



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université Oran 2 Mohamed ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي

Institut Du Maintenance Et de Sécurité Industrielle

Département Sécurité industrielle et Environnement

Mémoire

Pour l'obtention du Diplôme Master 2

Filière : hygiène et sécurité industrielle

Spécialité : sécurité prévention Intervention

Thème :

Analyse par la méthode Séquentielle De risques d'explosion de fours industriels

Présenté par :

Rahal Anouar et Toudji Ilyes

Nom Et prénom	GRADE	ETABLISSEMENT	QUALITE
BOUHADIBA BRAHIM	MCA	UNIV-ORAN 2	Président
BOUHAFS MOHAMED	MCB	UNIV-ORAN 2	Examineur
LOUNIS Zoubida	Pr	UNIV-ORAN 2	Encadreur

Remercîments :

Avant tout nous tenons à Remercier Dieu le tout puissant pour Nous avoir donnée la force de et la santé pour achever Ce Humble Travail Malgré La Crise Sanitaire Qui a touché notre pays et le monde entier .

Nous Remercions Nos Parents qui Nous ont Soutenu durant cette période de travail et nous avoir donnée le soutien moral pour travailler ,

Et nous voulons Bien sur remercier Les Gens Qui Nous ont Bien Aidé De près et De Loin Malgré La Situation Sanitaire dans Le pays et qui Nous ont fournis le soutien et les informations nécessaire pour avoir Accomplie Ce Travail.

Nous Remercions notre Encadreur **MME LOUNIS** D'avoir Cru En Nous. Et pour son encadrement .

Nous Voulons Remercier Les Gens Qui ont Partagé Avec Nous leurs expériences professionnels Afin de Nous Faciliter le travail :

Les Ingénieur EN HSE De Tosyali : Habib Metaoui , Youcef et tout le personnel en département Hse à Tosyali .

Nous dédions aussi le travail à aux membres De La Raffinerie d' Arzew Qui Nous aider et nous avoir fournis toutes les informations nécessaires

Alou Belhadad , Amel Bouha , Sans oublier Monsieur Rabie Douas

Et toutes les personnes qui nous ont aidé .

Nous remercions les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer Ce Travail.

Merci

Dédicace :

Je veux profiter cette occasion de dédier ce modeste travail à :

Ma famille :

Qui a beaucoup souffert dans cette période à cause du covid-19 et je leur souhaite un bon rétablissement.

Et je veux remercier mes parents de m'avoir soutenue du début de mon parcours scolaire jusqu'au bout pour arriver droit au but , et merci de m'avoir aider et d'être là à mes côtés .et je souhaite que dieu vous protège et que vous soyez toujours là pour me soutenir toute ma vie

Je veux remercier :

Mon frère et ma sœur pour vos conseils précieux et d'être là pour me motiver à travailler.

Je dédie ce travail à :

Tous mes amis qui était là à mes côtés et de m'aider là ou j'avais besoin d'aide et de m'encourager.

Je remercie :

Toutes la famille , merci d'avoir cru en moi .

Aussi mon binôme :

Merci d'être un bon ami et je te souhaite un bon courage dans le reste de votre vie

Rahal Anouar

Je dédie ce mémoire à :

Mon père Ouadah qui a su être un père et un ami pour moi. Merci pour la tendresse, les valeurs nobles, la générosité et le soutien permanent venu de toi. Papa ! Ma réussite est la tienne.

Ma mère Zohra à qui je dois mon éternelle gratitude et qui est toujours présente pour faire mon bonheur. Maman ! Tu m'as toujours offert amour et réconfort, merci pour t'être sacrifiée pour que tes enfants grandissent et prospèrent.

Mes chers parents, vos prières et vos bénédictions m'ont été d'un grand secours, j'espère pouvoir répondre aux espoirs que vous avez fondés en moi.

A mes Sœurs pour l'amour et le soutien qu'ils n'ont cessé de m'apporter tout au long de mes années d'études.

A mes adorables petits frères **Anes et Mohamed**, merci d'être tout simplement mes frères.

A ma femme, qui est toujours présente pour faire mon bonheur. Merci pour ton amour, et ton soutien dans tout ce que je fais.

A mes adorables nièces **Hanna et Ahlam**

A mes très chères grands-mères que Dieu le tout puissant les gardent et les âmes de mes grands-parents.

A tous mes oncles, tantes, cousins et cousines.

A mon cher binôme **Anouar**, avec qui j'ai partagé ce travail

A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer.

Enfin, je dédie cette thèse à toutes les personnes par tout dans le monde qui croit au partage culturel et humain.

Toudji ilyes

Résumé :

Ce projet de fin d'étude qui s'intitule

« Analyse par la méthode séquentielle de risque d'explosion de fours à gaz industriel »

Fait l'objet d'une analyse des différents risques liés à l'exploitation des fours industriels qui se trouvent dans des différentes industries pétrolière, sidérurgique...ect

C'est un équipement de prime importance dans l'industrie des procédés.

Dans ce mémoire, nous avons montré c'est quoi un four industriel et pourquoi on y travaille avec et les différents types des fours et les critères des choix d'un four.

Puis nous avons parlé des notions d'analyse des risques industriels qui est une étape importante dans le monde de la prévention des risques qui entoure l'industrie en général

Et nous avons aussi abordé les différentes méthodes qu'on peut utiliser pour analyser les risques industriels pour procéder à la prévention et l'élimination de ces risques par plusieurs méthodes.

Nous avons choisi comme installation le four rebouilleur à hassi R'mel comme sujet d'étude et nous avons appliqué la méthode d'analyse des risques HAZOP pour faire ressortir les risques qui sont en relation avec l'exploitation de ce four et faire des recommandations pour éviter les déviations possibles .

Malgré les conditions qui n'étaient pas à notre faveur et le covid-19 , qui nous a empêcher de faire une étude plus approfondie à cause de l'annulation des stages pratiques au niveau de la SONATRACH .

Mais nous nous sommes arrivés aux résultats de faire une étude par la méthode Hazop sur ce four du module 3 à hassi R'mel

Abstract :

This graduation project which is called

"Analysis by the sequential method of the explosion risk Of industrial gas furnaces" is the subject of an analysis of the various risks associated with the operation of industrial furnaces which are found in different petroleum and steel industries, etc.

It is a very important equipment in the process industry.

In this graduation project we have shown what an industrial furnace is and why we work with it and the different types of furnaces and the criteria for choosing an furnace.

Then we talked about the concepts of industrial risk analysis, which is an important step in the world of risk prevention that surrounds industry in general.

And we talked about different methods that can be used to analyze industrial risks to prevent and eliminate these risks by several methods.

We have chosen the hassi r'mel reboiler oven as an installation as the subject of our study and we applied the Hazop risk analysis method to highlight the risks related to the operation of this furnace and to make recommendations. To avoid possible deviations.

Despite the conditions that were not in our favor and the covid-19, which prevented us from doing a more in-depth study because of the cancellation of the practical courses at the SONATRACH level.

But we arrived at the result of carrying out a study by the hazop method on this oven of module 3 in hassi r'mel

: ملخص

هذا المشروع التخرج الذي يسمى

"التحليل بالطريقة المتسلسلة لخطر انفجار أفران الغاز الصناعية"

يخضع لتحليل مختلف المخاطر المرتبطة بتشغيل الأفران الصناعية الموجودة في صناعات البترول والصلب المختلفة ،
إلخ.

ويساهم بشكل كبير في اقتصاد الدولة لأنه عنصر وخطوة مهمة في الإنتاج بشكل عام

في هذه الأطروحة أوضحنا ماهية الفرن الصناعي ولماذا نستعمله وأنواع الأفران المختلفة ومعايير اختيار الفرن.

ثم تحدثنا عن مفاهيم تحليل المخاطر الصناعية ، وهي خطوة مهمة في عالم الوقاية من المخاطر الذي يحيط بالصناعة بشكل عام.

وتحدثنا عن طرق مختلفة يمكن استخدامها لتحليل المخاطر الصناعية لمنع هذه المخاطر والقضاء عليها بعدة طرق.

لقد اخترنا فرن إعادة الغلاية Hassi r'mel كتركيب كموضوع لدراستنا وقمنا بتطبيق طريقة تحليل المخاطر Hazop لتسليط الضوء على المخاطر المتعلقة بتشغيل هذا الفرن وتقديم التوصيات. لتجنب الانحرافات المحتملة

و قد منعتنا الظروف المحيطة بالبلد من القيام بدراسة أكثر تعمقا و ذلك بسبب الغاء الدورات العملية على مستوى المؤسسة.
و لكننا نجحنا في القيام بتحليل المخاطر المتعلقة باستغلال هذا الفرن على مستوى الوحدة الثالثة بحاسي رمل .

Sommaire :

N°	Titre	Page
01	Liste des figures	xi
02	Liste des tableaux	xii
03	Abréviations	xiii
04	Nomenclatures	xiii
05	Introduction générale	1
Chapitre I : généralité sur les fours industriels		
I.1	Définition général d'un Four	04
I.2	Le But D'implantation Des fours	04
I.3	le Rôle des fours	04
I.3.1	Distinction De Type de four selon l'apport de chaleur au fluide	04
I.4	Description d'un four classique	05
I.5	Classification Des Fours Industriel	06
I.5.1	Classification suivant le Procédé de chauffage : directe ou indirect	06
I.5.1.1	Fours à chauffage directs	07
I.5.1.1.1	Constitution des fours	08
I.5.1.1.2	Les Catégories des fours industriels	08
I.5.1.1.2.1	Les fours cylindriques verticaux	08
I.5.1.1.2.2	Les fours dits "boîtes" à tubes verticaux	11
I.5.1.1.2.3	Les fours dits "cabines" à tubes horizontaux	12
I.5.1.1.2.4	Les fours à chauffage par murs radiants	13
I.5.1.1.2.5	Les fours dits à double chauffe	14
I.5.1.2	Fours à chauffage indirect	15
I.5.2	Classification Suivant la Manutention de produit : four continus et discontinus	16
I.5.2.1	Four Continue	16
I.5.2.2	Four discontinue	16
I.5.3	Classification suivant le niveau de température	17
I.5.3.1	Fours à haute température	17
I.5.3.2	Fours à basse température	18
I.5.4	Classification suivant le combustible utilisé	19
I.6	Structure des fours	20
I.7	Les Composants des fours	20
I.7.1	Les brûleurs	20
I.7.1.1	Role de brûleur	20
I.7.1.2	Composition et fonctionnement du brûleur	21
I.7.1.3	Le Choix D'un brûleur	22
I.7.1.4	Les types de brûleur	22
I.7.1.4.1	Les brûleurs à pré-mélange	22
I.7.1.4.2	Les brûleurs à flamme de diffusion	22
I.7.2	Les systèmes de récupération de chaleur	22
I.8	Principe Du Transfert Du Chaleur	22
I.8.1	Généralités	22
I.8.2	Modes de transfert de chaleur	23
I.8.2.1	Conduction	23
I.8.2.2	Convection	23
I.8.2.3	Rayonnement	24
Chapitre II : l'analyse des risques industriels		
II.1	Définition Du Risque:	26
II.2	Définition de risque industriel :	26

II.3	Définition d'un Incendie :	2626
II.3.1	Le développement d'un incendie :	26
II.3.1.1	Les Mode de transfert :	26
II.3.1.1.1	la conduction :	26
II.3.1.1.2	la convection :	26
II.3.1.1.3	le rayonnement :	27
II.3.1.1.4	le déplacement de substances :	27
II.4	définition de l'Analyse des risques :	27
II.4.1	L'identification et l'analyse des risques	27
II.4.2	Evaluation des risques	28
II.4.3	Acceptation des risques	28
II.4.4	la Maitrise du risque	28
II.4.4.1	Outils de la maitrise des risques	29
II.4.4.1.1	critères liées au choix de la méthode d'analyse	29
II.4.4.1.2	Les Méthode d'analyse des risques	29
II.4.4.1.2.1	La Méthode D'analyse HAZOP	29
II.4.4.1.2.1.1	Applications des études HAZOP	30
II.4.4.1.2.1.2	Les avantage d'une HAZOP	31
II.4.4.1.2.1.3	Déroulement d'une HAZOP	31
II.4.4.1.2.1.4	Principes de l'étude HAZOP	32
II.4.4.1.2.1.5	Procédure détaillée d'une méthode HAZOP	34
II.4.4.1.2.1.5.1	Description et intention du design	34
II.4.4.1.2.1.5.1.2	Générer une déviation	34
II.4.4.1.2.1.5.1.3	Identifier les causes	34
II.4.4.1.2.1.5.1.4	Evaluer les conséquences	34
II.4.4.1.2.1.5.1.5	La protection	34
II.4.4.1.2.1.5.1.6	Enregistrement	35
II.4.4.1.2.1.6	Champs d'utilisation de la méthode HAZOP	35
II.4.4.1.2.1.5.7	Limites de l'étude HAZOP	35
II.4.4.1.2.	La Méthode Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité «(AMDEC)	36
II.4.4.1.2.1	Définition de l'AMDEC	36
II.4.4.1.2.2	Les différents Types d'AMDEC	37
II.4.4.1.2.3	L'utilisation de la méthode AMDEC	38
II.4.4.1.2.4	Le principe de la méthode AMDEC	38
II.4.4.1.2.5	Les deux aspects de la méthode	38
II.4.4.1.2.5.1	L'aspect qualitatif	38
II.4.4.1.2.5.2	L'aspect quantitatif	39
II.4.4.1.2.6	Le Déroulement de la méthode AMDEC	39
II.4.4.1.2.7	Évaluation de la criticité	42
II.4.4.1.2.8	Les avantages et les limites de la méthode AMDEC	44
II.4.4.1.2.3	La Méthode Arbre de défaillance :	44
II.4.4.1.2.3.1	Le principe de la méthode ADD :	46
II.4.4.1.2.3.2	Les différentes étapes de l'arbre de défaillance :	47
Chapitre III : retour d'expérience sur les accidents des fours		
III.1	Définition De retour d'expérience :	50
III.2	Les acteurs du REX :	50
III.2.1	Le directeur :	50
III.2.2	Les instances représentatives du personnel :	50
III.2.3	L'encadrement	50
III.2.4	Les salariés :	50
III.2.5	Autres acteurs potentiels :	50

III.3	Les principales étapes d'un REX	50
III.4	Les Facteurs Clés de la réussite d'un retour d'expérience	51
III.5	Les accidents dans les fours	51
III.5.1	Type d'accidents	51
III.5.1.1	Accidents de surchauffe	51
III.5.1.2	Accidents de feu	52
III.5.1.3	Incendie dans les fours industriels	52
III.5.1.4	Explosions des fours industriels	52
III.5.2	Causes des accidents	52
III.5.3	Conséquence des accidents	53
III.6	Les incidents au niveau des fours	54
III.6.1	Passage en atmosphère explosive dans la cellule	54
III.6.1.1	Déroulement de l'incident	54
III.6.1.2	Procédure de sécurité	55
III.6.1.3	Eléments de détections de ces phénomènes	55
III.6.1.3.1	En salle de contrôle	55
III.6.1.3.2	Localement	55
III.6.1.3.2.1	dans la cellule du four	55
III.6.1.3.2.1.2	à la sortie à la cheminée	55
III.6.1.4	Mesures pour éviter cet incident	56
III.6.2	Rupture de tube	56
III.6.2.1	Unité à haute pression	56
III.6.2.2	Unité à basse pression	56
III.6.2.2.3	Cas particuliers des fours sous vide	57
III.6.3	Déséquilibre de la chauffe	57
III.6.3.	L'explication du phénomène	57
III.6.3.2	La détection du déséquilibre de la chauffe	57
III.7	Retour d'expérience sur des accidents de four	58
III.7.1	Accident type feu	58
III.7.2	Accident type explosion	58
III.7.3	Accident type incendie	59
III.7.4	Les accidents locaux	60
III.7.4.1	L'Explosion du four 100-F1 , 03-janvier 2013 raffinerie de Skikda	60
Chapitre IV Application de la méthode hazop sur le four rebouilleur h-101		
IV.1	Situation géographique de HASSI R'MEL :	63
IV.2	Historique du champ de HASSI R'MEL :	64
IV.3	Développement du champ de HASSI R'MEL :	64
IV.3.1	Première étape :	64
IV.3.2	Deuxième étape :	64
IV.3.3	Troisième étape :	64
IV.4	Les installations gazières à Hassi R'Mel :	64
III.4.1	la mise en œuvre des installation :	66
III.5	Module 3 (MPP3) :	67
III.5.1	Présentation du Module 03	67
III.5.2.1	Service Exploitation :	68
III.5.2.2	Service Maintenance :	68
III.5.2.3	Service Sécurité :	69
III.5.3	Les Unités du MPP3 :	69
III.5.4	Traitement du gaz brut au MPP3 :	69
III.5.4.1	Description détaillée du procède de traitement du gaz du module 03 :	71
IV.6	Description du Four Rebouilleur H-101 du module MMP3 :	73
IV.6.1	Rôle du four H-101	73

IV.6.2	Constitution du four H-101 :	74
IV.6.3	Décomposition structurelle, fonctionnelle et temporelle du four rebouilleur H- 101 :	75
IV.6.3.1	Phase De Fonctionnement :	76
IV.6.3.1.1	Les Sous-systèmes :	76
IV.6.3.1.1	Sous Système 1 : Equipement (Fonction intermédiaire) du sous-système 1 :	76
IV.6.3.1.2	Sous-système 2 :	76
IV.6.3.1.2.1	Les équipements dans le SS2 :	76
IV.6.3.1.2	Sous-système 3 :	76
IV.6.3.1.3.1	les équipements de SS3 :	76
IV.6.3.2	Phase d'arrêt d'urgence :	78
IV.6.3.2.1	Sous-système 5 :	78
IV.6.3.2.1.1	Les équipements de sous-système 5 :	78
IV.6.3.2.2	Sous Système 6 :	78
IV.6.3.2.2.1	Les équipements de SS6 :	78
IV.7	Application De La Méthode Hazop sur le four rebouilleur H-101 :	81
IV.8	Les Résultats retenus par la méthode hazop :	87
IV.9	Les scénarios retenus sont :	87
IV.9.1	Défaillance de la vanne FICA -136V :	87
IV.9.2	Une mauvaise manipulation sur l'une des Vannes à l'entrée du four rebouilleur H-101 :	87
IV.9.3	Ouverture intempestive de la vanne UZ-125C :	87
IV.9.4	Défaillance de la vanne HXC-907V/908V :	87
IV.10	Les Recommandations proposés pour le système, unité four Rebouilleur H-101 :	88
IV.11	Conclusion :	88
	Conclusion général	89
	Références bibliographiques	90

Liste des figures :

N°	Figures	Intitulé de la figure	Pages
Chapitre I : Généralités sur les fours industriels			
1	Figure I.1	Schéma descriptif d'un four (exemple four cylindrique vertical).	06
2	Figure I.2	Réchauffeur direct	07
3	Figure I.3	Fours cylindriques verticaux	08
4	Figure I.4	four cylindrique verticale	09
5	Figure I.5	les fours cylindriques verticaux	10
6	Figure I.6	Les fours dits "boîtes" à tubes verticaux	11
7	Figure I.7	Les fours dits "cabines" à tubes horizontaux	12
8	Figure I.8	Four cabine à tube horizontal	13
9	Figure I.9	Les fours à chauffage par murs radiants	13
10	Figure I.10	Les fours dits à double chauffe	14
11	Figure I.11	Réchauffeurs indirects	15
12	Figure I.12	Réchauffeur indirect	16
13	Figure I.13	évolution des températures et de puissance de chauffe dans les fours	17
14	Figure I.14	ventilateur de circulation de gaz dans un Four de réchauffage de pièce en métaux non ferreux	19
15	Figure I.15	bruleur à grande vitesse et positionnement de ces bruleurs autour d'une charge cylindrique	19
16	Figure I.16	: les différents composants d'un Bruleur	21
17	Figure I.17	Bruleur à pré mélange	22
Chapitre II : Analyse des risques industriels			
18	Figure II.1	Déroulement Général d'une étude hazop	33
19	Figure II.2	démarche d'une Amdec	40
20	Figure II.3	Présentation général de l'arbre de défaillance .	45
21	Figure II.4 :	les symboles utilisés dans la construction de L'Add.	48
Chapitre III : retour d'expérience sur les incidents des fours industriels			
22	Figure III.1	pourcentage des types d'accidents dans les fours	52
23	Figure III.2	Pourcentage de la conséquence d'accidents .	53
24	Figure III.3	Explosion du four 100-F1, 3 Janvier 2013	61
Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur h-101			
25	Figure IV.1	Situation géographique du site de Hassi R'mel.	63
26	Figure IV.2	Répartition des différentes installations sur le champ de Hassi R'Mel.	65
27	Figure IV.3	: Module 3 du champ de Hassi R'Mel	68
28	Figure IV.4	Schéma descriptif du module 3.	70
29	Figure IV.5	Schéma de proces	73
30	Figure IV.6	les différents partie Du Four Rebouilleur h101 .	75
31	Figure IV.7	diagramme de canalisation et d'instrumentation du four rebouilleur h-101	80

Liste des tableaux :

N°	Tableau	Intitulé du tableau	Page
Chapitre II : L'analyse des risques industriels			
01	Tableau II.1	Tableau de l'analyse Amdec	41
02	Tableau II.2	Evaluation de la criticité	42
03	Tableau II.3	Evaluation de la gravité	43
Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur h-101			
04	Tableau IV.1	Représentation des différents installations Des champs de hassi R'mel.	66
04	Tableau IV.3	Feuille de programmation HAZOP	81

Abréviations :

Hazop : HAZard and OPerability analysis .

Amdec : L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité .

SdF : sûreté de fonctionnement.

TDC : Transfert de chaleur

APR : analyse préliminaire des risques

AdD : arbre de défaillance

ICI : Imperial Chemical Industries

FDS : Fiche de donnée de sécurité

SI : Schéma d'implantation

HACCP : Hazard Analysis Critical Control Point

ATEX : atmosphère explosive

Nomenclature :

Q : Chaleur transférée par un mode de transfert de chaleur.

k : Conductivité thermique .

T : Température de surface ou environnement.

ε : Emissivité thermique du corps

σ : Constante de Stephan-Boltzman .

h : coefficient d'échange

Introduction générale

Introduction Générale :

Le monde entier connaît un développement dans tous les domaines, ce développement lui a ouvert les portes à l'exploitation des énergies cela a ouvert le monde vers le développement du monde industriel tout entier.

Ce monde si est notamment menacé par des accidents majeurs suite à l'exploitation des énergies car on utilise des technologies très sophistiquées et des installations qu'on qualifie très dangereuses et ce qui engendre des accidents qui ont des répercussions sur le fonctionnement des unités et des dommages humains et des pertes pour l'économie du pays.

Parmi ces installations c'est les fours industriels qu'on trouve dans des différentes industries comme les industries du fer et Acier là où il y'a l'industrie sidérurgique, et dans les cimenteries ou bien dans l'industrie pétrolière.

Plusieurs accidents se passent au niveau de ces fours qui ont un rendement énergétique malgré toute la précaution qu'on prend et les mesures de sécurité qu'on suit et les systèmes de sécurité qu'on fait appel et nous n'arrivons pas jusqu'à présent à éviter totalement ces accidents majeurs.

Pour cela plusieurs méthodes d'analyse des risques ont été mises en œuvre cela afin de faire en sorte que toutes les mesures de sécurité sont prises et pour connaître les déviations possibles..

Nous allons traiter un sujet très important dans cette mémoire qui est l'analyse des risques dans le monde de l'industrie.

Nous avons pris comme exemple le module 3 de Hassi R'mel pour faire notre étude et le plan de travail est comme suit :

Nous avons commencé par donner un screening général sur les fours industriels pour illustrer les types des fours industriels, leurs classifications selon plusieurs aspects

Et les critères d'un choix de fours industriels.

Puis nous allons passer au chapitre deux où on va connaître le monde de l'analyse des risques industriels pour savoir comment on peut arriver à éliminer les risques ou bien les minimiser.

Connaître bien sur les méthodes qui peuvent nous diriger droit à l'élimination des dangers liés à l'exploitation de ces installations.

Puis on passe à une étape très importante dans l'analyse des risques qui est le retour d'expérience sur les causes d'incidents des fours et on verra comment cette procédure peut aider à anticiper les dangers grâce à l'analyse des expériences passées sur des industries similaires qui peuvent être passées dans l'autre bout du monde mais ça n'empêchera pas que à partir des résultats des accidents passés à faire appel à de nouvelles mesures pour empêcher ces événements de se reproduire et sauver des vies humaines .

Et le dernier chapitre nous l'avons consacré pour faire une analyse des risques d'explosion du four industriels et nous avons choisis le four rebouilleur h-101 pour faire cette étude avec la méthode hazop qui va nous aider à trouver les déviations possible suite à la connaissance de procès de fonctionnement de cet unité et

Nous allons essayer de donner des mesures et des recommandations pour améliorer le niveau de sécurité qui est établie au niveau de l'unité.

Chapitre I

Généralités sur les fours industriels

Dans ce chapitre nous allons identifier les différents types des fours industriels qui existent dans les usines et voir les différents composants des fours et les classifications et les incidents qui peuvent arriver dans les usines et les industries ou on travaille avec les fours.

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

I.1 Définition général d'un Four :

Un four est un outil utilisé pour élever la température d'un produit, est également une pièce d'équipement dans laquelle la chaleur dégagée par la combustion de fuel oïl ou gaz combustible par l'intermédiaire de brûleurs, est transféré à un fluide exemple (**l'huile chaude passant dans des tubes**).

Le combustible est brûlé sous des conditions contrôlées dans une chambre appelée : chambre de Combustion. La chaleur dégagée est transmise à travers la paroi des tubes au produit. Ces tubes sont Placés généralement le long des murs et au plafond du four. Les produits de combustion s'échappent Du foyer vers l'atmosphère par l'intermédiaire d'une cheminée.

I.2 Le But D'implantation Des fours :

Il peut être soit :

- un équipement destiné uniquement au chauffage (exemple : réchauffage de l'acier avant la déformation plastique , réchauffage de pétrole brut avant distillation) ;
- un véritable réacteur dans lequel on élabore les produits (exemple : chauffage de fusion de verre, four vapocraquage de la pétrochimie)

Il s'intègre généralement dans une ligne de production complexe dont il est un des éléments

On trouve des fours dans un très grand nombre d'activité industrielle :

- les fours de l'industrie sidérurgique
- les fours de traitement thermique des métaux
- les fours de raffinage et de l'industrie chimique
- les fours de cimenterie
- les fours de l'industrie verrières
- les fours de l'industrie céramique et des produits réfractaires

I.3 le Rôle des fours :

Dans la plupart des unités de raffinage ou de pétrochimie, l'apport de l'énergie thermique requise par le procédé se fait par l'intermédiaire de fours à chauffage direct dans lesquels l'énergie produite par la combustion est transmise directement au fluide à réchauffé qui circule dans un serpentin tubulaire ou un faisceau de tubes. D'où Vien la fameuse appellation four tubulaire généralement donnée à ce type d'appareil.

I.3.1 Distinction De Type de four selon l'apport de chaleur au fluide :

- Les fours de réchauffage de fluide avec réaction chimique. Le faisceau tubulaire du four peut alors être assimilé à un véritable réacteur chimique. On rencontre ce type de four dans les unités de craquage thermique
- Les fours de réchauffage de fluide sans changement d'état physique dans lesquels la charge liquide

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

ou vapeur ne reçoit que de la chaleur sensible. C'est le cas par exemple des fours des unités de reformage catalytique ou d'hydrotraitement de coupe de tête de distillation du pétrole brut.

- Les fours de réchauffage de liquide avec vaporisation partielle que l'on rencontre en particulier dans les unités de distillation : four de distillation atmosphérique ou sous- vide de pétrole brut, four de rebouillage. Dans ces fours, la charge reçoit de la chaleur latente pour atteindre le degré de vaporisation requis

I.4 Description d'un four classique :

Un four tubulaire est constitué d'une enveloppe métallique de formes diverses, souvent parallélépipédique ou cylindrique, il comporte :

- Une « zone de radiation » qui est celle où les tubes sont directement exposés à la flamme et reçoivent la chaleur principalement par radiation des produits de la combustion .Une zone de rayonnement forme la chambre de combustion où se développe la flamme ,c'est en général devant les paroi de cette zone que sont placés les tubes ,la plupart du temps en une rangée ,parfois en deux rangées.
- Une « zone de convection », si elle existe, est installée à la sortie des fumées de la chambre de combustion. Elle est constituée d'un faisceau de tubes placés en quinconce, perpendiculairement ou parallèlement à la direction des fumées et ont quelquefois leurs surfaces extérieures recouverte d'ailettes qui augmentent considérablement la surface d'échange.
- Un équipement de chauffe comprenant des brûleurs situés à la base ou sur les côtés de la chambre de combustion, avec son appareillage ont pour rôle de provoquer le mélange intime de l'air et du combustible en vue d'obtenir la combustion complète de celui-ci. l'air de combustion est introduit par des volets d'air réglables du fait la plupart du temps, de la dépression qui règne dans le four.
- L'enveloppe métallique du four doit être suffisamment renforcée pour résister aux actions du vent et supporter l'ensemble du faisceau tubulaire.
- Les parois intérieures sont protégées contre les effets de la température par un garnissage réfractaire et isolant qui a pour but de réduire les pertes calorifiques avec l'extérieur.
- Une cheminée ou un carneau pouvant être garnis avec registre qui permet de régler le tirage, ce registre doit être construit en acier résistant à la température des fumées.

Le rôle de la cheminée est de conduire les fumées dans l'atmosphère à une hauteur telle qu'elles ne risquent pas de gêner le voisinage en particulier dans les installations très resserrées .Mais la cheminée, par son tirage, met la chambre de combustion en dépression et provoque ainsi l'entrée de l'air nécessaire à la combustion par les volets d'air des brûleurs , ses dimensions, hauteur et diamètre, doivent donc être calculées pour obtenir ce tirage divers accessoires tels que :

- Souffleurs de suie (ramoneurs) : lorsque le combustible est liquide des suies se déposent sur les tubes de convection et réduisent le rendement de la récupération de chaleur des fumées .Dans ce cas on installe des souffleurs de suie qui utilisent un jet de vapeur pour éliminer les suies.
- Opacimétries : indique la présence d'imbrulés solides dans les fumées.
- Analyseurs d'oxygène (l'oxygéno-mètre) : mesure la teneur en oxygène des fumées et informe sur l'excès d'air avec lequel est conduite la combustion.

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

- Déprimomètre : sert à mesurer la dépression d'une conduite de fumée c'est-à-dire savoir si votre cheminée a suffisamment de tirage. C'est l'essentiel pour la sécurité et la performance du four .
- D'autres connexions diverses pour la bonne conduite du four telles que portes d'accès, portes d'explosion, regards...sont prévus.

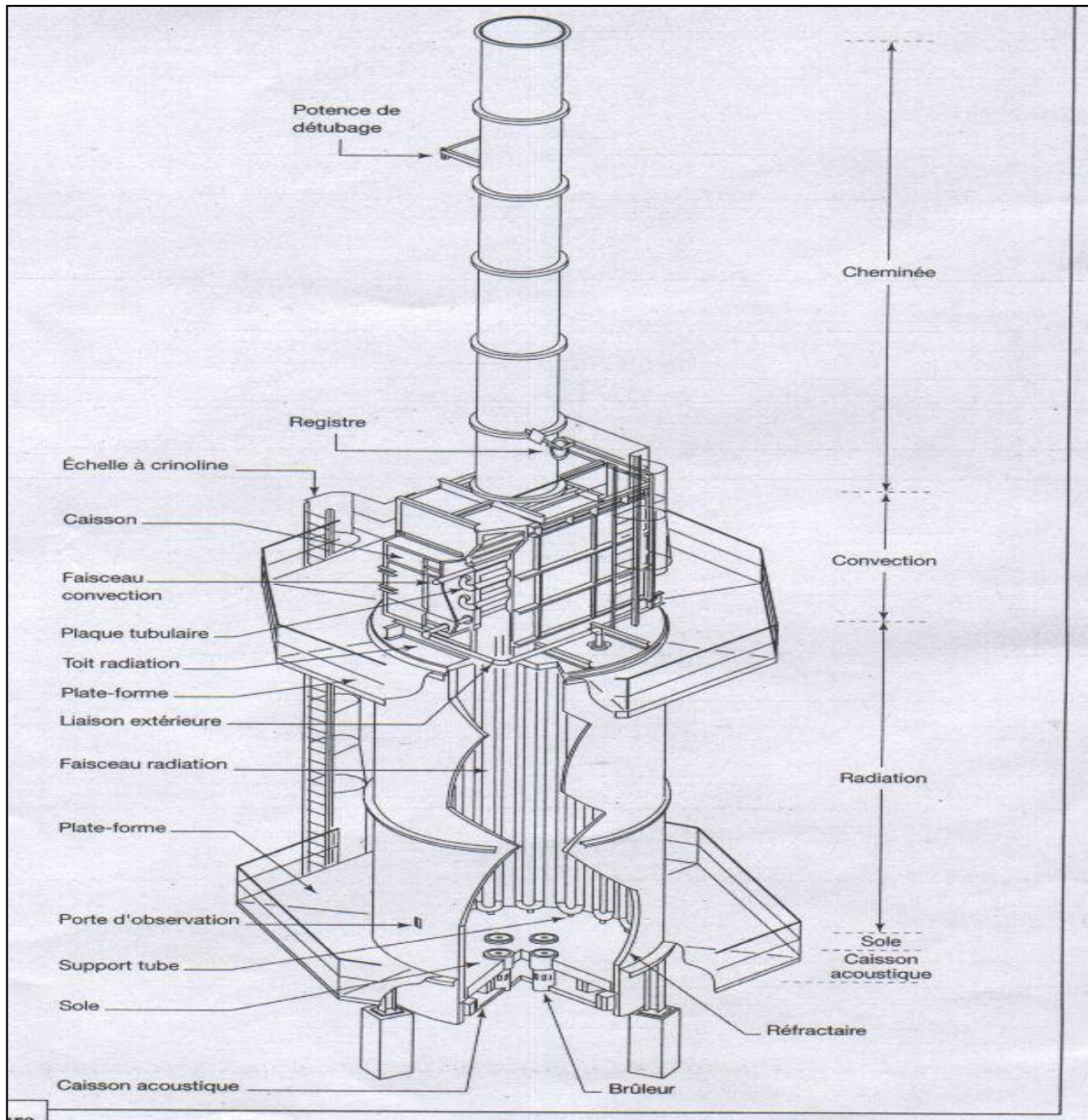


Figure I.1 : Schéma descriptif d'un four (exemple four cylindrique vertical).

I.5 Classification Des Fours Industriel :

Toute classification est arbitraire, elle est toutefois utile dans la mesure où elle permet de retrouver des caractéristiques communes à des équipements, à première vue, très différents.

Nous proposons ici quatre Classification En Fonction de :

- Manutention de produit : four continus et discontinus
- Procédé De chauffage : direct ou indirect

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

- Niveau de température
- De combustible

I.5.1 Classification suivant le Procédé de chauffage : directe ou indirect

(Le critère est ici le contact entre le produit et le gaz issus de la combustion)

I.5.1.1 Fours à chauffage directs :

Dans Ce cas il y a le contact entre les issus de la combustion et les produits à chauffer du point de vue thermique, cela entraine qu'une partie du TDC s'effectue par convection cette dernière provoque des phénomènes à la surface du produit qui peuvent lui être préjudiciables.

Les réchauffeurs directs forment une enceinte au sein de laquelle de l'énergie sous une forme non thermique est convertie en chaleur (on y brûle du fuel gaz), et plus particulièrement au sein de laquelle la chaleur est générée par combustion d'un combustible approprié.

Les réchauffeurs de processus directs fournissent de l'énergie calorifique directement au procédé industriel sans utiliser de vapeur ni d'échangeur de chaleur.

Ce sont les appareils dont le tube de flamme est immergé dans le produit. Ce sont les plus simples et les moins chers.

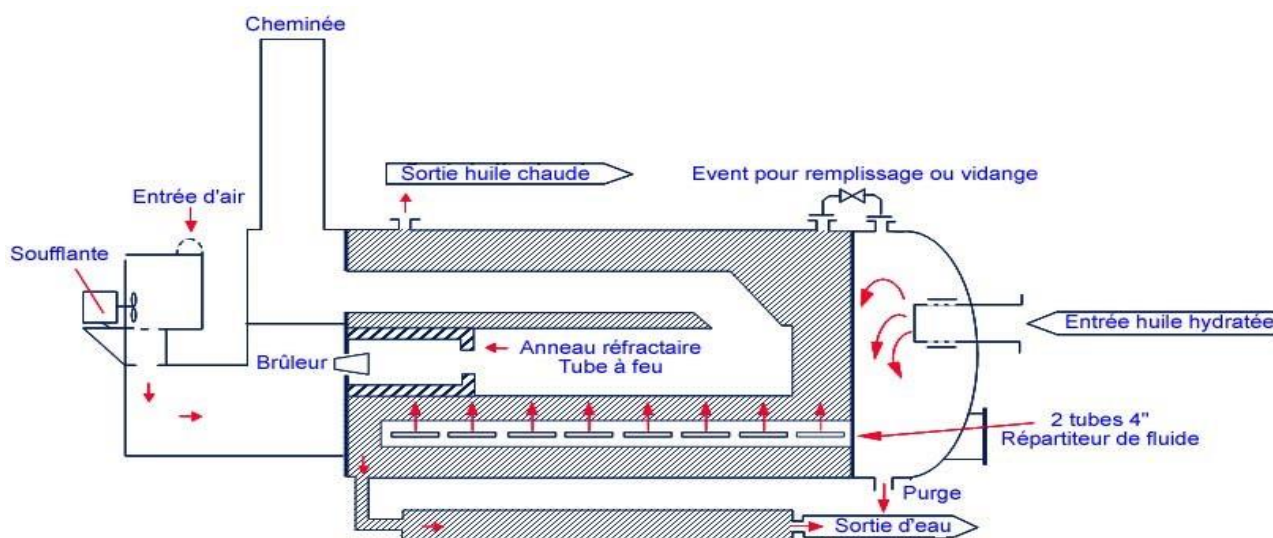


Figure I.2: Réchauffeur direct

Le tube de flamme est soumis directement à l'action corrosive du produit hydraté et souvent salé. D'autre part, la température de peau du tube est élevée, ce qui favorise une distillation de l'huile au droit des points chauds.

Il en résulte une concentration en produits lourds et plusieurs phénomènes se combinant, un cercle vicieux s'amorce qui se traduit par la formation de coke. Les échanges diminuant, la température du tube augmente ; il rougit, devient malléable et se déforme sous l'action de la pression.

Bien entendu toute fuite du tube de flamme par corrosion ou par rupture sous contrainte, constitue un accident grave.



Figure I.3: Fours cylindriques verticaux

I.5.1.1.1 Constitution des fours :

Les réchauffeurs directs sont constitués des éléments suivants :

- Une chambre de combustion à revêtement réfractaires et des brûleurs
- Des tubes placés au sein de la chambre de combustion pour transférer la chaleur jusqu'au fluide de procédé par rayonnement.
- Des tubes situés à l'extérieur de la chambre de combustion dans une zone de convection zone également pourvue d'un revêtement réfractaire.
- Une cheminée pour dispersion par ventilation ou tirage induit
- Des instruments et des dispositifs de contrôle

Il existe de nombreuses dispositions des tubes, dans les zones de radiation et de convection, et d'une zone par rapport à l'autre. Il en résulte de nombreux types de fours , et on peut distinguer toutefois différentes catégories

I.5.1.1.2 Les Catégories des fours industriels :

I.5.1.1.2.1 Les fours cylindriques verticaux :

La zone de radiation se présente sous la forme d'un cylindre à axe vertical. Les brûleurs sont placés sur la sole, à la base du cylindre.

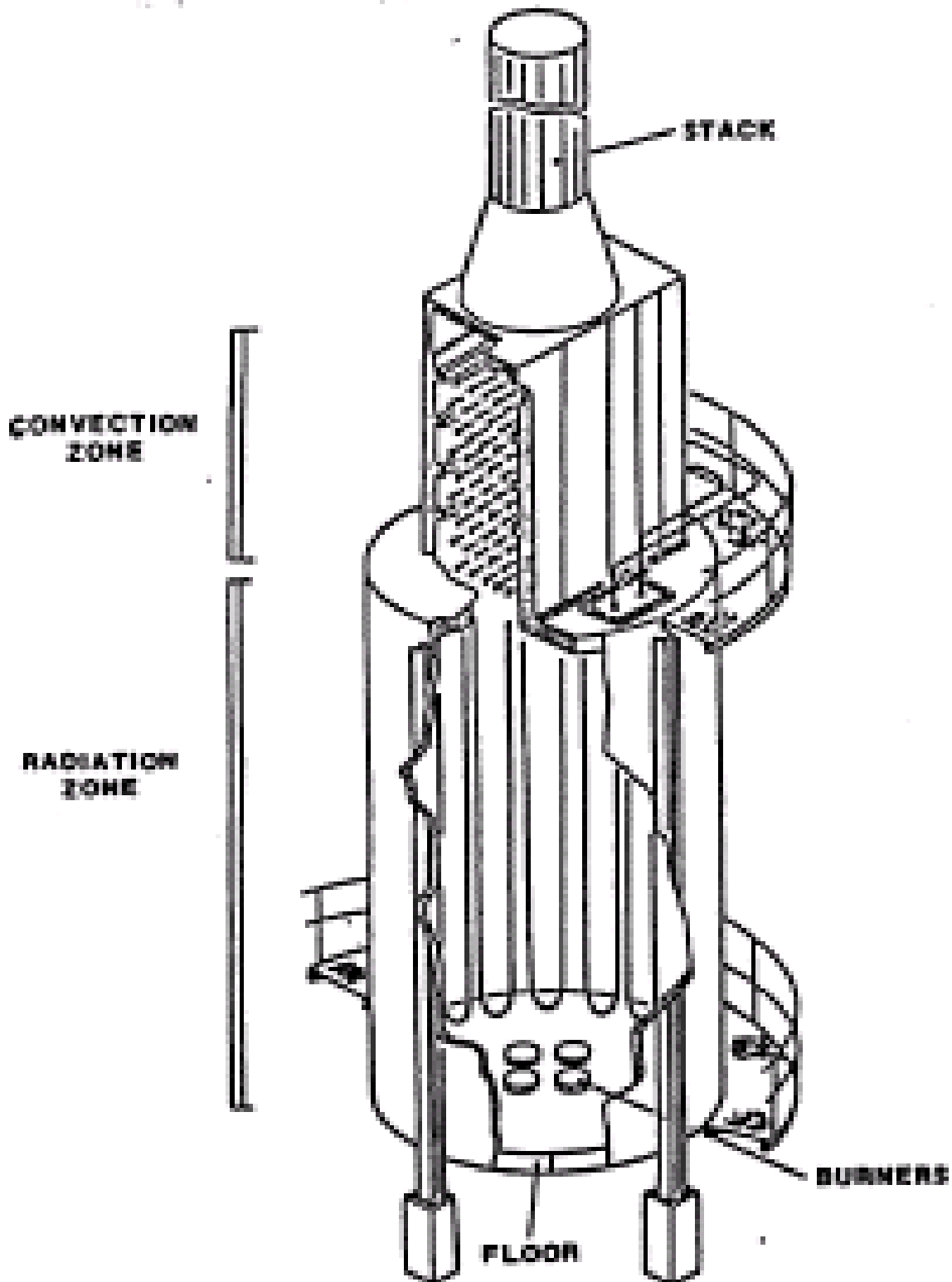


Figure I.4 four cylindrique verticale

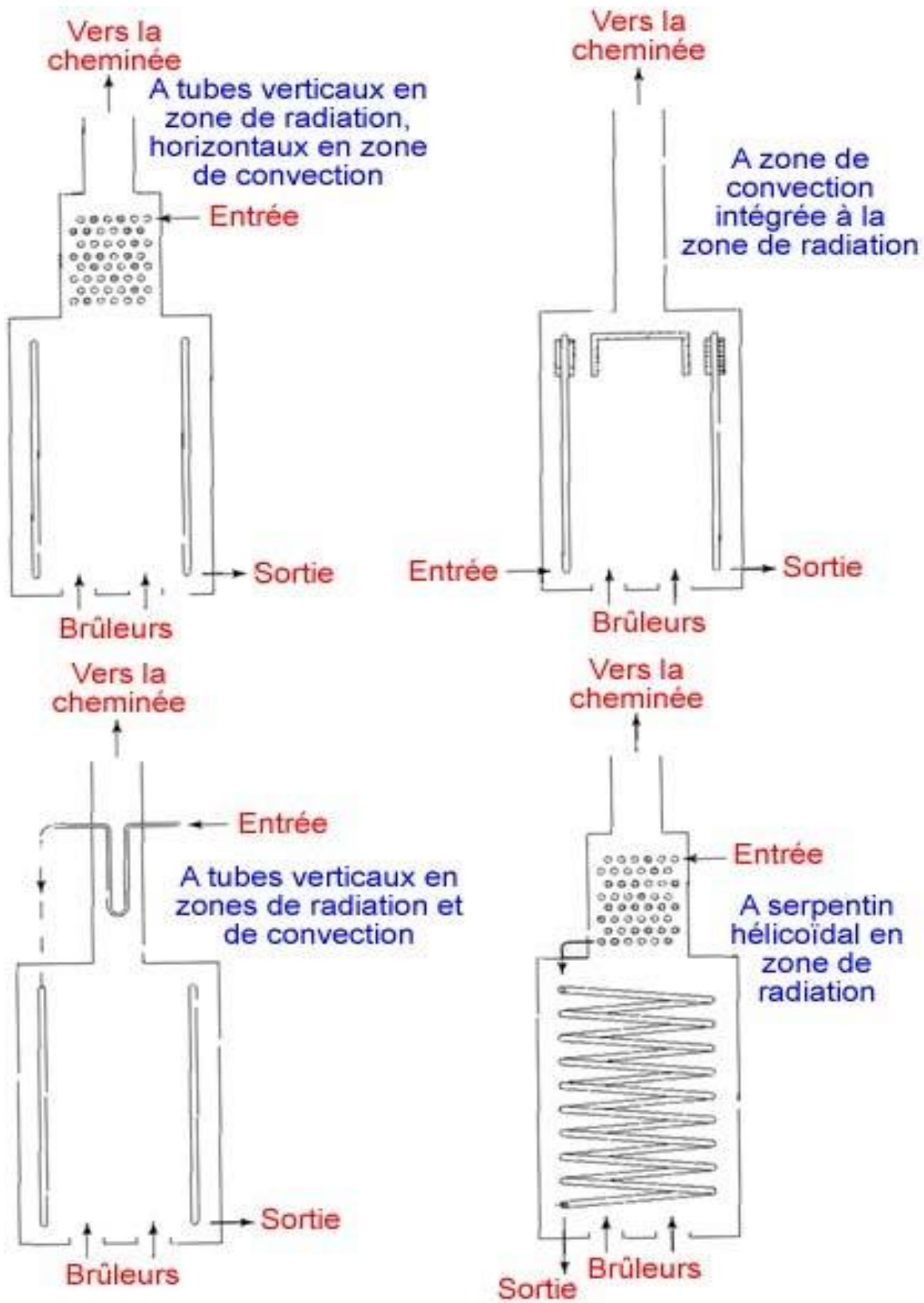


Figure I.5 les fours cylindriques verticaux

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

les fours cylindriques sont couramment utilisés comme rebouilleurs de fond pour les colonnes de stabilisation de pétrole brut.

I.5.1.1.2.2 Les fours dits "boîtes" à tubes verticaux :

Dans ces fours, la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède. Les brûleurs sont situés sur la sole, la surface d'échange couvre les parois verticales latérales.

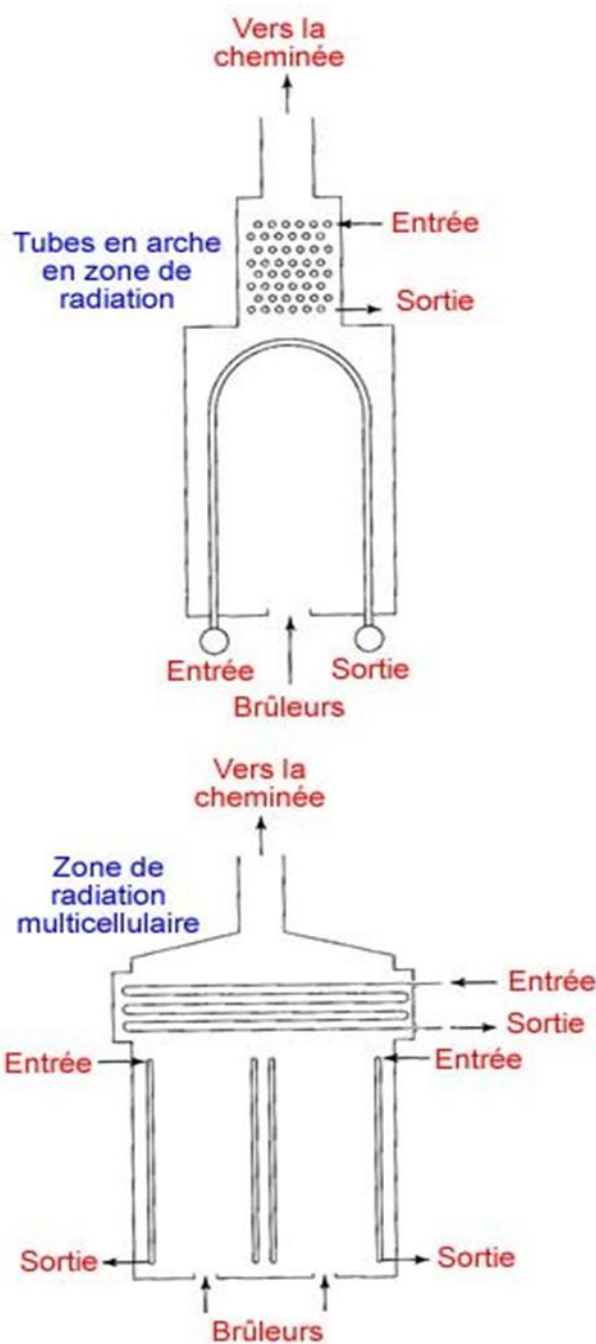


Figure I.6: Les fours dits "boîtes" à tubes verticaux

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

I.5.1.1.2.3 Les fours dits "cabines" à tubes horizontaux :

Dans ces fours la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède, dont la plus grande longueur est horizontale. Les tubes sont placés horizontalement le long des parois latérales les plus longues.

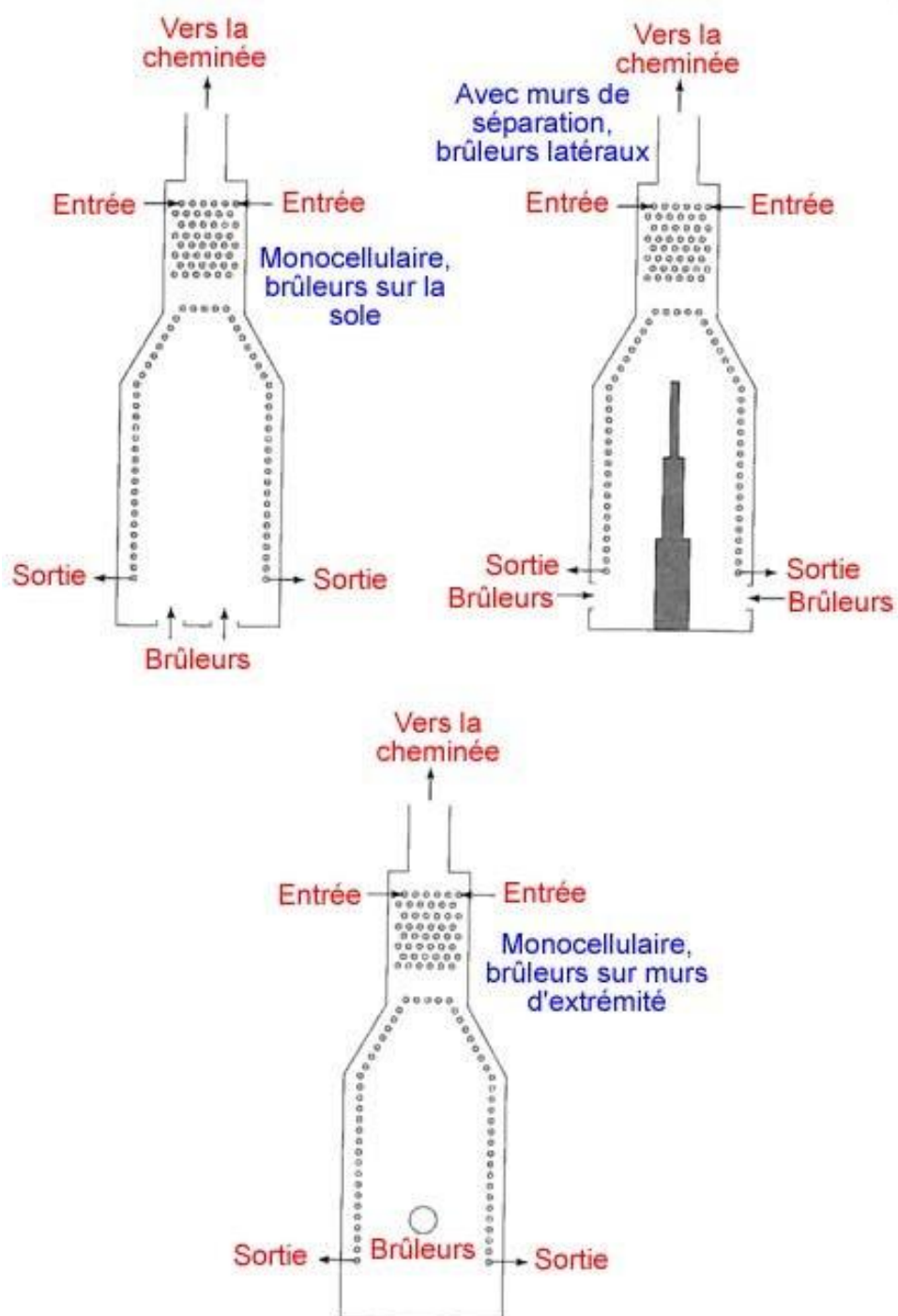


Figure I.7 Les fours dits "cabines" à tubes horizontaux

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

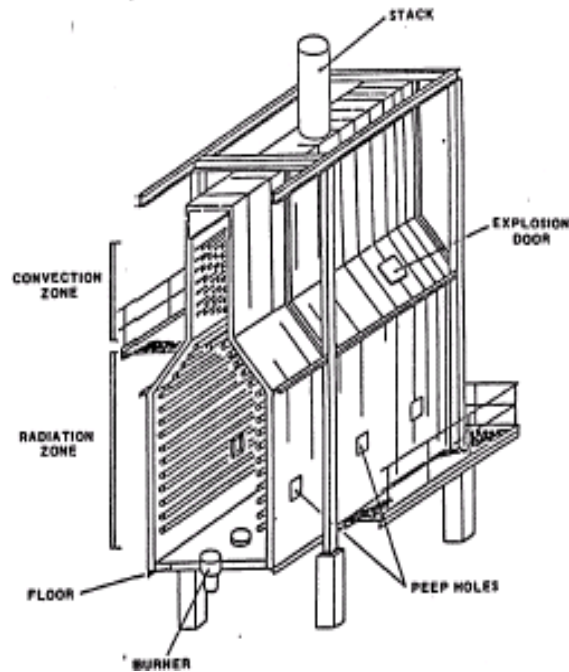


Figure I.8: Four cabine à tube horizontal

I.5.1.1.2.4 Les fours à chauffage par murs radiants :

La surface d'échange est placée dans le plan médian de la chambre de combustion. Les brûleurs sont répartis sur les parois latérales longitudinales.

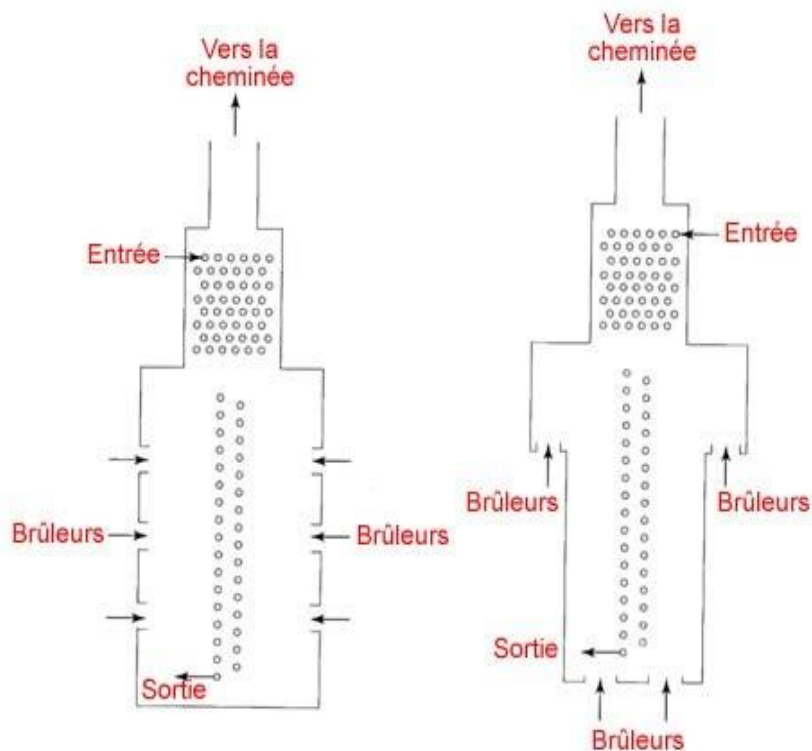


Figure I.9: Les fours à chauffage par murs radiants

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

I.5.1.1.2.5 Les fours dits à double chauffe :

Dans ces derniers, le plan des tubes constituant la surface d'échange, est dans le plan médian des rangs de brûleurs.

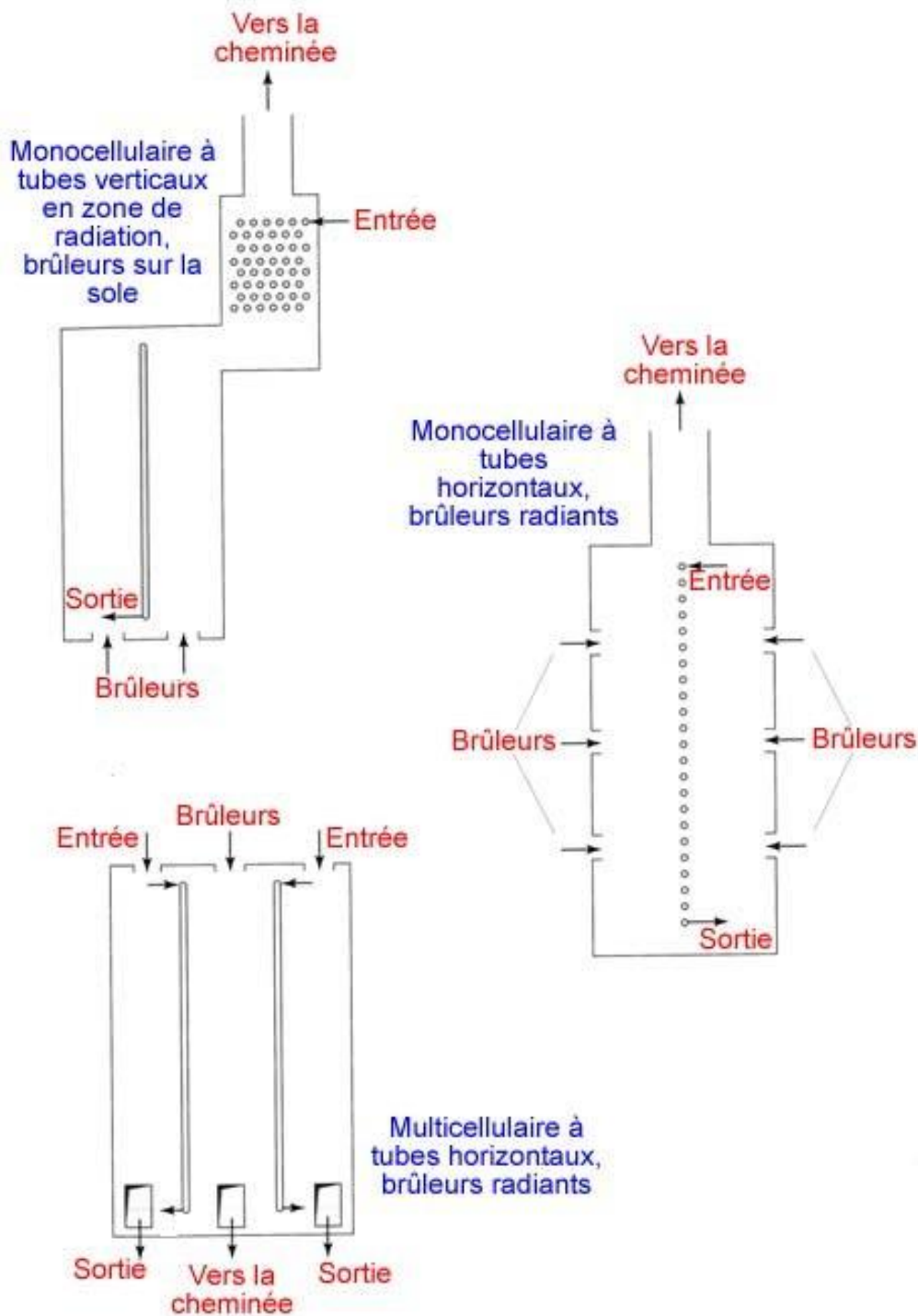


Figure I.10 : Les fours dits à double chauffe

I.5.1.2 Fours à chauffage indirect :

L'interaction entre les gaz de combustion et les produits n'existe plus par contre il s'introduit une résistance supplémentaire au TDC qui doit se faire dans ce cas conduction au travers de la paroi protectrice puis par rayonnement et éventuellement Convection vers la charge le problème technologique est alors la tenue de cette paroi qui est portée à haute température et est au contact flammes et/ou des gaz à haute température c'est le cas des fours à cloche mobile des fours à moufle et des fours équipés de brûleurs à tubes radiants .

Les dangers décrits ci-dessus ont rendu populaires les réchauffeurs indirects. Ce sont des "bains-marie" qui utilisent un fluide intermédiaire. C'est lui qui baigne le tube de flamme, qui donc le protège et qui de plus, enlève tout caractère de gravité à une fuite éventuelle.

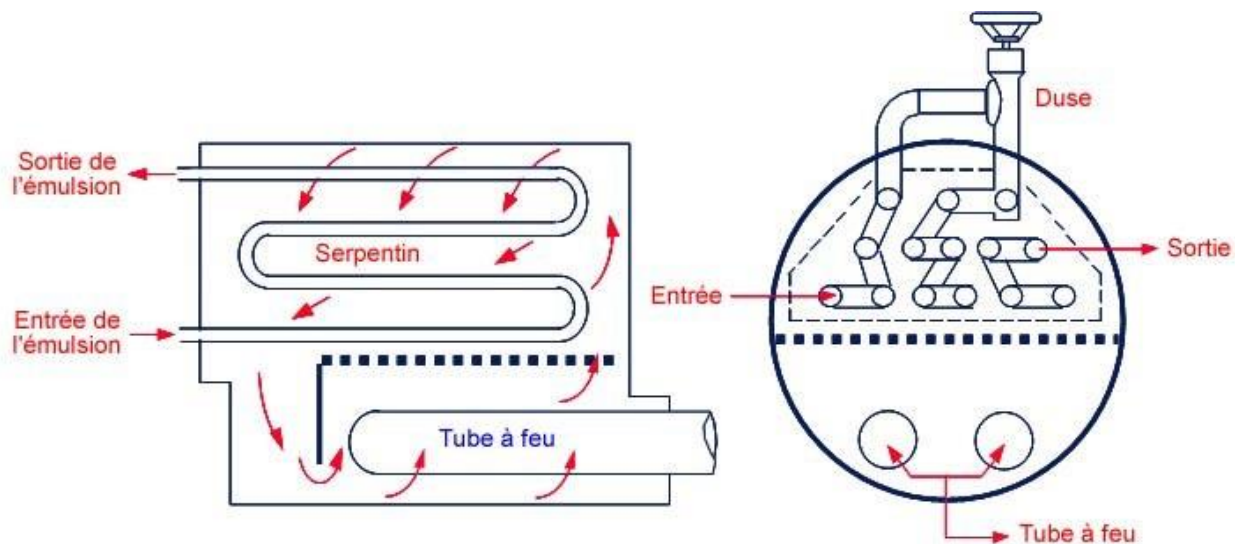


Figure I.11: Réchauffeurs indirects

Le produit à réchauffer circule dans un serpentin immergé dans le fluide intermédiaire.

L'eau est généralement utilisée comme fluide intermédiaire. La température pratique maximale du bain est alors de 90°C

La température du produit est pratiquement limitée à 70°C.

Lorsque des températures de traitement plus élevées sont nécessaires, on peut utiliser des réchauffeurs à vapeur basse pression (exemple 115°C avec de la vapeur à 1 bar).

On cite également les réchauffeurs "à bain de sel" ou à "sel fondu". Nous ne connaissons pas d'application de ces appareils en production.



Figure I.12 Réchauffeur indirect

I.5.2 Classification Suivant la Manutention de produit : four continu et discontinu :

I.5.2.1 Four Continu :

Dans un four continu le produit à chauffer entre à une des extrémités et en ressort à l'autre c'est le cas :

- Des fours de semi-produits (four à longerons et four poussant) de la sidérurgie.
- Des fours Rotatifs de l'industrie cimentière.
- Des fours de l'industrie chimique et du raffinage.

I.5.2.2 Four discontinu :

Dans un four discontinu, le produit à chauffer est immobile dans le four ; il est chargé et Déchargé (enfourné et défourné) au même endroit. C'est le cas :

- des fours à sole mobile de forge
- des fours à soles fixes de traitement thermique
- des fours à cloches mobiles et évalueurs

Cette différence dans la manutention entraîne des différences notables du point de vue thermique.

- Dans un four continu, un point du four sera toujours (ou à peu près) à la même température.
- Dans un four discontinu la température en un point donné du four évoluera en fonction du cycle de chauffage que l'on veut faire subir au produit. (Figure I.13).

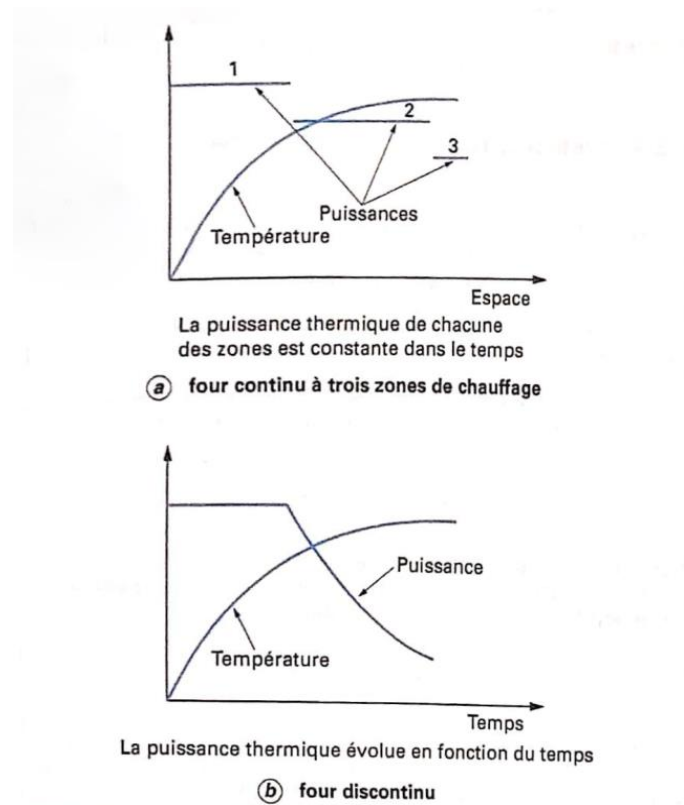


Figure I.13 évolution des températures et de puissance de chauffe dans les fours

On notera que l'amélioration des performances des procédés continue et l'augmentation des capacités de produits des installations on peu à peu repousser le domaine d'utilisation des fours discontinue que l'on trouve surtout pour Les produits demandant un temps de séjour en four très long Les produits nécessitant des cycles de chauffage et ou de refroidissement très précis.

C'est ainsi que les fours puits en quasiment disparu des procédés sidérurgiques et que les fours à cloche mobile ont été supplantés par les lignes de traitement continus pour les bandes métallique.

I.5.3 Classification suivant le niveau de température :

Par rapport au niveau de température, les fours sont soit à haute température ou soit à basse température. La classification est ici plus arbitraire car une même température peut être considérée comme haute dans un type d'activité et basse dans une autre activité. Même si cette limite est un temps soit peu arbitraire, elle n'en est pas moins réelle.

I.5.3.1 Fours à haute température :

Les fours à haute température sont en particulier les fours de sidérurgie, de verrerie, de cimenterie. La température que l'on veut obtenir sur le produit dépasse, et parfois nettement, 1200 °C

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

C'est également le cas d'un certain nombre de four de l'industrie du pétrole et de la chimie dans lesquels, bien que la température du produit soit inférieure à 500 °C, une partie importante de la chaleur est fournie directement par le rayonnement de la flamme dans une zone de radiation. Le TDC se fait essentiellement par le rayonnement de la flamme et des gaz issus de la combustion.

Les transferts de chaleur par rayonnement découlent fondamentalement de la loi de Steffen – Boltzmann

$$\dot{Q} = A\sigma(T_f^4 - T_c^4)$$

Avec \dot{Q} puissance thermique

Et de considération géométriques liées aux dimensions et positions respectives des surfaces réceptrices de la chaleur (le produit à chauffer), des surfaces et volumes des émetteurs (flammes et gaz de combustion) et de surfaces réfléchissantes (parois du four)

I.5.3.2 Fours à basse température

Il s'agit des fours de traitement thermique de métallurgie, les fours de revêtement de surface et les fours pour les métaux non ferreux. La température que l'on veut obtenir sur le produit dépasse rarement 700 °C, et est parfois sensiblement inférieure. C'est également le cas des zones de convection des fours de l'industrie du pétrole et de la chimie. Le transfert de chaleur s'y fait essentiellement par convection de gaz transparents

La loi fondamentale du transfert de chaleur et la loi de Newton :

$$\dot{Q} = kS(T_f - T_c)$$

Et le but, pour un écart de température ($T_f - T_c$) donné, d'augmenter le transfert de chaleur en améliorant le coefficient de convection k qui s'écrit d'une façon générale

$$K = \frac{\lambda}{l} A Re^{0.8} Pr^{0.33}$$

Pr(le Nombre de Prandtl) dépend essentiellement du fluide :

Dans ce cas pour les gaz de combustion qu'on doit essayer d'augmenter la valeur Re qui représente le nombre de Reynolds afin d'obtenir un coefficient d'échange k élevé

Cela passe par :

Soit par mise en vitesse du fluide : installation de ventilateur à l'intérieur de l'enceinte comme l'indique la figure utilisation de brûleurs à grande vitesse d'éjection des gaz de combustion dans le foyer figure 14 recyclage externe des gaz

Soit par augmentation des effets de pointe comme l'adjonction d'ailette ou de picots (studs) dans les zones de convection des fours tubulaires, qui accroissent simultanément la surface d'échange

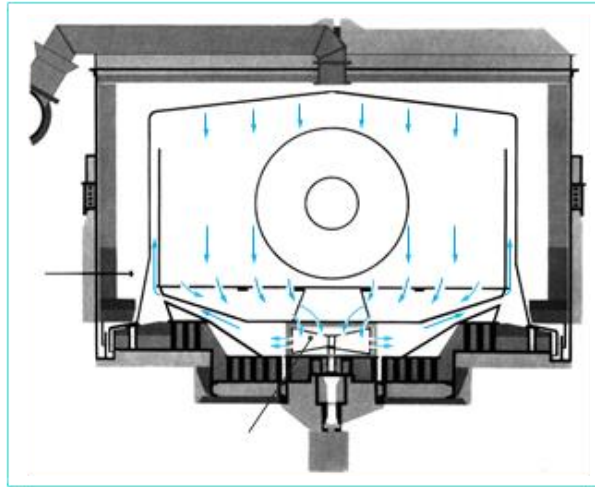


Figure I.14 ventilateur de circulation de gaz dans un Four de réchauffage de pièce en métaux non ferreux

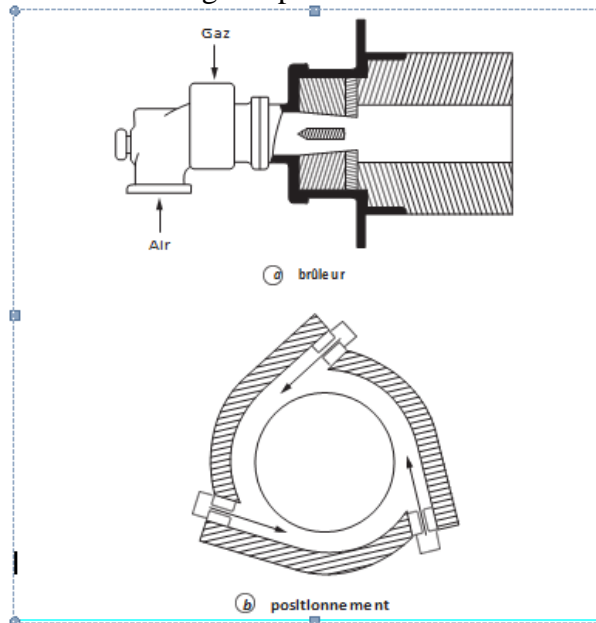


Figure I.15 brûleur à grande vitesse et positionnement de ces brûleurs autour d'une charge cylindrique

I.5.4 Classification suivant le combustible utilisé :

On trouvera dans le domaine des fours industriels, avec plus ou moins d'importance selon les activités, toutes les formes d'énergie :

- des fours électriques: il s'agit des fours à résistances (effet Joule), à arcs, à induction, à électrodes submergées, etc.
- des fours à gaz ; ils utilisent le gaz naturel, mais aussi le gaz de cokerie, le gaz de raffinerie, le gaz de haut-fourneau, etc.

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

- des fours à combustibles liquides : ils utilisent le fuel lourd, mais aussi le gazole, le naphta, etc.
- des fours à combustibles solides : ils utilisent les charbons ou le coke de pétrole (généralement sous forme pulvérisée), mais aussi les déchets divers .

I.6 Structure des fours :

En général, un four est constitué :

- D'une partie inférieure, la sole, qui est la partie réfractaire horizontale sur laquelle on place les produits à cuire. Elle est en quelque sorte le « plancher » du four et peut être parfois inclinée
- D'une partie supérieure, la voûte qui peut avoir des formes diverses : plate, cintrée, avec des rampants, suspendue. La voûte est en contact avec les produits de combustion et souvent avec la flamme. Elle joue un rôle essentiel dans le transfert de chaleur en renvoyant, par rayonnement sur les produits, l'énergie qu'elle reçoit de la flamme
- De murs verticaux comportant en général plusieurs épaisseurs de nature différente et faisant la liaison entre la voûte et la sole
- D'un système de chauffage (brûleurs ou résistances électriques) généralement accroché aux parois mais dans certains cas, à la voûte ou à la sole.

Les matériaux constituant les parois, la sole et la voûte sont choisis en fonction de leur faible conductivité thermique, mais également en fonction de leur résistance mécanique. Ils sont également choisis pour leur compatibilité avec l'atmosphère de l'enceinte et avec le produit traité. Comme il est difficile de trouver des matériaux satisfaisant à toutes ses conditions, des parois composées de plusieurs couches sont souvent utilisées. L'utilisation de la brique réfractaire permet de rendre le four plus efficace énergétiquement, et de mieux contrôler et de lisser les variations de sa température interne.

I.7 Les Composants des fours :

Les composants annexes du four sont essentiellement les brûleurs , la cheminée (conduit qui sert à récupérer la fumée) , la tuyauterie ,machines tournantes , les systèmes utilisées dans la récupération de la chaleur .

I.7.1 Les brûleurs :

ce sont des organes qui font essentiellement la libération de l'énergie de combustion et la distribution des flux thermiques dans un four , par une opération de mise en contact de combustible avec le comburant , il détermine les zones de préchauffe , de chauffe, de l'égalisation grâce à la distribution de leur puissance dans chaque zone .

I.7.1.1 Rôle de brûleur :

Le brûleur a un rôle principale dans la conception, construction et fonctionnement des fours :

- Il fournit de l'énergie thermique au four et à la charge .
- Préparer la mise en contact entre le comburant et le combustibles dans les proportions choisis
- Assurer les conditions optimales pour la combustion de ce mélange

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

- Provoquer la circulation des combustibles brûlés favorisant l'égalisation des températures dans l'enceinte
- Créer une liaison entre le casing extérieur du four et les parois en réfractaire qu'il traverse, et entraîne de ce fait, un point délicat dans la construction.

I.7.1.2 Composition et fonctionnement du brûleur :

Le gasoil de chauffage ou mazout comprend une certaine quantité d'énergie qu'on doit libérer de façon optimale. Pour transformer le combustible en une chaleur utilisable, on peut soit le gazéifier soit le pulvériser en petites gouttes. Lorsque le combustible pulvérisé ou gazéifié est enflammé par une étincelle électrique, la flamme se forme. Ceci se fait avec un brûleur. La chaleur libérée doit être transférée au fluide calorifère, pour ce faire une chaudière est nécessaire. Et les brûleurs sont composés de :

1. La volute
2. Une pompe volumétrique à engrenage
3. Une ligne porte gicleur
4. Une tête de combustion
5. Le ventilateur centrifuge
6. Transformateur d'allumage
7. Les électrodes d'allumage
8. Le clapet d'air
9. La vanne électromagnétique
10. Le clapet d'air
11. L'accrocheur de flamme
12. Le boîtier de commande
13. Capot insonorisant
14. Bride de fixation
15. Cache insonorisé du clapet d'air
16. Carcasse

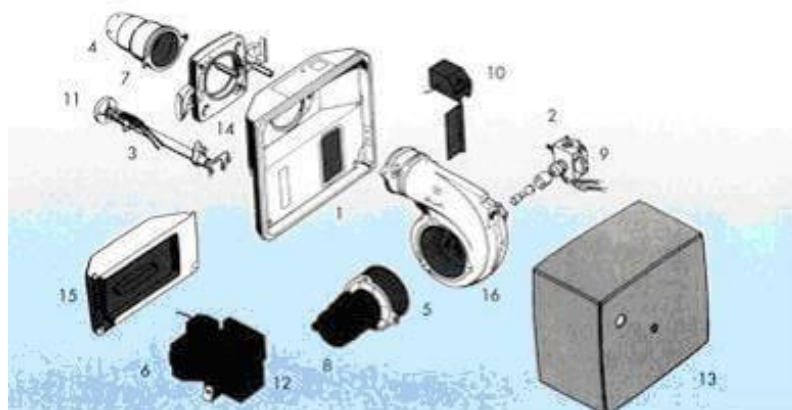


Figure I.16 : les différents composants d'un Brûleur

Donc on remarque qu'il a un rôle très important en assurant une bonne ou mauvaises

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

qualité de la combustion et par a suite l'émission des polluants ou d'imbrulés et en plus la quantité du fumée dégagée .

I.7.1.3 Le Choix D'un brûleur :

Le choix générale d'un bruleur est un compromis entre les différentes contraintes d'implantation, les flux de chaleur, la variation de ces flux pour les divers cas de production envisagées et les couts d'installation et maintenance.

I.7.1.4 Les types de brûleur :

De nombreux types de brûleur dans l'industrie : une parties de ces bruleurs sont destinées que pour un seule type de four ou production et combustible d'autres pour plus larges sélection. On peut distinguer :

Suivant le mélange des réactifs les brûleurs existe en deux types :

I.7.1.4 .1 Les brûleurs à pré-mélange :

Où le mélange entre le combustible et le comburant se fait avant son introduction dans le four Ces brûleurs sont uniquement des brûleurs à combustible gazeux. Ils produisent des flammes courtes et permettent d'obtenir localement des températures très élevées. Des précautions particulières doivent être prises pour éviter la propagation de la combustion, vers l'amont, jusqu'au dispositif de mélange (retour de flamme).

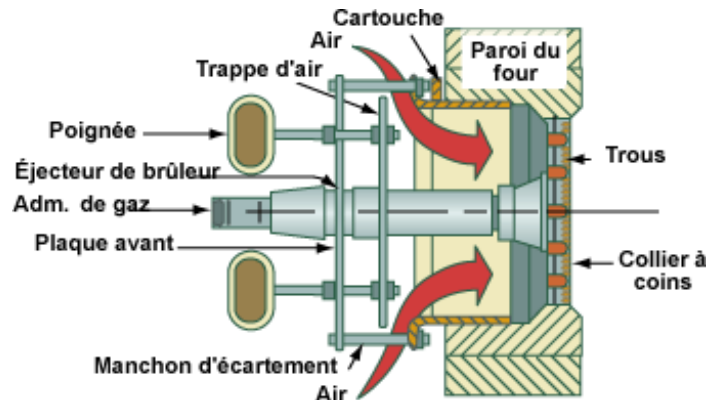


Figure I.17. Bruleur à pré mélange

I.7.1.4.2 Les brûleurs à flamme de diffusion:

où le mélange entre réactifs se fait au nez (sortie) du brûleur. Suivant le type de combustible, on distingue les brûleurs à solide, les brûleurs à liquide et les brûleurs à gaz.

I.7.2 Les systèmes de récupération de chaleur:

Le préchauffage de l'air est indispensable afin d'augmenter la température de combustion et générer ainsi un transfert de chaleur suffisant vers la charge. Pour préchauffer l'air, l'énergie des fumées sortant du four est récupérée.

I.8 Principe Du Transfert Du Chaleur :

I.8.1 Généralités :

Le transfert de chaleur est un procédé unidirectionnel qui implique le transfert d'énergie d'un fluide à niveau de température élevé à un autre fluide à niveau de température bas. Cette différence de température entre les deux fluides constitue la force motrice fondamentale qui sous-tend le transfert d'énergie. Aucune chaleur n'est transférée en l'absence de différence de température.

La quantité d'énergie transférée dépend des niveaux énergétiques dans le fluide chaud avant et après le transfert de chaleur. Le niveau énergétique d'un fluide est fonction de sa température et de sa pression et est appelé enthalpie. Chaque fluide étant différent, il existe des tables et diagrammes de Mollier permettant de trouver l'enthalpie d'un fluide donné.

I.8.2 Modes de transfert de chaleur :

La chaleur est transférée par conduction, convection et rayonnement. L'importance de chaque mode varie et normalement, dans l'industrie pétrolière et gazière, le composant rayonnant est négligé (excepté dans les fours et les systèmes à torche).

I.8.2.1 Conduction:

La chaleur est transférée par conduction dans un fluide immobile ou une matière solide à un niveau moléculaire. Ces molécules présentant un niveau énergétique plus élevé car elles sont plus chaudes perdent une partie de leur énergie au profit des molécules voisines. La vitesse à laquelle la chaleur est transférée dépend de la différence de température entre les côtés chaud et froid et de la conductivité thermique (k) de la substance.

Chaque substance présente une conductivité distincte qui varie légèrement en fonction de la température. Pour transférer de la chaleur, il faut utiliser un matériau à conductivité thermique élevée. À l'inverse, s'il est nécessaire d'éviter une perte de chaleur, il faut opter pour un matériau présentant une faible conductivité thermique.

L'équation utilisée pour déterminer la chaleur transférée par conduction est la suivante :

$$Q = k A (T_1 - T_2) / x$$

Comme vous pouvez le constater, les variables les plus importantes sont la différence de température et la zone. Une fois le matériau sélectionné, la conductivité thermique de ce dernier peut être trouvée dans les tables, l'épaisseur étant un problème de conception mécanique.

I.8.2.2 Convection :

Le terme convection est utilisé pour faire référence au transfert de chaleur d'une surface vers un fluide en mouvement ou l'inverse. Dans ce cas, la chaleur et le fluide se déplacent tous deux dans la même direction.

Une convection naturelle se produit dans un fluide immobile car la partie du fluide en contact

Chapitre I : Généralités sur les fours industriels

avec la surface chaude devient moins dense et, en raison de la gravité, s'éloigne, emportant avec elle la chaleur.

Pour augmenter la vitesse d'évacuation de la chaleur, nous devons faire en sorte d'éloigner le fluide de la surface chaude plus rapidement afin qu'il soit remplacé par une substance plus froide. C'est ce que l'on appelle la convection forcée et il s'agit du mode de transfert de chaleur par convection dominant. Lorsqu'un fluide s'écoule le long d'une surface immobile, il ne se déplace pas entièrement à la même vitesse. Au niveau de la surface proprement dite, la vitesse est nulle mais plus loin, elle augmente rapidement. Au niveau de la surface, l'énergie est transférée par mouvement moléculaire aléatoire (diffusion) mais le mouvement global du fluide reprend le dessus et transfère chaleur et fluide par fractions discrètes vers les régions à plus basse température.

Toutes les propriétés du fluide jouent un rôle. La densité, la viscosité et la conductivité thermique sont utilisées pour calculer la valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h utilisé dans l'équation de base :

$$Q = h A (T_s - T_2)$$

En cas de changement de phase au niveau de la surface (ébullition ou condensation, par exemple), la chaleur latente devient importante et permet d'atteindre une vitesse de transfert de chaleur bien plus élevée.

1.8.2.3 Rayonnement:

À des températures élevées, le rayonnement s'érige en méthode de transfert de chaleur prédominante.

À la différence de la conduction et de la convection qui nécessitent une substance pour transférer de l'énergie, le rayonnement est mis en œuvre sans qu'il soit nécessaire de placer un matériau entre la source et le récepteur. En fait, il est plus efficace sous vide.

Bien que tous les organismes émettent des rayonnements en fonction de leur température, le transfert d'énergie net s'effectue systématiquement de la surface plus chaude vers la surface plus froide.

On entend par rayonnement le transfert d'énergie par ondes électromagnétiques avec pour conséquence refroidissement de la surface émettrice, à moins que l'énergie ne soit remplacée. L'intérieur d'un four bouilleur irradie de la chaleur vers les tubes autour des parois. La chaleur est fournie par la combustion d'un combustible. La température dans le four est d'environ 2000°C.

À des températures plus basses, la quantité de chaleur transférée par rayonnement devient faible et ne tient pas un rôle important dans la conception et l'exploitation d'équipements d'échange de chaleur.

L'équation de base utilisée pour calculer le transfert de chaleur par rayonnement est :

$$Q = A \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4)$$

Chapitre II

L'Analyse des Risques industriels :

Nous allons définir dans ce chapitre la notion de l'analyse des risques et les différentes méthodes qu'on peut utiliser pour la réalisation d'une analyse des risques qu'on peut utiliser dans le domaine industriel et les démarches de chaque méthode et les personnes qui y sont impliqués pour arriver au résultat de l'analyse

Chapitre II analyse des risques industriels

II.1 Définition Du Risque:

Le risque est la probabilité que les conséquences néfastes, les dommages, se Matérialisent effectivement. Un danger ne devient un risque que lorsqu'il y a exposition et donc, possibilité de Conséquences néfastes

Afin d'en limiter l'occurrence de ces évènements et ses conséquences, les établissements les plus dangereux sont soumis à une réglementation particulière (classement des installations) et à des contrôles réguliers.

II.2 Définition de risque industriel :

Le risque industriel est défini comme un évènement accidentel qui se produit dans un site Industriel mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des Conséquences immédiates graves pour le personnel, les biens, les matériaux ,les installations et le lieu environnant .

II.3 Définition d'un Incendie :

L'incendie est une combustion qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace. Pour qu'un incendie survienne, 3 conditions doivent être réunies : la présence d'un combustible, celle d'un comburant (en général, l'oxygène de l'air) et celle d'une source d'inflammation (étincelle, flamme, chaleur...).

II.3.1 Le développement d'un incendie :

Le développement d'un incendie est extrêmement rapide en présence de combustible car 90 % de l'énergie dégagée par la réaction de combustion va être utilisé à la propagation du phénomène, ceci par 4 modes de transfert :

II.3.1.1 Les Mode de transfert :

II.3.1.1.1 la conduction :

Transfert de chaleur au sein d'un même matériau,

II.3.1.1.2 la convection :

transfert de chaleur par mouvement ascendant d'air réchauffé (fumées, gaz chauds),

Chapitre II analyse des risques industriels

II.3.1.1.3 le rayonnement :

Transfert de chaleur aux matériaux voisins du foyer par rayonnement électromagnétique (infrarouges),

II.3.1.1.4 le déplacement de substances :

Déjà en combustion, projections d'escarbilles incandescentes ou d'étincelles, écoulement d'un liquide enflammé...

II.4 définition de l'Analyse des risques :

l'analyse des risques est une procédure qui vise à identifier les sources de danger et les situations associés qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes , l'environnement avoisinant et les installations et les biens

c'est l'utilisation des informations disponibles à notre disposition pour identifier les phénomènes dangereux et faire une estimations des risques .

l'analyse des risques nous permet de mettre en relief les différents barrières de sécurité qui existe afin de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse ce qu'on appelle barrière de prévention et limiter les conséquences qui en résulte ce qu'on appelle barrière de protection ., il s'agit de faire une estimation de risque en vue de hiérarchiser les risques identifiés les risques identifiés au cours de l'analyse er de pouvoir comparer ultérieurement le niveau de risque à un niveau qu'on juge acceptable .son estimation peut être effectués de manière semi quantitatives à partir :

- D'un niveau de gravité de ce dommage
- D'un niveau de probabilité que le dommage survienne
- Le niveau d'acceptation d'un risque défini revient à la définition préalables de critères d'acceptabilités du risque .

II.4.1 L'identification et l'analyse des risques :

Il est nécessaire dans toute démarche de management des risques d'identifier et De répertorier, de manière la plus exhaustive possible, toutes les situations dangereuses et Les évènements générateurs de risque. Pour entreprendre ce recensement, plusieurs Techniques et méthodes peuvent être utilisées à savoir APR, AMDEC, AdD, ...etc.

Chapitre II analyse des risques industriels

L'analyse des risques consiste en une identification systématique et permanente et en une analyse de la présence de dangers et de facteurs de risque dans des processus de travail et des situations de travail concrètes sur le lieu de travail dans une entreprise, un chantier ou une institution.

Une fois cette identification réalisée, il convient ensuite d'analyser, de manière Plus ou moins détaillée, leurs causes et leurs incidences potentielles, et de les caractériser

(Selon leur nature, leurs origines, leur impact, ...etc.) [COURTOT & ERMINE, 2002].

Mais il s'agit également d'examiner les interactions possibles et les combinaisons Éventuelles, afin de déceler les risques qui peuvent en découler et compléter ainsi la liste De risques déjà identifiés.

II.4.2 Evaluation des risques :

L'évaluation des risques désigne une procédure fondée sur l'analyse des risques pour décider si on a atteint risque tolérable. Elle revient à comparer le niveau de risque estimé à un niveau jugé acceptable ou tolérable.

En pratique, cette phase peut être accompagnée d'une quantification détaillée et précise (par opposition à l'estimation des risques qui reste très simplifiée) des grandeurs qui caractérisent le risques.

Comme précisé ci avant, ce processus peut être plus ou moins complexe selon les critères retenus pour définir l'acceptation du risque.

II.4.3 Acceptation des risques :

La définition des critères d'acceptabilités des risques est une étape essentiel dans le processus de la gestion des risques dans la mesure et va inciter à considérer de nouvelles mesures

De réduction de risque et influencer la façon de mener l'analyse et l'évaluation de risque .

II.4.4 la Maitrise du risque :

la maitrise du risque (réduction de risque) désigne l'ensemble des actions ou dispositions entreprises pour le but de diminuer la probabilité ou la gravité des dommages associés à un risque particulier .

dès qu'on est face à un risque jugé inacceptables on doit prendre des mesures pour maitrises le risque , des mesures tel que :

Chapitre II analyse des risques industriels

- La prévention : la probabilité d'occurrence de la situation de danger qui à l'origine de dommage (attaquer le risque à la source).
- la mise en œuvre des mesures de réduction de risque tant que le risque est jugé inacceptables.
- la protection : visant à limiter la gravité de dommage, l'intervention peut être considérée comme moyen d'intervention .

II.4.4.1 Outils de la maîtrise des risques :

il existe de nombreuses méthodes dédiés à l'analyse des risques qui nous permette de qualifier le niveau de risque dans un système en considérons les critères de choix de la méthode .

II.4.4.1.1 critères liées au choix de la méthode d'analyse :

- l'objectif de l'étude.
- la nature de système étudié.
- les moyens d'étude.

II.4.4.1.2 Les Méthode d'analyse des risques :

II.4.4.1.2.1 La Méthode D'analyse HAZOP :

La méthode HAZOP (Hazard and Operability studies) a été élaborée il y a près de quarante ans par la société britannique **Imperial Chemical Industries** dans les années 1960 – 1970 pour améliorer la sécurité et les process.

Son intérêt est l'identification et l'évaluation des situations pouvant représenter un risque pour le personnel ou les équipements, et le déploiement des moyens (procédés, équipements) de prévention adéquats pour éviter toute évènement non souhaité.

La méthode HAZOP a été initialement développée pour analyser des systèmes de procédés chimiques. Elle fut ensuite étendue à d'autres types de systèmes industriels. Elle a aussi été transposée dans le cadre d'opérations complexes et de systèmes logiciels.

L'HAZOP est une méthode prépondérante dans l'analyse de la sécurité des industries de process (chimique, pharmaceutique, pétrolière..).

Chapitre II analyse des risques industriels

Elle est presque indispensable pour l'examen de systèmes dont la sécurité de l'installation dépend en grande partie de la maîtrise des conditions opératoires (débit, pression, température...). Ces revues se basent sur une analyse systématique de la potentialité et des conséquences d'une dérive des paramètres du système. Les dérives potentielles sont produites par l'articulation de mots-clés caractérisant une situation inhabituel opératoire (comme « plus de », « moins de »...) et les paramètres opératoires du procédé. Les plans de circulation des fluides ou schémas PID (Piping and Instrumentation Diagram) transposent le fonctionnement du procédé. Il est composé de spécialistes capables d'identifier les causes, les conséquences des dérives, et d'évaluer si les moyens de prévention/protection sont suffisants.

L'application de la méthode HAZOP présente des similitudes avec l'application de la méthode AMDEC. Cependant, l'une mettra en évidence les dérives au niveau des installations, sans évaluation de criticité et donnera des recommandations d'élimination de la cause, l'autre sera centrée sur les défaillances des composants d'un système, avec évaluation et recherche des actions correctives en fonction d'un indice de priorité des risques.

Le principe de l'HAZOP est d'associer des mots-clés et des paramètres relatifs à l'installation étudiée pour ainsi déceler des dérives (Takvorian, 2017).

II.4.4.1.2.1.1 Applications des études HAZOP

À l'origine, l'étude HAZOP était une technique développée pour les systèmes impliquant le traitement d'un milieu fluide ou autres flux de matière dans les industries de transformation, notamment l'industrie des procédés chimiques et pétroliers. Cependant, son domaine d'application n'a cessé de s'étendre au cours des dernières années, et la technique HAZOP s'applique aujourd'hui, par exemple :

- aux applications logicielles, y compris les systèmes électroniques programmables
- aux systèmes assurant le déplacement des personnes par différents modes, tels que le transport routier et le transport ferroviaire;
- à l'examen de différentes séquences de fabrication et aux procédures d'exploitation;
- à l'évaluation des procédures administratives dans différentes industries;
- à l'évaluation de systèmes spécifiques, tels que les appareils médicaux.

Chapitre II analyse des risques industriels

L'étude HAZOP est particulièrement utile dans l'identification des faiblesses des systèmes nécessitant la circulation de matières, de personnes ou de données, nécessitant un certain nombre d'événements ou d'activités d'une séquence planifiée ou des procédures contrôlant cette séquence. L'étude HAZOP n'est pas seulement un outil précieux pour la conception et le développement de nouveaux systèmes. Elle peut être utilisée avec profit pour l'examen des dangers et des problèmes potentiels liés à différents états de l'exploitation d'un système donné (démarrage, attente, fonctionnement normal, arrêt normal, arrêt d'urgence, etc.). Elle peut également être employée dans le processus et les séquences de fabrication par lot et en régime instable, ainsi que dans les séquences continues. L'étude HAZOP peut être considérée comme une partie intégrante du processus global de bonne ingénierie et de la gestion du risque.

II.4.4.1.2.1.2 Les avantages d'une HAZOP :

Une analyse de risque avec la méthodologie HAZOP, comme décrite par la norme CEI 61882:2016, améliore non seulement la sécurité d'une installation, mais sert également à mettre en évidence d'éventuels problèmes de conception et / ou d'exploitation à un stade précoce du développement du projet. Il est également utilisé comme un outil efficace pour les audits de sécurité ou l'identification des risques d'une installation existante, ou pour anticiper les mesures de sécurité en cas de changement possible dans un procédé donné (DEKRA, 2020).

II.4.4.1.2.1.3 Déroulement d'une HAZOP

Description des procédés

Schémas de procédé / Schémas de tuyauterie et d'instrumentation (P&ID) / Schémas TI

Modes opératoires

FDS Propriétés des matières dangereuses, telles que combustibilité, inflammabilité, explosivité, réactivité, auto-échauffement, toxicité ou propriétés électrostatiques

Spécifications de conception (fiches techniques) des équipements

Caractéristiques des systèmes d'évacuation de la surpression (soupapes, disques de rupture) et des lignes de collecte

Analyse fonctionnelle / Description du système de conduite

Chapitre II analyse des risques industriels

Description des fonctions de sécurité (automate de sécurité, ...), matrice défauts/actions

Schéma d'implantation

Retours d'expérience, accidents/incidents enregistrés sur site ou dans le groupe sur des unités similaires

II.4.4.1.2.1.4 Principes de l'étude HAZOP

Le principe de la méthode HAZOP est l'utilisation de « mots guides » pour effectuer une recherche systématique des déviations par rapport à l'intention de conception. Pour faciliter l'examen, un système est divisé en parties (sous-systèmes, aussi appelés « nœuds ») de telle sorte que l'intention de conception puisse être définie de manière adéquate pour chacune d'elles. La taille de la partie choisie varie selon la complexité du système et la sévérité du danger. Elle est petite pour les systèmes complexes ou pour ceux qui présentent des dangers importants. Pour les systèmes simples ou pour ceux engendrant des faibles dangers, l'utilisation de grandes parties réduit le temps d'étude. L'intention de conception pour une partie d'un système est formulée sur la base des éléments qui possèdent les caractéristiques essentielles de la partie et en représentent les divisions naturelles. Le choix des éléments à examiner est, dans une certaine mesure, une décision subjective puisqu'il existe plusieurs combinaisons menant au but recherché. Les éléments du système peuvent être des étapes ou des phases discrètes d'une procédure, des signaux individuels et des entités d'un système de commande, un équipement ou des composantes d'un processus ou d'un système électronique, etc

Chapitre II analyse des risques industriels

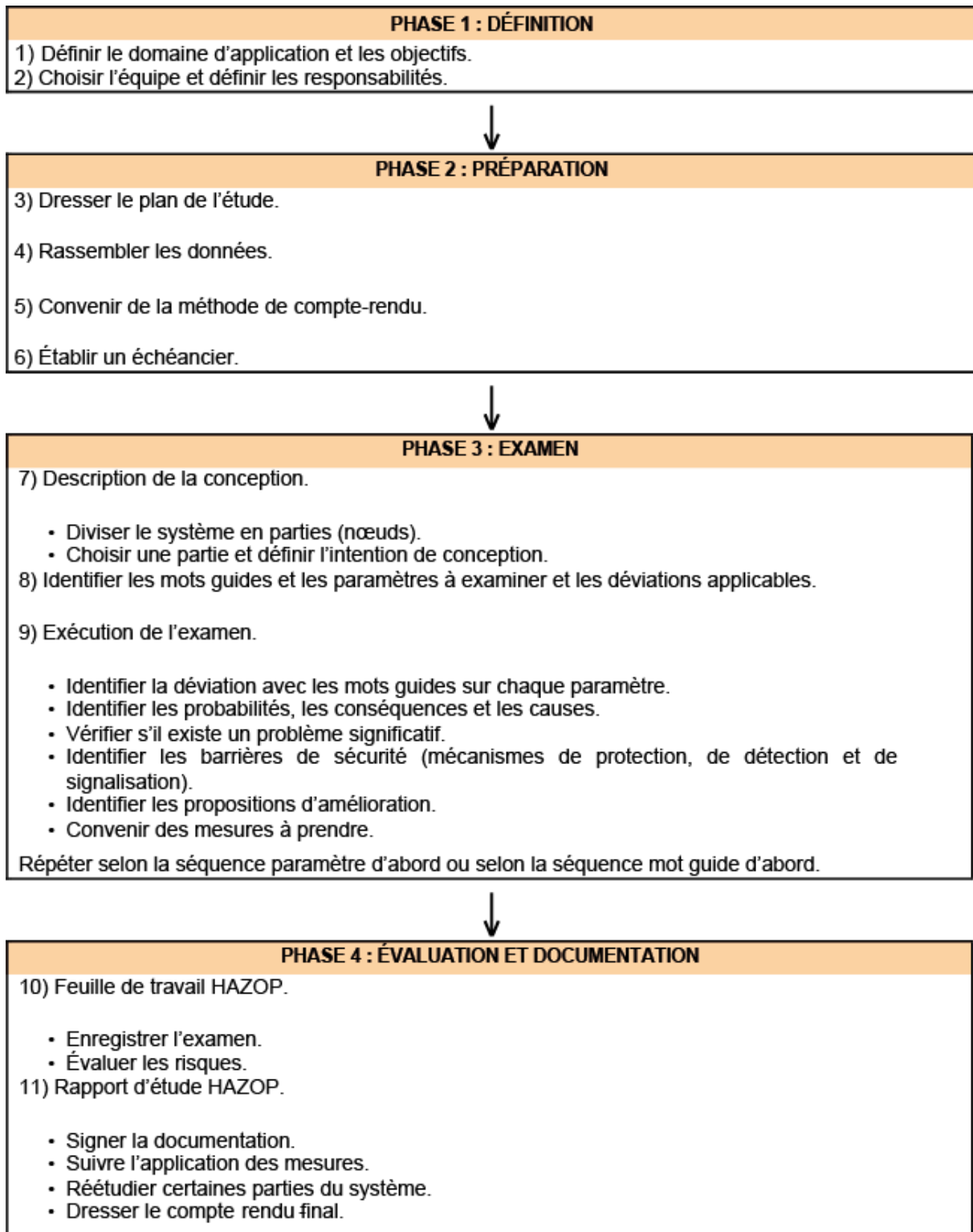


Figure II.1 Déroulement Général d'une étude hazop

II.4.4.1.2.1.5 Procédure détaillée d'une méthode HAZOP :

II.4.4.1.2.1.5.1 Description et intention du design :

Il est essentiel que l'équipe commence par une compréhension totale de la section ou de l'étape à analyser. Une description détaillée devrait être développée incluant tous les paramètres clés (le rapport qui sera établi à la fin devrait faire référence à la description du design).

II.4.4.1.2.1.5.1.2 Générer une déviation :

une déviation peut être générée en combinant un paramètre avec chaque mot guide et voir si une déviation significative peut en résulter : c'est l'approche paramètre en premier. L'alternative serait de prendre un mot guide et essayer chaque paramètre : c'est l'approche mot guide en premier.

II.4.4.1.2.1.5.1.3 Identifier les causes :

une fois qu'une déviation significative a été identifiée, l'équipe cherche alors une cause pouvant mener à cette déviation. Il serait intéressant de noter si les conséquences de toute déviation insignifiantes car la recherche de causes serait inutile.

Dans le cas où il y a plusieurs causes, un brainstorming est très utile pour trouver le maximum de causes possibles en ayant à l'esprit que ces causes pourraient être liées à des facteurs humains et/ou matériels.

II.4.4.1.2.1.5.1.4 Evaluer les conséquences :

Les conséquences de chaque cause devraient être soigneusement analysées pour voir si le système sort du domaine défini par les intentions du design. Il est donc essentiel d'identifier toutes les conséquences qu'elles soient immédiates ou retardées, qu'elles soient à l'intérieur ou à l'extérieur de la section analysée.

II.4.4.1.2.1.5.1.5 La protection :

Il y a plusieurs approches dans la prise en compte des mesures de protection existantes.

Chapitre II analyse des risques industriels

Une approche serait d'analyser d'abord sans tenir compte des mesures de protection existantes (alarmes..), ensuite quand le plus grave résultat a été identifié les mesures de protection sont notées et l'équipe considère le besoin d'actions correctives. Cette approche a l'avantage d'alerter l'équipe sur les possibles conséquences sérieuses mais en revanche, il n'est pas réaliste de ne tenir compte de mesures de protection prévue dans le cadre d'un bon design des opérations.

II.4.4.1.2.1.5.1.6 Enregistrement :

Les conclusions atteintes durant l'étude devraient entièrement enregistrées. Le rapport HAZOP représente typiquement le seul enregistrement compréhensif de l'étude HAZOP (Said A, 2007).

II.4.4.1.2.1.6 Champs d'utilisation de la méthode HAZOP :

Les études HAZOP sont utilisées plus largement entre autres :

- Au stade initial de la conception où tous les schémas sont disponibles
- Lorsque les diagrammes (P&ID) finalisés sont disponibles
- Lors de la construction et l'installation pour s'assurer que les recommandations sont mises en œuvre.
- Au cours de la phase commissioning
- Identification des dangers et le management des risques afin de gérer les nouveaux dangers introduits par les modifications dans les installations, changements organisationnels et changements aux systèmes et procédures.
- Pendant la phase exploitation pour s'assurer que les plans d'urgence et les procédures d'exploitation est régulièrement revus et mis à jour selon les exigences (Debray et all., 2006).

II.4.4.1.2.1.5.7 Limites de l'étude HAZOP :

Malgré Les différentes études qui ont été faites avec la méthode HAZOP dans des différents milieux , On Remarque bien que Cette analyse peut Avoir des limites alors on doit tenir en compte Après avoir choisis de procéder par Cette méthode De :

L'étude HAZOP est une technique d'identification des dangers qui examine méthodiquement les effets des déviations sur chaque partie. Parfois, un danger provient d'une interaction entre

Chapitre II analyse des risques industriels

un certain nombre de parties du système. Ceci impose une étude plus détaillée du danger, faisant appel à des techniques telles que l'analyse par arbre d'événements ou l'analyse par arbre de panne.

Comme pour toute technique d'identification de dangers ou de problèmes d'exploitation, il n'y a aucune garantie que l'étude HAZOP identifie tous les dangers ou tous les problèmes d'exploitation. Par conséquent, il est préférable que l'étude d'un système complexe ne repose pas uniquement sur une étude HAZOP. En général, cette technique est utilisée en combinaison avec d'autres techniques appropriées au système étudié. Il est essentiel d'intégrer d'autres études pertinentes pour obtenir un système efficace de gestion des risques.

Un grand nombre de systèmes sont étroitement liés entre eux et une déviation dans l'un d'eux peut avoir une cause ailleurs. Une intervention locale appropriée peut ne pas cibler la cause réelle et ne pas empêcher un accident de se produire ultérieurement. Beaucoup d'accidents se sont produits à la suite de modifications locales mineures dont les effets par contrecoup ailleurs n'avaient pas été prévus. Bien qu'il soit possible de remédier à ce problème en reportant les implications des déviations d'une partie à une autre, ceci n'est souvent pas réalisé dans la pratique.

Le succès d'une étude HAZOP dépend en grande partie de la capacité et de l'expérience du chef d'étude, de la connaissance des membres de l'équipe ainsi que de leurs interactions.

L'étude HAZOP ne considère que les parties qui apparaissent sur les plans de conception. Les activités et les opérations qui n'y apparaissent pas ou qui ne sont pas mentionnés par les membres de l'équipe ne sont pas prises en compte.

II.4.4.1.2. La Méthode Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité «(AMDEC) :

II.4.4.1.2.1 Définition de l'AMDEC :

L'AMDEC est une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité d'un système. Selon l'Association Française de Normalisation) Connue sous AFNOR .

C'est un outil de sûreté de fonctionnement (SdF) et de gestion de la qualité. AMDEC est la traduction de l'anglais FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, litt. «

Chapitre II analyse des risques industriels

analyse des modes, des effets et de la criticité des défaillances »), désignation d'une méthode élaborée par l'armée américaine dans les années 1940.

L'AMDEC se distingue de l'AMDE (Analyse des modes de défaillance et de leurs effets, traduction de l'anglais FMEA ou Failure Modes and Effects Analysis) par une quantification portée par la notion de criticité C.

On définit généralement La criticité d'un mode de défaillance par le produit (indice de fréquence) \times (indice de gravité) \times (indice de détection). Ces indices sont définis par le client, l'entreprise qui fixe également un seuil d'acceptabilité, au-dessus duquel toute criticité doit être réduite, par un moyen à définir (reprise de conception, plan de maintenance, action de surveillance, ...).

Le but est de hiérarchiser les actions d'amélioration à conduire sur un processus, un produit, un système en travaillant par ordre de criticité décroissante

II.4.4.1.2.2 Les différents Types d'AMDEC :

Il existe cinq principaux types d'AMDEC :

- l'AMDEC fonctionnelle, permet, à partir de l'analyse fonctionnelle (conception), de déterminer les modes de défaillances ou causes amenant à un événement redouté ;
- l'AMDEC produit, permet de vérifier la viabilité d'un produit développé par rapport aux exigences du client ou de l'application ;
- l'AMDEC processus, permet d'identifier les risques potentiels liés à un procédé de fabrication conduisant à des produits non conformes ou des pertes de cadence ;
- l'AMDEC moyen de production, permet d'anticiper les risques liés au non-fonctionnement ou au fonctionnement anormal d'un équipement, d'une machine ;
- l'AMDEC flux, permet d'anticiper les risques liés aux ruptures de flux matière ou d'informations, les délais de réaction ou de correction, les coûts inhérents au retour à la normale.

Chacun de ces types d'AMDEC donne en sortie un document de travail incontournable pour la suite du développement, par exemple :

- pour l'AMDEC produit, un plan de fiabilisation ;
- pour l'AMDEC processus, un plan de surveillance, contrôle qualité ;

Chapitre II analyse des risques industriels

- pour l'AMDEC moyen, une gamme de maintenance préventive ;
- pour l'AMDEC flux, le plan de sécurisation ainsi que les stocks et délais de sécurité.

II.4.4.1.2.3 L'utilisation de la méthode AMDEC :

La méthode AMDEC peut être utilisée dans des différents secteurs d'activité L'AMDEC .elle très utilisée dans le secteur de l'automobile, de l'aéronautique, du ferroviaire et du matériel médical, tout au long du processus de conception, développement et exploitation.

Une méthode dérivée de l'AMDEC est aussi utilisée dans les industries agro-alimentaire, chimique et pharmaceutique : le HACCP. Cette méthode s'intéresse plus particulièrement à la fabrication et s'apparente à l'AMDEC processus.

Depuis la mise en place de la nouvelle directive ATEX, les fabricants de machines utilisées en atmosphère explosible doivent obligatoirement réaliser une AMDEC ATEX, qui permettra d'identifier les risques d'échauffement ou d'étincelles, quelle que soit leur origine.

Dans les nouvelles méthodes d'étude de la fiabilité, l'AMDEC est aussi employée pour déterminer les contributions intrinsèques et extrinsèques des divers mécanismes de défaillances. À partir de cette analyse, les paramètres importants pour la compréhension des dégradations survenues lors de la qualification ou du retour opérationnel du système électronique ou optoélectronique permettent d'effectuer le suivi du système amélioré lors d'un nouveau test d'endurance.

II.4.4.1.2.4 Le principe de la méthode AMDEC :

La méthode d'analyse AMDEC s'applique aussi bien à la conception d'un nouveau produit, à la mise au point d'un procédé de fabrication ou encore

D'un processus pour en identifier les points de défaillances susceptibles de pénaliser la performance

II.4.4.1.2.5 Les deux aspects de la méthode :

II.4.4.1.2.5.1 L'aspect qualitatif :

l'aspect qualitatif de l'étude consiste à recenser les défaillances potentielles des fonctions du système étudié. De rechercher et d'identifier les causes des défaillances et d'en connaître les effets qui peuvent affecter les clients, les utilisateurs et l'environnement interne ou externe.

II.4.4.1.2.5.2 L'aspect quantitatif :

consiste à estimer le cout du risque associé à la défaillance potentielle

Au système étudié .

Le but de cette estimation est l'identification et la hiérarchisation des défaillances potentielles.

II.4.4.1.2.6 Le Déroulement de la méthode AMDEC :

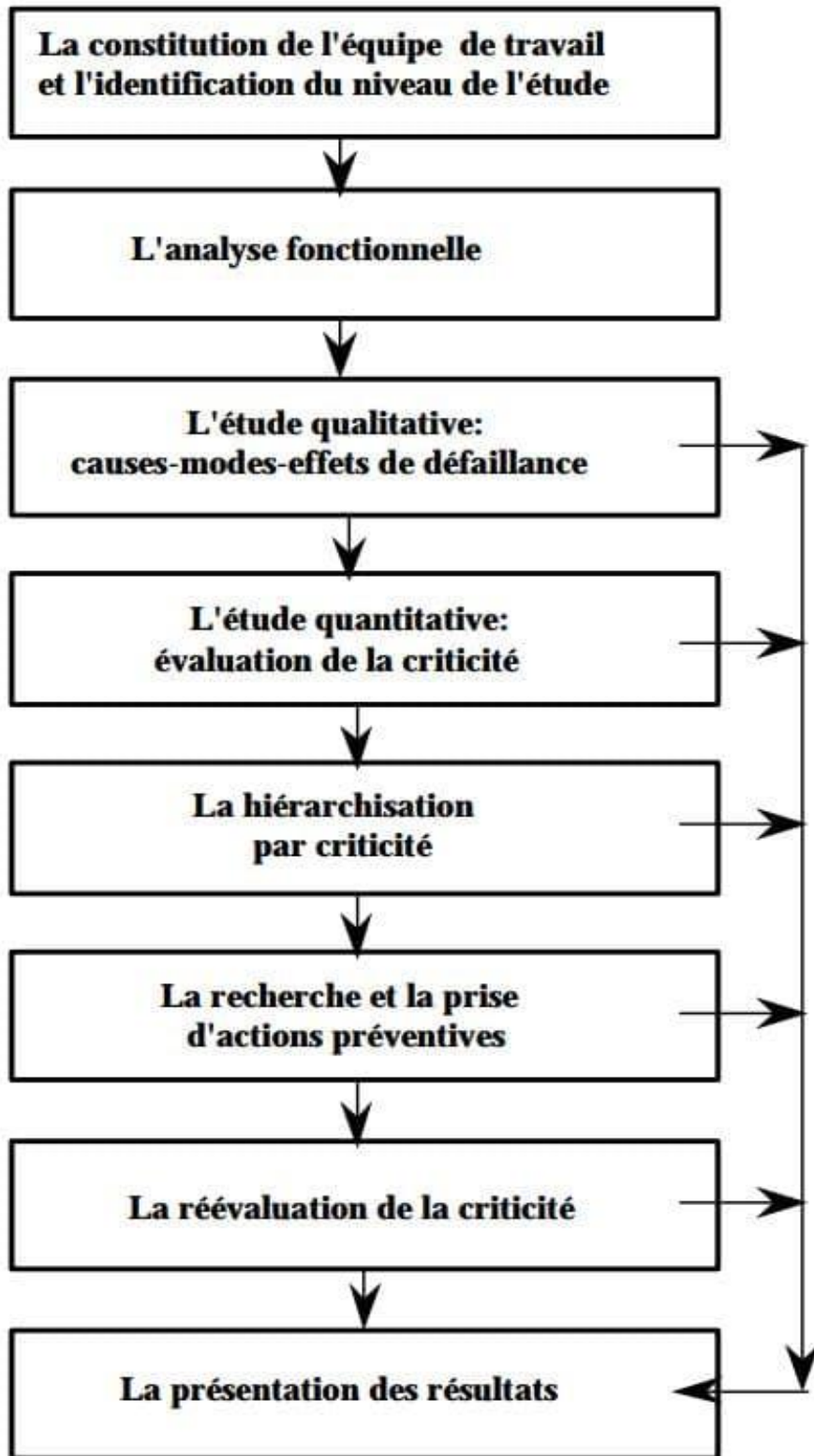


Figure II.2 : démarche d'une amdec

Chapitre II analyse des risques industriels

date de l'analyse	AMDEC MACHINE-ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE					Système				Page
Eléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Les différents mesures correctives et préventives

Tableau II.1 : Tableau de l'analyse Amdec

Chapitre II analyse des risques industriels

II.4.4.1.2.7 Évaluation de la criticité :

On utilise en général des grilles d'évaluations adaptées au problème à étudier. Les différents éléments sont notés la plupart du temps de 1 à 10 (il ne faut jamais coter zéro). Cependant, l'expérience peut amener certaines entreprises à utiliser une notation de 1 à 5.

À titre d'exemple, voici 3 grilles de cotation graduées de 1 à 10 ; seuls trois niveaux sont présentés (1, 5 et 10).

Note F	Fréquence probabilité d'apparition	ou	Note G	Gravité	Note D	Probabilité de non-détection
10	Permanent		10	Mort d'homme ou catastrophe environnementale	10	Aucune probabilité de détection
5	Fréquent		5	Conséquences financières et/ou matérielles	5	Un système de détection est en place mais n'est pas infallible
1	Invraisemblable		1	Pas grave	1	Le système de détection est infallible

Tableau II.2 : évaluation de la criticité

On évalue la criticité, parfois appelée IPR (Indice de Priorité du Risque), par le produit :

$$C = F \times G \times D.$$

Plus C est grand, plus le mode de défaillance est critique. Lorsque les indices sont notés sur 10, les entreprises fixent généralement une criticité maximale (sans action corrective) autour de 100.

Il est également possible d'évaluer la criticité à partir d'une matrice de criticité ; on ne fait alors intervenir que deux paramètres, F et G.

Chapitre II analyse des risques industriels

		Niveau de Gravité			
		Insignifiant	Marginal	Critique	Catastrophique
Fréquence	Fréquent	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable
	Probable	Acceptable	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable
	Occasionnel	Acceptable	Indésirable	Indésirable	Inacceptable
	Rare	Négligeable	Acceptable	Indésirable	Indésirable
	Improbable	Négligeable	Négligeable	Acceptable	Indésirable
	Invraisemblable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Acceptable

Tableau II.3 : évaluation de la gravité

Notons que cette matrice présente des similitudes avec la matrice d'Eisenhower utilisée pour déterminer le degré d'urgence d'une tâche. En effet, cette dernière présente également un axe désignant l'importance (correspondant à la gravité dans le cas de la criticité), et un axe temporel (mais qui désigne l'urgence et non pas la fréquence).

En fonction des utilisateurs de cet outil, les critères peuvent varier. En automobile, par exemple, le critère « contrôlabilité » est utilisé pour prendre en compte le fait que le conducteur puisse ou non maîtriser son véhicule en cas de défaillance.

Chapitre II analyse des risques industriels

II.4.4.1.2.8 Les avantages et les limites de la méthode AMDEC :

L'AMDEC s'avère très efficace lorsqu'elle est mise en œuvre pour l'analyse de défaillances simples d'éléments conduisant à la défaillance globale du système. De par son caractère systématique et sa maille d'étude généralement fine, elle constitue un outil précieux pour l'identification de défaillances potentielles et les moyens d'en limiter les effets ou d'en prévenir l'occurrence.

Comme elle consiste à examiner chaque mode de défaillance, ses causes et ses effets pour les différents états de fonctionnement du système, l'AMDEC permet d'identifier les modes communs de défaillances pouvant affecter le système étudié. Les modes communs de défaillances correspondent à des événements qui de par leur nature ou la dépendance de certains

composants, provoquent simultanément des états de panne sur plusieurs composants du système. Les pertes d'utilités ou des agressions externes majeures constituent par exemple, en règle générale, des modes communs de défaillance.

Dans le cas de systèmes particulièrement complexes comptant un grand nombre de composants,

L'AMDEC peut être très difficile à mener et particulièrement fastidieuse compte tenu du volume

important d'informations à traiter. Cette difficulté est décuplée lorsque le système considéré comporte de nombreux états de fonctionnement.

Par ailleurs, l'AMDEC considère des défaillances simples et peut être utilement complétée, selon les besoins de l'analyse, par des méthodes dédiées à l'étude de défaillances multiples comme l'analyse par arbre des défaillances par exemple.

II.4.4.1.2.3 La Méthode Arbre de défaillance :

Un arbre de défaillance représente de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui peuvent conduire à une défaillance. Construire un arbre revient à répondre à la question « comment telle défaillance peut-elle arriver ? », ou « quels sont les scénarios (enchaînements d'événements) possibles qui peuvent aboutir à cette défaillance ? ». Cette

Chapitre II analyse des risques industriels

recherche des combinaisons de causes pouvant provoquer une défaillance se poursuit par une recherche des coupes minimales (ensembles d'événements de base, ou de conditions, nécessaires et suffisants à produire la défaillance) puis une évaluation de la vraisemblance de la survenue de la défaillance à partir de la combinaison des vraisemblances que les événements élémentaires se produisent.

La méthode de l'arbre de défaillance comprend une partie qualitative, qui correspond à la construction de l'arbre et la recherche des coupes minimales, et une partie quantitative qui vise à évaluer les probabilités d'occurrence au niveau des événements élémentaires, des coupes minimales et au niveau de la défaillance.

Un arbre de défaillance est généralement présenté de haut en bas. La ligne la plus haute, ou sommet de l'arbre, comporte uniquement la défaillance (ou événement redouté ou encore événement non souhaité) que l'on cherche à analyser. Chaque ligne détaille la ligne supérieure en présentant la combinaison ou les combinaisons susceptibles de produire l'événement de la ligne supérieure auquel elles sont rattachées. Ces relations sont présentées par des liens logiques OU ou ET.

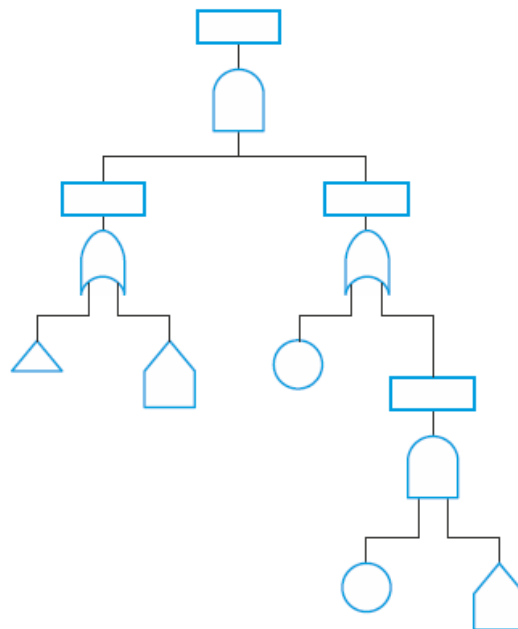


Figure II.3 Présentation général de l'arbre de défaillance .

II.4.4.1.2.3.1 Le principe de la méthode ADD :

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'évènement redouté. Les évènements de base correspondent généralement à des :

- Évènements élémentaires qui sont suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Ainsi, leur probabilité d'occurrence est également connue.
- Évènements ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt,
- Évènements dont les causes seront développés ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple,
- Évènements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation.
- Quelle que soit la nature des éléments de base identifiés, l'analyse par arbre des défaillances est fondée sur les principes suivants :

Ces évènements sont indépendants l'un de l'autre :

- Il est impossible de les décomposer en éléments plus simples
- Il est possible d'évaluer leur fréquence et leur probabilité d'occurrence

Ainsi, l'analyse par arbre des défaillances permet d'identifier les successions et les combinaisons d'évènements qui conduisent des évènements de base jusqu'à l'évènement indésirable retenu. Les liens entre les différents évènements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU » par exemple). Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente. A l'aide de règles mathématiques et statistiques, il est alors théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement final à partir des probabilités des évènements de base identifiés. L'analyse par arbre des défaillances d'un événement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

Chapitre II analyse des risques industriels

- Définition de l'événement redouté étudié,
- Elaboration de l'arbre,
- Exploitation de l'arbre.

Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système. Nous verrons que cette dernière est primordiale pour mener l'analyse et qu'elle nécessite le plus souvent une connaissance préalable des risques.

II.4.4.1.2.3.2 Les différentes étapes de l'arbre de défaillance :

La première étape consiste à définir l'événement sommet, c'est-à-dire la défaillance, de façon explicite et précise afin que l'arbre construit réponde bien aux attentes de l'étude (par exemple les événements suivants ne sont pas équivalents : défaillance de la stabilité d'un bâtiment, ruine d'un bâtiment sous l'action d'un séisme, rupture d'un bâtiment sous l'action de la neige, etc.).

La deuxième étape consiste à décrire l'ensemble des événements, par des combinaisons logiques (conjonction ou disjonction), pouvant engendrer l'événement sommet. Il apparaîtra donc des événements moins globaux que l'événement sommet, que l'on nommera événements intermédiaires, et un connecteur logique qui les relie à l'événement sommet.

Les étapes suivantes consistent à décrire successivement l'ensemble des lignes permettant d'expliquer les lignes supérieures (par des événements et des connecteurs logiques) jusqu'à avoir écrit l'ensemble des causes connues. Il s'agit de répéter la deuxième étape jusqu'à l'obtention des événements de base qui sont des événements qui ne se décomposent plus en événements plus fins.

Il existe un ensemble de symboles normalisés permettant de représenter l'événement sommet, les événements intermédiaires, les événements de base et les connecteurs. Les principaux symboles utilisés sont regroupés dans le tableau suivant

Chapitre II analyse des risques industriels

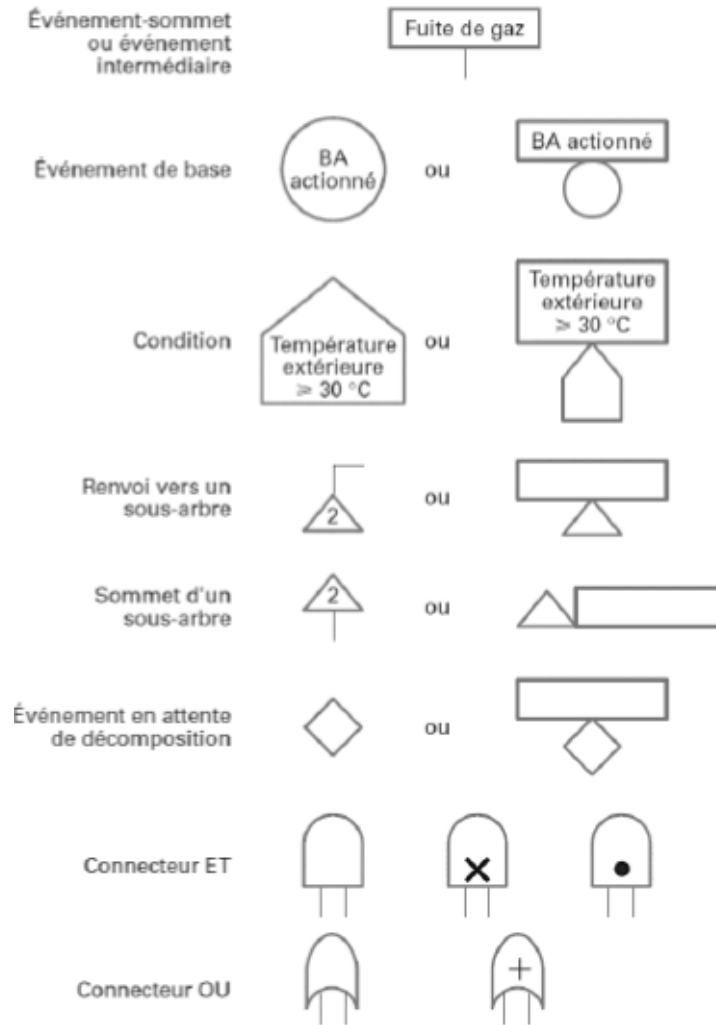


Figure II.4 : les symboles utilisés dans la construction de L'AdD.

Chapitre III

Retour d'expérience sur les accidents des fours industriels :

Nous allons dans ce chapitre traiter la notion retour d'expérience et voir son utilité dans le domaine de l'analyse des risques industriel et préciser les différents incidents sur les fours industriels et montrer quelque retour d'expériences sur des différentes causes qui ont mené à des incendies et des explosions au niveau des fours industriels .

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

III.1 Définition De retour d'expérience :

Le Retour d'Expérience (appelé aussi REX) est une démarche visant à détecter et analyser les anomalies, les écarts et tout événement, qu'il soit positif ou négatif, en recherchant les causes et les enchaînements et en retirant des enseignements.

La notion de « positif » et « négatif » est importante, car nous pensons la plupart du temps à faire un retour d'expérience lorsqu'il y a eu une anomalie ou une erreur dans le processus. Alors que chaque projet ou bonne pratique peut être sujet à réaliser ce type de démarche.

III.2 Les acteurs du REX :

III.2.1 Le directeur :

C'est le premier pilier de la démarche qu'il décide de mettre en place. Il est impliqué tout au long du déploiement en veillant notamment aux moyens à mettre en œuvre et en s'assurant de son bon fonctionnement et de son efficacité

III.2.2 Les instances représentatives du personnel :

Ils doivent être informés et consultés lors de la mise en place de la démarche qui vise à améliorer la sécurité de tous. Elles participent à l'analyse des causes des accidents.

III.2.3 L'encadrement

L'encadrement participe au déploiement et à l'animation de la démarche.

III.2.4 Les salariés :

Ils ont un rôle essentiel dans le REX. C'est sur eux que repose la détection des anomalies et des incidents et l'identification des faits qui permettent l'analyse approfondie de l'événement.

III.2.5 Autres acteurs potentiels :

- le Service de Santé au Travail, en cas d'accident affectant un membre du personnel, l'Inspection du Travail, la CRAM,
- les entreprises intervenantes sur le site,
- la DRIRE à laquelle l'entreprise doit communiquer les incidents et accidents, notamment ceux ayant un impact débordant du site,
- le voisinage et les élus locaux qui demandent à être informés des anomalies perçues.

III.3 Les principales étapes d'un REX :

- choix du projet, pour lequel le processus sera mis en œuvre,
- définition des modalités (renseignement individuel et/ou collectif d'une grille ou d'un questionnaire, entretiens individuels et/ou collectifs),

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

- désignation et rôle des différents intervenants dans le processus,
- recueil et analyse des informations,
- capitalisation des enseignements de l'expérience,
- valorisation et mise à disposition de ces enseignements,
- mise en œuvre éventuelle d'un plan d'action pour modifier les pratiques

III.4 Les Facteurs Clés de la réussite d'un retour d'expérience :

- Impliquer la Direction et l'encadrement qui montrent son engagement en acceptant de se remettre en cause et en décidant de la mise en œuvre des actions correctives identifiées.
- Instaurer un climat de confiance où les personnes peuvent rapporter des écarts sans craindre une remise en cause par leur encadrement.
- Analyser l'ensemble des causes des accidents en toute transparence, y compris les facteurs organisationnels et culturels et ne pas en rester aux causes techniques ou liées à l'action humaine.
- Assurer un retour rapide aux personnes ayant signalé une anomalie ou proposé une bonne pratique, afin de les rassurer que le REX n'est pas un « trou noir ». Ce premier retour sera parfois incomplet si tous les éléments de la fiche REX n'ont pas encore été analysés, mais on pourra dire par exemple : « Ce point sera à l'ordre du jour de la prochaine revue sécurité ».
- Valoriser des bons résultats, par exemple via la mise en place d'un « prix du meilleur REX de l'année ».
- Écouter les idées de tout le personnel et les prendre en compte chaque fois que cela s'avère opportun ou possible

III.5 Les accidents dans les fours :

Nous allons traiter dans cette partie les différents types d'accidents survenus au niveau des fours et ces résultats ont été élaborés à partir des processus de retour d'expérience retenus dans les bases de données des accidents dans le monde

III.5.1 Type d'accidents :

D'après le retour d'expérience dans les différentes bases de données comme ARIA par exemple

On peut conclure que il y'a plusieurs types d'accidents dans le milieu industriel : plus précisément l'industrie dont il y'a présence de four industriel et on peut citer plusieurs types.

III.5.1.1 Accidents de surchauffe

Représente 11 % des accidents inclus des cas de surchauffe qui sont causés précisément par des coupures électriques

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

III.5.1.2 Accidents de feu :

qui représente 50 % des accidents : La présence des fours industriels indique la présence des industries à très hautes températures (dépend de type de four et le type d'industrie) ce qui peut causer généralement des cas du présence du feu dont les causes sont très différent

III.5.1.3 Incendie dans les fours industriels :

Représente 33 % des cas d'accidents étudiés et recensé dans la base ARIA , on Remarque généralement que si on maitrise pas l'incendie rapidement , donc on pousse vers l'étape d'une explosion .

III.5.1.4 Explosions des fours industriels :

Qui représente 6 % des accidents : on prend souvent toutes les mesures pour qu'un explosion ne se produit pas et ce type d'accident touche dans la plupart des cas les extracteur de fumée d'un four de traitement thermique de pièce métallique , l'explosion aurait être causé par l'accumulation de gaz chaud suite à l'arrêt de ventilateur d'extraction de gaz pour des raisons qu'on ignore .

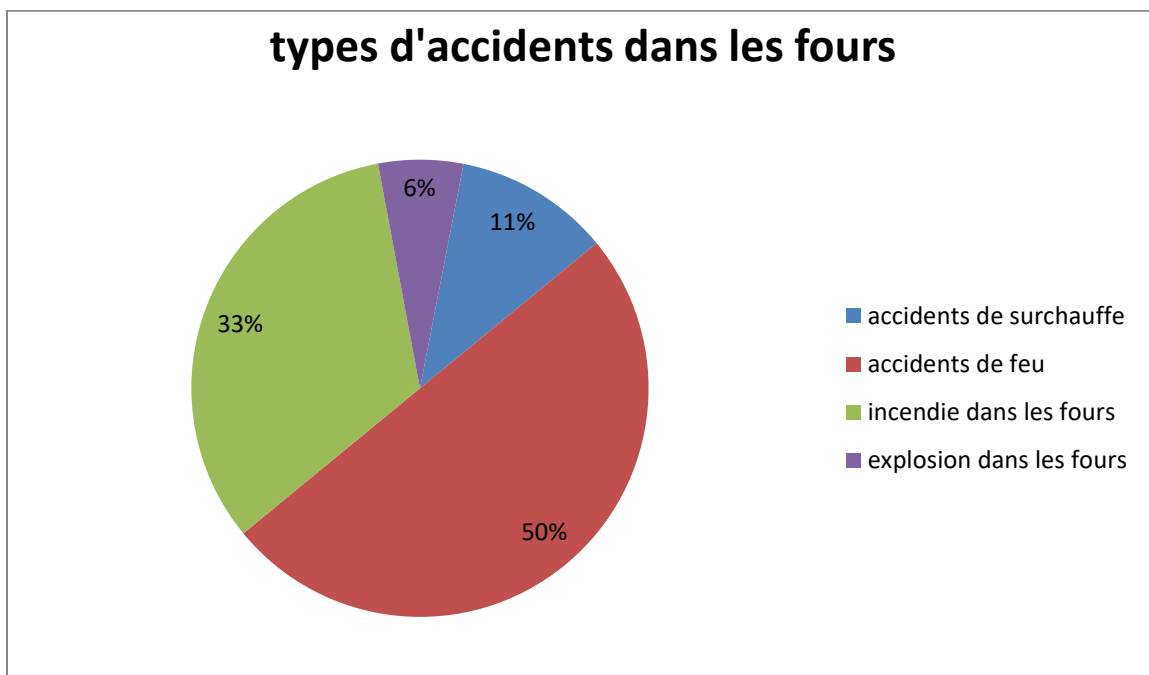


Figure III.1 : pourcentage des types d'accidents dans les fours

III.5.2 Causes des accidents :

C'est une étape primordiale dans l'analyse des accidents et c'est l'un des objectifs important de l'analyse par le REX .

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

On remarque déjà que les défaillances matérielles représente la cause essentiels des accidents 72 % , l'erreur humaine 6 % , et on ignore la cause du reste des accidents .

III.5.3 Conséquence des accidents :

On ne peut pas parler des causes et oublie les conséquence qui peuvent résulter de ces accidents dangereux

Les accidents recensés révèle que plus de la moitié ont des conséquence sur le bien matériel

59 % de dommage sur le matériel et 23 % du dommage sur l'environnement (pollution)

Et ce qui reste c'est des dommages humains dont on dénombre 18 % du total des accidents recensé.

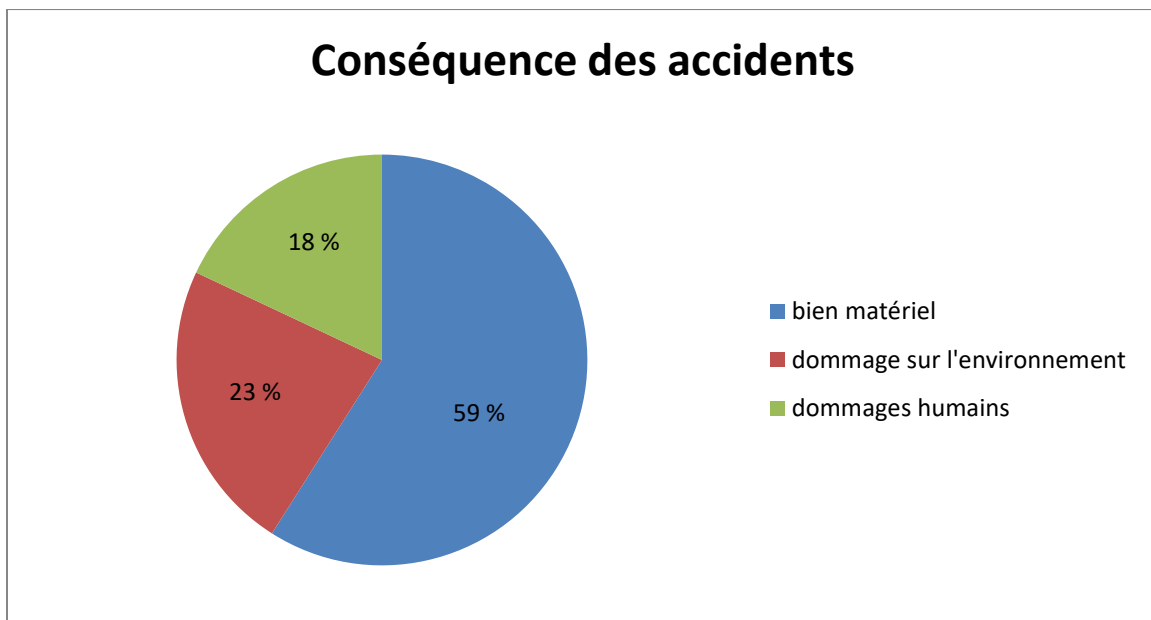


Figure III.2 :Pourcentage de la conséquence d'accidents .

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

III.6 Les incidents au niveau des fours :

L'industrie ou on appel à un travail avec des unité de hautes températures comme les fours industriels sont des industries très dangereuse car on pourra être face à des incident très dangereuse avec un taux de gravité très élevé et pouvant causes des dommages sur l'être humain et les installation .

Nous allons parler dans cette partie des différents incidents qui peuvent arriver au niveau des fours dans l'industrie

III.6.1 Passage en atmosphère explosive dans la cellule

Cet incident concerne essentiellement les fours pour lesquels le débit d'air de combustion n'est pas asservi au débit de combustible. Il peut néanmoins concerner les fours équipés de cet asservissement particulièrement si tous les brûleurs ne sont pas en service et que le débit d'air est distribué sur tous les brûleurs allumés et éteints.

III.6.1.1 Déroulement de l'incident :

L'origine du déséquilibre du rapport air-combustible peut être due à :

- une diminution du débit d'air (réduction de la dépression motrice de l'entrée d'air sur des brûleurs à air aspiré par le four conséquence à des modifications atmosphériques, par exemple)
- augmentation du débit de combustible imposée par la TRC comme suite d'une modification du débit de charge du four, de la température d'entrée du produit ou de variation de sa nature dans le cas d'un four de vaporisation
- une modification de la nature du combustible et plus particulièrement la composition du fuel gaz (PCI).

Si la "réserve" d'excès d'air de combustion est consommée, le combustible ne brûle plus complètement et dès lors le dégagement de chaleur attendu n'étant pas complet, la température en sortie four diminue. La régulation de température conduit à un accroissement du défaut d'air déjà important.

Le phénomène s'aggrave progressivement et de plus en plus rapidement :

- augmentation du débit de combustible à débit d'air constant
- combustion incomplète se traduisant par un dégagement de chaleur plus faible et une augmentation de l'opacité de la cellule empêchant les tubes de "voir" la flamme sur FO notamment
- baisse de la température du produit à la sortie de la ligne de transfert conduisant la TRC à demander encore d'avantage de combustible

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

III.6.1.2 Procédure de sécurité :

La situation décrite est hélas usuellement exprimée en termes de défaut d'air alors qu'il s'agit d'un excès de combustible.

Exprimer un défaut d'air induit évidemment la nécessité d'ajouter de l'air. Cette démarche conduit à l'introduction massive d'air de combustion (il faut se rappeler que pour brûler 1 kg de combustible il faut environ 15 kg d'air) et provoque dans la chambre de combustion des remous favorables au mélange des imbrûlés présents dans la cellule et de l'air additionnel. Cela conduit le plus généralement à une combustion explosive dont les conséquences peuvent se limiter à la levée des portes d'explosions mais aussi à la destruction du four avec toutes les incidences périphériques..

Il faut considérer une combustion incomplète comme un excès de combustible et diminuer le débit de combustible (reprise de la chauffe en manuel et baisse de la consigne de la TRC). Dans la chambre de combustion, un "piston" de gaz de combustion sains chasse progressivement les imbrûlés. La situation n'est redevenue normale que lorsque les imbrûlés sont complètement éliminés. Éclaircissement de la chambre de la combustion sur FO, baisse de l'indication de l'opacimètre.

Il s'agit alors d'augmenter le débit d'air de combustion puis celui de combustible pour retrouver la bonne température de sortie du produit avant de remettre la chauffe en automatique.

III.6.1.3 Eléments de détections de ces phénomènes :

III.6.1.3.1 En salle de contrôle :

- évolution lente mais continue à la baisse de la température en ligne de transfert
- ouverture progressive des vannes de combustible, et ouverture de plus en plus rapide et augmentation des débits de combustibles
- diminution de la teneur en oxygène des fumées et surtout élévation rapide de celle en imbrûlés (opacimètre)

III.6.1.3.2 Localement :

III.6.1.3.2.1 dans la cellule du four :

- atmosphère de la cellule perdant sa transparence, voire devenant trouble et même opaque dans le cas de combustibles liquides
- flammes molles, fumeuses

III.6.1.3.2.1.2 à la sortie à la cheminée :

On a constaté que les fumées devenant grises puis noires

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

III.6.1.4 Mesures pour éviter cet incident :

Si la charge du four doit augmenter, il faut préalablement avoir permis l'introduction d'un débit d'air suffisant pour faire face à l'accroissement du débit de combustible. Il faut aussi disposer d'une dépression largement suffisante pour permettre l'admission d'air dans le cas de fours à tirage naturel. Le débit d'air de combustion doit augmenter avant celui de combustible.

Certaines chaînes de régulation prennent en compte ce "principe de fonctionnement", si c'est le cas, suite à ce type d'incident on pourra laisser la boucle de régulation en automatique, dans le cas contraire on prendra la boucle en manuel et on anticipera la demande de champ.

III.6.2 Rupture de tube :

La rupture de tube est l'incident le plus désarmant, particulièrement sur une unité à haute pression où la brutalité est telle qu'il ne s'agit que de limiter les dégâts et l'extension de l'incendie. Sur une unité à basse pression, il est souvent possible d'arrêter normalement l'installation.

III.6.2.1 Unité à haute pression :

La fuite de produit du faisceau tubulaire dans la chambre de combustion est rarement de faible importance, le tube percé se déchirant assez rapidement. L'incendie est immédiat et inévitable.

Il s'agit alors de couper l'alimentation du feu en décompressant l'unité vers torche ou vide-vite.

Le combustible introduit par la fuite doit brûler. Pour cela laisser des brûleurs allumés, s'assurer qu'ils sont au minimum combustibles. Ne mettre de la vapeur d'étouffement dans la cellule que lorsque l'alimentation du feu est coupée et ceci jusqu'au refroidissement du four, isoler le ou les circuits de combustibles vers le four concerné.

III.6.2.2 Unité à basse pression :

La fuite de produit est souvent limitée et se traduit par la formation d'un chalumeau qu'il faut surveiller : sa flamme tend à s'agrandir avec le temps mais rarement de manière brutale, ses effets peuvent conduire à l'amplification de l'incident si le chalumeau vient à lécher d'autres tubes.

L'unité doit bien sûr être arrêtée mais selon l'importance de la fuite, l'arrêt peut être normal ou d'urgence. Dans le cas d'un arrêt normal il faudra éviter si possible les à-coups de pression et les variations importantes de température.

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

Pendant toute la phase d'arrêt, le combustible introduit dans la cellule par la fuite, doit être brûlé sinon il y a formation d'une atmosphère explosive dans le four. Il faut pour cela laisser les brûleurs allumés, contrôler la baisse de température et des pressions afin de réduire la fuite.

Avant de couper le dernier brûleur il faudra s'assurer qu'il n'y a plus de fuite. En dernier recours utiliser la vapeur d'étouffement.

Les éléments de prévention des ruptures de tubes relèvent de l'inspection des fours. En opération, cela se traduit par une vigilance aux points chauds sur les faisceaux (dus au cokage, à des surchauffes) ou aux déformations de tubes.

III.6.2.3 Cas particuliers des fours sous vide :

Les fuites peuvent apparaître au cours de l'arrêt du four pendant la montée en pression à l'intérieur du faisceau, dont être très attentif durant cette phase.

III.6.3 Déséquilibre de la chauffe :

III.6.3.1 explication du phénomène :

Par déséquilibre de la chauffe il faut entendre dans un four multi-passes une hétérogénéité de chauffage de chacune d'elles. Cette hétérogénéité peut être due à des chauffages différents (brûleurs alimenté par des combustibles différents, gazeux ou liquide) ou encore à des débits différents dans chacune des passes.

Le phénomène peut être encore amplifié lorsque des flammes viennent lécher les tubes (mauvais positionnement de la canne à combustible, ouvreau ou nez de brûleur, ou ensemble de pulvérisation coké ou endommagé, alimentation en air insuffisante conduisant à une flamme trop longue).

Des tubes trop chauffés ou insuffisamment refroidis subissent des contraintes thermiques conduisant à leur déformation, le phénomène étant aggravé lorsque la surchauffe se traduit par le dépôt de coke isolant à l'intérieur des tubes.

III.6.3.2 La détection du déséquilibre de la chauffe :

Le déséquilibre de chauffe peut être détecté :

- en salle de contrôle par des anomalies de répartition de débit ou de température de sortie des passes, des indication de température de peau de tube sur la passe surchauffée
- localement par l'observation de la cellule, l'aspect et forme des différentes flammes et éventuellement la coloration des tubes (mesure des températures par thermomètre infrarouge)

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

Les remèdes à apporter consistent en adaptation du chauffage au refroidissement des tubes et inversement. Cela signifie une adaptation de la répartition des débits dans chaque passe pour assurer des températures en sortie passes identiques. Veiller à ne pas trop déséquilibrer les passes en débits et température. Appliquer les consignes spécifiques à l'équipement concerné.

III.7 Retour d'expérience sur des accidents de four :

III.7.1 Accident type feu :

Sachant que la plupart des accidents dans les fours industriels sont de type feu donc nous avons pris comme exemple :

22/07/2016 - FRANCE - 95 - NUCOURT

C13.96 - Fabrication d'autres textiles techniques et industriels

Dans une usine d'enduction textile, vers 3 h, un employé constate un départ de feu dans le foyer d'une chaudière à tubes de fumées. Cette chaudière au gaz naturel, permet de porter le fluide caloporteur des fours à enduction à 240 °C. Il arrête la chaudière, coupe l'alimentation en gaz, fait stopper la production et tente sans succès d'éteindre les flammes. Les pompiers éteignent l'incendie vers 4 h après avoir obstrué la cheminée d'évacuation des fumées en toiture et injecté du CO₂ au niveau du foyer. Sous contrôle des pompiers, la température du circuit d'huile est abaissée de 240 °C à 80 °C. Puis la chaudière est isolée du réseau, le circuit purgé et l'évent fermé. L'intérieur de la chaudière est nettoyé. Le lendemain, un soudeur répare la fuite sur le réseau d'huile en posant des bouchons au départ et en sortie de tube. Puis le circuit est remis en huile pour vérifier l'étanchéité. La production reprend le lendemain. L'incident a généré 10 l de déchets liquides (eau de nettoyage de la chaudière) et des fumées de combustion de l'huile thermique. L'apparition d'une fissure sur un des tubes de la chaudière est à l'origine de l'incendie en provoquant, à l'intérieur du foyer, un épanchement d'huile qui s'est enflammé. Cette anomalie a été détectée lors d'un arrêt par régulation lorsque la chaudière a voulu redémarrer (sécurité de détection de flamme). La chaudière s'est alors mise en sécurité. Chaque année, les chaudières sont ouvertes et inspectées au mois d'août. Cette opération aura lieu comme d'habitude, soit une semaine après la réparation.

Cet Accident est causé par une défaillance matériel dans la chaudière à tube de fumé et qui a par conséquence généré des dommages matériels et de pollution dans l'environnement.

III.7.2 Accident type explosion :

23/02/2012 - FRANCE - 36 - ISSOUDUN

C25.94 - Fabrication de vis et de boulons

Une explosion se produit vers 9h15 au niveau de l'un des 2 extracteurs de fumée d'un four de traitement thermique de pièces métalliques (trempe à l'huile) dans un bâtiment de 1 000

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

m² d'une visserie ; 1 des 18 salariés de l'atelier légèrement intoxiqué est soigné par le service médical des secours. Les pompiers effectuent des mesures d'explosimétrie qui ne révèlent pas d'anomalie. Le four est isolé électriquement à l'issue de son refroidissement. La gendarmerie ainsi que les services du gaz et de l'électricité se sont rendus sur place. L'explosion aurait pour origine l'accumulation de gaz chauds suite à l'arrêt du ventilateur d'extraction des gaz pour une raison encore inconnue. Les investigations de l'exploitant n'ont pas permis de mettre en évidence un dysfonctionnement matériel ou organisationnel de cet équipement. L'exploitant a toutefois fait le choix de remplacer l'ensemble moteur/turbine. Deux coudes ont été supprimés sur le réseau d'évacuation des fumées pour permettre un meilleur écoulement de flux. Par ailleurs, la fréquence de nettoyage des filtres a été augmentée.

Cet accident dont on ignore la vraie cause du début de l'enchaînement des événements qui a commencé au niveau du four thermique et a causé des dommages humaine

III.7.3 Accident type incendie :

18/12/2007 - FRANCE - 80 - AMIENS

C29.32 - Fabrication d'autres équipements automobiles

Un feu d'huile de trempe se déclare à 8 h au niveau de la porte d'enfournement d'un four du secteur traitement thermique frictions dans une usine de fabrication d'embrayages et de transmissions hydrauliques pour véhicules. L'incendie se propage sur une partie des parois et dans les gaines d'évacuation des fumées en toiture. Un opérateur donne l'alerte et conformément à la consigne de sécurité interrompt l'alimentation du four en propane, méthanol et ammoniac avec un jeu de vannes ¼ de tour. Les secours publics sont alertés et l'établissement est mis en sécurité ; 400 employés sont évacués vers un point de regroupement du site puis vers le restaurant d'entreprise. L'équipe interne de seconde intervention maîtrise le sinistre en 15 min avec des extincteurs à poudre (portatifs et 1 de 50 kg sur roues). A leur arrivée, les secours publics s'assurent de la maîtrise de la situation avant de quitter les lieux vers 11h30 ; l'extinction par erreur de la torchère de neutralisation des gaz émis à l'évent du four, nécessitera néanmoins la mise en place d'un ventilateur mobile pour éviter tout risque d'explosion ainsi qu'une surveillance de la teneur en gaz explosible. L'inspection des installations classées est informée par les pompiers de l'accident et effectue une enquête. Aucun blessé n'est à déplorer mais le four est fortement endommagé (hotte, réfractaire...). L'alarme sonore reliée aux capteurs de température de l'huile de trempe et des gaz ne semble pas avoir fonctionné, l'opérateur ayant donné l'alerte après avoir vu les flammes. L'exploitant doit faire réaliser un diagnostic du four par le constructeur, renforcer les consignes d'intervention en cas de sinistre et communiquer à l'inspection un rapport précisant notamment les circonstances et causes de l'accident.

Chapitre III : Retour d'expérience sur les incidents des fours

L'activité de

l'usine est interrompue pendant 2h30 ; le four voisin du four sinistré, de même type, n'est remis en service que 24 h plus tard après une révision du matériel.

Cet accident est causé par une défaillance matériel au niveau du four du secteur du traitement thermique et a causé pas mal de dommage matériel.

III.7.4 Les accidents locaux :

Et en Algérie aussi nous avons connu quelques accidents dans l'industrie au niveau des fours comme :

L'Explosion du four 100-F1 , 03-janvier 2013 raffinerie de Skikda :

Peu de temps avant l'accident, le four de l'unité 100-F1 de l'unité de raffinage du pétrole brut a fait l'objet d'une rénovation par Samsung dans le cadre du projet de réhabilitation et d'extension des capacités de raffinage.

En raison du manque d'effectifs, les quaristes (le personnel du service quart) ont été retenus par le chef de production et ont doublé leurs quarts 3 journées consécutives avant l'accident, ils étaient donc à bout de force, et l'accident survenu dans la nuit du 3 Janvier 2013, quant à 21h la direction de la raffinerie de Skikda RA1/K a décidé d'augmenter le débit d'entrée du combustible.

Par surplus de pression et chaleur, la tuyauterie transportant le brut à l'intérieur du four s'est fragmentée et des vapeurs d'hydrocarbures s'échappent à l'intérieur du four, conséquences, à 21h45 explosion du four 100-F1 des flammes à plus de 20 mètres et d'épaisses couches de fumées s'élevaient de loin sur la raffinerie de Skikda.

L'explosion a carrément détruit le four 100-F1, touchant ainsi le réacteur, un autre four, des ballons, des équipements et installations sophistiquées d'instruments de mesure installés récemment par Samsung. Au titre de ces dégâts 3 hommes ont été blessés.

Par conséquent l'unité complète devant produire des carburants et des matières premières avait été soumise à l'arrêt, quelques minutes plus tard se fut l'arrêt de la production, en effet les autres unités l'ont suivi et ont été arrêtées par manque de charge, conséquences ruineuses sur le plan économique de l'entreprise et sur le marché national des hydrocarbures.



Figure III.3 Explosion du four 100-F1, 3 Janvier 2013

Chapitre IV

Application De la méthode Hazop Sur le Four rebouilleur h-101 De module 3 de hassi R'mel

Le but de ce chapitre est de procéder à une analyse des risques par la méthode Hazop pour qu'on puisse déterminer les différentes déviations possibles et les causes principales de défaillance qui peuvent conduire à des accidents graves dans l'installation du four Rebouilleur h-101.

Nous allons commencer par donner une vision générale sur le site de hassi R'mel et puis une description détaillée du four Rebouilleur h-101, en montrant tous les équipements et les sous-système et les équipements et les composants dans les deux phases (de fonctionnement et la phase d'arrêt d'urgence). Puis on va appliquer la méthode déductive d'analyse des risques industriels hazop afin de définir les déviations possibles.

Malheureusement nous n'avons pas eu suffisamment d'informations pour faire avoir une grande précision sur l'équipement pour faire l'arbre de défaillance du système parce que la situation sanitaire dans notre pays nous a empêché de se déplacer sur site et de communiquer avec les employés sur sites à cause du Covid -19.

IV.1 Situation géographique de *HASSI R'MEL* :

Le gisement de Hassi R'mel est situé à 600 km au sud de Tlemcen, entre les wilayas de Ghardaïa et Laghouat, dans cette région relativement plate du Sahara l'altitude moyenne est d'environ de 750 m au-dessus du niveau de la mer. Le climat est caractérisé par une pluviométrie faible (140 mm/an) et une humidité moyenne de 19% en été et 34% en hiver.

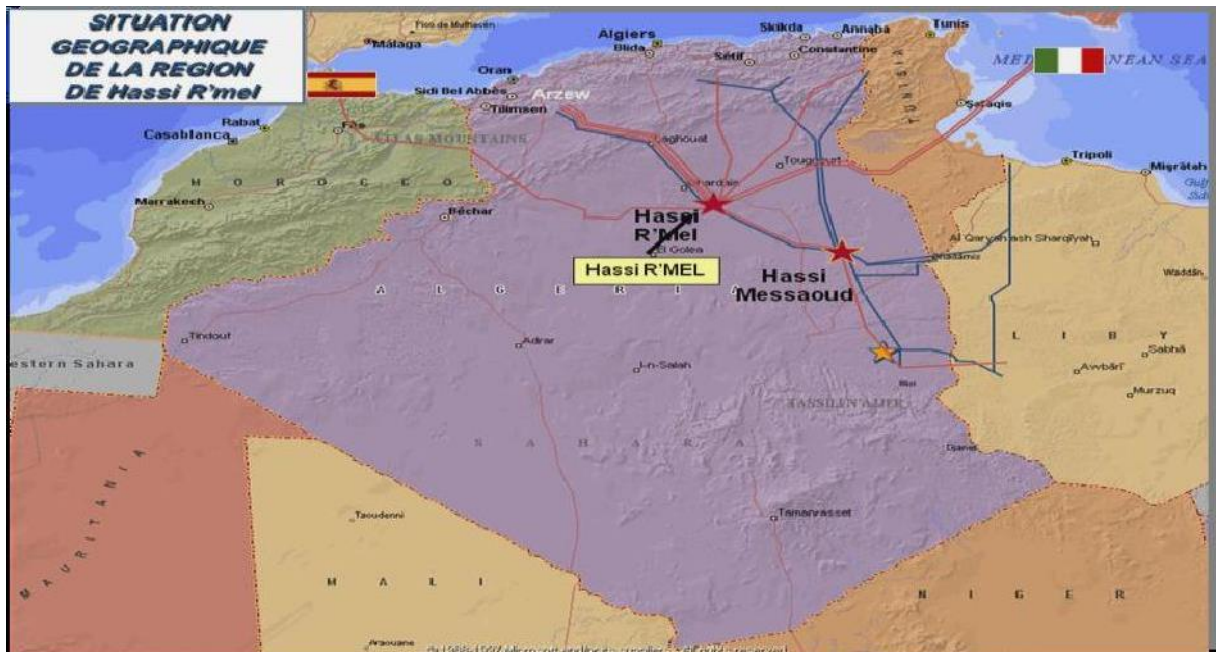


Figure IV.1 : Situation géographique du site de Hassi R'mel. ^[1]

Le gisement de Hassi R'mel est l'un des plus grands gisements de gaz à l'échelle mondiale. Il a une forme d'ellipse s'étale sur plus de 3500 km², 70 km du nord au sud et 50 km d'est en ouest, il se situe à une profondeur de 2200 m, la capacité du gisement est de l'ordre de 3000 milliards mètre cubes récupérables.

IV.2 Historique du champ de HASSI R'MEL :

En s'intéressa à la région depuis 1951, le forage du premier puit d'exploitation a eu lieu en 1952 à quelques kilomètres de Berriane. Dans le champ de Hassi R'mel, le premier puit HR1 a été foré en 1956 sous le sommet de l'anticlinal que constitue le gisement de Hassi R'mel, ce puits a mis en évidence la présence du gaz riche en condensât dans le trias gréseux à une pression de 310 atmosphères et 90°C. La profondeur atteinte est de 2332 m, qui révéla la présence d'un réservoir de gaz humide. De 1957 à 1960 furent forés 8 puits (HR2, HR3, HR4, HR5, HR6, HR7, HR8 et HR9) qui ont mis à jour l'existence de trois réservoirs. Le champ de Hassi R'mel est une vaste étendue plus de 3500 km² (70 km de long sur 50 km de large), les réserves trouvées en place sont évaluées à plus de 2800 milliards m³.

IV.3 Développement du champ de HASSI R'MEL :

Le développement de Hassi-R 'mel s'est trouvé étroitement lié au développement de l'industrie du gaz dans le monde et les importantes réserves recelées par ce gisement, plus de 2000 milliards de m³ ont constitué un atout important pour lancer une politique d'industrie gazière de grande envergure pour le pays. Trois étapes importantes ont marqué le développement du champ de Hassi-R 'mel :

IV.3.1 Première étape :

1961 : Réalisation d'une petite unité de traitement de gaz de 1,3 milliards de m³ par an, cette réalisation a coïncidé avec la construction de la première usine de liquéfaction de gaz en 1964. 1969 : Cette capacité est portée à 4 milliards de m³ par an.

IV.3.2 Deuxième étape :

La capacité de traitement du champ de Hassi-R 'mel atteint, après la nationalisation des hydrocarbures en 1971, 14 milliards de m³ par an.

IV.3.3 Troisième étape :

Cette période a permis de concrétiser un plan de développement qui concerne l'ensemble du champ en mesure de répondre aux besoins énergétiques du pays ainsi qu'aux besoins de nos partenaires. Ce plan a permis également de doter Hassi R'mel d'un modèle d'exploitation en mesure d'optimiser la récupération de différents produits.

IV.4 Les installations gazières à Hassi R'Mel :

Le plan d'ensemble des installations gazières implantées sur le champ de Hassi R'Mel est élaboré de façon à avoir une exploitation rationnelle du gisement et pouvoir récupérer le maximum de liquide. Les cinq modules de traitement de gaz (0, 1, 2, 3, et 4) sont disposés

Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur H-101

d'une manière alternée par rapport aux deux stations de compression (station nord et sud), pour la raison d'un meilleur balayage du gisement.



Figure IV.2 : Répartition des différentes installations sur le champ de Hassi R'Mel.

III.4.1 la mise en œuvre des installation :

Zone nord	Zone centre	Zone sud
<ul style="list-style-type: none"> • Module de traitement de gaz brut (Module 3) • Station de déshuilage • Station de Réinjection Nord (SC-Nord) • Centres de traitement d'huile (CTH2, CTH4) • Centre de stockage et de prélèvement butane (NAFTAL) • Centrale électrique (SONELGAZ) 	<ul style="list-style-type: none"> • Modules de traitement de gaz brut (MPP0, MPP1 et MPP4) • Station de Boosting gaz Centre (SBC) • Centre de stockage et transfert du GPL et condensat (CSTF) • Communs (Phase B de MPP0 et MPP1) • Station de compression des gaz associés (SRGA) • Centres de traitement d'huile CTH1-CTH3 • Centre national de dispatching de gaz (CNDG) • Station de compression de gaz GR1/GR2 • Station de compression de gaz (GR3) • Station de pompage (SP4) • Centre de stockage et de prélèvement butane et propane (NAFTAL) • Centrale électrique (SONELGAZ) • Station d'épuration (STEP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Modules Traitement de gaz brut (MPP2, DJB et HRSUD) • Station de réinjection gaz HP (SC-Sud) • Unité de traitement d'huile CTH-Sud) • Station de déshuilage

	• Station de déshuilage	
--	-------------------------	--

Tableau IV.1 : Représentation des différents installations Des champs de Hassi R'mel.

- Avril 1999 : Démarrage de la Station de récupération des gaz associés (SRGA) d'une capacité de 1,4 milliards m³/ an.
- Janvier 2000 : Démarrage du centre de traitement de gaz CTG/HR-Sud d'une capacité de 2,4 milliards m³/ an.
- 2003 : Réalisation du projet Boosting qui est sensé d'augmenter la pression d'entrée des modules dans le but est de maximiser la récupération des liquides.
- Actuellement la capacité totale de traitement est de 98 milliards m³/an.

III.5 Module 3 (MPP3) :

III.5.1 Présentation du Module 03:

Le module 3 à été construit par contrat signé entre la société nationale Sonatrach et la société Japonaise "JGC Corporation"; cette dernière assura l'étude et la réalisation de cette usine (MPP3) dont le démarrage eut lieu le 26/10/1980, date de début de l'exploitation officielle par JGC.

Ce module est situé dans le secteur Nord et alimente en gaz naturel brut, provenant des puits situé au Nord de Hassi R'Mel (55 puits) réunis par l'intermédiaire de 10 collecteurs gaz (N1 à N8). Etant donné la chute de pression observée au niveau du gisement Nord, les exploitants ont eu recours à l'alimentation de celui-ci au moyen de deux (02) collecteurs W8 et E6 provenant du secteur Centre.



Figure IV.3: *Module 3 du champ de Hassi R'Mel*

III.5.2 Organisation du MMP3 :

III.5.2.1 Service Exploitation :

Ce module se situe dans le secteur Nord et il est alimenté en gaz naturel par dix (10) collecteurs. Sa capacité de production de gaz sec est de 60 millions Sm³/jour.

Il est constitué de 3 trains (A, B et C) et possède une sphère pour le stockage de GPL et deux bacs pour le condensat.

Une unité de production de butane et de propane permet au MMP3 d'approvisionner l'entreprise Naftal en butane.

Comme pour les autres modules, le gaz sec produit au niveau du MMP3 est expédié vers la station de réinjection.

Les liquides (condensat et GPL) ON-SPEC (c'est-à-dire conformes aux spécifications) sont envoyés au CSTF, mais les liquides OFF-SPEC (hors normes) sont stockés pendant une période suffisante pour leur décantation et leur dégazage, suivie d'une opération de drainage avant d'être retournés aux trains pour subir un retraitement. Lorsque le CSTF ne peut pas recevoir la production du module en GPL et condensat, ces produits sont alors stockés dans

les unités de stockage du module, pour une durée qui ne doit pas dépasser néanmoins 24h. C'est le service principal qui assure le bon fonctionnement des opérations 24h/ 24h.

III.5.2.2 Service Maintenance :

Il comprend les sections suivantes :

- Section Electricité ;
- Section Instrumentation
- Section Mécanique

III.5.2.3 Service Sécurité :

C'est le service qui assure la sécurité du personnel et des équipements du module (prévention et intervention).

III.5.3 Les Unités du MPP3 :

Le module 3 comprend les unités suivantes :

- SBN (Station Boosting Nord) : elle sert à comprimer le gaz brut provenant des 10 collecteurs devant alimenter le module 3.
- Unité 30 : dont la fonction est la recompression du gaz moyenne pression, le dégazage, le stockage et l'expédition du GPL et du condensat.
- Unités 31, 32 et 33 : il s'agit de 3 trains identiques qui assurent le traitement du gaz et dont la capacité unitaire de traitement est de $20.10^6 \text{ m}^3/\text{jour}$.
- Unité 34 : chargée de la préparation, du stockage et de l'injection de la solution de glycol "MEG" (mono éthylène glycol).
- Unités 35 et 36 : ces deux sections identiques réalisent la régénération du "MEG".
- Unité 37:elle sert à produire l'air comprimé (air instrument et air service), l'eau potable, l'eau de service, l'eau de refroidissement, l'eau anti-incendie ainsi que l'électricité au moyen d'un turbogénérateur (K403) et du gaz inerte (N_2). Notons que deux (02) lignes d'électricité fournies par Sonelgaz, arrivent au niveau de la section 30.
- Unité 38 : conçue pour le traitement du GPL afin de produire du butane et du propane commerciaux avec une capacité nominale de 400 T/ jour de GPL traité.

III.5.4 Traitement du gaz brut au MPP3 :

Le module 3 est une usine de traitement de gaz constituée de trois trains (A, B et C) fonctionnant en parallèle et suivant le même procédé. Chacun des trains assure la production des produits suivants : le condensat, le GPL et le gaz sec.

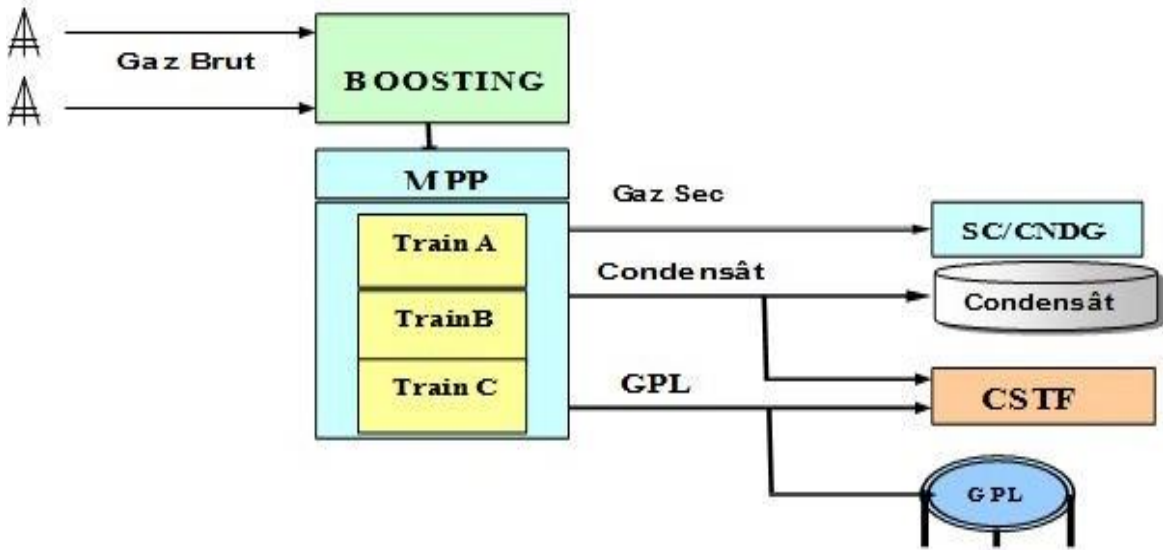


Figure IV.4: Schéma descriptif du module 3.

III.5.4.1 Description détaillée du procédé de traitement du gaz du module 03 :

Le gaz brut venant de la section boosting arrive au diffuseur D001 à une pression d'environ de 118 bars et une température de 60 °C, puis il est réparti sur trois trains identiques ayant la même capacité unitaire, soit 20 millions de Sm³/ jour.

Après le diffuseur, le gaz brut est refroidi dans l'aéroréfrigérant E101 jusqu'à 40 °C. Le gaz refroidi passe dans le séparateur d'admission D101 où le gaz se sépare de son eau et des hydrocarbures liquides associés, l'eau étant ensuite dirigée vers les bassins d'évaporation.

Le gaz en provenance du D101 passe à travers les échangeurs de chaleur gaz /gaz E102 et E103 où il est refroidi jusqu'à -6 °C. Le gaz passe ensuite par la vanne VJT où il subit une première détente isentropique jusqu'à 100 bars à une température de -15 °C avant d'arriver au séparateur haute pression D102.

Pour éviter la formation d'hydrates qui risquent de boucher les échangeurs, on injecte la solution de MEG au niveau des échangeurs E102 et E103.

Dans le ballon D102, on sépare à nouveau le gaz, la solution MEG et le condensat liquide. Ayant absorbé l'eau, la solution de MEG est envoyée sous pression vers la section de régénération du glycol.

Le gaz venant du D102 subit ensuite une détente isentropique dans le turbo-expander K101 qui a pour fonction de récupérer l'énergie produite lorsqu'un gaz à haute pression passe à travers la turbine pour réduire sa pression jusqu'à 65 kg/ cm² et une température de -35 °C avant de passer par le séparateur à froid D103.

Le gaz refroidi du D103 passe par l'échangeur gaz/gaz E102 du côté calandre pour refroidir le gaz brut, et se réchauffer lui même par la même occasion jusqu'à une température de 43 °C ; il est ensuite comprimé à 74 bars au niveau du compresseur K101 puis dirigé vers le gazoduc de commercialisation.

Le liquide provenant du séparateur d'admission D101 est détendu au niveau du D105 à 32 bars et 32 °C. Après préchauffage dans l'échangeur d'alimentation du déséthaniseur E104, le liquide alimente la partie inférieure du déséthaniseur C101 comme alimentation chaude ; les liquides provenant du D102 et D103 sont réunis dans le séparateur à basse pression D104 dont l'effluent passe par un échangeur de reflux du déséthaniseur E106 avant d'alimenter le déséthaniseur au niveau du 3^{ème} plateau (alimentation froide).

Les gaz de tête de la C101 sont partiellement condensés dans le E106 ; la partie condensée est renvoyée en tête de la C101 comme reflux. Le chauffage du liquide se trouvant dans la partie inférieure de la C101 est réalisé au niveau du rebouilleur H101. La colonne C101 alimente le débutaniseur C102 par une charge constituée de GPL et de condensat. Une partie du GPL récupéré est utilisée comme reflux et l'autre partie est envoyée vers le CSTF.

Le condensat passe par l'échangeur E104 avant d'être envoyé vers le système de dégazage à travers le refroidisseur du condensat E107 puis expédié vers le CSTF

IV.6 Description du Four Rebouilleur H-101 du module MMP3 :

IV.6.1 Rôle du four H-101 :

Le condensât du fond de la colonne C-101, est envoyé au moyen des pompes P- 101A/B, au four rebouilleur H-101 à 150°C pour réchauffage, puis le fluide sortant du rebouilleur chauffé à 180 °C, est renvoyé à la colonne comme reflux chaud afin d'extraire les gaz légers (gaz de vente).

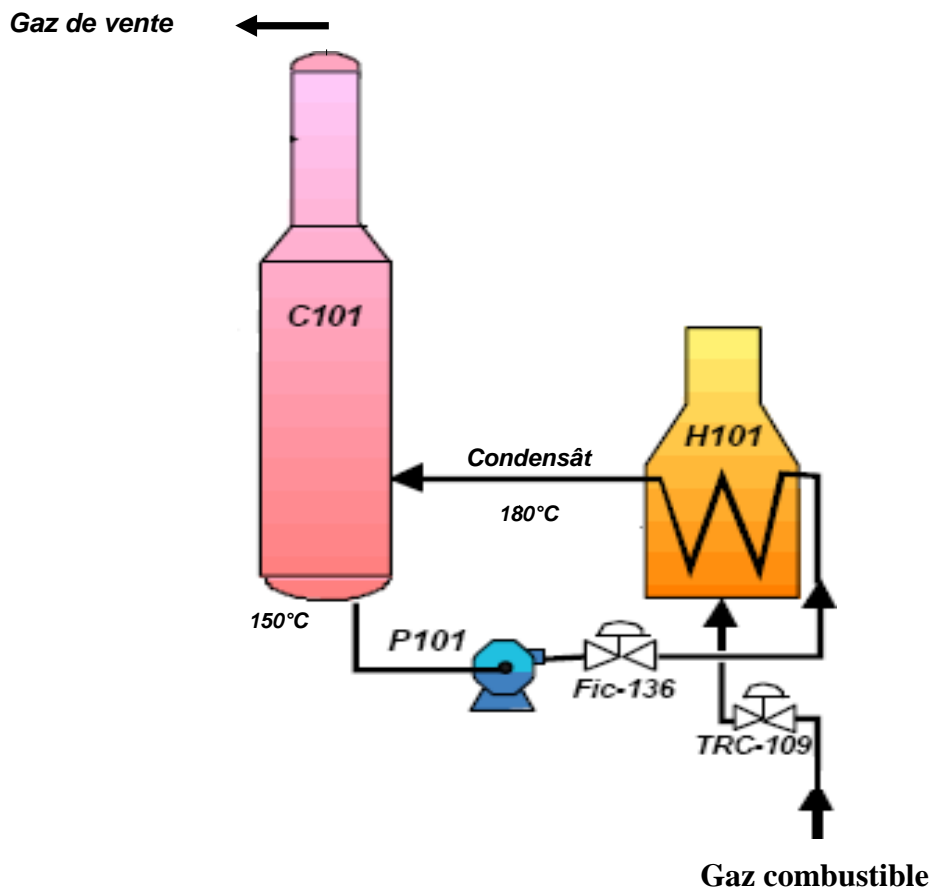


Figure IV.5 - Schéma de process

IV.6.2 Constitution du four H-101 :

Le four H-101 comprend :

- Une zone de radiation (rayonnement) constituant la chambre de combustion, garnie intérieurement de matériau réfractaire isolant, dans laquelle des tubes sont exposés à la flamme et reçoivent la chaleur principalement par radiation des produits de combustion.
- Une zone de convection, éventuellement garnie, installée à la sortie des fumées de la chambre de combustion. Elle est constituée d'un faisceau de tubes placés perpendiculairement la direction des fumées. Le rendement d'un four muni d'une zone de convection est supérieur à celui d'un four ne comportant qu'une zone de radiation.
- Un faisceau tubulaire en zone de radiation et éventuellement en zone de convection.
- Deux cheminées.
- Des accessoires tels que les portes d'accès, les portes d'explosion, les regards, les thermocouples et les connexions diverses nécessaires à la bonne marche du four.

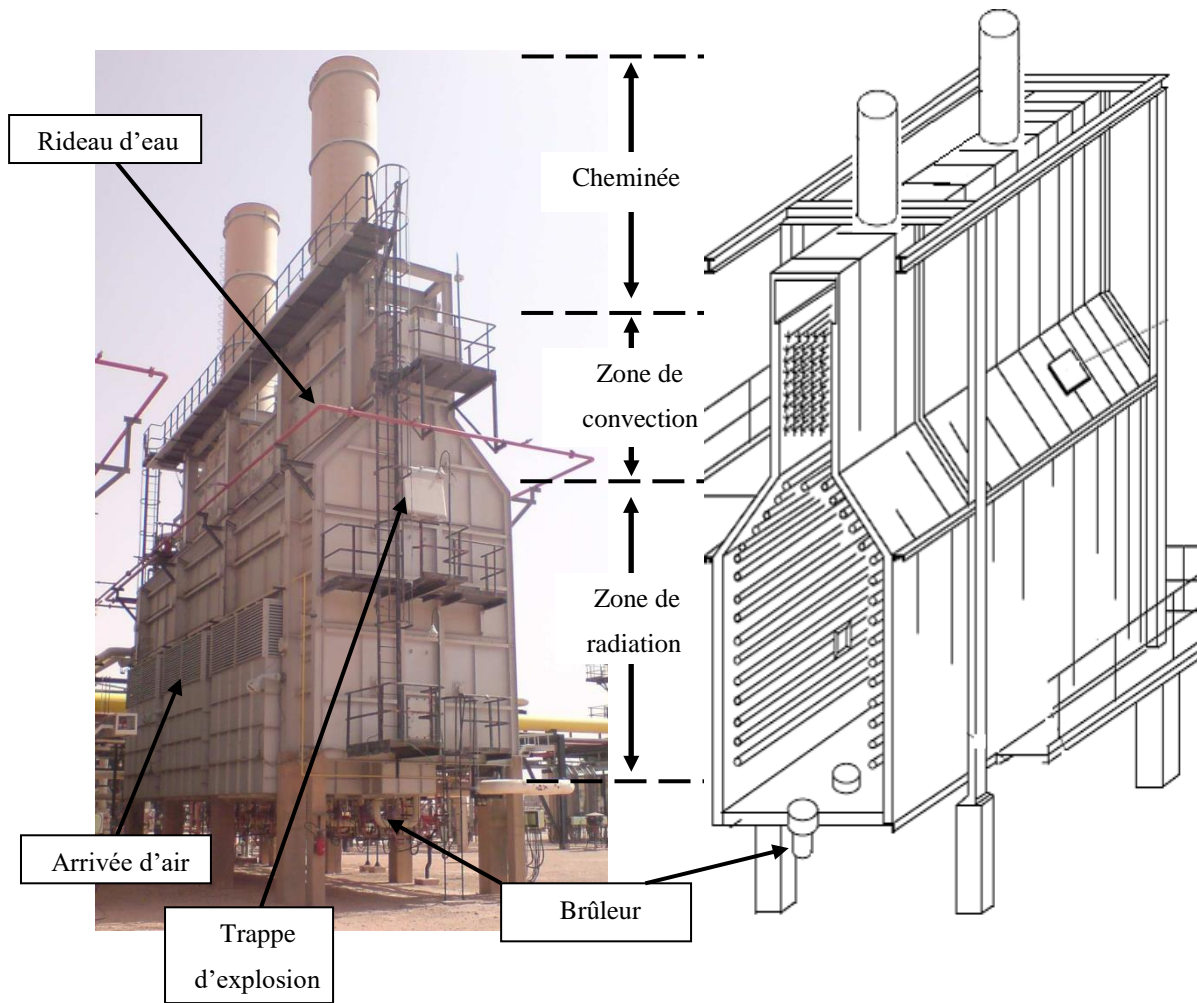


Figure IV.6 les différents partie Du Four Rebouilleur h101 .

IV.6.3 Décomposition structurelle, fonctionnelle et temporelle du four rebouilleur H- 101 :

De façon à pouvoir conduire l'étude de SdF, la décomposition adéquate du système doit permettre de définir clairement les constituants du système et leurs fonctions Cette décomposition sera consacrée à définir la structure de notre système étudié en précisant les fonctions des différents constituants (sous-systèmes, équipements et composants) de système global (four H-101), en prenant en considération son aspect temporel (phase de fonctionnement, phase d'arrêt d'urgence).

IV.6.3.1 Phase De Fonctionnement :

IV.6.3.1.1 Les Sous-systèmes :

IV.6.3.1.1 Sous Système 1 :

Circuit d'alimentation [Alimentation du four rebouilleur] :

IV.6.3.1.1.1 Equipement (Fonction intermédiaire) du sous-système 1 :

E11 : circuit du fuel gaz (assure l'alimentation du four)

Composant de E11 :

- C111 : Vanne TRCA-109V [Régulation du débit de combustible en fonction de la température du condensât].
- C112 : 10 Pilotes [Garantir une flamme continue pour l'amorçage du gaz]
- C113 : 10 Brûleurs [Assure le mélange air/combustible en vue d'obtenir une combustion complète]
- C114 : Vanne PCV-128 [Régulation du débit de combustible pour les pilotes]

E12 circuit liquide [Assure l'alimentation en liquide du fond de la colonne] :

Composant d'E12 :

- C121 : Vanne FICA-136V [Régulation du débit du condensât].
- C122 : Serpentin (faisceau tubulaire) [Assure la circulation et l'échauffement du liquide].

IV.6.3.1.2 Sous-système 2 :

C'est le sous-système de tirage assure l'arrivée et la circulation d'air.

IV.6.3.1.2.1 Les équipements dans le SS2 :

E21 : Registre d'arrivée [Assure l'introduction et le préchauffage d'air].

E22 : Registre de tirage [Créer une dépression dans la cheminée par la montée des gaz chauds fait appel d'air en amont du brûleur]

E23 : Cheminée [Évacuation des fumées].

IV.6.3.1.3 Sous-système 3 :

Sous-système de contrôle [contrôle les paramètres du procédé].

IV.6.3.1.3.1 les équipements de SS3 :

E31 : Équipement de contrôle (débit du condensât) [Contrôle le débit du condensât à l'entrée du four]

Composant d'E31 :

- C311 : DCS³ (boucle de débit du condensât) [Adaptation du débit de condensât par action sur la vanne FICAL-136V] [Alerter l'opérateur quand le débit est insuffisant (≤ 150 t/h)].
- C312 : Débitmètre FICAL-136 [Mesure le débit du condensât à l'entrée du four].
- C313 : Indicateurs de débit FI [Mesure de débit du liquide dans le pass].

Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur H-101

E32 : Équipement de contrôle de dépression [Contrôle la dépression à l'intérieur du four] :

Le composant de E32 :

- C321 : DCS (boucle de dépression) [Adaptation de la dépression par action sur la vanne HC-908] [Alerter l'opérateur quand la dépression diminue (≥ 10 mmH₂O)]
- C322 : Vanne HXC-908 [Régulation de la dépression à l'intérieur du four par action sur le registre de tirage.]
- C323 : Indicateur de dépression PIAH-904 [Mesure la dépression à l'intérieur du four]

E33 : Équipement de contrôle de température [Contrôle la température du four]

Les composants de E33 :

- C331 : DCS (boucles de température) [Adaptation de la température de condensât par action sur la vanne TRCAH-109 V] [Alerter l'opérateur quand la température augmente ($\geq 295^{\circ}\text{C}$)]
- C332 : Thermocouple TRCAH-109 [Mesure la température du liquide à la sortie du four]
- C333 : Thermocouple TRAH-121 [Mesure la température à la sortie du serpentin]
- C334 : Indicateurs de température TI [Mesure de température]

E34 : Équipement de contrôle (débit du gaz combustible) [Contrôle le débit du gaz à l'entrée du four]

- C341 : DCS (boucle de débit du gaz) [Alerter l'opérateur quand le débit du gaz diminue (≤ 1250 Nm³/h)]
- C342 : Débitmètre FRAL-142 [Mesure le débit du gaz combustible à l'entrée du four]

E35 : Équipement de contrôle (haute pression du gaz combustible) [Contrôle la pression du gaz à l'entrée du four]

Composant de E 35 :

- C351 : DCS (boule de haute pression du gaz combustible) [Alerter l'opérateur quand la pression du gaz augmente ($\geq 1,5$ Kg/cm²)]
- C352 : Switch de pression PAH-126 [Mesure la pression du fuel gaz]

E36 : Équipement de contrôle (basse pression du gaz combustible) [Contrôle la pression du gaz à l'entrée du four.]

Composant de E36 :

- C361 : DCS (boule de basse pression du gaz combustible) [Alerter l'opérateur quand la pression du gaz diminue ($\leq 0,4$ Kg/cm²)]
- C362 : Switch de pression PAL-126 [Mesure la pression du fuel gaz]
- SS4 : Trappe d'explosion [s'ouvre en cas de montée en pression dans la chambre de combustion]

IV.6.3.1.4 Sous-système 4 :

Sous-système de trappe d'explosion [s'ouvre en cas de montée de pression dans la chambre de combustion] :

IV.6.3.2 Phase d'arrêt d'urgence :

IV.6.3.2.1 Sous-système 5 :

Sous-système de prévention [Assure la sécurité du procédé]

IV.6.3.2.1.1 Les équipements de sous-système 5 :

E51 : Equipement d'arrêt d'urgence qui a pour but de :

- [Déclencher le four quand le débit du condensat est insuffisant (≤ 120 t/h)]
- [Déclencher le four quand la pression du gaz augmente ($\geq 1,9$ Kg/cm²)]
- [Déclencher le four quand la pression du gaz diminue ($\leq 0,4$ Kg/cm²)]
- [Déclencher le four quand la température des fumées augmente ($\geq 600^{\circ}\text{C}$)]
- [Déclencher le four quand la du condensat température augmente ($\geq 300^{\circ}\text{C}$)].

Les Composant D'E51 :

- C511 : Plc (Programmable Logic Controller) [Assurer Les Missions De Mise En Securite Du Four Par Action Sur Les Vannes Uzv 125 A, B Et C]
- C512 : Debitmetre Fzal-137 [Mesure Le Debit Du Condensat A L'entree Du Four]
- C513 : Switch De Pression Pzah- 127 [Mesure La Pression Du Gaz Combustible]
- C514 : Switch De Pression Pzal- 127 [Mesure La Pression Du Gaz Combustible]
- C515 : Thermocouple Tzah- 110/111 [Mesure La Temperature Des Fumees]
- C516 : Thermocouple Tzah-108 [Mesure La Temperature A La Sortie Du Four]
- C517 : Vannes Uzv 125 A/B [Isolement De La Ligne De Gaz Combustible]
- C518 : Vanne Uzv 125 C [L'ouverture Pour Decomprimer La Quantite De Gaz Qui Reste Entre Les Deux Vannes Uzv 125 A Et B Vers Atmosphere]

IV.6.3.2.2 Sous Système 6 :

Sous-système de protection [Maitriser le feu] :

IV.6.3.2.2.1 Les équipements de SS6 :

E61 : Equipement de rideau d'eau [Réduire le rayonnement thermique de l'incendie aux zones adjacentes] .

Les Composants de E61 :

- C611 : Vanne XC-901V [S'ouvre pour alimenter la couronne en eau]
- C612 : Couronne de refroidissement [Assurer la protection a l'eau pulvérisée pour le

Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur H-101

four, (cree des gouttes de brouillard en s'évaporant éliminent la chaleur)]

E62 : Equipement d'injection de N2 [Fournir de l'azote pour l'étouffement et la maitrise du feu].

- C621 : Ballon D-450A/B [Stockage de N2 sous pression].
- C622 : Vanne HXC-911V [S'ouvre pour fournir l'azote].

E63 : Equipement de Vide vite :(02 Vannes manuelles) [Vider le condensat de serpentins vers borbier pour minimiser les dégâts en cas d'incendie].

Cette description du fonctionnement et la connaissance des différents systèmes et équipements que contient le four rebouilleur H-101 est une étape très importante dans l'analyse des risques liés à l'exploitation de ce four comme les risques d'explosion et d'incendie.

Ça nous a permis de mieux comprendre le schéma d'instrumentation du système du four et élaborer l'étude hazop pour bien définir les risques et le scénario qui peuvent se produire .

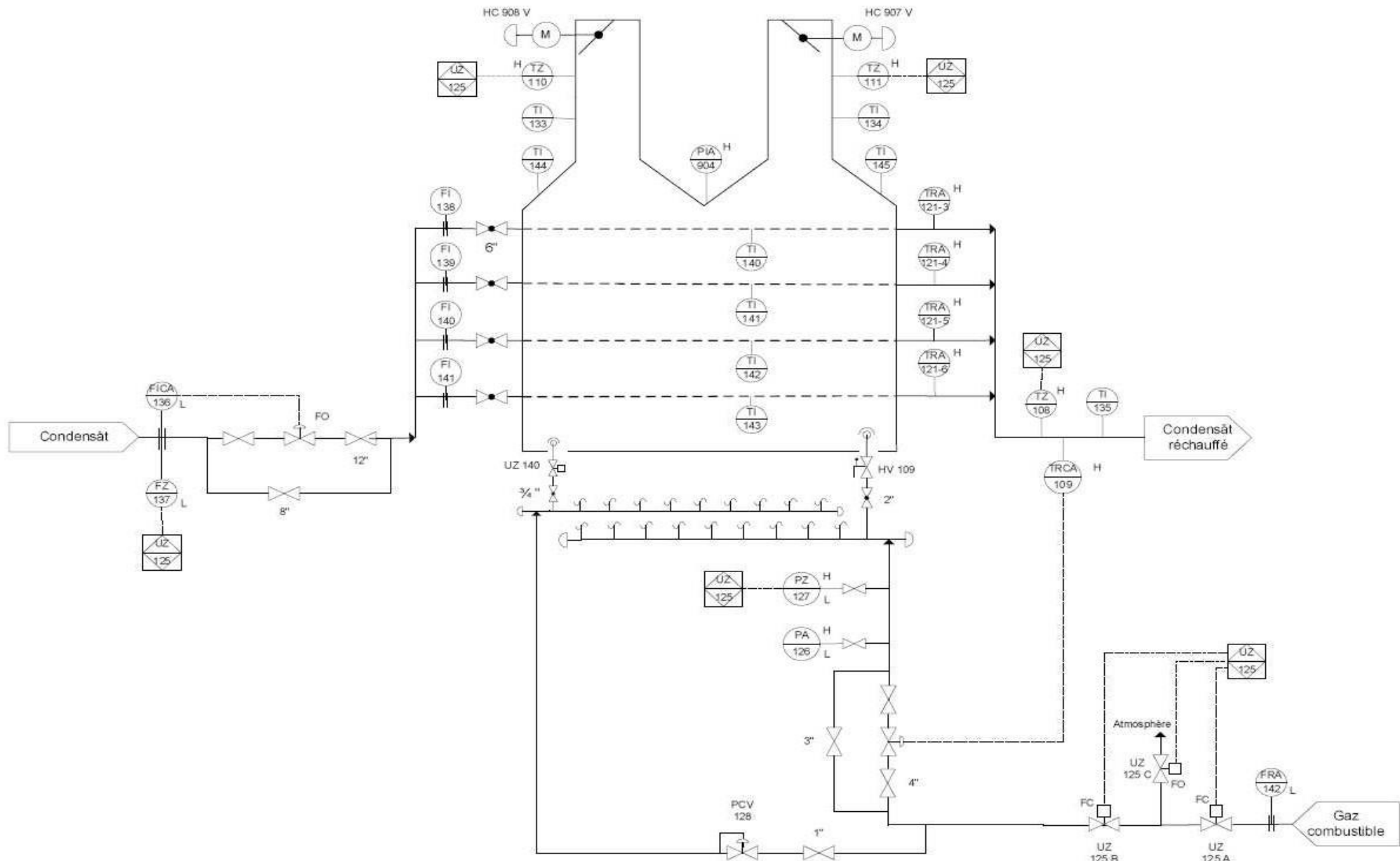


Figure IV.7 Diagramme Du Canalisation et d'instrumentation

Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur H-101

IV.7 Application De La Méthode Hazop sur le four rebouilleur H-101 :

Tableau IV.3 Feuille de programmation HAZOP

TITRE DE L'ÉTUDE : Four Rebouilleur H-101									
PARTIE CONSIDÉRÉE : Serpentin du four depuis l'admission du condensât (avant la mesure du débit), jusqu'à la sortie (après contrôle de la température)				INTENTION DE CONCEPTION :		Entrées :		Alimentation en condensât, chaleur du four	
						Activités :		Vaporisation partielle, surchauffe et transfert du condensât au processus	
N	Mot-guide	Elements	Deviation	Causes possible	Consequences	Protections	Commentaires	Mesures à prendre	Responsable des mesures
1	NE PAS FAIRE/MOINS	Débit de condensate	Pas/ Moins de débit	Mauvaise manipulation sur la vanne manuelle à l'entrée/sortie de la vanne FICA-136V (fermée)	Pas du liquide dans H-101, endommagement de serpentin (incendie) & arrêt d'unité (possible arrêt module)	<ul style="list-style-type: none"> - Opérateurs - FICAL-136 : alarme (≤ 150 t/h) - FZL-137 : (≤ 120 t/h) arrêt d'urgence de H-101 			
				Mauvais fonctionnement de la vanne FICA-136V (fermée)	Pas du liquide dans H-101, endommagement de serpentin (incendie) & arrêt d'unité (possible arrêt module)	<ul style="list-style-type: none"> - FICAL-136 : alarme (≤ 150 t/h) - FZL-137 : (≤ 120 t/h) arrêt d'urgence de H-101 			
				Mauvaise manipulation sur l'une des vannes manuelles à l'entrée de H-101 (fermée)	Pas de débit dans l'un des pass du H-101, température élevée, endommagement de serpentin (incendie) & arrêt d'unité (possible arrêt module)	<ul style="list-style-type: none"> - FI-138 : indication - TRAH-121-3: alarme ($\geq 295^\circ\text{C}$) - FICAL-136 : alarme (≤ 150 t/h) - FZL-137 : (≤ 120 t/h) arrêt d'urgence de H-101 - Opérateurs 			

TITRE DE L'ÉTUDE : Four Rebouilleur H-101

Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur H-101

PARTIE CONSIDERÉE : Serpentin du four depuis l'admission du condensât (avant la mesure du débit), jusqu'à la sortie (après contrôle de la température)					INTENTION DE CONCEPTION :				
					Entrées : Alimentation en condensât, chaleur du four				
					Activités : Vaporisation partielle, surchauffe et transfert du condensât au processus				
N	Mot-guide	Élément	Déviations	Causes possibles	Conséquences	Protections	Commentaires	Mesures à prendre	Responsable des mesures
2	PLUS	Température de condensate	Plus de température	Mauvais fonctionnement de la vanne TRCA- 109V (ouverte), combustion importante dans H-101	Température élevée à la sortie du H-101, endommagement possible du serpentin (incendie) & arrêt d'unité (possible arrêt module)	<ul style="list-style-type: none"> - TI-135 : indication - TRAH-121-3~6 : alarme ($\geq 295^{\circ}\text{C}$) - TRCAH-109 : alarme ($\geq 295^{\circ}\text{C}$) - TZH-108 : ($\geq 300^{\circ}\text{C}$) arrêt d'urgence de H-101 			
3	MOINS	Température de condensate	Moins de température	Mauvais fonctionnement de la vanne TRCA- 109V (fermée), faible combustion dans H-101	Basse température à la sortie de H- 10, passage possible de produit en OFF-SPEC ¹	<ul style="list-style-type: none"> - TI-135 : indication 			

Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur H-101

TITRE DE L'ÉTUDE : Four Rebouilleur H-101									
PARTIE CONSIDÉRÉE : Serpentin du four depuis l'admission du condensât (avant la mesure du débit), jusqu'à la sortie (après contrôle de la température)					INTENTION DE CONCEPTION :		Entrées : Activités/:		
							Alimentation en condensât, chaleur du four Vaporisation partielle, surchauffe et transfert du condensât au processus		
N°	Mot-guide	Élément	Déviation	Causes possibles	Conséquences	Protections	Commentaires	Mesures à Prendre	Responsable des mesures
4	NE PAS FAIRE/ MOINS	Débit de gaz combustible	Pas/ Moins de débit	Mauvais fonctionnement des vannes UZ-125A/B (fermées)	Pas de fuel gaz pour H-101, basse température à la sortie de H-101, passage possible de produit en OFF-SPEC	- PAL-126 : alarme ($\leq 0,4$ Kg/cm ²) - FRAL-142 : alarme (≤ 1250 Nm ³ /h) - TRCA-109 : indication			
				Mauvais fonctionnement de la vanne UZ-125C (ouverte)	Pas de fuel gaz pour H-101, basse pression de fuel gaz, basse température à la sortie de H- 101, passage possible de produit en OFF- SPEC	- PAL-126 : alarme ($\leq 0,4$ Kg/cm ²) - PZL-127 : ($\leq 0,2$ Kg/cm ²) arrêt d'urgence de H-101 - FRAL-142 : alarme (≤ 1250 Nm ³ /h)			
				Dégagement de fuel gaz en atmosphère, explosion possible & arrêt d'unité (possible arrêt module)		- TRCA-109 : indication			

Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur H-101

TITRE DE L'ÉTUDE : Four Rebouilleur H-101									
PARTIE CONSIDÉRÉE : Serpentin du four depuis l'admission du condensât (avant la mesure du débit), jusqu'à la sortie (après contrôle de la température)					INTENTION DE CONCEPTION :		Entrées : Activités :		
							Alimentation en condensât, chaleur du four Vaporisation partielle, surchauffe et transfert du condensât au processus		
N°	Mot-guide	Élément	Déviation	Causes possibles	Conséquences	Protections	Commentaires	Mesures à prendre	Responsable des mesures
4	NE PAS FAIRE/ MOINS	Débit de gaz combustible	Pas/ Moins de débit	Mauvaise manipulation sur la vanne manuelle à l'entrée/sortie de la vanne TRCA-109V (fermée)	Pas de fuel gaz pour H-101, basse pression de fuel gaz, basse température à la sortie de H-101, passage possible de produit en OFF-SPEC	- Opérateurs (locaux) - PAL-126 : alarme ($\leq 0,4$ Kg/cm ²) - PZL-127 : ($\leq 0,2$ Kg/cm ²) arrêt d'urgence de H-101 - FRAL-142 : alarme (≤ 1250 Nm ³ /h) - TRCA-109 : indication			
				Mauvais fonctionnement de la vanne TRCA-109V (fermée)	Pas de fuel gaz pour H-101, basse pression de fuel gaz, basse température à la sortie de H-101, passage possible de produit en OFF-SPEC	- PAL-126 : alarme ($\leq 0,4$ Kg/cm ²) - PZL-127 : ($\leq 0,2$ Kg/cm ²) arrêt d'urgence de H-101 - FRAL-142 : alarme (≤ 1250 Nm ³ /h)			

Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur H-101

TITRE DE L'ÉTUDE : Four Rebouilleur H-101									
PARTIE CONSIDÉRÉE : Serpentin du four depuis l'admission du condensât (avant la mesure du débit), jusqu'à la sortie (après contrôle de la température)					INTENTION DE CONCEPTION :		Entrées : Alimentation en condensât, chaleur du four		
							Activités : Vaporisation partielle, surchauffe et transfert du condensât au processus		
N°	Mot-guide	Élément	Déviation	Causes possibles	Conséquences	Protections	Commentaires	Mesures à prendre	Responsable des mesures
5	PLUS	Débit de gaz combustible	Plus de débit	Mauvais fonctionnement de la vanne TRCA-109V (ouverte)	Haut débit de fuel gaz pour H-101, haute pression de fuel gaz pour les bruleurs, haute température à la sortie de H-101 (incendie) & arrêt d'unité (possible arrêt module)	<ul style="list-style-type: none"> - FRA-142 : indication - PAH-126 : alarme ($\geq 1,5$ Kg/cm²) - PZH-127 : ($\geq 1,9$ Kg/cm²) arrêt d'urgence de H-101 - TI-135 : indication - TZH-108 : ($\geq 300^\circ\text{C}$) arrêt d'urgence de H-101 			

Chapitre IV : application de la méthode hazop sur le four rebouilleur H-101

TITRE DE L'ÉTUDE : Four Rebouilleur H-101									
PARTIE CONSIDÉRÉE : Serpentin du four depuis l'admission du condensât (avant la mesure du débit), jusqu'à la sortie (après contrôle de la température)					INTENTION DE CONCEPTION				
					Entrées : Alimentation en condensât, chaleur du four				
					Activités : Vaporisation partielle, surchauffe et transfert du condensât au processus				
N°	Mot-guide	Elements	Deviation	Causes possible	Consequences	Protections	Commentaires	Mesures à prendre	Responsable des mesures
6	MOINS	Débit d'air	Moins de débit	Mauvais fonctionnement de HXC-908V/907V (trop fermés)	Combustion incomplète, pression élevée à l'intérieur de H-101, explosion possible & arrêt d'unité (possible arrêt module)	<ul style="list-style-type: none"> - PIAH-904 : alarm (≥ 10 mmH2O) - Trappe explosion 			

IV.8 Les Résultats retenus par la méthode hazop :

L'analyse par la méthode hazop nous a conduit à trouver les déviations possibles dans plusieurs sections du four Rebouilleur h-101

Ce qui va provoquer des évènements non souhaité au niveau du four et de l'unité provoquant plusieurs scénarios d'accidents possible

IV.9 Les scénarios retenus sont :

Plusieurs scénarios possible mais nous nous sommes intéressés aux scénarios qui peuvent provoquer un incendie ou une explosion et qui ont un taux de gravité élevé :

- Un endommagement du serpentin provoquant un Incendie et arrêt du four et de l'unité
- Formation d'un nuage gazeux et atmosphérique, possibilité d'explosion
- Combustion incomplète, surpression au niveau du four rebouilleur H-101, possibilité d'une explosion.

Ce sont des scénarios à un taux de gravité très élevé causés par des évènements initiateurs.

Les évènements initiateurs :

IV.9.1 Défaillance de la vanne FICA -136V :

qui va causer un endommagement au niveau du serpentin et provoquer un incendie, et pour cela plusieurs mesures de protection sont prises à ce niveau comme la vanne FZL-137

IV.9.2 Une mauvaise manipulation sur l'une des Vannes à l'entrée du four rebouilleur H-101 :

qui peut causer également l'endommagement du serpentin à cause de la température très élevée à cause du manque de débit dans l'un des passes du four, et plusieurs mesures de sécurité sont prises comme : TRAH-121-3: alarme ($\geq 295^{\circ}\text{C}$).

IV.9.3 Ouverture intempestive de la vanne UZ-125C :

par conséquent on aura face au dégagement du fuel gaz dans l'atmosphère qui pourra causer une explosion. et parmi les mesures de sécurité qui sont prises c'est d'introduire une vanne PZL-127 en cas où on dépasse la valeur $0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ ça impliquera un arrêt d'urgence pour l'activité du four

IV.9.4 Défaillance de la vanne HXC-907V/908V :

en cas où de fermeture intensive on aura fait à une surpression à l'intérieur du four H-101 qui va provoquer une explosion causant des dommages du matériel et possibles humaines et arrêt de l'unité. et parmi les mesures de protection qui sont prises c'est les trappes d'explosion et le PIAH-904 alarme et aussi les trappes d'explosions.

IV.10 Les Recommandations proposés pour le système, unité four Rebouilleur H-101 :

Assurer une formation du personnel de maintenance pour palier à tout risque d'un mauvais centrage des brûleurs.

- Lors des opérations de maçonnerie des fours, s'assurer que la personne en charge de l'opération soit formée particulièrement à ce genre réparations (formation spécifique et pas simple maçon)
- Prévoir l'achat d'équipement permettant de contrôler la thermographie de ce four
- Prévoir la mise en place d'un analyseur d'oxygène qui doit être correctement entretenu
- Prévoir la gestion de la combustion par automate
- Détecteur de flamme
- Prévoir la mise en place d'une vidéo surveillance au alentour du four (point chaud de l'unité).

IV.11 Conclusion :

D'après l'analyse retenue par la méthode hazop on remarque que plusieurs facteurs entre dans les dysfonctionnements que peut subir une partie du four H-101 et pour cela l'analyse des risques par la méthode hazop nous a conduit à proposer des recommandations pour le maintien de la sécurité du four rebouilleur H-101 et d'éliminer ou bien minimiser les risques et faire l'équilibre entre la production et la sécurité pour le maintien du (Safe-production) .

Conclusion générale :

Conclusion générale :

Le risque d'explosion et d'incendie est lié à la non mise en sécurité des équipements et des installations dans les fours industriels .et peuvent causer des dangers pour la vie humaine et du bien matériel.et des répercussion sur l'environnement avoisinant.

Pour prévenir de ces risques on a essayé de faire une analyse des risques pour faire ressortir ce que peut arriver comme évènements redouté et puis essayer de donner des solutions .

L'analyse par la méthode hazop nous a permis de faire sortir des déviations qui peuvent être d'origine :

Humaines liés à la mauvaise manipulation de certaines parties au niveau de notre installation

Défaillance matériel qui peuvent être causé par l'excès d'utilisation de certains matériel sachant que la durée de vie des équipements joue un rôle très important dans l'enchaînement des évènements redoutés.

Généralement ce genre d'étude se fait par des bureaux d'études qui sont spécialisé dans l'analyse des risques des équipements pour avoir une idée de qui dans les normes et ce que doit être changé.

L'analyse des risques ne consiste pas seulement à prévenir des risques ou éviter les défaillances .

des plants d'interventions doivent être mise en place en cas ou de problèmes, cela va servir à Contrôler les accidents et de diminuer le taux de gravité et sauver les vie humaines.

Et pour cela nous avons essayé de donner des solutions qui sont liées au fonctionnement du système de sécurité pour garantir une SAFE-PRODUCTION .

Références Bibliographiques :

- ❖ Manuel de formation : EXP-PR-EQ110-FR Dernière révision : 08/06/2007
- ❖ Licence Professionnelle en Génie Energétique de l'IUT
- ❖ LOKOSSA/UAC Présenté et soutenu par DOTOU Samuel & ALLI Makssoud/ Juillet 2012.
- ❖ https://www.academia.edu/9109047/Conception_dimensionnement_et_r%C3%A9alisation_dun_four_multicombustible
- ❖ ouvrage technique de l'ingénieur : chaudières et fours industriels 42209
- ❖ www.technique-ingénieur.fr
- ❖ **BE 8 842** - 3 technique de l'ingénieur
- ❖ CEI/IEC 61882 :2001-05) *Étude de dangers et d'exploitabilité* – Commission électrotechnique internationale, Genève, Suisse 2001.
- ❖ *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Second Edition with Worked Examples*, American Institute of Chemical Engineers, New York, NY. U.S.A. 1992.
- ❖ (Knowlton, Ellis), *Une introduction aux études sur les risques et l'exploitabilité*, Chemetics, Vancouver, BC, Canada.
- ❖ (Knowlton, Ellis, 1992), *A Manual of Hazard & Operability Studies: The Creative Identification of Deviations and Disturbances*, Chemetics, Vancouver, BC, Canada, 1992.
- ❖ Norme ISO 31010:2009.
- ❖ http://gpp.oiq.qc.ca/hazards_and_operability_study_hazop.html
- ❖ définition
- ❖ http://www.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_3_aurelie/co/Module_Etage_3_synthese_51.html
- ❖ norme ISO/CEI 51/1999
- ❖ https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_des_modes_de_défaillance,_de_leurs_effets_et_de_leur_criticité#:~:text=L%27Analyse%20des%20modes%20de,de%20gestion%20de%20la%20qualité.
- ❖ DEBRAY.B, CHAUMETTE.S, DESCOURIERE.S, TROMMETER.V, Méthode d'analyse des risques générés par une installation industrielle.
- ❖ http://www.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_3_aurelie/co/Module_Etage_3_synthese_39.html

Bibliographie

- ❖ ALI BENNACER Zohra, «étude de fiabilité du poste à poudre ANSUL», Algérie, 2018.
- ❖ <https://www.previnfo.net/sections.php?op=viewarticle&artid=40>
- ❖ <https://www.manager-go.com/gestion-de-projet/dossiers-methodes/comment-organiser-un-rex>
- ❖ <https://qualiblog.fr/outils-et-methodes/retour-experience-rex-methode-outil/>
- ❖ <https://www.icsi-eu.org/documents/64/guide-rex-pme.pdf>
- ❖ Base de données Aria des données des retours d'expérience d'industrie
- ❖ Manuel de formation de l'ifp : incident des fours industriels
- ❖ [SONATRACH, 2008] SONATRACH. *Document SONATRACH DP HRM*. 2008.
- ❖ [TOUIKER, 2006] M. TOUIKER. *Exploitation des fours dans l'industrie pétrolière, Séminaires formation industrie*. SH/IAP Skikda, 2006.
- ❖ [IEC61882, 2001] IEC61882. *Hazard and Operability Studies (HAZOP studies) - Application guide*. International Electrotechnical Commission (IEC), 2001.
- ❖ [COURTOT&ERMINE, 2002]. L'identification et l'analyse des risques .
- ❖ (DEKRA, 2020). Retour d'expérience à base de l'incident