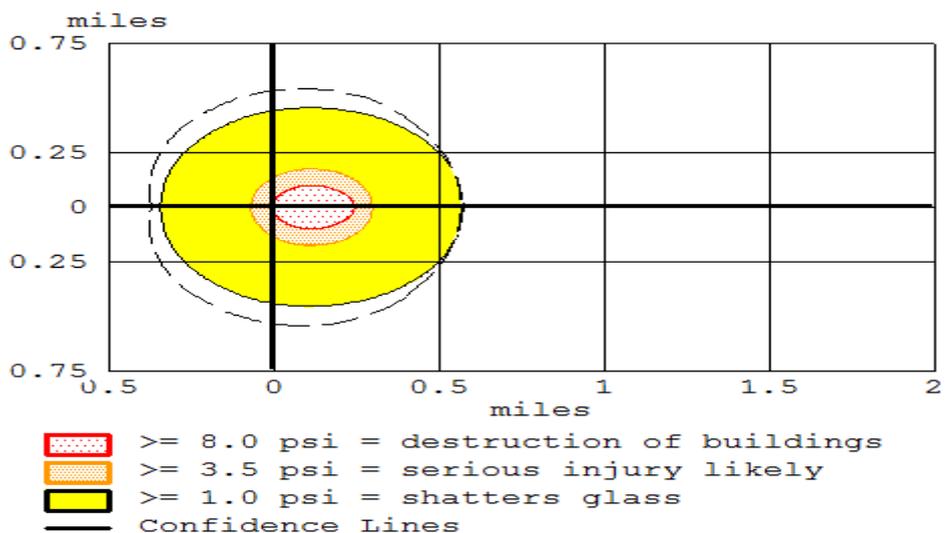


Figure V-4 : Effets de surpression issus de l'explosion de la chaudière IHI.

Interprétation :

Les résultats présentés par la figure ci-dessus montrent que la zone menacée par les effets de surpression est un cercle de 1528.5m de diamètre on peut dire que la zone de sécurité commence après 917m de centre d'explosion (on prend en considération la zone qui a un grande étendue).

Pratiquement on ne peut pas respecter ces limites il s'agira dans ce cas de choisir une démarche liée à l'évacuation, en effet si le chef incendie juge que l'inflammation du nuage de gaz(VCE) est inévitable, il demandera le lancement del'opération d'évacuation des équipes interventions hors périmètre, et préparation de l'évacuation du point de rassemblement.

V.7.4 Effets thermiques

Ce phénomène dangereux est caractérisé par des effets thermiques, qui s'étendent sur plusieurs centaines de mètres, comme le montre le tableau suivant :

N° du scénario	Phénomènes Dangereux	Distances d'effets (m)		
		10.0 kW/m ²	5.0 kW/m ²	2.0 kW/m ²
01 et 02	VCE	106	256	491

Tableau V-7: Distances maximales des radiations thermiques.

La figure suivante représente les zones thermiques.

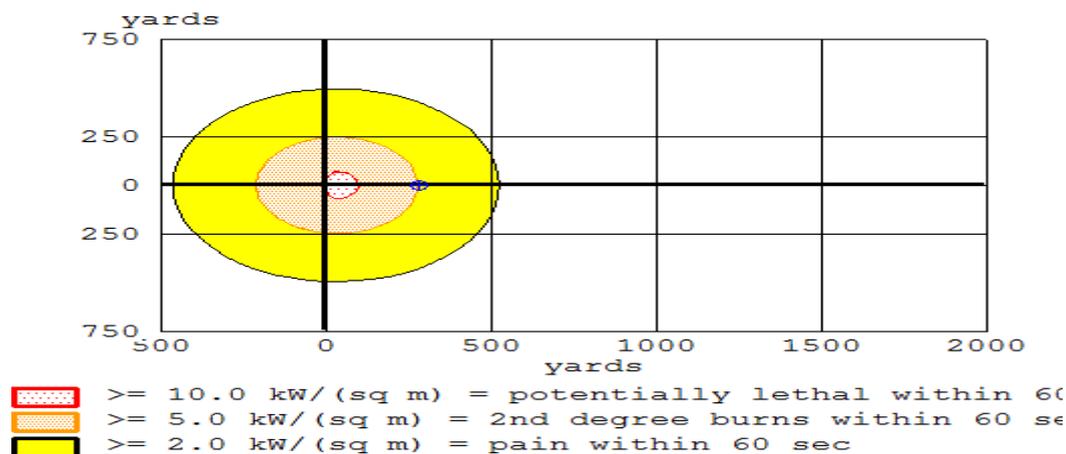


Figure V-5 : les zones des radiations thermiques.

Interprétation :

D'après ces résultats les zones touchées par le menace des radiations thermiques est un cercle de 800m de diamètre et la zone de sécurité commence après 491m. On constate que la distance préférentielle pour le positionnement des équipes d'intervention sera supérieure ou égale à 106 m. L'accès dans cette zone est conditionné par le port obligatoire des tenues d'approches, d'où la nécessité de réduire au maximum l'effectif non concerné dans la zone.

❖ Interprétation du scénario

Les deux zones d'effet sont :

- Effets de surpression
- Flux thermique

Valeurs des seuils fixes pour les effets thermiques

- ✓ La zone Z1 (10 kW /m³) qui correspond aux effets létaux significatifs (zone de dangers très grave pour la vie humaine)
- ✓ La zone Z2 (5 kW /m³) : Bris de vitres sous l'effet thermique, douleur après 12 secondes d'exposition, cloques après 30 secondes, intervention rapide pour des personnes protégées
- ✓ La zone Z3 (3 kW /m³) : Limite des blessures graves pour l'homme – flux minimal létal pour 120 secondes d'exposition.

Valeurs des seuils fixés pour les effets de surpression.

- ✓ Z1 correspond à une surpression de 550 mbar c'est la pression de destruction des constructions.

- ✓ Z2 correspond à une surpression de 270 mbar : à cette pression les blessures très graves sont très probables
- ✓ Z3 correspond à une surpression de 70 mbar : C'est le seuil des risques minimales mais non négligeables, C'est la limite de blessures significatives sur l'homme par projection.

Des effets indirects sont susceptibles de se produire liés à l'incendie ou à l'explosion à savoir l'émission de projectiles (éclats, objets arrachés, personnes projetées sur des obstacles...) l'émission de fumées épaisses qui pourraient engendrer des gênes respiratoires.

Ainsi, en fonction des scénarios d'accidents et de l'emplacement des victimes, celles-ci pourraient être, selon les cas, brûlées, bastées (lésions induites par l'onde de choc), blessées par projectile ou par effondrement de bâtiment, projetées sur des obstacles, asphyxiées ou pourraient subir la combinaison d'un ou plusieurs de ces effets.

Conclusion et recommandation

Les résultats obtenus donnent une idée de l'étendue potentielle des impacts, ces résultats ne s'appliquent qu'à la situation théorique définie par les paramètres que nous avons choisis puisque les paramètres de la chaudière diffèrent de site à un autre. En effet, si l'on modifie un tant soit peu les différents paramètres, les résultats obtenus peuvent être très différents surtout la température et la vitesse du vent. Il semble évident que, le logiciel ALOHA utilisé pour la modélisation de la dispersion atmosphérique des substances transportées, ne tient pas compte de certains facteurs qui agissent sur la dispersion dans l'air comme par exemple, la dispersion verticale du produit ou son élimination naturelle suite aux réactions chimiques complexes qui peuvent avoir lieu dans l'atmosphère.

Après les résultats obtenir concernant la modélisation d'un scénario d'accident de l'explosion d'une chaudière, on peut prendre en considération les points suivants :

- Les effets de surpression d'un accident majeur au niveau de la chaudière IHI peuvent atteindre à une distance de 917 m au centre d'accident et les radiations thermiques peuvent atteindre à une distance de 491m, c-à-d on a des effets domino interne (Bacs de GNL, les autres chaudières du complexe, salle de contrôle...) et des effets domino externe (HILIOS, GNL2Z) donc pour assurer la sécurité total des opérateurs et des équipements on doit respecter ces limites de sécurité.

•Pratiquement on ne peut pas respecter ces limites par ce que une distance de 917m diminuer le rendement du travail avec le déplacement des opérateurs aller et retour, alors on ne peut pas assurer la protection des opérateurs et des équipements contre ce genre de dégât pour cela ce type d'accident doit jamais survenir.

On doit se baser sur les mesures de prévention tel que :

- Les formations et l'information des opérateurs sur ce type d'accident.
- La sensibilisation de tout le monde (opérateurs, visiteurs, stagiaires) en matière HSE.
- Le respect des procédures du travail surtout ce qui concerne l'HSE.
- Les exercices et les simulations périodiques et les types d'interventions.

Conclusion générale

Au cours de ces dernières années des dommages sur des chaudières industrielles, par explosion et/ou incendie n'ont cessé de croître d'une façon alarmante.

Devant la gravité de cette situation, il importe de mettre en œuvre des moyens de prévention que nécessite la protection efficace des chaudières. Le présent mémoire, traite les différents risques de la chaudière IHI.

La mise en œuvre de ces ressources nécessite une connaissance des causes à la source, c'est pour cette raison, la sécurité doit être intégrée dès la conception de l'installation. Les solutions relèvent souvent du bon sens, de la connaissance du système et du savoir-faire.

Si on peut parfois trouver des solutions simples et immédiatement applicables, d'autres nécessitent des investissements, une réorganisation, un remplacement de matériel, de machines etc. C'est pourquoi une sécurité qui débute au projet, est de loin la plus efficace.

Enfin, et malgré les difficultés de terrain rencontrées, nous pouvons dire que notre étude nous a offert une expérience très riche en informations dans divers domaines et nous a forcé à déployé un effort considérable pour finaliser ce travail. Cependant, et vu les limites que présente le logiciel ALOHA, cette étude pourrait être plus fine et précise, si d'autres logiciels performants ont été utilisés, (ex. le logiciel PHAST).

Recommandations

Prévention des explosions dans la chaudière

La prévention et la protection des chaudières IHI sont nécessaires pour éviter tout accident au cours de l'exploitation. Les explosions dans le foyer peuvent être évitées en respectant les démarches suivantes :

- S'assurer que les vannes d'admission de combustible d'allumage et de combustible principal des brûleurs inactifs, sont bien fermées hermétiquement et ne sont pas fuyardes.
- Surveiller la flamme de façon que l'apport de combustible puisse être interrompu sans retard si cette dernière s'éteint anormalement.
- Arrêter immédiatement l'alimentation en combustible d'allumage et principal, si les feux sont éteints ;
- Respecter les procédures de purge de la chaudière pendant au moins 5 minutes après l'arrêt et avant la remise en service ;
- Vérifier régulièrement le fonctionnement correct de tout système de verrouillage, de couplage et des organes de déclenchement au cours des périodes en marche normale ;
- Vérifier soigneusement, inspecter et maintenir en état tout système de surveillance et de sécurité du foyer, pendant les coupures et perturbation ou pannes ;
- Assurer d'une manière permanente une action de maîtrise, de contrôle du procédé en respectant les consignes et procédures conçues pour empêcher toute fausse manœuvre et situation à risque ;
- Veiller à la maintenance préventive des équipements et instrumentation des chaudières IHI ;
- Contrôler et vérifier les détecteurs de gaz et de fumée ;
- Vérifier périodiquement les équipements d'intervention et d'assurer leur disponibilité à tout moment.
- Positionnement des détecteurs de gaz dans les endroits sensibles inexistant :
 - Coté alimentation de la chaudière en gaz.
 - Coté aspiration d'air (possibilité d'aspiration un NUAGE GAZEUX en cas de fuites de gaz au voisinage probablement les équipements à gaz par exemple ballon de propane X01F, les échangeurs à plaque après les fissures répétitives.

- Intégrer le scénario étudié dans ce mémoire dans les plans d'intervention

Recommandations sur le phénomène de vibration

- La modification du diamètre des buses des brûleurs des chaudières.
- L'ajout d'un système de contrôle.
- Maintenir la différence de pression entre le foyer et la boîte à air peut contribuer dans la diminution des vibrations sans pouvoir les éliminer.
- Une étude d'installation d'un nouveau système de prétraitement du fuel gaz composé d'un ballon fuel, de compresseurs et de mixeurs, d'un analyseur PCS et de vannes de contrôle et de sectionnement pour contrôler et stabiliser le PCS du fuel alimentant les chaudières 770UE/UF, les chaudières process et utilités autour d'une valeur.

Bibliographie

- [1] Pullman Kellogg, « Division of Pullman Incorporated. Manuel opératoire GL2/Z ». 1979.
- [2] Pullman Kellogg, « Manuel opératoire des Utilités volume 1, Section 2.2 : Production de vapeur ». sept-1978.
- [3] Pullman Kellogg, « Manuel opératoire du Procédé volume 1 ». sept-1978.
- [4] Pullman Kellogg, « Manuel opératoire du Terminal ». sept-1978.
- [5] Ishikawajima-Harima Heavy Industries, « Spécification et description de la chaudière IHI », *Manuels opératoires et de maintenance d'équipements des chaudières*, vol. 1, 10 vol.
- [6] CHERIDI AMINA, « Etude numérique du transitoire accidentel d'une chaudière industrielle par le code RELAP5/Mode3 2 », Constantine1, 2013.
- [7] BENOUDINA LAZHER, « Modélisation et simulation basées multi agent du contrôle de processus industriels », 2008.
- [8] Ishikawajima-Harima Heavy Industries, *Manuels opératoires et de maintenance d'équipements des chaudières*, vol. 2.
- [9] www.ineris.fr, « base de données sur les barrières techniques de sécurité ».
- [10] www.ineris.fr, « base de données sur les barrières techniques de sécurité ».
- [11] « Risque et préoccupations liés au matériel utilités ». oct-2005.
- [12] « Les rapports de laboratoire du complexe GNL2/Z ». .
- [13] « Corrosion des métaux », avr. 2005.
- [14] « Les rapports de sécurité du département ». .
- [15] CHERIDI AMINA, « Etude numérique du transitoire accidentel d'une chaudière industrielle par le code RELAP5/Mode3 2 », Constantine1, 2013.
- [16] A.Tayer, « la réduction du risque humain par la prévention active ». .
- [17] HAMIDA KARIMA, « Emission et valorisation de CO2: Cas des rejets générés par les chaudières 400 T/H ».
- [18] « étude de danger du complexe GL2/Z.2010 ». .
- [19] INERIS, « Examen de l'utilisation du logiciel ALOHA_CAMEO EN SITUATION D'URGENCE ». nov-2006.

site web

WWW.wikipedia.org

WWW.ineris.fr

LIVRE

PIERRE WHITIER raffinage pétrochimique et génie chimique Tome I « TECHNIP 1972 ».

PIERRE WHITIER raffinage pétrochimique et génie chimique Tome II « TECHNIP 1972 ».

J.P WAUQUIER procédés séparation toms II éditions technip 1998.

A.ROJEY Le gaz naturel 'production,traitement,transport'.

Données de sécurité des produits chimiques utilisés dans la chaudière

D'après les fiches des données de sécurité (FDS) de complexe GNL2/Z, on constate les informations suivantes :

1. Cyclohexylamine

Identification du produit

- **Nom** : Cyclohexylamine
- **Synonyme** : Aminocyclohexane, Aniline, Benzèneamine....
- **Formule chimique** : $C_6H_{13}N$, $C_6H_{11}-NH_2$.
- **Usage** : inhibiteur de corrosion, produits primaires pour teinture, maintenir le pH, neutralisation du CO_2 .

Propriétés physico-chimique

- Liquide incolore, d'odeur acre, avec une bonne solubilité dans l'eau.
- Point d'éclair : $26^{\circ}C$.
- Température d'auto-inflammation : $293^{\circ}C$.
- Limites d'explosivité en volume (%) dans l'air : 1.5-9.4

Données toxicologiques

- DL_{50} (oral) : 300 mg/kg.
- DL_{50} (cutané) : 277 mg/kg.
- CL_{50} (inhalation, 4h) : 1.8 mg/l.

Danger physique

- La vapeur est plus lourde que l'air.

Danger chimique

La substance se décompose en chauffant fortement, produisant des gaz toxiques (des oxydes d'azote), la substance est une base forte réagit violemment avec les acides et qui est corrosive et avec les oxydants forts en provoquant des risques d'incendie.

Types de risques/expositions	Risques/symptômes aigus	Prévention	Premier secours/agent d'extincteur
incendie	inflammable	Pas de flammes nues, pas d'étincelle, interdiction de fumer, pas de contact avec les agents oxydants.	Poudre, mousse, eau en grande quantité, dioxyde de carbone.
explosion	Au-dessus de 26°C, des mélanges air/vapeur explosifs peuvent se former.	Au-dessus de 26°C, système en vase clos, ventilation et équipements électriques protégés contre les explosions.	En cas d'incendie : maintenir les fûts..., a basse température en les arrosant d'eau.
Inhalation : l'évaporation de cette substance 20°C	Corrosif, sensation de brûlure, respiration difficile.	Ventilation, aspiration locale ou protection respiratoire.	Air frais, position semi-assise.....
ingestion	Vomissement, crampes abdominales...	Ne pas manger, ne pas boire, ni fumer pendant le travail.	Rincer la bouche, consulter un médecin

2. Eliminox :

Identification du produit

- **Nom commerciale** : NALCO-ELIMIN-OX.
- **Nom chimique** : Carbohydrazid.
- **Formule chimique** : $\text{H}_2\text{N-NH-CON-HNH}_2$.
- **Usage** : Agent réducteur d'oxygène.

Propriétés physico-chimiques

- Composé organique liquide, incolore, inodore, soluble dans l'eau.
- Point d'éclair 65°C.

Les risques

- **Risques spécifiques de danger** : nocif, irritant, corrosif pour le cuivre, nickel, plomb, réaction dangereuse avec acide nitreux (forme des composants explosifs).
- **Risque pour la sécurité** : inflammable, se décompose à 150°C en formant des oxydes et de carbone.
- **Risque pour la santé** : irritant pour la peau et les yeux, par ingestion (foies et reins) par respiration.

Prévention et Protection obligatoire

- **Protection individuelle** : Gant, buttes, lunettes de protection, tablier imperméable.
- **Protection collective** : fontaine oculaire, douche.
- **En cas d'incendie** : moyen d'extinction EAU.
- **Mesures particulières de protection de lutte contre l'incendie** : port de masque respiratoire.
- **Autre recommandation** : refroidir à l'eau les fûts exposés au feu.

Phosphate tri-sodium

Identification du produit

- **Formule chimique** : $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
- **Synonyme** : Phosphoric acide, 12-Hydrate, trisodium salt, dodecahydrate.
- **Usage** :
 - Précipiter les sels incrustés sous forme de boue le PH de l'eau de la chaudière ($9.7 < \text{PH} < 10.1$).
 - Maintenir protège les aciers en formant un film protecteur.
 - Cristaux incolores à blancs d'odeur douce, soluble dans l'eau.

Données toxicologiques

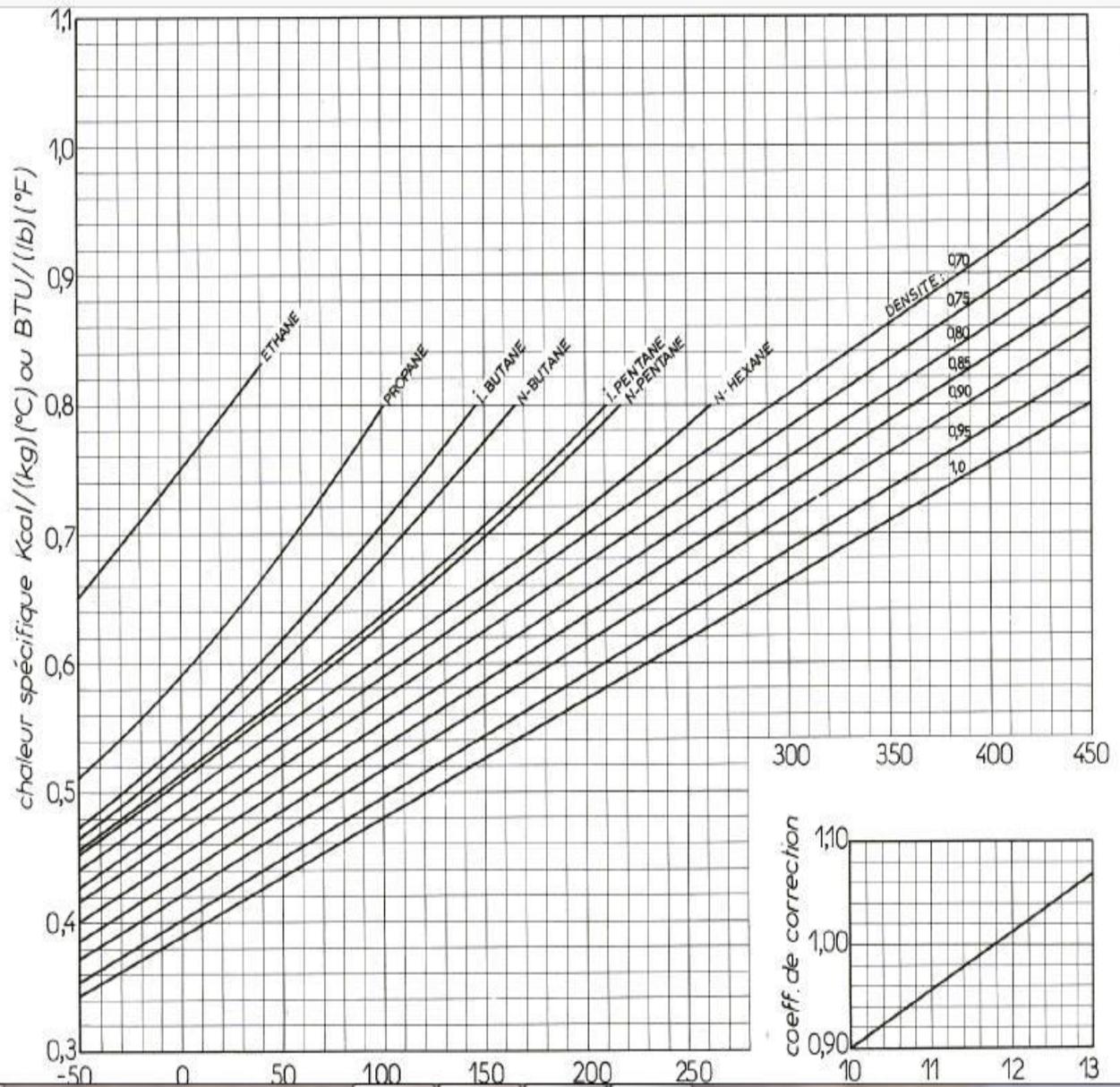
- DL_{50} (oral) : 7400mg/kg
- VME (mg/m^3) 10 pour la France et États-Unis.

Prévention et protection

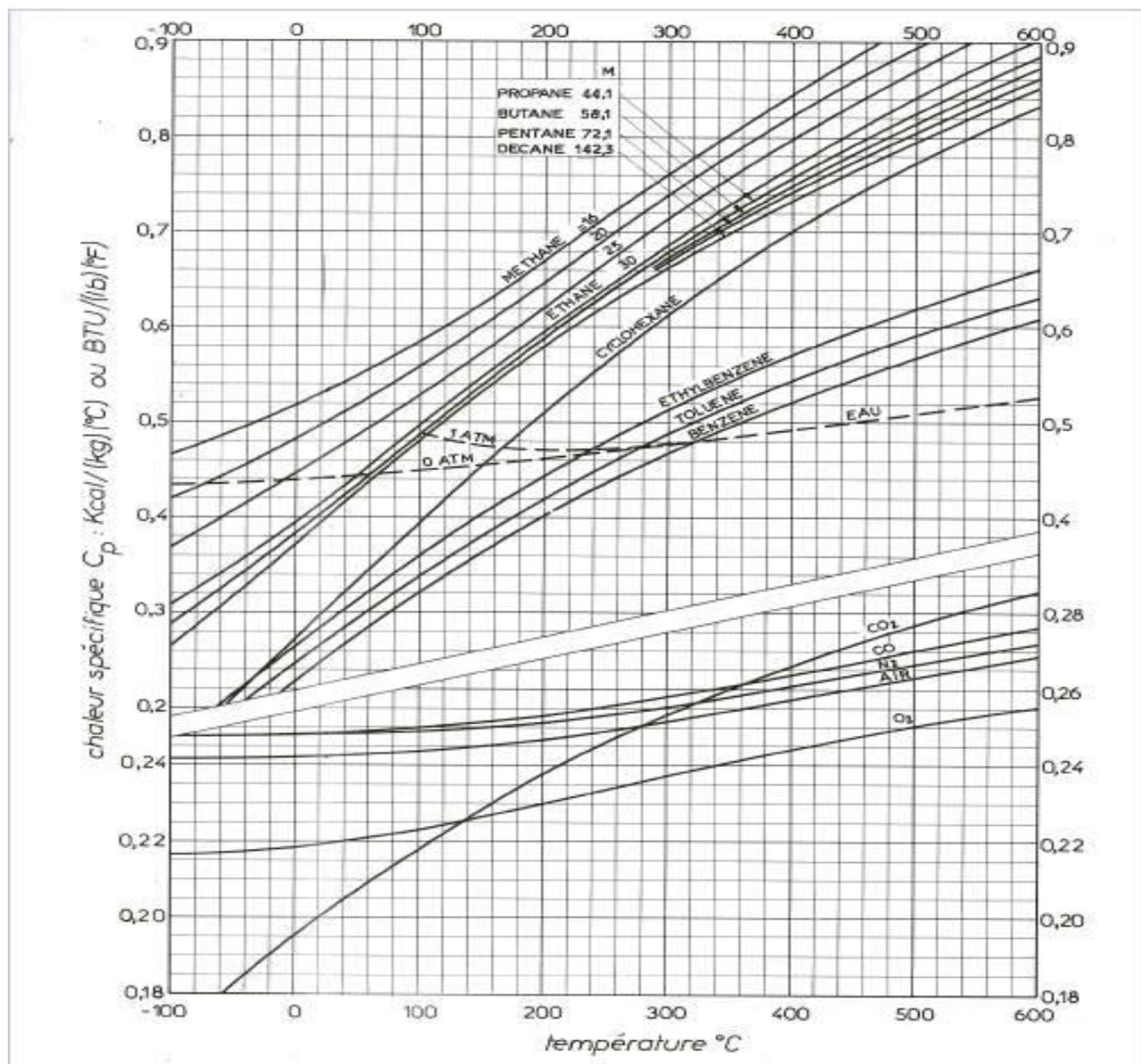
Presque on a les mêmes mesures que l'Eliminox.

- **Manipulation** :
 - Zone bien ventilées.
 - Garder les récipients bien fermés.
- **Les incendies** :
 - Ne pas fumer.
 - Prévenir toute accumulation d'électricité statique.

❖ Chaleur spécifique des hydrocarbures et fraction pétrolières



- ❖ Chaleur spécifique des hydrocarbures gazeux et de quelques gaz sous pression atmosphérique



❖ Calcul vapeur saturée : www.tlv.com

Données d'entrée

Pression de la vapeur

Unités SI(bar) ▼
barG ▼

Température de la vapeur [?]

°C ▼

Tous les champs de saisies

Calculer

Effacer

Résultat

Enthalpie spécifique de vapeur surchauffée

2801,42

kJ/kg ▼

Volume spécifique de la vapeur surchauffée

0,0314586

m³/kg ▼

Chaleur spécifique de la vapeur surchauffée

4,64979

kJ/kg·K ▼

Viscosité de la vapeur surchauffée

0,0188623

mPa s ▼