الجمهـــوريـــــة الجزائـــريـــــة الديمقـــراطيـــــة الشـعبيـــة
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التـــعلـــيـــــم العـــــالـــــي والبـــحـــــث العـلمـــي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Prévention et Intervention

Thème

Analyse de risque d'un four industriel : cas du reformer de l'unité SORFERT

Présenté et soutenu publiquement par :

ZENATA Mohammed Amine **Et** **GAGI Bahmed**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme HAIMOUR RACHIDA	MCB	Université d'Oran -2- IMSI	**Présidente**
Mme BENOMAR FATIMA	MAA	Université d'Oran -2- IMSI	**Directrice du mémoire**
Mme AOUIMER YAMINA	MAA	Université d'Oran -2- IMSI	**Examinatrice**

Année 2023/2024

Remerciements

Au terme de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu " ALLAH "qui nous a donné la force pour mener à bien l'étude de ce projet.

Nos sincères remerciements, à Mme BENOMAR FATIMA, votre rôle en tant que directrice du mémoire a été essentiel dans la direction qu'on a pu prendre tout au long de ce travail. Votre expertise, votre disponibilité et vos précieux conseils nous ont permis d'approfondir nos connaissances et de développer nos compétences. Votre implication et votre enthousiasme à l'égard de notre projet ont été une source de motivation constante.

Enfin, on souhaite adresser nos remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné durant notre parcours universitaire. Leurs enseignements de qualité, leur engagement et leur dévouement nous ont permis d'acquérir les connaissances nécessaires pour réaliser ce mémoire, aussi bien tous l'encadrement administratif.

Leur passion pour l'enseignement a été une source d'inspiration pour nous.

Dédicace

Chers parents, ma petite famille et chères sœurs, et frères

Il est difficile d'exprimer avec des mots toute ma gratitude envers vous. Tout au long de mon parcours d'études, votre amour, votre soutien et votre encouragement ont été mes plus grandes sources de motivation. Votre présence inconditionnelle dans ma vie a été un pilier solide sur lequel j'ai pu m'appuyer.

A mes chers Amis de Hassi R'mel, de l'IMSI et à toute la promotion

GAGI Bahmed

Dédicace

À ma Chère défunte épouse Rahimaha Allah, chers parents, beau parents et mes chères enfants. Tout au long de mon parcours d'études, votre soutien et votre encouragement ont été mes plus grandes sources de motivation. Votre présence inconditionnelle dans ma vie a été un pilier solide sur lequel j'ai pu m'appuyer.

ZENATA Mohammed Amine

ملخص

يهدف تحليل مخاطر فرن البتروكيماويات الى تحديد وتقييم وإدارة المخاطر المحتملة المرتبطة بتشغيل المعدات. يتضمن هذا التحليل تحديد سيناريوهات الحوادث المختلفة، مثل تسرب الغاز او الانفجارات او الحرائق، وتقييم احتمالية حدوثها وعواقبها المحتملة. واعتمادا على نتائج هذا التحليل يمكن وضع تدابير الوقاية والحماية للحد من المخاطر وضمان سلامة الموظفين والبيئة.

Résumé

L'analyse de risque d'un four de pétrochimie vise à identifier, évaluer et gérer les dangers potentiels liés au fonctionnement de l'équipement. Cette analyse implique l'identification des différents scénarios accidentels, tels que les fuites de gaz, les explosions ou les incendies, et l'évaluation de leur probabilité d'occurrence et de leurs conséquences potentielles. En fonction des résultats de cette analyse, des mesures de prévention et de protection peuvent être mises en place pour réduire les risques et assurer la sécurité du personnel et de l'environnement.

Abstract

The risk analysis of a petrochemical furnace aims to identify, evaluate and manage potential hazards linked to the operation of the equipment. This analysis involves the identification of different accident scenarios, such as gas leaks, explosions or fires, and the assessment of their probability of occurrence and their potential consequences. Depending on the results of this analysis, prevention and protection measures can be put in place to reduce risks and ensure the safety of personnel and the environment.

Liste des Abréviations

- HAZOP : Hazard and Opérability
- EPI : Equipement de Protection Individuelle
- LIE : Limite Inférieure d'Explosivité
- LSE : Limite Supérieure d'Explosivité
- ISO : L'organisation International de Standardisation
- INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
- INERIS : Institut National de l'Environnement Industrielle et des risques
- DCS : Distributed Control System
- FCR : Fibre Céramique Réfractaire
- ADD : Arbre De Défaillance
- ADE : Arbre des Evènements
- AMDEC : L'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité
- ARAMIS : A Risk Assessment Méthodology for IndustrieS
- MOSAR : (Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques
- APR Analyse Préliminaire des Risques
- LOPA : Layer Of Protection Analysis
- QRA : Quantitative Risk Assessement
- ICI : Impérial Chemical Industry
- CIA : Chemical Industries Association
- GPL : Gaz de Pétrol Liquéfié
- LRP : Liquéfaction, Raffinage et Pétrochimie
- GNL : Gaz Naturel Liquéfiée
- LQS : Liquéfaction et Séparation
- HSE : Hygiène, Sécurité et Environnement

- BOG : Boil Of Gaz
- RTO : Région de Transport Ouest
- PKS : Process knowledge System
- SIDEM : Société International de Dessalement de l'Eau de Mer
- EVRP : Evaluation des Risques Professionnels
- DG : Draft Gage
- PV : Pressure Valve
- PCV : Pressure Control Valve

Liste Des Figures

Figure 1 : Schéma d'un four classique 16
Figure 2 : Une vue écorchée d'un four cylindrique vertical 18
Figure 3 : Vue d'un four cabine à tube horizontaux 19
Figure 4 : Reformer primaire 20
Figure 5 : Reformer tubes et brûleurs 21
Figure 6 : Disposition de tube reformer 23
Figure 7 : Air de combustion et conduite de fumée 24
Figure 8 : Rendement d'un four 25
Figure 9 : Diagramme de principe du procédé de production d'ammoniac Matière première et Utilité [2] 28
Figure 10 : Articulation des différentes étapes de déroulement du REX 33
Figure 11 : Schéma descriptif du procédé du reformer 34
Figure 12 : Collecteur à une canalisation de 14 pouces 35
Figure 13 : Organigramme de la procédure d'application de l'HAZOP 63
Figure 14 : présente les fréquences de vents selon leur direction 82
Figure 15 : Fenêtre d'application pour les coordonnées du lieu 84
Figure 16 : Fenêtre d'application pour la substance étudiée 84
Figure 17 : Fenêtre d'application pour les conditions atmosphériques 85
Figure 18 : Deuxième fenêtre d'application pour les conditions atmosphériques 85
Figure 19 : Fenêtre d'application pour les caractéristiques de la fuite 86
Figure 20 : Fenêtre d'application pour les caractéristiques capacités 86
Figure 21 : Dispersion du gaz pendant 20min 87
Figure 22 : Dispersion du gaz pendant 05 min 87

Liste des tableaux

Tableau 1 : niveau de gravité des conséquences....44
Tableau 2 : Classe de probabilité....45
Tableau 3 : Matrice des Risques....46
Tableau 4 : Résultats de l'analyse APR....48
Tableau 5 : Niveau de cotation de la détection....51
Tableau 6 : Niveau de cotation de la gravité....52
Tableau 7 : Niveau de cotation de la fréquence....52
Tableau 8 : Niveau de la criticité....53
Tableau 9 : Matrice de criticité....53
Tableau 10 : Exemple d'un tableau de type AMDEC....55
Tableau 11 : Modes de défaillance génériques [18]....57
Tableau 12 : Exemple de tableau pour l'HAZOP....64
Tableau 13 : Mots-clés....65
Tableau 14 : Matière première....68
Tableau 15 : Les limites d'inflammabilités....68
Tableau 16 : Analyse Préliminaire des Risques....74
Tableau 17 : Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités....77
Tableau 18 : HAZOP....79

SOMMAIRE

Introduction générale.....1

Chapitre I - Partie Théorique

1La démarche de L'élaboration d'études de danger……4

1.1Introduction…… 4

1.2Définitions…….....4

1.3Quelle est l'objectif du compte rendu de l'élaboration d'étude de danger ?.....6

1.4Contexte réglementaire 7

1.4.1Réglementation algérienne [14] 7

1.4.2Réglementation et normes internationales [6].....7

1.4.3Contenu d'une étude de dangers 8

1.5Les principaux points développés : 9

1.5.1Identification et caractérisation des potentiels de danger.....9

1.5.2Estimation des conséquences de la matérialisation des dangers 9

1.5.3Accidents et incidents survenus 9

1.5.4Evaluation préliminaire des risques 9

1.5.5Etude détaillée de réduction des risques 10

1.5.6Quantification et hiérarchisation des différents scénarios tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection [15] 11

1.5.7Résumé non technique de l'étude de dangers – Cartographie 11

1.5.8Points importants relatifs à la démarche d'analyse et de hiérarchisation des risques 12

Chapitre II - Les Fours Industriels

2Les fours industriels [16].....14

2.1Historique…… 14

2.2Définition du four…….....14

2.3Rôle des fours dans l'industrie pétrolière.....15

2.3.1Les fours de réchauffage sans changement de phase 15

2.3.2Les fours de réchauffage de liquide avec vaporisation partielle 15

2.4Description d'un four- Constituants d'un four en générale.....15

2.5Critères de choix d'un four.....16

2.6Principaux types des fours.....17

2.6.1Fours cylindriques verticaux 17

2.6.2Fours cabines…….....18
2.6.2.1Fours cabines à brûleurs sur la sole.....18
2.6.2.2Fours cabines à brûleurs sur les parois.....19

2.7Description du Reformer primaire 19

2.7.1Le rôle des tubes reformer primaire dans la chaîne de traitement 22

2.7.2Transfert de chaleur dans les fours.....25

2.7.3Rendement d'un four..……25

2.7.4Les risques associés aux fours industriels.....27

2.8Description des étapes de fabrication d'ammoniac (Figure n°05) 28

2.8.1Matière première…….. 29

2.8.2Utilité…….....29
2.8.2.1Alimentations électrique 29
2.8.2.2Circuit de vapeur…… 29
A-vapeur HP à 115 Bars.....29
B-vapeur MP à 51 Bars : provient de trois sources différentes.....30
C-vapeur BP à 5.5 Bars. 30
2.8.2.3Circuit d'air de combustion.....30
2.8.2.4Gaz combustible…….....30

2.8.3Zone de convection 103B002.....31

2.9Retour d'expérience [10].....32

2.9.1Collecte des données.. 32

2.9.2Analyse des données……. 32

2.9.3Stockage des données……32

2.9.4Exploitation des données.....32
2.9.4.1Historique des accidents liés aux fours 34
2.9.4.1.1La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques 34
2.9.4.1.2Explosion d'un four de désulfuration dans une raffinerie[2] 36
2.9.4.1.3Explosion d'un four dans une usine chimique[3].....37

2.10Conclusion …….....39

Chapitre III - Les Méthodes d'analyse du risque

3Les méthodes d'analyse de risque 41

3.1Introduction…… 41

3.2Analyse préliminaire des Risques 41

3.2.1Analyse des accidents potentiels induits par les installations 42

3.2.2La démarche d'évaluation détaillée consiste à 42

3.2.3La méthodologie est détaillée pour chaque étape 43
3.2.3.1Caractérisation des barrières de sécurité 43
3.2.3.2Caractérisation de l'intensité des phénomènes 43
3.2.3.3Caractérisation de la gravité des phénomènes : selon la grille de matrice des risques de SORFERT…… 43
3.2.3.4Caractérisation de la probabilité d'occurrence des phénomènes 44
3.2.3.4.1Les zones colorées…… 46
3.2.3.5Caractérisation de la cinétique des événements 47

3.2.4Prise en compte des effets dominos 47
3.2.4.1Bilan des phénomènes dangereux et classement des accidents majeurs 47
3.2.4.2Bilan des phénomènes dangereux et classement des accidents majeurs 47

3.2.5Interprétation des Résultats : 48

3.3La Méthode AMDEC [7]- [9] 49

3.3.1Historique et domaine d'application 49

3.3.2Principe…… 49

3.3.3Echelles de probabilité, d'intensité et de gravite 50

3.3.4Classification et matrice de criticité (1) 53

3.3.5Déroulement 54

3.3.6Description du tableau 55
3.3.6.1Equipement (colonne 1) 55
3.3.6.2Fonctions et états (colonne 2) 55
3.3.6.3Modes de défaillance (colonne 3) 56
3.3.6.4Causes de défaillance (colonne 4) 58
3.3.6.5Effets de la défaillance (colonnes 5 et 6) 58
3.3.6.6Moyens de détection (colonne 7) 58
3.3.6.7Dispositions compensatoires (colonne 8) 58
3.3.6.8Evaluation de la criticité (colonnes 9 et 10) 59

3.4Méthode HAZOP [6] 60

3.4.1Historique et domaine d'application 60

3.4.2Principe…… 60

3.4.3Déroulement…….. 61

3.4.4Description du tableau 64
3.4.4.1Des mots-clés (colonne 2) 64
3.4.4.2Définition des paramétrés (colonne 3) 65
3.4.4.3Causes et conséquences de la dérivé (colonnes 4 et 5) 66

3.4.4.4Moyens de détection, sécurités existantes et propositions (colonnes 6, 7 et 8) 66

Chapitre IV - Partie Pratique

4Evaluation des risques du reformer 68

4.1Présentation des potentiels de dangers [2] 68

4.1.1Détermination des potentiels de dangers.....68
4.1.1.1Potentiels de dangers liés aux produits 68
4.1.1.1.1Dangers liés au caractère inflammable ou explosif des Produits 68
4.1.1.1.2Dangers liés au caractère toxique des produits 69
4.1.1.1.3Dangers liés au caractère instable des produits.....69
4.1.1.2Potentiels de dangers liés aux produits utilitaires 69
4.1.1.2.1Gaz naturel……. 69
4.1.1.2.2Eau…….....70
4.1.1.2.3Vapeur……. 70
4.1.1.2.4Azote……70
4.1.1.3Potentiels de dangers liés aux procédés 70
4.1.1.3.1Identification des potentiels de dangers dans reformer.....70

4.1.2Dangers liés à la perte d'utilités 72
4.1.2.1Perte de l'alimentation électrique.....72
4.1.2.2Perte de l'alimentation en eau 72
4.1.2.3Perte de l'alimentation en azote 72
4.1.2.4Perte de l'alimentation en air instrument 72
4.1.2.5Perte du gaz fuel……. 73
4.1.2.6Perte de vapeur……. 73

4.2EVALUATION PAR LA METHODE APR 74

4.3EVALUATION PAR LA METHODE AMDEC.....77

4.4EVALUATION PAR LA METHODE HAZOP.....79

4.5Simulation et modélisation de fuite de gaz sur reformer par logiciel ALOHA 81

4.5.1Phénomènes dangereux et accidentels [1]- [15].....81

4.5.2Données météorologiques 82
4.5.2.1Vent…….. 82

4.5.3Modélisation des conséquences par le logiciel ALOHA [5].....83
4.5.3.1Les entrées…….....83
4.5.3.2Substance étudiée/Méthane 84
4.5.3.3Conditions météorologiques :.....85
4.5.3.4Caractéristiques de la fuite : Direct (type panache). 86

4.5.4Résultats……. 87

5Conclusion Générale 89

6BIBLIOGRAPHIE 911

Introduction générale

Au cours de l'histoire de l'humanité le pétrole à jouer un rôle primordial dans l'évolution de cette dernière, il représente l'essence même de l'ère industrielle. L'Algérie doté d'une richesse en ressources naturelles importantes (pétrole brut, gaz naturel, condensat), elle s'est mise dès son indépendance à les exploiter. C'est ainsi que sont nées les raffineries de Hassi – Messaoud, In Amenas, Arzew, Skikda et Adrar, après celle d'Alger qui date depuis l'ère coloniale ce qui est devenue la fondation du système économique algérien.

Le pétrole et le condensat jouent un rôle dominant sur la scène énergétique. L'industrie pétrolière est un secteur extrêmement concurrentiel où la rentabilité est une obligation. C'est ainsi, que nous assistons à des évolutions technologiques importantes se traduisant par des raffineries de plus en plus complexes, et qui nécessitent :

➢ Une maîtrise des procédés, de leur performance, de leur souplesse d'utilisation et de leur potentiel d'exploitation.

➢ Une bonne connaissance des produits, de leurs caractéristiques, de leurs contraintes de mise en œuvre pour la faire fonctionner en toute sécurité en préservant l'environnement.

Dans les procédés industriels, la température est considérée comme l'un des principaux paramètres opératoires. En effet, que ce soit pour vaporiser une coupe d'hydrocarbures lors d'une distillation ou bien pour faire réagir certaines molécules à se transformer, des températures allant de -161°C (la liquéfaction du méthane) à 1000°C (craquage de certain molécules), de nombreux équipements permettent d'ajuster cette variable opératoire. Parmi ces équipements nous avons les fours industriels. Les fours sont des équipements complexes très énergivores tout mauvais fonctionnement entraine des pertes considérables en énergie ainsi qu'en combustible tout en engendrant des effets nocifs pour l'environnement, à cet égard ces équipements doivent répondre aux exigences suivantes :

➢ Une charge thermique déterminée ;

➢ Un rendement thermique maximal techniquement réalisable ;

➢ Un bon facteur de marche ;

➢ Respect de l'environnement.

Dans ce projet de fin d'étude on va élaborer une étude de danger sur un four industriel pour le craquage de CH4, Complexe SORFERT, Arzew, nous allons nous conformer à l'ordre suivant :

➢ Chapitre I : La démarche de l'élaboration de danger.

➢Chapitre II : Partie théorique - Les Méthodes d'analyse des risques.

➢ Chapitre III : Partie pratique – l'évaluation des Risque du reformer.

➢Chapitre VI : Simulation et modélisation de fuite de gaz sur reformer par logiciel ALOHA.

Est en finalité la conclusion générale.

CHAPITRE I

PARTIE THEORIQUE

1 La démarche de L'élaboration d'études de danger

1.1 Introduction

L'élaboration de l'étude de danger peut nous aider à documenter la conformité aux normes et réglementations internationales de sécurité industrielle, qui exigent l'identification et le contrôle des risques, telles que les exigences pour les installations à risques majeurs en vertu des réglementations sur la santé et la sécurité au travail. Mais plus généralement, les études sur les dangers constituent le fondement de notre culture de la sécurité en nous aidant à identifier systématiquement les dangers avant qu'ils ne puissent entraîner une blessure, un rejet dans l'environnement ou d'autres événements imprévus susceptibles de mettre notre entreprise, notre réputation et notre communauté en danger.

Le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, dans sa mission d'inspection des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), doit s'assurer que les dispositions les plus adaptées ont été prises pour éviter ces accidents.

Pour ce fait, il est demandé aux industriels, exploitants d'une installation classée de réaliser une étude de danger.

La société SORFERT est issue des sociétés SONATRACH et ORASCOM.

La société SONATRACH a acquis l'expérience pour la production d'ammoniac via la société ASMIDAL qui exploite une unité de production d'ammoniac et de fertilisants à Arzew.

La société ORASCOM est présente dans les activités de production d'ammoniac au niveau Mondial depuis de nombreuses années ; Elle est considérée comme une activité à risque, qui peut être à l'origine de risques d'accident pour l'homme, les installations et l'environnement : incendie, explosion, émanation accidentelle de gaz toxique, déversement accidentel de produits toxiques dans les cours d'eau ou les nappes phréatique.

1.2 Définitions

-Installation classée : Toute unité technique fixe dans laquelle interviennent une ou plusieurs activités figurant dans la nomenclature des installations classées telle que fixée par la réglementation en vigueur.

-Établissement classé : L'ensemble de la zone d'implantation comportant une ou plusieurs installations classées et qui relève de la responsabilité d'une personne physique ou morale, publique ou privée qui détient, exploite ou fait exploiter l'établissement et les installations classées qui en relèvent.

-Danger : la propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et /ou l'environnement.

-Risque : la probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées.

-Accident : Un événement non souhaité du fait du travail ou pendant le travail associé aux opérations qui entraîne des lésions corporelles (blessures).

-Incident : Un événement non souhaité survenu au cours du travail n'ayant pas entraîné des lésions corporelles.

-Presque-accident : Un événement non souhaité qui, en des circonstances sensiblement différentes, aurait pu blesser des personnes, endommager une propriété et/ou l'environnement, ou qui aurait pu causer une perte d'activité.

-Accident majeur : Événement survenu du fait du travail ou pendant le travail associé aux opérations et ayant entraîné des lésions professionnelles mortelles ou des blessures graves multiples avec un arrêt de travail de 21 jours et plus.

Incident majeur : Événement, lié ou survenu au cours du travail n'ayant pas entraîné des lésions corporelles graves, défini par un incendie important/explosion, un coût estimé de la perte (matériel, production…) supérieur à 10 Millions de DA et/ou des émissions ou déversement accidentels de produit chimique classé dangereux supérieur à 10 tonnes / 10 000 litres.

-Effets dominos : L'effet domino est un phénomène dangereux affectant une ou plusieurs installations d'un établissement et susceptible de déclencher un autre phénomène sur une installation voisine, entraînant une aggravation générale des effets du premier accident. Ce phénomène peut se produire dans tout établissement composé de plusieurs installations, chacune étant reliée aux autres par des routes, des canalisations ou d'autres moyens

-Établissement classé de première catégorie : Comportant au moins une installation soumise à autorisation ministérielle.

-Établissement classé de deuxième catégorie : Comportant au moins une installation soumise à autorisation du wali territorialement compétent.

-Établissement classé de troisième catégorie : Comportant au moins une installation soumise à autorisation du président de l'assemblée populaire communale territorialement compétent.

-Établissement classé de quatrième catégorie : Comportant au moins une installation soumise au régime de la déclaration auprès du président de l'assemblée populaire communale territorialement compétent.

1.3 Quelle est l'objectif du compte rendu de l'élaboration d'étude de danger ?

Le compte rendu de l'examen effectué par l'exploitant pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques d'une installation ou d'un groupe d'installations, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, (ALARP) que leurs causes soient intrinsèques aux produits utilisés, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre à l'intérieur de l'établissement, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur de l'établissement à un niveau jugé acceptable par l'exploitant Fondée sur les principes d'amélioration continue du niveau de sécurité des installations, l'étude de dangers est fondée sur l'analyse des risques. Ses versions successives proposent ou prennent en compte les évolutions des installations et de leur mode d'exploitation, ainsi que celle de l'environnement et du voisinage, notamment à l'occasion des réexamens imposés par la réglementation.

Le fait que certains processus réglementaires dépendent de l'étude de dangers rend nécessaire que sa rédaction permette de :

- ✓ Autoriser et réglementer la ou les installations dont elle est l'objet.
- ✓ Procéder à l'information préventive sur les risques du public et du personnel.
- ✓ Favoriser l'émergence d'une culture du risque au voisinage des établissements.
- ✓ Servir de base à l'élaboration des servitudes d'utilité publiques.
- ✓ des Plans de Prévention des Risques Technologiques et à la définition de règles d'urbanisation.
- ✓ Élaborer les plans d'urgence: les plans d'opérations internes (POI) et les plans particuliers d'intervention (PPI).

1.4 Contexte réglementaire

1.4.1 Réglementation algérienne [14]

- ✓ Loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable,
- ✓ Loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable,
- ✓ Loi n°05-07 du 28 avril 2005 relative aux hydrocarbures (modifiée),
- ✓ Décret exécutif n° 06-198 du 04 Joumada El Oula 1424 correspondant au 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement,
- ✓ Décret exécutif n° 07-144 du 19 Mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement,
- ✓ Loi n° 19-13 du 14 Rabie Ethani 1441 correspondant au 11 décembre 2019 régissant les activités d'hydrocarbures,
- ✓ Décret exécutif n° 21-319 du 5 Moharram 1443 correspondant au 14 août 2021 relatif au régime d'autorisation d'exploitation spécifique aux installations et ouvrages des activités d'hydrocarbures ainsi que les modalités d'approbation des études de risques relatives aux activités de recherche et leur contenu.

1.4.2 Réglementation et normes internationales [6]

Le domaine des études de dangers est régi et défini par de nombreux textes réglementaires européens qui ont été intégrés dans le droit français récents, notamment :

- ✓ Arrêté français du 26/05/14 relatif à la prévention des accidents majeurs dans les installations classées mentionnées à la section 9, chapitre V, titre Ier du livre V du code de l'environnement,
- ✓ Loi française du 30 juillet 2003, relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages,
- ✓ Arrêté français du 29 septembre 2005, relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, juillet 2003 codifiée.

La cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.

La circulaire française du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003, L'étude de danger est réalisée en se basant sur les guides pratique de l'INERIS entre autre :

- ✓ Oméga 9 Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (EAT-DRA-76), Étude de dangers d'une installation classée-INERIS-2015,
- ✓ Oméga 10 Evaluation de la performance des barrières techniques de sécurité-INERS-2018,
- ✓ Oméga 20 Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de Sécurité-INERIS-2009.

1.4.3 Contenu d'une étude de dangers

L'étude de dangers doit s'appuyer sur une description suffisante des installations, de leur voisinage et de leur zone d'implantation. Elle doit présenter les mesures techniques et organisationnelles de maîtrise des risques et expliciter un certain nombre de points clés fondés sur une démarche d'analyse des risques:

- ✓ Identification et caractérisation des potentiels de danger.
- ✓ Description de l'environnement et du voisinage.
- ✓ Présentation du système de gestion de la sécurité.
- ✓ Estimation des conséquences de la matérialisation des dangers.
- ✓ Accidents et incidents survenus.
- ✓ Evaluation préliminaire des risques.
- ✓ Etude détaillée de réduction des risques.
- ✓ Quantification et hiérarchisation des différents scénarios en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection.
- ✓ Résumé non technique de l'étude de dangers – Représentation cartographique.

1.5 Les principaux points développés :

1.5.1 Identification et caractérisation des potentiels de danger

Les potentiels de danger des installations seront identifiés et caractérisés sans omettre ceux liés aux modes d'approvisionnement et d'acheminement des matières susceptibles de générer des dommages par effets domino réciproques.

1.5.2 Estimation des conséquences de la matérialisation des dangers

Avant toute analyse de risque et afin de permettre l'information du public et l'élaboration du PPI, sont présentées les conséquences de la libération des potentiels de dangers. A ce stade, l'ensemble des événements physiquement vraisemblables est envisagé à l'exclusion de ceux résultant des actes de malveillance. Par exemple un BLEVE de réservoir sous talus n'est pas physiquement vraisemblable. Il sera en particulier tenu compte de l'accidentologie. Leurs conséquences sont évaluées en terme de gravité et classées selon leurs effets (thermique, mécanique, toxique…) complétés par les éléments de cinétique connus.

L'analyse des actes de malveillance fait l'objet d'un traitement séparé au regard de la confidentialité.

Cette estimation peut conduire à plusieurs variantes tenant compte de la réalité physique du stockage ou du procédé, des mesures de protection physiques passives de grande ampleur qui auraient déjà été mises en œuvre pour réduire le risque à la source, et des limites physiques réalistes référencées par le retour d'expérience et les méthodes de calcul en usage (fraction de la quantité d'engrais conduisant à une explosion).

1.5.3 Accidents et incidents survenus

Les événements relatifs à la sûreté de fonctionnement survenus sur le site et sur d'autres sites mettant en œuvre des installations, des produits et des procédés comparables seront recensés. L'étude précisera les mesures d'améliorations possibles que l'analyse de ces incidents ou accidents a conduit à mettre en œuvre ou à envisager.

1.5.4 Evaluation préliminaire des risques

L'analyse des risques sera conduite selon une méthode globale, adaptée à l'installation, proportionnée aux enjeux, itérative et permettant d'identifier tous les scénarios susceptibles d'être, directement ou par effet domino, à l'origine d'un accident majeur tel que défini par l'arrêté ministériel du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs.

La méthode de cotation des risques retenue, la grille de criticité choisie et utilisée pour la réalisation de l'analyse des risques ainsi que les règles de décote de la probabilité

d’occurrence ou/et de la gravité des conséquences événements redoutés en fonction des mesures de maîtrise des risques mises en place seront décrites et justifiées.

En se basant sur les dangers identifiés à l’étape 1 et sur les données issues de l’accidentologie, l’exploitant réalise, selon sa grille de criticité, une première cotation de l'ensemble des scénarios identifiés :

- ✓ Recherche des événements pouvant conduire à la libération des potentiels de danger (corrosion, surpression, impact…)
- ✓ Identification des barrières préliminaires de sécurité qui peuvent prévenir (vise à anticiper), détecter, contrôler ou réduire les conséquences de ce déconfinement de produit ; y compris toute mesure spécifique d’intervention d’urgence spécifiques. ces barrières de sécurité sont essentielles pour assurer un déconfinement sur et efficace, en limitant les conséquences potentielles et en protégeant l’environnement
- ✓ Identification de la nature des conséquences potentielles (pollution, feu, bleve…)

Evaluation préliminaire des risques correspondant aux scénarios déterminés ci-dessus :

- ✓ Appréciation de la probabilité d’occurrence de l’événement et de la gravité des conséquences
- ✓ Hiérarchisation des risques selon la matrice de criticité de l’entreprise.
- ✓ La sélection des scénarios critiques résulte de cette hiérarchisation.

1.5.5 Etude détaillée de réduction des risques

A partir des scénarios identifiés comme critiques dans l’étape précédente, une démarche itérative de réduction des risques sera conduite.

Si cette démarche faisait apparaître de nouveaux scénarios qui n’auraient pas été identifiés dans la phase préalable, ceux-ci seraient alors réintroduits dans le processus d’analyse des risques.

Chaque scénario dont le risque est réductible fera alors l'objet d'une démarche de réduction des risques par application de mesures de maîtrise des risques jusqu’à atteindre un niveau de risque résiduel évalué au sens des critères d’acceptabilité des risques.

Cette démarche vise à supprimer les causes des événements redoutés ou en réduire la probabilité d’occurrence ou en réduire les conséquences par le choix de moyens prenant en considération les pratiques et techniques disponibles ainsi que leur économie.

La réduction des risques jusqu’à un niveau aussi bas que raisonnablement réalisable (ALARP) doit rester l’objectif à atteindre.

1.5.6 Quantification et hiérarchisation des différents scénarios tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection [15]

En tenant compte de tout ou partie des mesures de maîtrise des risques et de la cinétique des événements envisagés sur l'ensemble des scénarios résultant de l'analyse détaillée et représentatifs de la typologie des accidents possibles, l'étude de dangers:

- ✓ évalue les conséquences éventuellement réduites (effets, distances, dommages, populations affectées…) et les probabilités d'occurrence des différents scénarios correspondants ainsi que leur cinétique;
- ✓ présente une hiérarchisation des scénarios
- ✓ propose les scénarios qui pourraient servir à l'élaboration des POI, PPI, MU dont les PPRT.

L'indépendance, la fiabilité, la disponibilité et l'opérabilité des mesures de maîtrise des risques seront examinés avec un soin particulier, sans omettre l'analyse des modes communs de défaillance pour l'ensemble des phases d'exploitation des installations.

Les éléments importants pour la sécurité seront présentés, en se fondant notamment sur des éléments d'appréciation des causes de défaillance de ces mesures de prévention et des probabilités ou classes de probabilité des événements redoutés et de leur cinétique. Le SGS précisera les modes d'exploitation des instruments, équipements et procédures importants pour la sécurité.

1.5.7 Résumé non technique de l'étude de dangers – Cartographie

L'étude de dangers contient un résumé non technique de son contenu faisant apparaître la situation actuelle résultant de l'analyse des risques et son évolution éventuelle (dans le cas d'installations existantes), sous une forme didactique. Les propositions d'améliorations, les délais et les coûts correspondants seront explicités.

Ce résumé est joint au dossier de demande d'autorisation. Il comporte une cartographie précisant la nature et les effets des accidents majeurs avant et après réduction des risques ainsi qu'une présentation des principales mesures d'amélioration permettant à cette réduction des risques.

Ces éléments seront fournis aux autorités respectivement en charge de l'élaboration des documents d'urbanisme, des plans de secours et de l'information du public.

Ce résumé a vocation à être communiqué aux CLIC et à permettre une concertation en amont de l'élaboration des PPRT.

1.5.8 Points importants relatifs à la démarche d'analyse et de hiérarchisation des risques

Il découle de la description précédente du contenu d'une étude de dangers que l'analyse des risques constitue le cœur de l'étude de dangers, elle-même donnée d'entrée incontournable de l'élaboration des PPRT.

En conséquence il convient d'insister sur le fait qu'elle doit, en application d'une méthode incluant une grille de criticité et les critères d'acceptabilité référencés dans le SGS :

1-Recenser et décrire, pour chacun des scénarios d'accident majeur au sens de l'arrêté ministériel du 10 mai 2000 identifié, les éléments de maîtrise des risques permettant une défense en profondeur à savoir :

- ✓ Les mesures de prévention adoptées à la conception et lors des modifications pour en réduire la probabilité d'occurrence ;
- ✓ Les dispositions de surveillance et de conduite appliquées pour l'exploitation afin d'anticiper les accidents ;
- ✓ Les mesures de protection et d'intervention prévues pour en limiter la gravité des conséquences sur les populations et sur l'environnement ou pour en ralentir la cinétique.

2-Justifier que les conjonctions d'événements simples ont bien été prises en compte par un groupe de travail approprié dans l'identification des causes d'accidents majeurs.

3-Préciser les règles de cotation permettant à l'exploitant de qualifier un risque tolérable ou non dans sa grille de criticité et de procéder aux itérations nécessaires.

4-Argumenter du choix des mesures de maîtrise des risques retenues, en fonction de leur efficacité, de leur fiabilité, de leur coût et de la stratégie industrielle.

5-Justifier d'un équilibre entre les moyens de prévention, de protection et d'intervention retenue.

6-Hiérarchiser les scénarios d'accident dont les conséquences dépassent les limites de l'établissement en fonction de leur nature, de l'estimation de leur probabilité, de la gravité de leurs effets et de leur cinétique.

7-Comporter des éléments de comparaison et de références au plan national et international.

Chapitre II

Les fours industriels

2 Les fours industriels [16]

2.1 Historique

Avec l'arrivée de la révolution industrielle au 18ème siècle, la demande en FOUR INDUSTRIEL à éclater. Les industries avaient besoin de four plus grand, plus efficace et plus précis pour répondre à la demande croissante de produits manufacturés. C'est à cette époque que le four à coke, une innovation majeure, a été introduite. Elle a permis de produire de l'acier en grande quantité, changeant ainsi la face de l'industrie de la construction.

Et avec l'événement de la technologie moderne au Le 20ème siècle, les fours industriels ont commencé à se diversifier. Des fours spécifiques ont été développés pour des applications particulières, allant de la production de verre à la fabrication de semi-conducteur jusqu'à la fabrication pétrochimique.

L'automatisation et l'électricité ont joué un rôle crucial dans cette évolution, permettant un développement dans les technologies de contrôle tels que : le contrôle de la température, l'isolation thermique, la circulation d'air et le recyclage de la chaleur, ces fonctionnalités ont permis d'améliorer l'efficacité énergétique et la productivité des fours industriels, tout en réduisant leur impact environnemental (https:/www.Expert-fours.fr)

2.2 Définition du four

Les fours sont des équipements dans lesquels le chauffage des fluides s'effectue par les fumées produites par la combustion d'un combustible liquide ou gazeux , ils sont dits à chauffage direct , car la chaleur des fumées est cédée directement au fluide froid qui circule dans un serpentin tubulaire . Ces fours sont distincts des fours à chauffage indirect, dans lesquels le fluide à réchauffer circule dans un faisceau tubulaire baignant dans un fluide chaud, lui-même chauffé directement par les fumées du combustible[1] La chaleur transmise au fluide peut servir :

- ✓ A simple réchauffage : on élève la température du fluide traité afin de lui faire subir, ultérieurement une transformation physique ou chimique (surchauffeur de vapeur, réchauffeur de gaz d'un reformer catalytique, réchauffeur d'hydrocarbure liquide charge d'unité de craquage catalytique, fluide caloporteur, etc...).
- ✓ A une transformation chimique : celle-ci peut s'effectuer par pyrolyse (fours de craquage à la vapeur pour la fabrication éthylène, fours de craquage de méthane, four de craquage d'acide acétique, etc.…).

2.3 Rôle des fours dans l'industrie pétrolière

Dans la plupart des installations, l'apport de l'énergie thermique requis 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 réchauffer qui circule dans un serpentin tubulaire ou un faisceau tube. Selon l'effet de l'apport de chaleur au fluide de procède,

On peut distinguer :

2.3.1 Les fours de réchauffage sans changement de phase

Dans lesquels la charge liquide ou vapeur ne reçoit que la chaleur sensible.

C'est le cas par exemple :

- ✓ Des fours des unités de reforming catalytique dans lesquels la charge est en état gazeux (déjà vaporisée à l'entrée du fours) et portée à la température nécessaire au déroulement des réactions chimiques sur les lits catalytiques.
- ✓ Des fours (à huile chaude) utilisés comme fluide caloporteur
- ✓ Des surchauffeurs de vapeur indépendants des fours de vapocraquage quand la vapeur des échangeurs de ligne de transfert n'est pas surchauffée dans la zone de convection.

2.3.2 Les fours de réchauffage de liquide avec vaporisation partielle

Que l'on rencontre en particulier les unités de distillation : four de distillation sous vide ou atmosphérique, four de remouillage, dans ces fours, la charge reçoit de la chaleur latente pour atteindre le degré de vaporisation requis.

2.4 Description d'un four- Constituants d'un four en générale

- ✓ Un faisceau tubulaire en zone de radiation et éventuellement en zone convection.
- ✓ Une zone de rayonnement formant la chambre de combustion garnie intérieurement de matériau réfractaire isolant.
- ✓ Une zone de convection éventuellement garnie également.
- ✓ Un équipement de chauffe comprenant des brûleurs situés à la base ou sur les côtés de la chambre de combustion, avec son appareillage.
- ✓ Une cheminée ou un carneau pouvant être garnis avec registre.
- ✓ Les accessoires divers tels que : souffleurs éventuels, portes d'explosion, regards, opacimétrie, analyseur d'oxygène et connexion diverses pour la bonne conduite du four.

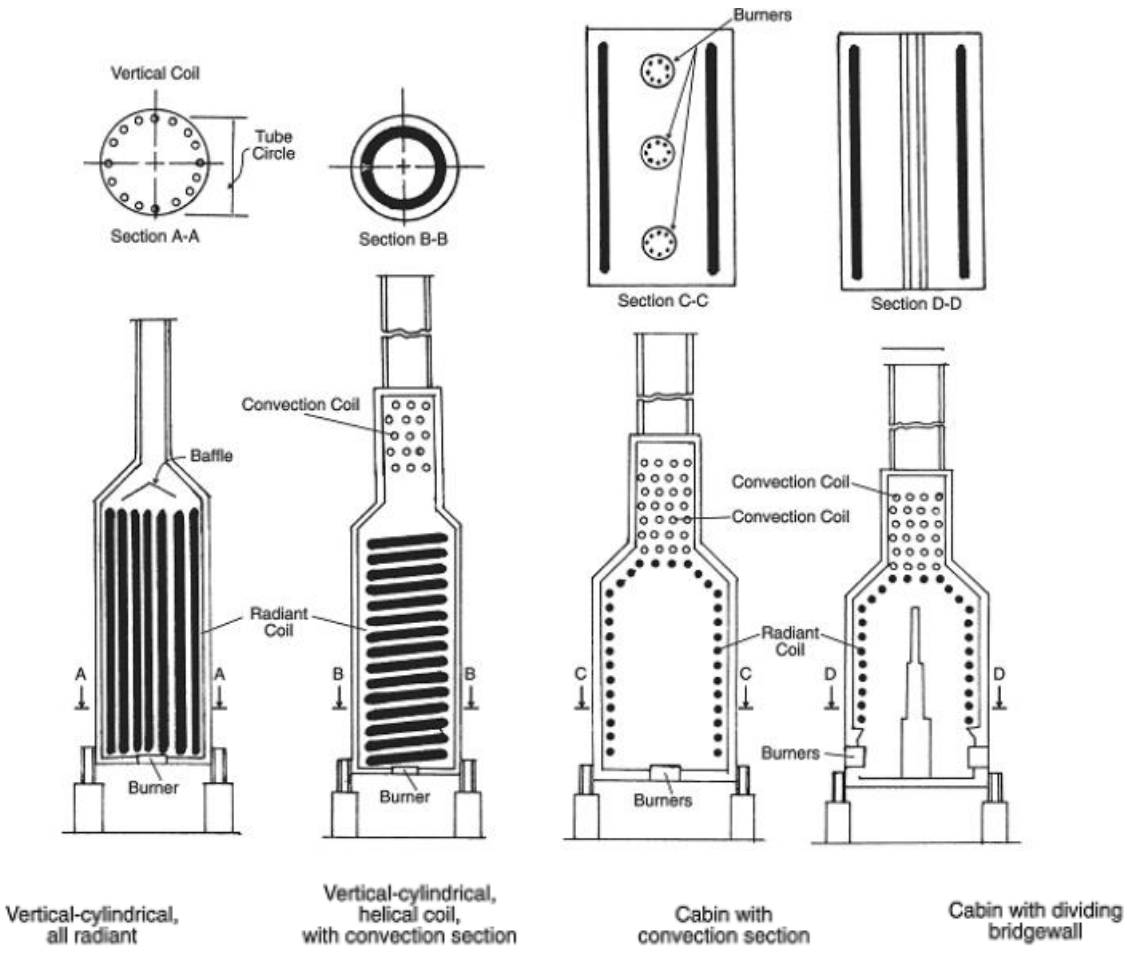


Figure 1 *: Schéma d'un four classique*

2.5 Critères de choix d'un four

De certains fours modernes, on voit qu'il y a intérêt de bien choisir notre four celons notre besoin :

- ✓ Caractéristiques chimiques du fluide.
- ✓ Condition de service (température, pression, pertes de charges admissibles, taux de vaporisation)
- ✓ Type d'écoulement lié au fluide.
- ✓ Emplacement disponible dans l'unité.
- ✓ Technologie particulière à certains procédés.
- ✓ Cout de l'investissement.
- ✓ Type de combustion.

2.6 Principaux types des fours

IL existe une grande variété de fours tubulaires qui différent notamment par leur géométrie.

2.6.1 Fours cylindriques verticaux

La figure (2) représente une vue d'un four cylindriques vertical.

Les brûlures situées sur le sol du four réalisent le mélange air combustible et combustion. Les flammes se développent dans la zone de radiation dans laquelle les tubes sont chauffés par rayonnement. Au sommet de la zone de radiation, la température des gaz de combustion est de l'ordre de 700 à 800 °C et de ce fait le rayonnement est plus faible.

La récupération de chaleur sur les fumées est poursuivie dans la zone de convection fonctionnant comme un échangeur tubulaire. Les fumées refroidies sont rejetées à l'atmosphère par l'intermédiaire de la cheminée.

Au cours de son trajet dans le faisceau tubulaire, le fluide de procédé parcourt successivement les zones de convection et de radiation. La charpente métallique et l'enveloppe métallique du four (le casing) sont protégées de la chaleur par une isolation interne réalisée en briques ou béton réfractaire ou encore en fibre céramique.

Les fours cylindriques verticaux sont caractérisés d'un point de vue géométrique par un axe de symétrie vertical .Pour un four équipé d'un seul brûleur, celle-ci est situé au bas l'axe du four, pour obtenir une puissance thermique élevée. Plusieurs bruleurs sont nécessaires, ceux-ci sont disposés sur un cercle sur l'axe du four.

Selon la puissance thermique du four, les dimensions des zones de radiation varient entre 1.5 m et 13 m de diamètre avec des hauteurs allant de 2.5 m à 25 m.

Les puissances thermiques les plus élevées de ces fours sont de l'ordre de 70000t/ h, ce qui correspond à la combustion d'environ 7 t / h de combustible

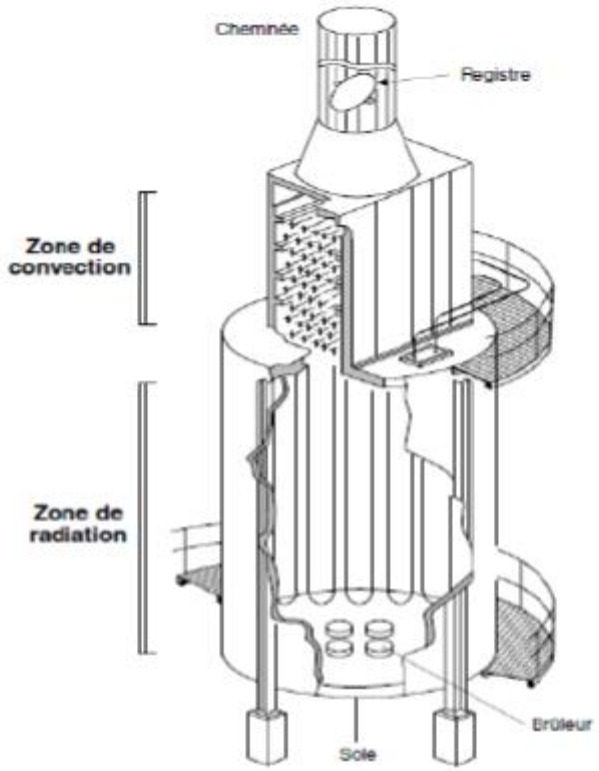


Figure 2 *: Une vue écorchée d'un four cylindrique vertical*

2.6.2 Fours cabines

2.6.2.1 Fours cabines à brûleurs sur la sole

La figure (II.3) présente un exemple de four cabine à tube horizontaux Il se distingue essentiellement du four cylindrique par l'existence d'un plan de symétrie ce qui conduite à disposer un grand nombre de brûleurs sur la sole pour réaliser un véritable rideau de flammes dans le plan médian de la zone de radiation.

La largeur de la zone de radiation est d'environ 6m et la hauteur de 10 à 15 m .La longueur du four dépend de la puissance thermique par le nombre de brûleurs qu'il est nécessaire d'installer. Elle peut atteindre 40m Dans certains cas, pour limiter la longueur du four on découpe la zone de radiation en deux cellules disposées parallèlement et surmontées d'une zone de convection.

Dans le cas de fours de faible longueur, les brûleurs peuvent être disposés sur les pignons.

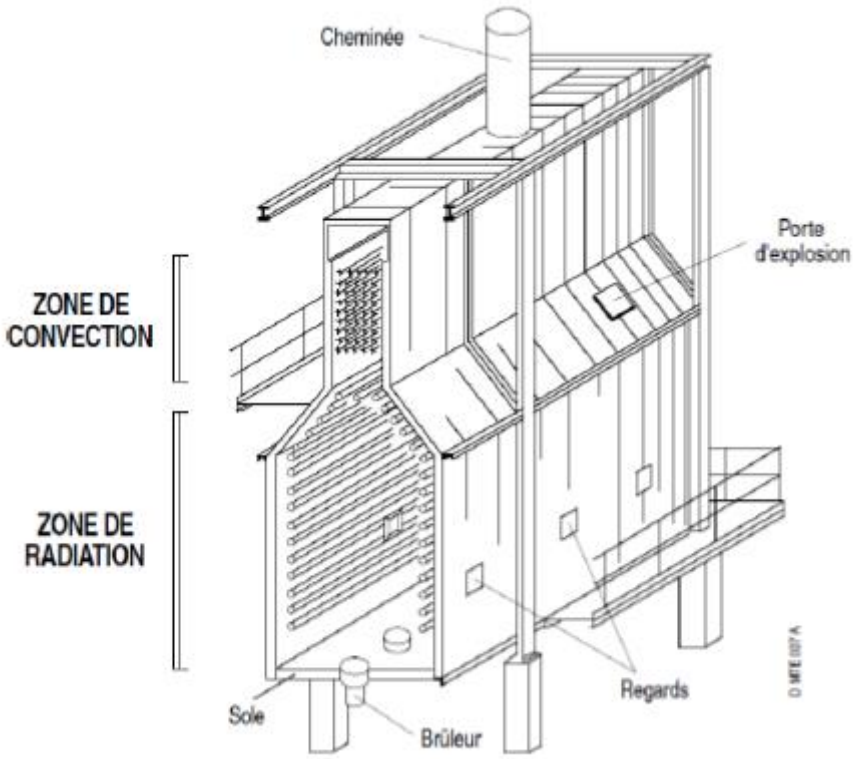


Figure 3 *: Vue d'un four cabine à tube horizontaux*

2.6.2.2 Fours cabines à brûleurs sur les parois

Certains procédés comme le vapocraquage exigent in apport de chaleur intense au faisceau tubulaire et à un niveau de température élevé. Pour atteindre cet objectif il est nécessaire de répartir l'apport de chaleur sur toute la hauteur du four ce qui conduit à disposer des brûleurs sur toute la surface de la paroi.

Le faisceau tubulaire est alors situé dans le plan médian du four. La zone de convection est utilisée pour préchauffer la charge et la vapeur de dilution et éventuellement pour surchauffer la vapeur produite dans les chaudières de trempe.

2.7 Description du Reformer primaire : [3]

Le reformer est conçu comme une boite recouverte par de brique réfractaire à l'intérieur pour assurer une isolation thermique (Figure II.3) et avec 6 rangées de tubes verticaux comportant 48 tubes chacune. 7 rangées de brûleurs, 21 brûleurs par rangée, les flammes sont verticale organisées à travers le plafond du reformer sur plaque de support pour suspension à ressort (Figure II.4) pour assurer une distribution uniforme de la chaleur vers les tubes de tous les côtés. Le reformer alimenté avec du gaz naturel, du gaz résiduaire et du gaz combustible provenant du système de récupération d'H2, ainsi que par du gaz de perméation (l'hélium contenu dans le gaz naturel est séparé avant extraction du mercure dans un réacteur en présence de catalyseur (Puraspec : sulfures et carbonates de cuivre, zinc et oxyde d'aluminium)).

Provenant du système d'extraction de l'hélium. Le gaz de procédé, qui contient toujours environ 12.27% en volume sec de méthane non converti, quitte les tubes du reformer à une température approximative de 826°C.

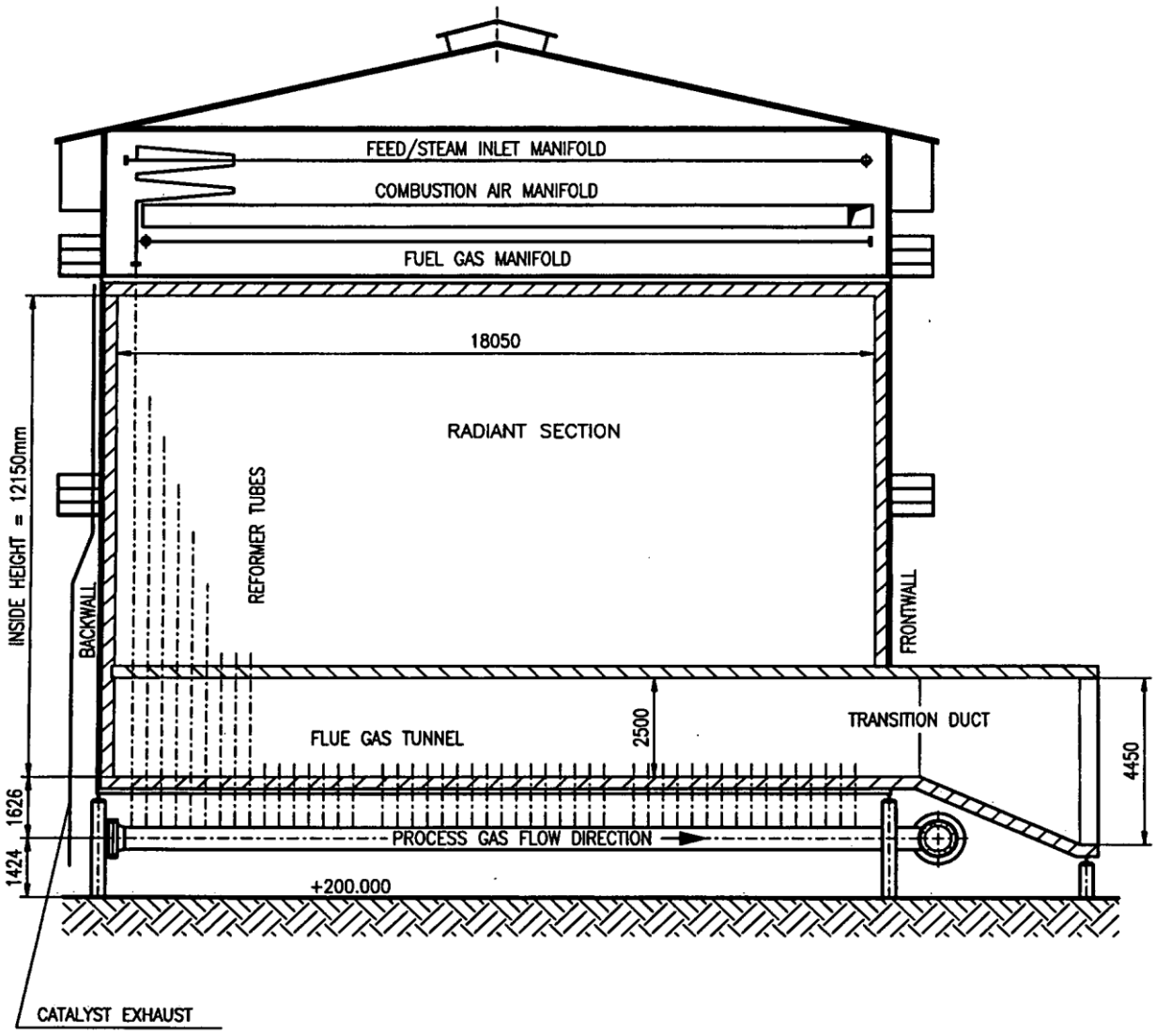


***Figure 4** : Reformer primaire*

Les tubes centrifuges en acier coulé sont conçus pour un fonctionnement à haute température et à partir de matériaux modifiés à HP.

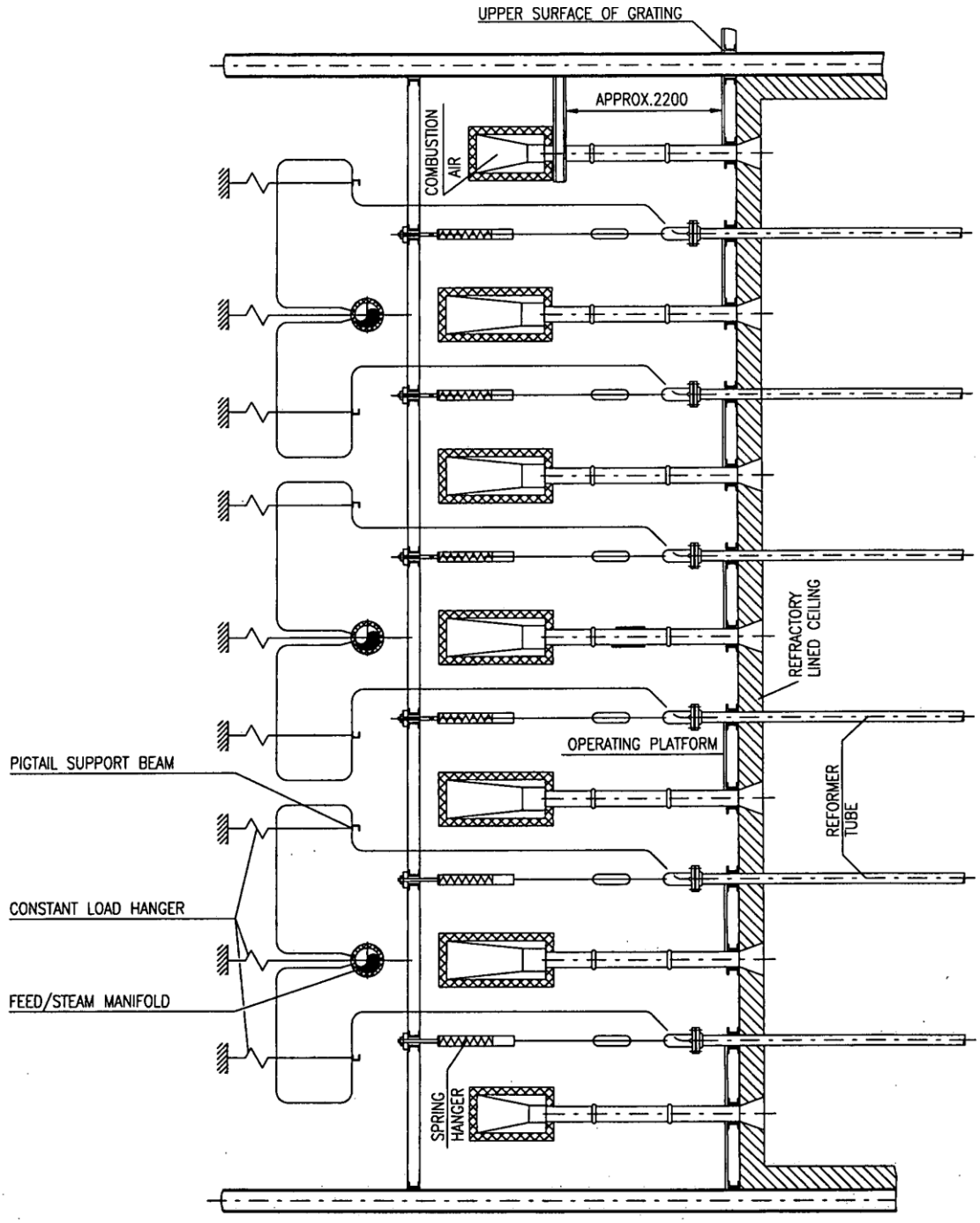


***Figure 5** : Reformer tubes et brûleurs*

2.7.1 Le rôle des tubes reformer primaire dans la chaîne de traitement :

Dans le procédé du reformage à la Vapeur, les hydrocarbures sont transformés en CO, CO2, H2 en contact avec le catalyseur à base de **Nickel (Ni)** en présence de la vapeur d'eau utilisée pour la réaction. L'excès de la vapeur empêche le carbone de se déposer sur le catalyseur et sert à ajuster l'équilibre chimique. (Figure II.2)

La réaction totale est fortement Endothermique. Une énergie thermique supplémentaire est nécessaire pour chauffer les réactifs à la température de réaction et pour chauffer la réaction elle-même Le Reformage à la Vapeur d'eau s'effectue à deux niveaux:

a) le Reformer primaire est rempli avec 40% de catalyseur KATALCO 25-4Q dans la partie supérieur et 60% de CATALCO 57-GQ dans la partie inférieur du tube de reformer qui constitue la première étape de Reformage. L'énergie De craquage Requise est générée par la combustion du gaz Combustible.

$$CH4 + H2O \rightleftharpoons CO, CO2 + 3H2 + \Delta H$$

b) dans le Reformer secondaire, il se produit une réaction entre les gaz provenant du reformer primaire et l'air chaud, alors que le Nitrogène nécessaire pour la synthèse de NH3 entre en même temps dans le procédé.

$$\tfrac{1}{2}\, O2 + H2 \longrightarrow H2O - \Delta H$$
$$CH4 + 2\, O2 \longrightarrow CO2 + 2H2O - \Delta H$$

Et poursuite de la réaction

$$CH4 + H2O \rightleftharpoons CO, CO2 + 3H2 + \Delta H$$

Paramètre de fonctionnement :

Chaleur net d'absorption 129 MW

Flux thermique moyen 89.3 KW/m2

Gaz naturel : Température -365°C / pression -48.2 bars: / débit total -47398 Kg/h / débit Volumique -2883 M3/h.

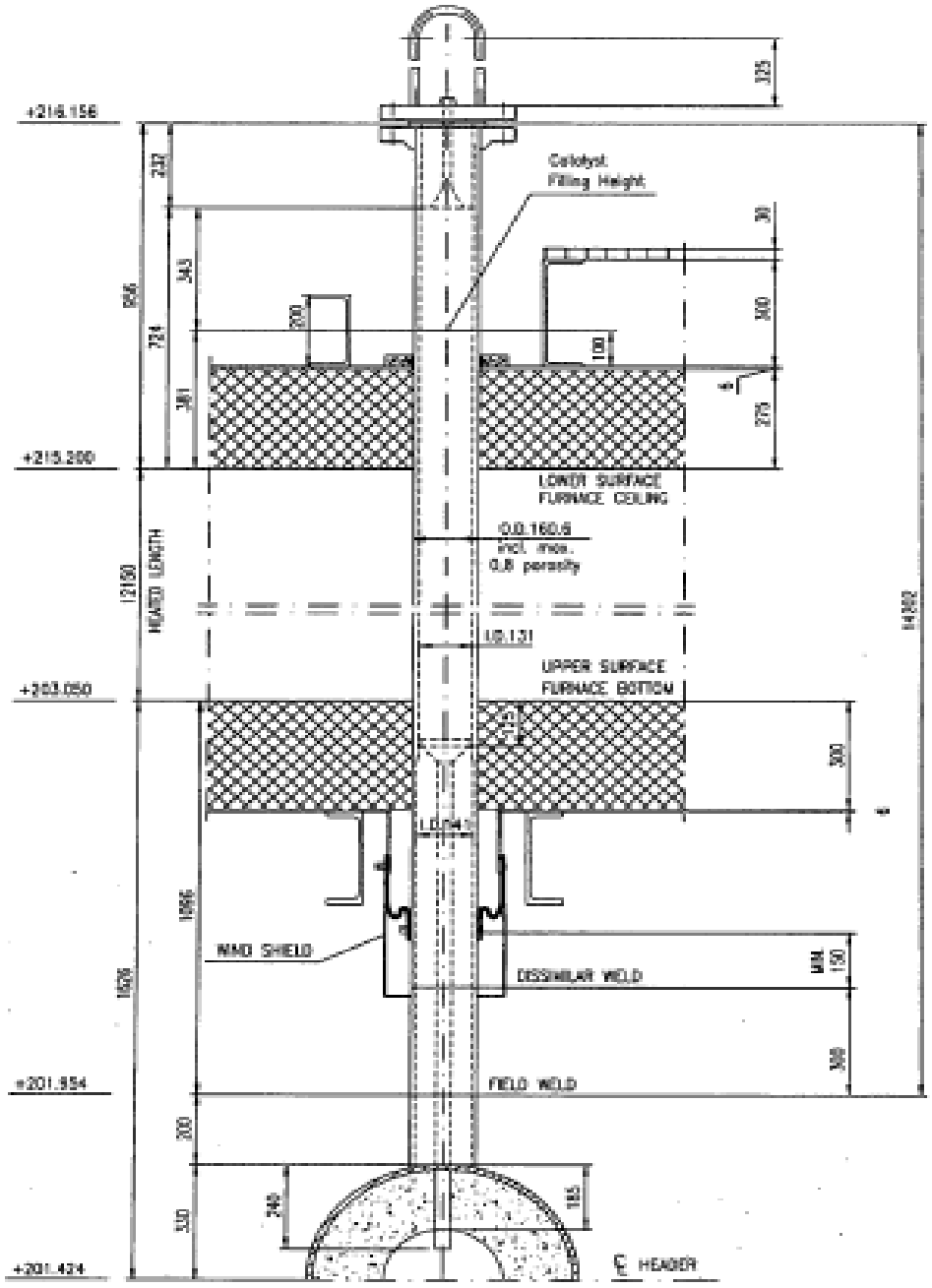


***Figure 6** : Disposition de tube reformer*

Avec la fuite d'air prévue de 2% dans le reformer primaire, les fumées quittent le reformer à environ 1046°C et passe au-dessus d'une série de serpentins de récupération thermique.

Cette séquence de serpentins est la suivante :

- surchauffeur d'alimentation de vapeur B (E12).
- surchauffeur de vapeur HP B (E32).
- préchauffeur d'air de procédé B (E52).
- surchauffeur de vapeur HP A (E31).
- surchauffeur d'alimentation de vapeur A (E11).
- préchauffeur d'alimentation B (E22).
- préchauffeur d'air de procédé A (E51).
- préchauffeur d'alimentation A (E21).
- préchauffeur d'air de combustion (E41).

Les fumées ensuite acheminées à une température approximative de 186°C vers la cheminée via le ventilateur de fumée (Figure n°05).

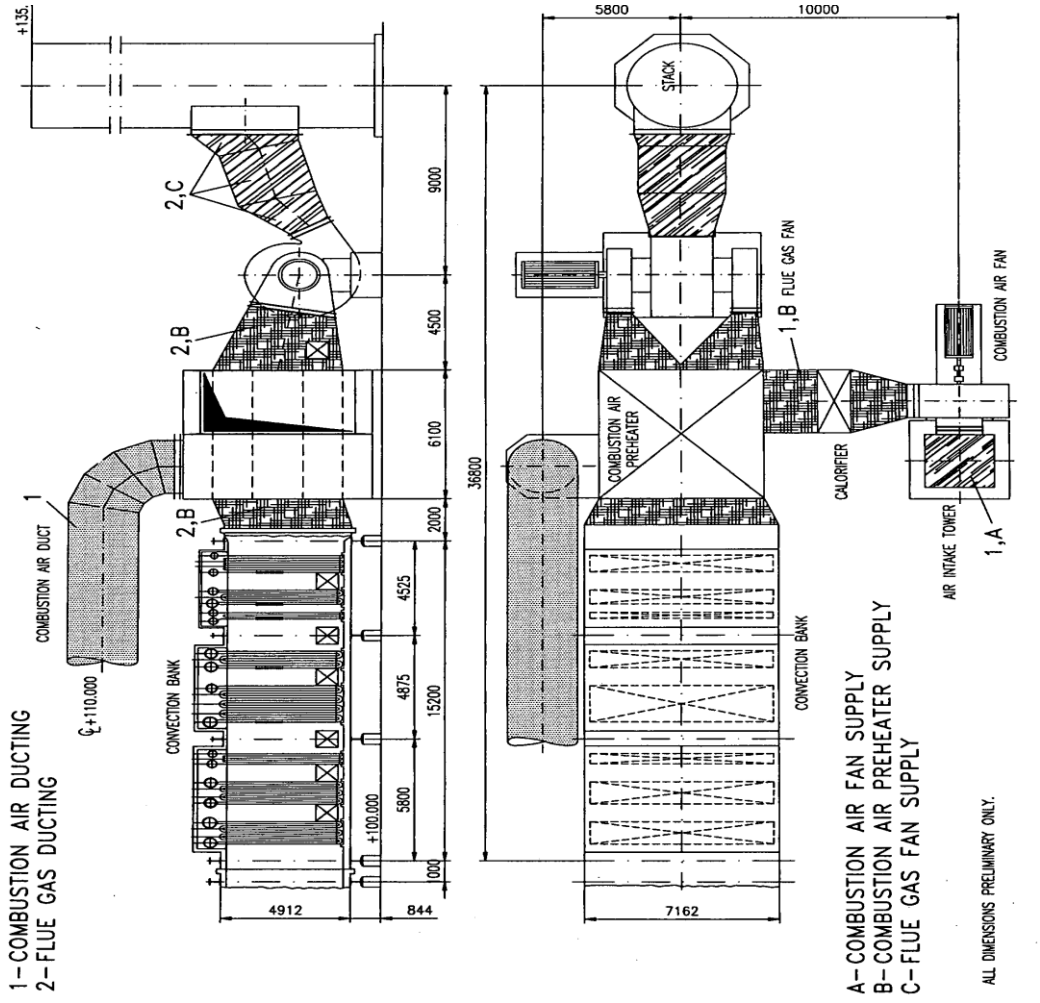


***Figure 7** : Air de combustion et conduite de fumée*

2.7.2 Transfert de chaleur dans les fours

La finalité d'un four est de transférer de l'énergie à une charge (produits) pour en élever la température. Ce transfert ne se fera pas les trois modes de transfert de chaleur (rayonnement, convection, conduction), la plupart du temps simultanément, mais dans des proportions très variables.

2.7.3 Rendement d'un four

La notion de rendement d'un four apparaît par le fait que le débit de chaleur libérée aux brûleurs par la combustion n'est pas intégralement transmis au fluide procédé. On constate en effet des pertes thermiques qui ont essentiellement deux origines :

1. Les pertes par les parois du four (Q parois) sont dues aux imperfections de l'isolation thermique par les matériaux réfractaires. Dans le cas des fours récents de grande puissance thermique elles représentent 1 à 2 % de chaleur libérée aux brûleurs (Q entrée).Elles peuvent être beaucoup plus importantes dans le cas de fours anciens dont le réfractaire est défectueux.
2. Les pertes par les fumées (Q fumées) qui évacuent à l'atmosphère un débit de chaleur relativement important représentant en général entre 5 et 20 % de celui qui est libéré aux brûleurs ; Le bilan thermique du four s'exprime :

$$Q_{entrée} = Q_{absorbée} + Q_{fumées} + Q_{parois} \qquad \text{(I.1)}$$

Le diagramme ci-dessous donne une représentation graphique du bilan thermique

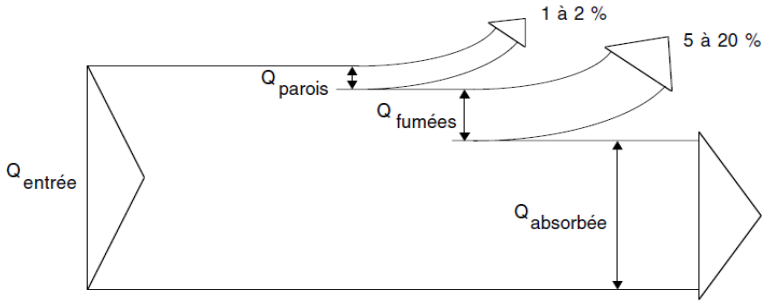


Figure 8 *: Rendement d'un four*

Le rendement d'un four η est défini comme le rapport du débit de chaleur absorbé par le fluide procédé au débit de chaleur fourni au four par la combustion (Q entrée).

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_{entrée}} \qquad \text{(I.2)}$$

En utilisant le bilan thermique du four, le débit de chaleur absorbée peut encore s'exprimer :

$$Q_{absorbée} = Q_{entrée} - Q_{fumées} - Q_{parois} \qquad \text{(I.3)}$$

L'expression du rendement devient :

$$\eta = \frac{Q_{entrées} - Q_{fumées} - Q_{parois}}{Q_{entrées}} * 100 \qquad \text{(I.4)}$$

Soit encore

$$\eta = 100\ \% - \%\ \text{pertes fumées} - \%\ \text{pertes parois} \qquad \text{(I.5)}$$

[1]Le livre2000 ENSPM Formation Industrie -rôle description et principaux types de fours

[2]Étude des fours pétroliers et pétrochimiques - J. Le Noguès - Google Livres.

2.7.4 Les risques associés aux fours industriels

- ✓ L'utilisation d'un four industriel comporte plusieurs risques potentiels, qui peuvent varier en fonction du type de four, de son utilisation et des conditions de fonctionnement. Voici quelques-uns des risques les plus courants associés aux fours industriels :
- ✓ **Risques de brûlures** : Les fours industriels fonctionnent à des températures élevées, ce qui peut entraîner des brûlures graves si le personnel entre en contact avec des surfaces chaudes ou des matériaux chauffés.
- ✓ **Incendies** : Les températures élevées et les matériaux inflammables ou combustibles peuvent augmenter le risque d'incendie. Un entretien inadéquat ou des dysfonctionnements peuvent également provoquer des incendies.
- ✓ **Explosions** : Certains types de fours, comme ceux utilisés pour le traitement de matériaux chimiques ou dans des environnements où des gaz inflammables sont présents, présentent un risque d'explosion.
- ✓ **Émissions toxiques** : Les fours industriels peuvent émettre des fumées ou des gaz toxiques, surtout s'ils traitent des matériaux comme les métaux ou les produits chimiques. Une ventilation inadéquate peut aggraver ce problème.
- ✓ **Chutes et accidents de travail** : Les environnements de travail autour des fours peuvent être dangereux, avec des risques de chutes, d'accidents liés à l'utilisation d'équipements lourds ou de manutention.
- ✓ **Surmenage et fatigue** : Le personnel travaillant avec des fours industriels doit souvent gérer des charges de travail importantes, ce qui peut entraîner de la fatigue et augmenter le risque d'erreurs.
- ✓ **Problèmes électriques** : Les fours industriels sont souvent équipés de systèmes électriques sophistiqués. Un mauvais entretien ou des défauts peuvent provoquer des court-circuités, des chocs électriques ou des incendies.
- ✓ **Dysfonctionnements mécaniques** : Les fours industriels contiennent des pièces mobiles et des systèmes complexes qui peuvent se détériorer avec le temps, entraînant des pannes ou des accidents.

2.8 Description des étapes de fabrication d'ammoniac (Figure n°05)

Notre processus de fabrication de l'ammoniac subdivise en des sections quelle sont les suivantes :

* station de détente du gaz.
* système extraction de l'hélium et du mercure.
* système 101/201 : compression et désulfuration du gaz naturel.
* système 102/103 et 202/203 : reforming, récupération de chaleur et compression de l'air de procédé.
* système 104/204 : conversion du monoxyde de carbone.
* système 105/205 : extraction du dioxyde de carbone.
* système 106/206 : méthanisations.
* système 107/207 : compression de synthèse.
* système 108/208 : synthèse de l'ammoniac.
* système 109/209 : réfrigération de l'ammoniac.
* système 110/210 : récupération de l'ammoniac.
* système 111/211 : récupération de l'hydrogène.

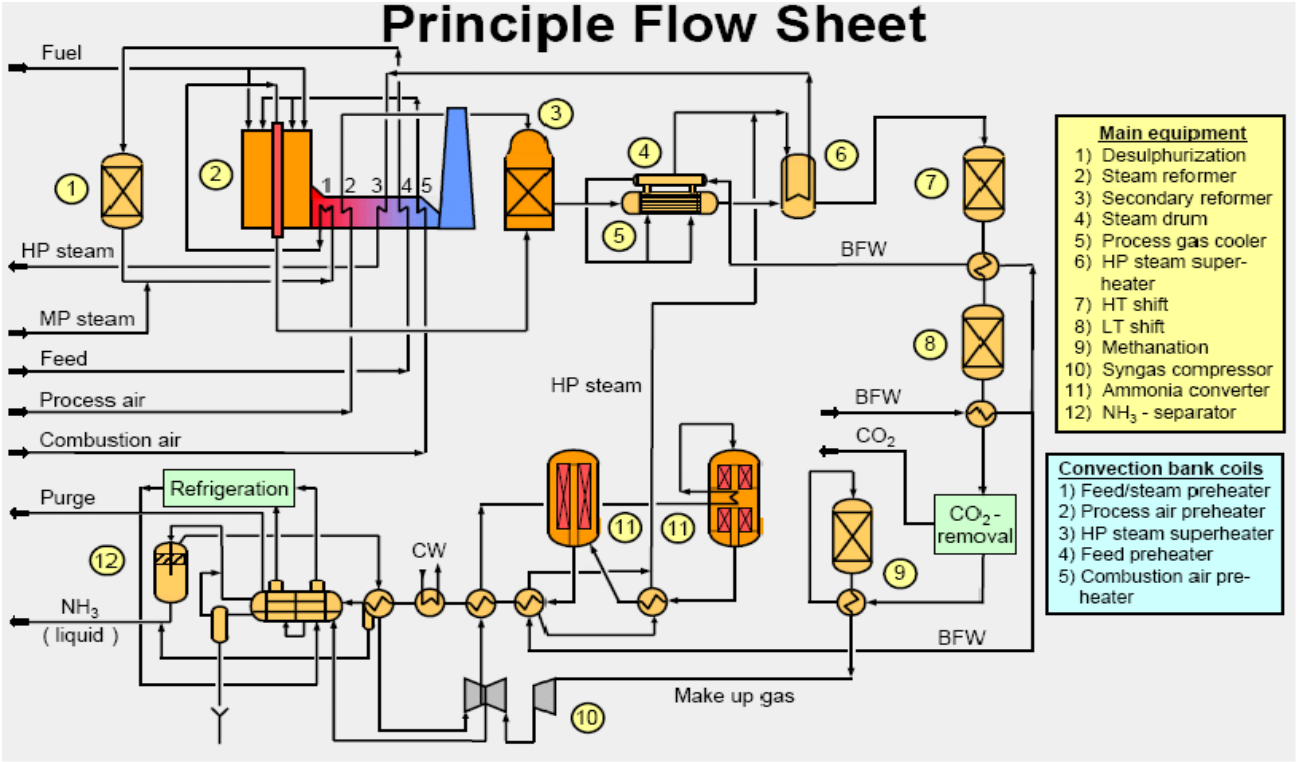


Figure 9 *: Diagramme de principe du procédé de production d'ammoniac Matière première et Utilité [2]*

2.8.1 Matière première

Une station de détente du gaz naturel en provenance du réseau de la zone industrielle piloté par RTO et le ramener à une pression de 43 bars à la limite de batterie du site, puis traité dans les unités extraction de l'hélium, du mercure et de désulfuration est mélangé avec de la vapeur surchauffée et introduit dans le procédé.

2.8.2 Utilité

2.8.2.1 Alimentations électrique

Énergie électrique pouvant couvrir son autonomie de consommation grâce aux deux turboalternateurs d'une capacité installée de 2X45 MW.

Pour pallier aux éventuels dysfonctionnements en interne et en cas de nécessité absolue, il est possible de soutirer le manque de puissance électrique à partir du réseau public desservi par Sonelgaz qui alimente le site Sorfert en Haute Tension à travers une ligne de secours.

Dispositif de sécurité

Dans le cas d'une coupure électrique générale, une série de batteries fournissent à travers l'onduleur suffisamment de courant pour couvrir momentanément les besoins de l'instrumentation et de certains points névralgiques et ce jusqu'à ce que le groupe Diesel entre en charge et commence à débiter l'énergie électrique. Dès lors, les besoins en éclairage de secours, de certains équipements classés comme prioritaires ainsi que le DCS sont pris en charge par ce groupe diesel tandis que le système de batteries est mis automatiquement en standby à travers un relais temporisé.

2.8.2.2 Circuit de vapeur

Le circuit de vapeur est une partie essentielle du complexe. Les besoins en vapeur sont couverts par des systèmes d'alimentation à différents niveaux de pression

A-vapeur HP à 115 Bars

-lors du démarrage, la vapeur surchauffée à la température de 510°C et à la pression de 116 Bars peut être emportée des 04 chaudières directement vers le collecteur de vapeur HP en amont du compresseur d'air de procédé 102MT01 et de la turbine du compresseur de gaz de synthèse 107MT0.

-système de génération de vapeur du complexe d'ammoniac :

a- système 103. Refroidisseur de gaz de procédé 103E001 combiné à un ballon de vapeur 103D001.

b- système 108. L'échangeur de récupération de chaleur I 108E001, placé en aval du convertisseur d'ammoniac I 108R001 et l'échangeur de récupération de chaleur II 108E002, placé en aval du convertisseur d'ammoniac II 108R002.

B-vapeur MP à 51 Bars : provient de trois sources différentes

-libérée dans la partie extraction de la turbine du compresseur de gaz de synthèse 107MT01.

-libérée dans la partie extraction de la turbine du compresseur de gaz de synthèse 102MT01.

-libérée dans la partie extraction des deux turbines de génération 085MT01 et 085MT02.

La vapeur MP est utilisé pour :

*vapeur de procédé.

*vapeur de refroidissement pour les préchauffeurs d'air 103B002-E51/-E52

C-vapeur BP à 5.5 Bars.

2.8.2.3 Circuit d'air de combustion

L'air de combustion est fourni par le ventilateur d'air de combustion 103K001.

Avant d'entrer dans les brûleurs, l'air est préchauffé par l'échangeur thermique avec le condensat de procédé dans la calorifère 103E004 jusqu'à environ 80°C et avec les fumées chaudes dans le préchauffeur d'air de combustion103E002-E41jusqu'à environ 260°C dans la zone de convection 103B002. Un système spécialement prévu pour la distribution uniforme de l'air de combustion vers tous les brûleurs du reformer primaire.

- **Paramètre de fonctionnement :**

Température : 281°C / pression :1 bar / débit : 334428 Kg/h /

débit volumique :5171,30M3/h /

2.8.2.4 Gaz combustible

Est un mélange de gaz naturel provenant du système de détente 105, de gaz résiduaire provenant du système de récupération de l'ammoniac 110, de gaz de preméation du système d'extraction de l'hélium 000 et le gaz du système de récupération d'hydrogène 111.

2.8.3 Zone de convection 103B002

Les fumées quittent l'enveloppe du reformer primaire à environ 1046°C et passent sur une série de serpentins de récupération de la chaleur de la manière établie (**Figure II.6**)

Cette zone de convection a pour but de rétablir la charge de traitement en quatre cas :

-Cas1 : cas du schéma de procédé.

-Cas2 : arrêt automatique de la synthèse de NH3.

-Cas3 : arrêt automatique du compresseur d'air de procédé (vapeur de Refroidissement s'écoule à travers le serpentin 103B002-E52).

-Cas4 : Charge partielle, fonctionnement à 60%.

2.9 Retour d'expérience [10]

Le concept « retour d'expérience » en matière de sécurité défini selon les auteurs et les domaines. La partie commune à toutes les définitions réside dans l'intérêt de tirer des enseignements d'une expérience vécue pour éviter sa reproduction et augmenter ainsi le niveau de sécurité en mettant en œuvre les mesures préventives et correctives adéquates. En effet, le REX correspond à un processus dynamique de collecte, de stockage, d'analyse et d'exploitation des données relatives à des situations contraire à la sécurité. Il consiste à une étude analytique causale des différents facteurs impliqués dans la genèse des incidents ou accidents.

2.9.1 Collecte des données

Cette première phase qui répond au premier principe connaitre consiste à recueillir le maximum de données et à s'intéresser à toutes les anomalies rencontrées. La collecte concerne ainsi les données relatives essentiellement à l'opérateur humain, à son environnement interne et externe, au système technique.

2.9.2 Analyse des données

Cette phase qui répond au principe comprendre ne doit pas se limiter à l'analyse des causes premières apparentes mais à établir, par exemple, un arbre des causes des dysfonctionnements permettant de mieux cerner les mécanismes générateurs des événements affectant la sécurité.

2.9.3 Stockage des données

Cette phase répondant au principe archiver s'attache à mémoriser les données collectées et analysées dans une base de données grâce, souvent, à un système informatique.

2.9.4 Exploitation des données

Cette phase qui répond au principe apprendre du processus de REX consiste à utiliser et interpréter les résultats issus des différents traitements de la base de données. L'objectif principal est d'extraire l'événement réellement prédictif, de prendre en considération les cas isolés et de prédire ou d'imaginer les futurs scénarios d'accidents ou événements indésirables.

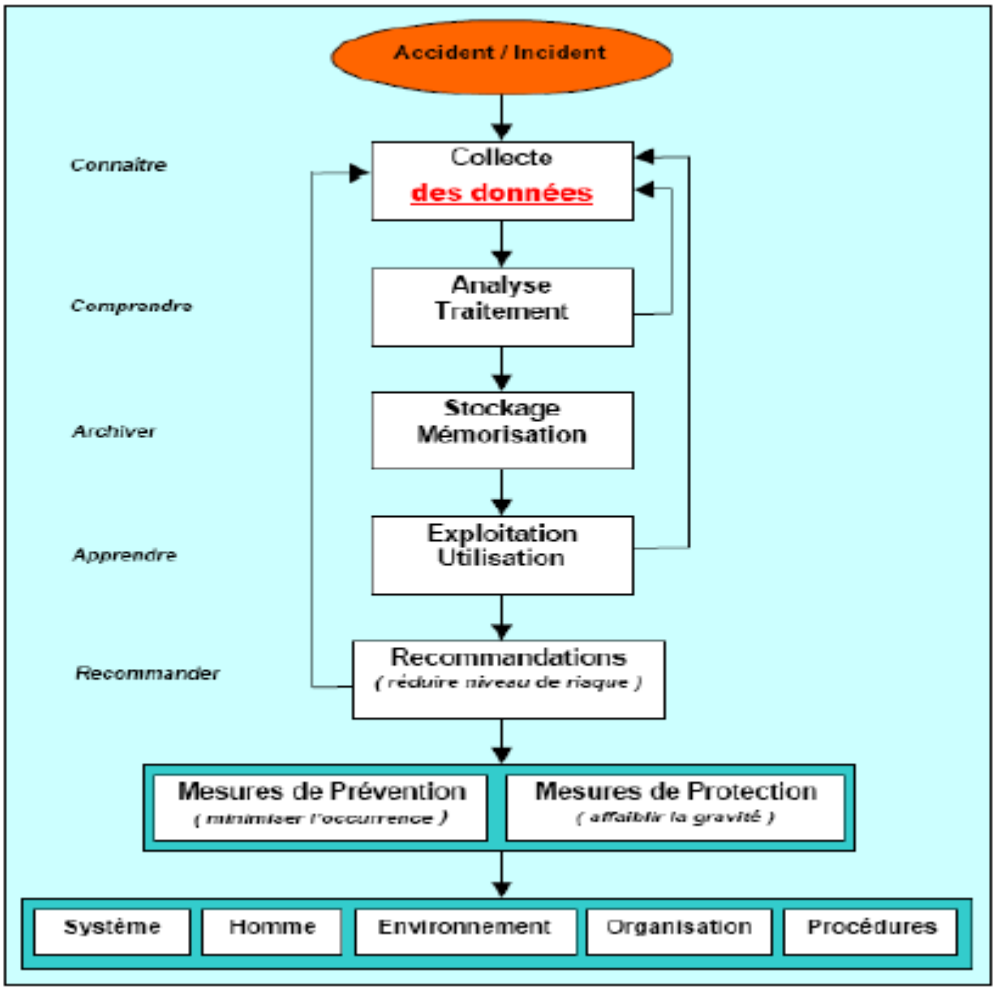


Figure 10 *: Articulation des différentes étapes de déroulement du REX*

Elle répond au principe recommandé qui consiste à définir et identifier les mesures adéquates pour limiter la reproduction d'un événement d'insécurité. Il s'agit de mieux tirer profit des enseignements de l'expérience acquise pour améliorer l'analyse préliminaire de risques (APR) a pour but d'identifier essentiellement les accidents potentiels liés au système et à ses interfaces afin de les évaluer et de proposer des solutions pour les supprimer, les réduire ou les contrôler, ainsi l'analyse fonctionnelle de la sécurité (AFS) a comme objectif de justifier que l'architecture de conception du système est sécuritaire vis-à-vis des accidents

2.9.4.1 Historique des accidents liés aux fours

2.9.4.1.1 La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques[1]

Le Grand Quevilly (Seine-Maritime) France éclatement d'une tuyauterie de vapeur haute pression

Le site :

L'usine est située au sein d'une grande zone industrielle en bord de Seine à l'ouest de l'agglomération de Rouen, elle est spécialisée dans la fabrication de fertilisants à partir de 4 matières premières : le gaz naturel, l'ammoniac (NH3), l'acide sulfurique et l'acide phosphorique

Le 28 juin 2010, à 23h07 : une déflagration brutale est entendue sur plusieurs kilomètres au niveau de l'unité de fabrication de l'ammoniac, alors que l'unité fonctionne en régime stable et sans incidents préalables, suivie d'un bruit continu de décompression. Deux employés présents sur les lieux constatent une fuite alimentée de vapeur sous pression au niveau de la toiture du caisson de la chaîne fumée du dispositif de reformage à la vapeur.

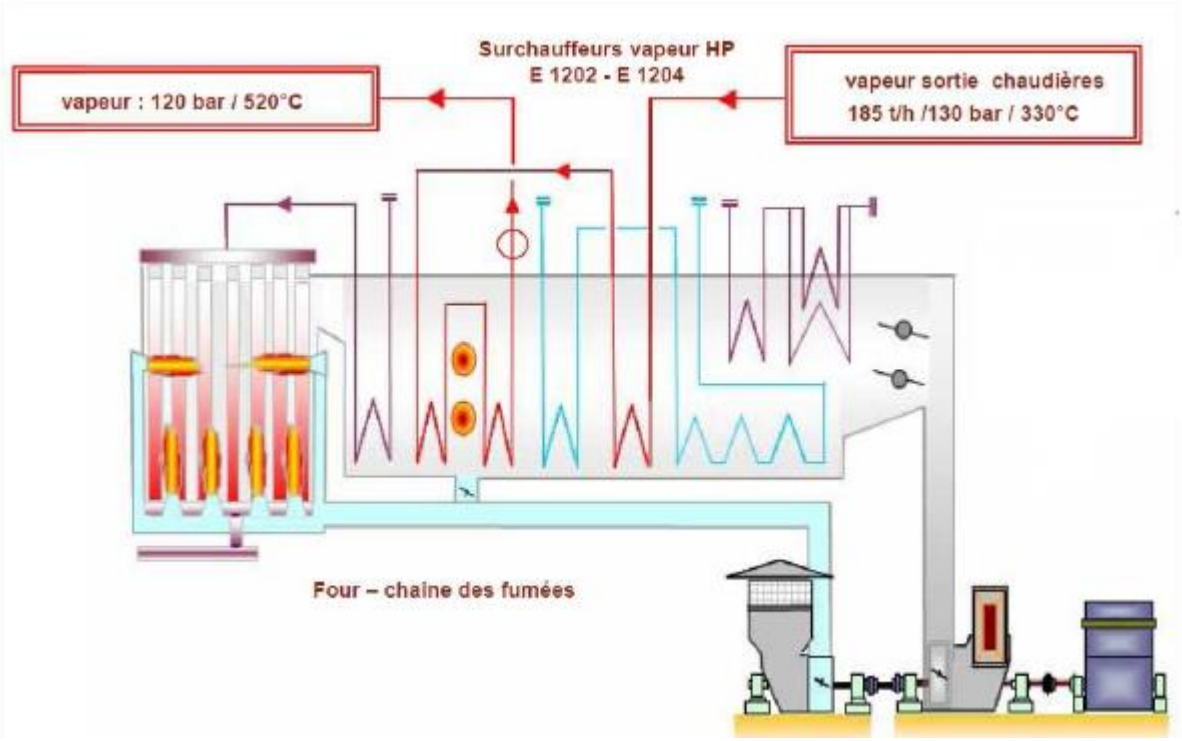


***Figure 11** : Schéma descriptif du procédé du reformer*

[1] **IMPEL - Ministère chargé du Développement durable - DGPR / SRT / BARPI – DREAL R. A. et DDPP Loire N° 35035.**

L'ORIGINE, LES CAUSES ET LES CIRCONSTANCES DE L'ACCIDENT

Le fond bombé est un fond convexe soudé en tulipe sur un tube étiré sans soudure en acier de type P22 (section droite avec 2 fonds bombés). Ce tube sert de collecteur à une canalisation de 14 pouces (DN 350, épaisseur 44 mm) qui véhicule de la vapeur d'eau à 520°C sous haute pression (120 bars) entre un surchauffeur et des turbines. La surchauffeur est un échangeur thermique qui permet de récupérer la chaleur excédentaire du four de reformage de l'unité pour augmenter la température de la vapeur produite par les chaudières.

La tuyauterie est calorifugée et éloignée des machines provoquant des vibrations, elle est située en hauteur sur le toit du caisson de la chaîne des fumées, au niveau des installations de reformage à la vapeur de l'unité.

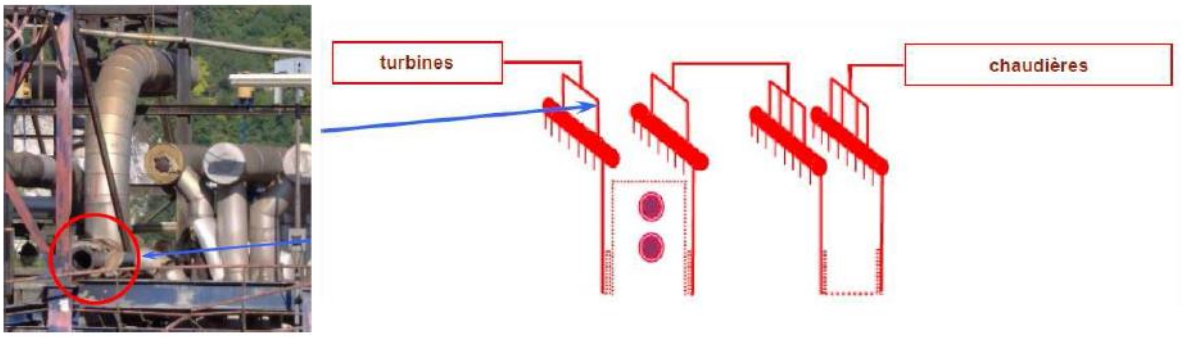


Figure 12 : *Collecteur à une canalisation de 14 pouces*

LES ENSEIGNEMENTS TIRÉS

Même si la gravité de l'accident est restée faible en l'absence d'effets dominos, plusieurs enseignements peuvent en être tirés, tant au niveau des causes que des circonstances.

Au niveau des causes, l'accident souligne deux défaillances organisationnelles notables :

- ✓ Défaillance dans le contrôle matière effectué à l'époque de l'installation de l'unité. Bien que la vérification des certificats matières ait été réalisée par un organisme de contrôle d'après l'exploitant, l'acier du fond et de 12 autres équipements n'était pas conforme aux spécifications et le dossier original de construction de la tuyauterie n'a jamais pu être retrouvé.
- ✓ Une traçabilité incomplète du suivi de la tuyauterie car, jusqu'en 2003, la formalisation du suivi de l'état des tuyauteries de vapeurs était partielle (plans de l'unité). Elle ne se formalise qu'à l'occasion de la première requalification périodique selon l'arrêté du 15 mars 2000, alors que l'unité a déjà 25 ans de fonctionnement. Pourtant la réglementation relative aux canalisations d'usine (arrêté du 23 janvier 1962) précise à son article 13 que « les documents, plans ou schémas, comptes rendus d'épreuves et de ré épreuves,

comptes rendus des inspections prescrites à l'article 12, relatifs à une canalisation ou ensemble de canalisation sont Conservés… ».

2.9.4.1.2 Explosion d'un four de désulfuration dans une raffinerie[2]

- Raffinage du pétrole

Pollution Humain Environnement Economique

Dans une raffinerie, une explosion interne survient en partie supérieure d'un four de l'unité de désulfuration de gazole. Le dôme du four s'ouvre complètement ; la cheminée de 10 m et une partie du dôme se couchent et endommagent les lignes d'alimentation de l'unité sans provoquer de fuite. Un incendie se déclare ; il est maîtrisé en 1 h, après avoir détérioré le revêtement thermique du réacteur de désulfuration voisin ; 2 petits feux se déclarent après plusieurs heures sur la ligne d'alimentation en hydrogène au niveau de 2 brides fuyardes (effet domino). Un opérateur est victime d'un malaise lié au stress et au port du masque à gaz. La circulation est cependant interrompue 1 h sur la RN 10 par crainte d'émanation d'hydrogène sulfuré.

Deux hypothèses sont évoquées quant à l'origine de l'accident :

- ✓ Fuite d'une des tubulures du four entraînant l'accumulation de vapeurs d'hydrocarbures en partie supérieure,
- ✓ Extinction des brûleurs sans coupure de l'alimentation en gaz.

[2] **N° 2679 - 06/03/1991 - FRANCE - 76 - PORT-JEROME-SUR-SEINE - C19.20.**

2.9.4.1.3 Explosion d'un four dans une usine chimique[3]

- Fabrication de produits azotés et d'engrais

Pollution Humain Environnement Economique

Un four de fabrication de gaz de synthèse explose vers 1 h dans l'unité ammoniac d'une usine chimique classée Seveso. Deux employés sont grièvement blessés (1 brûlé, 1 souffrant de fractures après avoir été projeté). Un plan d'urgence est déclenché et le bourgmestre, ainsi que le gouverneur se rendent sur place. La production des 2 autres usines de la plateforme est stoppée. L'instabilité du four provoquée par l'explosion engendre un risque d'endommagement de 2 conduites d'ammoniac (NH3) liquide et d'une conduite de gaz naturel.

Les secours vidangent, puis sécurisent les tuyauteries et lèvent le dispositif de sécurité vers 09h45. Le four est détruit. La salle de contrôle et d'autres équipements proches du four sont également endommagés. Les installations associées au four sont démolies, après vidange de tous les circuits, et en prenant les précautions nécessaires liées à la présence d'amiante. Le budget estimatif de reconstruction est de 40 millions d'euros. La partie de l'usine atteinte n'est pas opérationnelle avant plusieurs mois mais la production reprend à rythme réduit par un apport d'NH3 extérieur. Les employés sont réaffectés à d'autres unités.

La veille de l'accident, vers 15h45, un violent orage avait entraîné une perte totale de l'alimentation électrique de l'unité ammoniaque. Tous les moteurs électriques s'étaient mis à l'arrêt. Le redémarrage. des installations a lieu pendant la nuit suivante. Pour ce faire, la chaudière auxiliaire du four est redémarré. Une fois que la pression de vapeur de la chaudière atteint 30 bar, vers 0h30, le chef d'équipe décide de lancer la surchauffe qui est nécessaire pour finaliser le redémarrage. La vapeur surchauffée est obtenue par allumage des 8 brûleurs « tunnel », installés sur la même alimentation de gaz que les 180 brûleurs du four lui-même. L'employé vérifie que les vannes manuelles des 8 brûleurs « tunnel » sont bien en position fermée mais, contrairement à la procédure (check-list), ne fait pas la vérification pour les vannes manuelles des 180 autres brûleurs. Il ne prête pas non plus attention à l'indicateur présent sur le tableau de commande qui montre que les vannes des 180 brûleurs sont en position ouverte.

A 0h55, il ouvre la vanne d'alimentation en gaz naturel, le four monte en pression et l'explosion survient quelques secondes plus tard. Il n'y a pas eu d'émission d'ammoniac ou d'hydrogène, l'unité étant en cours de démarrage.

La cause de l'explosion est l'introduction d'un flux massif de gaz naturel dans le four. La

source d'inflammation du gaz n'est par contre pas déterminée (la température d'auto-inflammation du gaz naturel est e 537°C alors que le four est à 250°C). Aucun automatisme n'empêchait l'ouverture de la vanne d'alimentation en gaz naturel en cas d'ouverture des vannes manuelles des brûleurs.

[3] **N° 36395 - 27/06/2009 - BELGIQUE - 00 - SAINT-GHISLAIN - C20.15**

2.10 Conclusion :

Les fours jouent un rôle importance dans l'industrie pétrochimique en assurant le processus de chauffage indispensable à la transformation des matières premières en produit finis. Leur efficacité et fiabilité sont essentielles à la productivité et la sécurité des installations. Cependant, les fours présentent également des risques important en cas de défaillance ce qui peut entrainer des accidents graves aux conséquences dévastatrices.

Le retour d'expérience sur les accidents impliquant des fours industries mettent en lumière l'importance de la maintenance préventive, de la surveillance continue. Ces incidents passés ont souvent été causés par des erreurs humaines ou des défaillances mécaniques ou des défauts de conception mettant en évidence la nécessité d'une proche holistique de la sécurité industrielle.

On souligne qu'une approche proactive en matière de sécurité, centrée sur l'humain, la technologie, et une culture d'entreprise orientée vers la prévention, est essentielle pour réduire le risque d'accidents. L'engagement à apprendre des erreurs passées et à mettre en œuvre des améliorations continues est fondamental pour garantir la sécurité des opérations et la protection des travailleurs et de l'environnement.

CHAPITER III

Les méthodes d’analyse de risque

3 Les méthodes d'analyse de risque

3.1 Introduction

L'analyse du risque est un processus essentiel dans de nombreux secteurs, notamment industriel, financier, environnemental et sanitaire. Son objectif principal est d'identifier, d'évaluer et de prioriser les risques potentiels afin de minimiser les impacts négatifs sur les opérations, la sécurité et l'environnement.

Les risques varient considérablement en fonction du domaine d'application et des objectifs visés. Elles vont des approches qualitatives, quantitatives, la modélisation des risques, ainsi que l'analyse des scénarios et des statistiques

La compréhension et le choix des méthodes d'analyse du risque appropriées sont indispensables pour élaborer des stratégies de gestion efficaces, qui assureront non seulement la protection des actifs et des ressources, mais aussi l'optimisation des performances globales de l'organisation.

3.2 Analyse préliminaire des Risques

La méthode d'APR permet d'étudier les événements indésirables pouvant conduire à la libération des potentiels de danger de l'installation, de déterminer les causes possibles de ces accidents et de proposer des mesures de prévention et de protection. Les risques d'effets domino seront également étudiés.

Cette méthode permettra de mettre en évidence les scénarios d'accidents majeurs, et les phénomènes de dangers associés, résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation, et entraînant, pour les enjeux identifiés, des conséquences graves.

La méthode est généralement mise en œuvre via un tableau d'analyse, réalisés en mettant en œuvre la méthodologie suivante :

- ✓ Identification des phénomènes dangereux pouvant se produire en cas d'accident, déterminés en se basant sur les potentiels de dangers présents dans l'installation et sur l'accidentologie.
- ✓ Détermination de l'événement redouté central (ERC) pouvant mener à la réalisation du phénomène.
- ✓ Identification de l'enchaînement des causes possibles pouvant mener à l'ERC.
- ✓ Détermination des effets des phénomènes identifiés.
- ✓ Evaluation des dommages possibles sur les enjeux et de la probabilité d'occurrence des phénomènes, menant à une première cotation en probabilité et gravité du scénario.

Cette première estimation est réalisée avant prise en compte de mesures de maîtrise des risques, et se base sur les points définis ci-après :

- ✓ L'évaluation des dommages considérant les effets possibles du phénomène et les distances de ces effets estimées en prenant en compte le degré d'importance en termes qualitatifs et quantitatifs des potentiels de dangers mis en jeu.
- ✓ L'évaluation de la probabilité d'occurrence considérée comme la fréquence d'apparition des causes susceptibles de mener au phénomène, définition de mesures de maitrise des risques.

Ces barrières de sécurité sont constituées par deux ensembles distincts et complémentaires :

- ✓ Les mesures de protection sont mises en place pour réduire l'intensité, et par corollaire, la gravité du phénomène dangereux lorsqu'il est survenu ;
- ✓ Les mesures de prévention sont mises en place pour réduire la probabilité d'apparition des causes primordiales conduisant à un événement redouté central et au phénomène dangereux induit.

Estimation de la probabilité d'occurrence et de la gravité après mise en place des mesures, pour chaque scénario. Cette estimation mène à une nouvelle cotation.

Choix des scénarios retenus, car susceptibles d'induire des conséquences graves sur les enjeux. Le choix sera donc réalisé en prenant en compte les dommages possibles induits par le phénomène dangereux.

Ces scénarios seront étudiés dans le cadre de l'analyse détaillée des risques, dont la méthodologie sera présentée dans le paragraphe suivant.

3.2.1 Analyse des accidents potentiels induits par les installations

L'analyse des accidents potentiels induits par les installations, retenus à l'issue de l'APR, sera réalisée par cotation de leur probabilité d'occurrence, gravité et cinétique. Seront pris en compte les événements dont les effets sont susceptibles d'atteindre les tiers et d'engendrer des effets dominos.

3.2.2 La démarche d'évaluation détaillée consiste à :

- ✓ Caractériser les barrières de sécurité (mesures de maitrise des risques).
- ✓ Caractériser l'intensité du phénomène pour examiner le champ possible de ses conséquences.
- ✓ Caractériser la gravité des conséquences sur les vies humaines en fonction de l'intensité et des protections atténuantes.

✓ Caractériser la probabilité d'apparition des causes des accidents compte-tenu des mesures de prévention en place.

✓ Caractériser la cinétique d'évolution des phénomènes pour vérifier l'adéquation des mécanismes de sécurité et de secours prévus.

✓ Classement des accidents, selon une grille Probabilité / Gravité, afin de caractériser le risque et la nécessité de mettre en place des mesures supplémentaires.

3.2.3 La méthodologie est détaillée pour chaque étape

3.2.3.1 Caractérisation des barrières de sécurité

Les barrières de sécurité définies lors de l'APR seront caractérisées en termes de performance et de niveau de confiance, afin d'être prises en compte dans l'appréciation des différents paramètres de modélisation des phénomènes dangereux, et de pouvoir appliquer un facteur de réduction de la probabilité d'occurrence des causes sur lesquelles elles agissent.

3.2.3.2 Caractérisation de l'intensité des phénomènes

En fonction des différents phénomènes observés, les distances d'effets seront déterminées pour qualifier l'ensemble de chacun des phénomènes. Ces distances d'effets sont calculées en référence aux règles normées ou relatives à l'état de l'art dans le domaine. Les effets des scénarios d'accident retenus seront ainsi modélisés (effets thermiques, de surpression, toxiques).

A noter que les mesures de protection agissant sur l'intensité des phénomènes sont directement intégrées dans les paramètres de modélisation. Leur effet est donc directement traduit dans les distances d'effet modélisées.

3.2.3.3 Caractérisation de la gravité des phénomènes : selon la grille de matrice des risques de SORFERT. [17]

Pour l'estimation de la gravité, qui combine l'intensité des effets avec la vulnérabilité des personnes potentiellement exposées, il est considéré que les personnes sont non protégées par des mesures constructives et non mises à l'abri lorsque la cinétique ne le permet pas.

L'échelle de classement est celle de l'arrêté du 29/09/05 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation (tableau fourni ci-après).

Gravité		Description
G1	**Mineur**	Pas de blessure ou impact mineur sur la santé. Perte de production négligeable. Dégât équipement négligeable.
G2	**Modéré**	Blessure ou impact modérés sur la santé. Perte de production mineure. Dégât équipement avec intervention mineure.
G3	**Important**	Blessure ou impact important sur la santé Perte de production importante. Dégât équipement important.
G4	**Grave**	Blessure ou impact sur la santé. Perte d'une partie des installations. Arrêt d'une partie du site.
G5	**Catastrophique**	Mort ou traumatisme très grave. Perte de plusieurs installations. Arrêt complet du site.

Tableau 1 : *niveau de gravité des conséquences*

3.2.3.4 Caractérisation de la probabilité d'occurrence des phénomènes

La probabilité d'occurrence de chaque phénomène dangereux sera qualifiée en prenant en compte la probabilité d'occurrence des causes initiatrices du phénomène, avant mise en place de mesures de prévention. Celle-ci a été évaluée en tenant compte de :

✓ La fréquence de mise en œuvre du procédé, des produits ou machines représentant la source du danger.

✓ Les quantités présentes de produits dans les installations en fonctionnement normal et leur localisation, ainsi que la proximité entre elles des sources de dangers, considérées afin d'évaluer la probabilité que la réalisation d'une cause conduise à un phénomène dangereux.

✓ Du retour d'expérience, dont l'analyse a permis d'identifier certaines causes en particulier comme sources fréquentes d'accident.

✓ De bases de données concernant les fréquences d'apparition de certaines causes d'accidents.

La présence des dispositions de prévention et leur performance, qui permettent d'appliquer un facteur de diminution de la fréquence d'apparition de la cause sur laquelle la barrière agit. Cette caractérisation se déroule par une approche qualitative et conservative, au regard de la connaissance des mesures de prévention et de leur atténuation raisonnablement estimée sur l'occurrence de la cause; L'échelle de classement de la probabilité d'occurrence de chaque scénario sera ensuite évaluée de manière quantitative, en considérant le tableau suivant issu de l'arrêté du 29/09/05 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation :

Probabilités	Descriptions
P1	Presque 100% sûr que l'incident aura lieu Peut se produire à plusieurs reprises sur ce site.
P2	Peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations.
P3	Pourrait se produire pendant la durée de vie des installations.
P4	Un évènement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial.
P5	Improbable de se produire mais n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.

***Tableau 2** : Classe de probabilité*

Matrice des risques est un outil très important dans le processus de l'analyse des risques, elle permet d'identifier et de hiérarchiser les risques associés à un projet et de déterminer la probabilité de survenance de chaque risque et son impact sur le projet s'il se produit afin d'aider les industries à prendre des décisions éclairées sur les risques qui doivent être atténués en priorité et comment.

		Gravité				
	Risque	G1	G2	G3	G4	G5
Probabilité	P1					
	P2					
	P3					
	P4					
	P5					

Tableau 3 : *Matrice des Risques*

Les zones colorées :

La matrice comporte trois zones : rouge, jaune et verte

A-La zone rouge : contient les risques les plus graves qui sont extrêmement susceptibles de se produire et d'avoir un impact significatif sur l'entreprise s'ils se produisent. Ces types de risques doivent être atténués dès que possible car ils peuvent causer des dommages importants à la réputation ou aux finances de l'organisation.

B-Les zones jaunes (zone ALARP : As Low As Reasonably Practicable): contiennent des risques à faible impact qui sont peu probables mais possibles de se produit. Ces types de risques doivent être surveillés de près afin de pouvoir réagir rapidement si quelque chose se produit afin qu'il n'y ait pas de dommages durables causés par l'événement, On considère que les risques de cette zone sont gérables.

Pour ces risques-là on peut planifier des actions préventives et/ou correctives.

C-Les zones vertes : contiennent des risques moins graves que les rouges mais toujours très susceptibles de se produire. Les risques de cette catégorie doivent être atténués.

3.2.3.5 Caractérisation de la cinétique des événements

Il s'agit de caractériser les éléments de cinétique d'évolution des phénomènes dangereux et de propagation de leurs effets, afin de vérifier l'adéquation des mesures de protection et de prévention mises en place, et de définir les nécessités en termes de planification et de nature des mesures à prendre à l'extérieur du site. La performance des barrières de sécurité doit donc être en relation avec cette cinétique.

Les hypothèses de modélisation des phénomènes dangereux de la présence étude prennent en compte la cinétique d'évolution au travers des simulations faites par des logiciels spécifiques ou au travers d'hypothèses de déroulement d'étape justifiées.

3.2.4 Prise en compte des effets dominos

Lors de la modélisation des phénomènes, seront pris en considération les autres potentiels de dangers à proximité de la zone d'origine du phénomène dangereux, afin d'appréhender la possibilité et le cas échéant les conséquences d'un effet dominos.

A ce titre, l'intensité et les distances d'effets des phénomènes seront considérés, afin de déterminer si les potentiels de dangers situés à proximité de la zone de réalisation du phénomène seront atteints par des seuils d'effets dominos.

3.2.4.1 Bilan des phénomènes dangereux et classement des accidents majeurs

La dernière étape est destinée à présenter la synthèse de la hiérarchisation réalisée des différents accidents identifiés, en fonction des modélisations de leurs effets et de leurs probabilités d'occurrence. Pour cela, les scénarii feront l'objet d'un positionnement dans la grille figurant à l'annexe III de l'arrêté du 29/09/05 modifiant l'arrêté du 10/05/00, dite grille MMR (matrice de criticité).

3.2.4.2 Bilan des phénomènes dangereux et classement des accidents majeurs

Les cases en rouge du tableau correspondent à un risque élevé, présumé trop important dans le cadre d'un nouveau projet, et devant induire une modification du projet.

Les cases en orange correspondent à des accidents pour lesquels des mesures ont été mises en place. Il ne doit pas y avoir plus de 5 accidents dans cette zone, sinon le risque est considéré comme inacceptable.

Les zones vertes correspondent à un risque plus faible.

Cette étape de classement permet de démontrer que les risques résiduels, après la réalisation d'éventuelles mesures complémentaires, seront maîtrisés à un niveau acceptable Vers une relation de partenariat privilégié.

3.2.5 Interprétation des Résultats :

L'analyse préliminaire des risques à fait apparaître 05 situations dangereuses avec des niveaux variables :

Zone	Inacceptable	Peu modéré	Acceptable
Nombre des événements	**00**	**04**	**01**

Tableau 4 *: Résultats de l'analyse APR*

Résultat : Grâce à son approche inductive, systématique et sa facilité d'application, se positionne comme un outil de première analyse qui nous a permis :

✓ L'identification des phénomènes dangereux susceptibles de se produire suite à l'occurrence d'événements non désirés, eux-mêmes résultant de la combinaison de dysfonctionnements, dérives ou agressions extérieures sur le système.

✓ L'importance d'atténuation de ces phénomènes dangereux indésirables par des barrières techniques.

✓ D'évaluer les événements indésirables uniquement par les deux composantes du risque.

3.3 La Méthode AMDEC [7]- [9]

3.3.1 Historique et domaine d'application

L'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE) a été employéepour la première fois dans le domaine de l'industrie aéronautique durant les années 1960.

Son utilisation s'est depuis largement répandue à d'autres secteurs d'activités tels que l'industrie chimique, pétrolière ou le nucléaire.

De fait, elle est essentiellement adaptée à l'étude des défaillances de matériaux et d'équipements et peut s'appliquer aussi bien à des systèmes de technologies différentes (systèmes électriques, mécaniques, hydrauliques…) qu'à des systèmes alliant plusieurs techniques.

3.3.2 Principe

L'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets repose notamment sur les concepts de :

- ✓ Défaillance, soit la cessation de l'aptitude d'un élément ou d'un système à accomplir une Fonction requise.
- ✓ mode de défaillance, soit l'effet par lequel une défaillance est observée sur un élément du système.
- ✓ cause de défaillance, soit les évènements qui conduisent aux modes de défaillances.
- ✓ effet d'un mode de défaillance, soit les conséquences associées à la perte de l'aptitude d'un élément à remplir une fonction requise.

En pratique, il est souvent difficile de bien distinguer ces différentes notions. La maîtrise de ce vocabulaire est néanmoins primordiale pour une bonne utilisation decet outil.

Pour illustrer ces différents concepts, prenons l'exemple d'une pompe. Dans des conditions normales d'exploitation, la fonction de cette pompe est définie comme son aptitude à fournir un débit donné à sa sortie. Si le débit en sortie de pompe est nul ou nettement inférieur ou supérieur à ce débit défini, la pompe sera dite « défaillante ».

Si, en cours d'exploitation, la pompe s'arrête de façon non désirée, on assistera bien à une défaillance de la pompe. Le fait que la pompe s'arrête constitue doncun effet par lequel une défaillance est observée ; il s'agit d'un mode de défaillance.

La coupure de courant qui a entraîné l'arrêt de la pompe sera alors définie comme une des causes de ce mode de défaillance. L'arrêt de l'approvisionnement du réacteur alimenté par cette pompe suivi d'une dégradation du produit de synthèse constituera des conséquences de cette défaillance.

L'AMDE est une méthode inductive d'analyse qui permet :

✓d'évaluer les effets et la séquence d'évènements provoqués par chaque mode de défaillance des composants d'un système sur les diverses fonctions de ce système.

✓déterminer l'importance de chaque mode de défaillance sur le fonctionnement normal du système et en évaluer l'impact sur la fiabilité et la sécurité dusystème considéré.

✓hiérarchiser les modes de défaillance connus suivant la facilité que l'on a à les détecter et les traiter.

Lorsqu'il est nécessaire d'évaluer la criticité d'une défaillance (probabilité et gravité), l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) apparaît comme une suite logique à l'AMDE. L'AMDEC reprend en effet les principales étapes de l'AMDE et y ajoute une évaluation semi-quantitative de la criticité.

3.3.3 Echelles de probabilité, d'intensité et de gravite

Les échelles de probabilité, de gravité et/ou d'intensité, utilisées pour une évaluation quantitative simplifiée des risques doivent être adaptées à l'installation étudiée. A cet égard, les exploitants possédant la meilleure connaissance de leurs installations, il est légitime de retenir les échelles de cotation qu'ils proposent. Il faut néanmoins s'assurer que ces dernières sont bien adaptées à la problématiqueà traiter (étude des dangers, risques au poste de travail…). En particulier, lorsque les résultats de l'analyse de risque sont destinés à être utilisés dans un cadre réglementaire, comme c'est le cas pour l'étude de dangers, il est essentiel de s'assurer de la compatibilité des échelles utilisées avec celles définies dans les textes. La définition des échelles de cotation doit être acceptée par le groupe de travail avant le début de l'analyse, en correspondance avec les objectifs à atteindre.

- Grille de cotation : [17]

La criticité est calculée pour chaque défaillance, par la multiplication des trois critères

C = F x G x D ------- (1). Tableau II.8

Avec :

-La fréquence d'apparition de la défaillance **(F)** indiqués dans le Tableau (07)

- La gravité des conséquences que la défaillance génère **(G)** donne le Tableau (06)

-La non-détection**(D)** indiqués dans le Tableau (05)

Niveau de détection	**Notation**	**Définition**
Détection évidente	1	Dispositif de détection existe
Détection possible	2	Facilement à détecter mais nécessite une action particulière (visite, control visuel)
Détection impossible	3	Défaillance nécessite un complexe (appareillage, montage)
Détection presque	4	Aucun signe de l'origine de la défaillance

Tableau 5 : *Niveau de cotation de la détection*

Niveau de Gravité	Notation	Définition
Mineure	**1**	Défaillance mineure, Arrêt de production inférieur
Significative	**2**	Arrêt de production 2 minute à 20 minutes Petite réparation
Moyenne	**3**	Arrêt de production 20minute a 60minutes
Majeur	**4**	Arrêt de production de 1 heure à 2 heures intervention importante
Catastrophique	**5**	Arrêt de production plus de 2 heure Intervention lourde nécessite des moyens importants, Impact grave

Tableau 6 : *Niveau de cotation de la gravité*

Niveau de Fréquence	Notation	Définition
très faible	**1**	Moins d'une défaillance par ans
faible	**2**	Moins d'une défaillance par trimes
moyenne	**3**	Moins d'une défaillance par semestre
forte	**4**	Plusieurs défaillances par semaine

Tableau 7 : *Niveau de cotation de la fréquence*

3.3.4 Classification et matrice de criticité (1)

La classification de la criticité indiqués dans le Tableau peut être rétablit par le choix :
Des intervalles de niveaux de criticité appropriée à l'entreprise considérée Comme le montre-le tableau si dessous

C	Niveaux de criticité
1 < C < 12	**Négligeable**
12 < C < 20	**Moyenne**
20 < C < 40	**Elevé**
40 < C < 80	**Interdite**

***Tableau 8** : Niveau de la criticité*

D'une matrice de criticité ne prenant que F et G comme critère indiqués dans le Tableau :

	Fréquence (F)			
Gravité (G)	**1**	**2**	**3**	**4**
1				
2				
3				
4				
5				
Légende				
	Zone à risque acceptable			
	Zone à risque devant faire des mesures			
	Zone à risque inacceptable			

***Tableau 9** : Matrice de criticité*

3.3.5 Déroulement

De manière très schématique, une AMDEC se déroule sous la forme suivante :

- ✓ Dans un premier temps, choisir un élément ou composant du système.
- ✓ Retenir un état de fonctionnement (fonctionnement normal, arrêt…).
- ✓ Pour cet élément ou composant et pour cet état, retenir un premier mode de défaillance.
- ✓ Identifier les causes de ce mode de défaillance ainsi que ses conséquences tant au niveau du voisinage du composant que sur tout le système.
- ✓ Examiner les moyens permettant de détecter le mode de défaillance d'unepart, et ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets.
- ✓ Procéder à l'évaluation de la criticité de ce mode de défaillance en termes de probabilité et de gravité.
- ✓ Prévoir des mesures ou moyens supplémentaires si l'évaluation du risque enmontre la nécessité.
- ✓ Vérifier que le couple (P, G) peut être jugé comme acceptable.
- ✓ Envisager un nouveau mode de défaillance et reprendre l'analyse au point 4).
- ✓ Lorsque tous les modes de défaillances ont été examinés, envisager unnouvel état de fonctionnement et reprendre l'analyse au point 3).
- ✓ Lorsque tous les états de fonctionnement ont été considérés, choisir un nouvelélément ou composant du système et reprendre l'analyse au point 2).

3.3.6 Description du tableau

Il est intéressant de se doter de tableaux tant en qualité de support pour mener la réflexion que pour la présentation des résultats. Un exemple de tableau est fourni ci-dessous

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	11
Equipement Repère	Fonctions, états	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effet local	Effet final	Moyens de détection	Dispositions compensatoires	P	G	Remarques

***Tableau 10** : Exemple d'un tableau de type AMDEC*

Les cases de ce tableau s'utilisent de la façon suivante :

3.3.6.1 Equipement (colonne 1)

Dans cette première colonne, il s'agit de passer en revue chaque équipement oucomposant identifié lors de la description fonctionnelle.

Il est généralement utile de repérer l'équipement considéré à partir des données fournies dans des diagrammes ou autres plans.

3.3.6.2 Fonctions et états (colonne 2)

Pour chacun des équipements, il s'agit de lister ses fonctions et états de fonctionnement.

Ces fonctions et états sont normalement identifiés au cours de la description fonctionnelle. Afin de mener l'analyse de la manière la plus complète possible, il est indispensable de considérer l'ensemble des états susceptibles de survenir au cours de l'exploitation (ex. fonctionnement normal, arrêt, démarrage, stand-by…).

3.3.6.3 Modes de défaillance (colonne 3)

Pour chaque équipement et en fonction de l'état de fonctionnement, le groupe de travail doit envisager de manière systématique les modes de défaillance possibles (Colonne 3). La définition des modes possibles de défaillance pour un équipement peut être réalisée à partir du retour d'expérience associé à l'exploitation d'équipementssimilaires, de tests ou essais…

Par ailleurs, les modes de défaillance considérés devront tenir compte :

- ✓ des utilisations du système,
- ✓ des caractéristiques de l'équipement considéré,
- ✓ du mode de fonctionnement,
- ✓ des spécifications relatives au fonctionnement,
- ✓ Des délais fixés,
- ✓ de l'environnement.

Quel que soit le type d'équipement considéré, la liste suivante tirée de la norme CEI 60812:1985 : « Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes – Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) » facilite l'identification des modes de défaillance par le groupe de travail.

1	Défaillance structurelle (rupture)	18	Mise en marche erronée
2	Blocage physique ou coincement	19	Ne s'arrête pas
3	Vibrations	20	Ne démarre pas
4	Ne reste pas en position	21	Ne commute pas
5	Ne s'ouvre pas	22	Fonctionnement prématuré
6	Ne se ferme pas	23	Fonctionnement après le délai prévu (retard)
7	Défaillance en position ouverte	24	Entrée erronée (augmentation)
8	Défaillance en position fermée	25	Entrée erronée (diminution)
9	Fuite interne	26	Sortie erronée (augmentation)
10	Fuite externe	27	Sortie erronée (diminution)
11	Dépasse la limite supérieure tolérée	28	Perte de l'entrée
12	Est en dessous de la limite inférieure tolérée	29	Perte de la sortie
13	Fonctionnement intempestif	30	Court-circuit (électrique)
14	Fonctionnement intermittent	31	Circuit ouvert (électrique)
15	Fonctionnement irrégulier	32	Fuite (électrique)
16	Indication erronée	33	Autres conditions de défaillance exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnements et les contraintes opérationnelles
17	Ecoulement réduit		

Tableau 11 *: Modes de défaillance génériques [18]*

De plus, cette même norme propose une liste-guide de modes de défaillance génériques (Tableau 11), qui permet d'aider le groupe de travail dans l'analyse. Cette liste est reprise ci-après. Elle présente une série de modes de défaillance génériques pouvant s'appliquer en théorie à tous les cas de figure envisageables. Néanmoins, elle pourra être utilement complétée en vue de tenir compte des spécificités du système étudié.

3.3.6.4 Causes de défaillance (colonne 4)

Pour chaque mode de défaillance, le groupe de travail doit ensuite identifier les causes potentielles conduisant à ce mode de défaillance. Un mode de défaillance peut résulter de plusieurs causes, qu'il convient donc d'inventorier et de numéroter pour plus de facilité.

La liste présentée dans le Tableau 8 précédent permet également de préciser des causes de défaillance dans la mesure où ces causes peuvent parfois s'apparenter à des modes de défaillance.

Par exemple, un mode de défaillance d'une vanne devant se fermer peut être

« Ne se ferme pas » (mode de défaillance n°6).

Une des causes de ce mode de Défaillance peut être un blocage physique ou coincement (mode de défaillance n°2).

Enfin, il convient de tenir compte des défaillances possibles sur les équipements adjacents du système. L'évaluation des effets d'une défaillance d'un élément peut effectivement conduire à l'occurrence d'un mode de défaillance sur un autre élément du système. Il est ainsi nécessaire de veiller à l'adéquation entre les effetsde défaillance considérés au cours de l'analyse et les causes d'autres modes de défaillance envisagés.

3.3.6.5 Effets de la défaillance (colonnes 5 et 6)

De la même façon que le groupe de travail s'est attaché à identifier les causes potentielles de défaillance, il doit examiner les conséquences de cette défaillance, au niveau du composant lui-même tout d'abord (colonne 5) puis au niveau du système global (colonne 6).

3.3.6.6 Moyens de détection (colonne 7)

Pour le mode de défaillance envisagé, le groupe de travail examine et consigne ensuite les moyens prévus pour détecter ce mode de défaillance.

3.3.6.7 Dispositions compensatoires (colonne 8)

Toutes les dispositions prises, par exemple au niveau de la conception de l'installation, en vue de prévenir ou atténuer l'effet du mode de défaillance doivent alors être examinées. Cette étape, dont les résultats sont consignés en colonne 8, vise d'une certaine façon à caractériser le comportement du système lorsqu'un de ses composants est affecté par un mode de défaillance.

3.3.6.8 Evaluation de la criticité (colonnes 9 et 10)

Les colonnes 9 et 10 permettent de consigner les estimations réalisées par le groupe de travail de la probabilité du mode de défaillance (P) et de la gravité associée à ses conséquences (G). Cette approche permet de mesurer l'influence des barrières de sécurité mises en place et de juger de la pertinence d'envisagerde nouvelles barrières au regard du risque présenté.

En pratique, il est parfois difficile de disposer de données précises et fiables pour procéder de manière fine à cette évaluation. On pourra alors se référer utilement à des échelles de cotations à plusieurs niveaux de probabilité et de gravité, semblables à celles présentées au paragraphe.

3.4 Méthode HAZOP [6]

3.4.1 Historique et domaine d'application

La méthode HAZOP, pour HAZard OPerability, a été développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970. Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité utilisant des systèmes thermo- hydrauliques (chimie, pétrochimie…). L'Union des Industries Chimiques (UIC) a publié en 1980 une version française de cette méthode dans son cahier de sécurité n°2 intitulé « Etude de sécurité sur schéma de circulation des fluides ».

Considérant de manière systématique les dérives des paramètres d'une installation en vue d'en identifier les causes et les conséquences, cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo-hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration… sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation.

De par sa nature, cette méthode requiert notamment l'examen de schémas et plans de circulation des fluides ou schémas P&ID (Piping and Instrumentation Diagram).

3.4.2 Principe

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo-hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit…

L'HAZOP suit une procédure assez semblable à celle proposée par l'AMDE. L'HAZOP ne considère plus des modes de défaillances mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur le fonctionnement du procédé à la différence de l'AMDE qui est centrée sur le fonctionnement des composants de l'installation. Les deux méthodes se rejoignent dans la mesure où les causes et les conséquences de dérives de paramètres peuvent être des défaillances de composants et réciproquement.

Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (conceptuelle) des dérives est effectuée de manière systématique par la conjonction :

- de mots-clés comme par exemple « Pas de », « Plus de », « Moins de », « Trop de »

- des paramètres associés au système étudié. Des paramètres couramment rencontrés

sont la température, la pression, le débit, la concentration, mais également le temps ou des opérations à effectuer.

Mot-clé	+	Paramètre	=	Dérive

Le groupe de travail doit ainsi s'attacher à déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune de ces dérives et à identifier les moyens existants permettant de détecter cette dérive, d'en prévenir l'occurrence ou d'en limiter les effets. Le cas échéant, le groupe de travail pourra proposer des mesures correctives à engager en vue de tendre vers plus de sécurité.

A l'origine, l'HAZOP n'a pas été prévue pour procéder à une estimation de la probabilité d'occurrence dérives ou de la gravité de leurs conséquences. Cette méthode est donc parfois qualifiée de qualitative.

En pratique, elle peut être couplée, comme l'AMDE, à une estimation de la criticité.
Néanmoins, dans le domaine des risques accidentels majeurs, une estimation a priori de la probabilité et de la gravité des conséquences des dérives identifiées s'avère souvent nécessaire. Dans ce contexte,
l'HAZOP doit donc être complétée par une analyse de la criticité des risques sur les bases d'une technique quantitative simplifiée.
Cette adaptation semi-quantitative de l'HAZOP est d'ailleurs mentionnée dans la norme CEI : 61882 « Etudes de danger et d'exploitabilité (études HAZOP)–Guide d'application ».

3.4.3 Déroulement

Le déroulement d'une étude HAZOP est sensiblement similaire à celui d'une AMDE. Il convient, pour mener l'analyse, de suivre les étapes suivantes :

- ✓ Dans un premier temps, choisir une ligne ou une maille. Elle englobe généralement un équipement et ses connexions, l'ensemble réalisant une fonction dans le procédé identifiée au cours de la description fonctionnelle.
- ✓ Choisir un paramètre de fonctionnement.
- ✓ Retenir un mot-clé et étudier la dérive associée ;
- ✓ Vérifier que la dérive est crédible. Si oui, passer au point 5, sinon revenir au point 3.

- ✓ Identifier les causes et les conséquences potentielles de cette dérive.
- ✓ Examiner les moyens visant à détecter cette dérive ainsi que ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets.
- ✓ Proposer, le cas échéant, des recommandations et améliorations.
- ✓ Retenir un nouveau mot-clé pour le même paramètre et reprendre l'analyse au point 3).
- ✓ Lorsque tous les mots-clé ont été considérés, retenir un nouveau paramètre et reprendre l'analyse au point 2).
- ✓ Lorsque toutes les phases de fonctionnement ont été envisagées, retenir une nouvelle ligne et reprendre l'analyse au point 1).

La démarche présentée ici est globalement cohérente avec la démarche présentée dans la norme CEI :61882 « Etudes de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) – Guide d'application ».

Notons de plus que, dans le domaine des risques accidentels, il est souvent nécessaire de procéder à une estimation de la criticité des dérives identifiées.

Enfin, comme le précise la norme CEI :61882, il est également possible de dérouler l'HAZOP, en envisageant en premier lieu un mot-clé puis de lui affecter systématiquement les paramètres identifiés.

Tout comme pour l'APR et l'AMDEC présentées dans les paragraphes précédents,un tableau de synthèse se révèle souvent utile pour guider la réflexion et collecter les résultats des discussions menées au sein du groupe de travail.

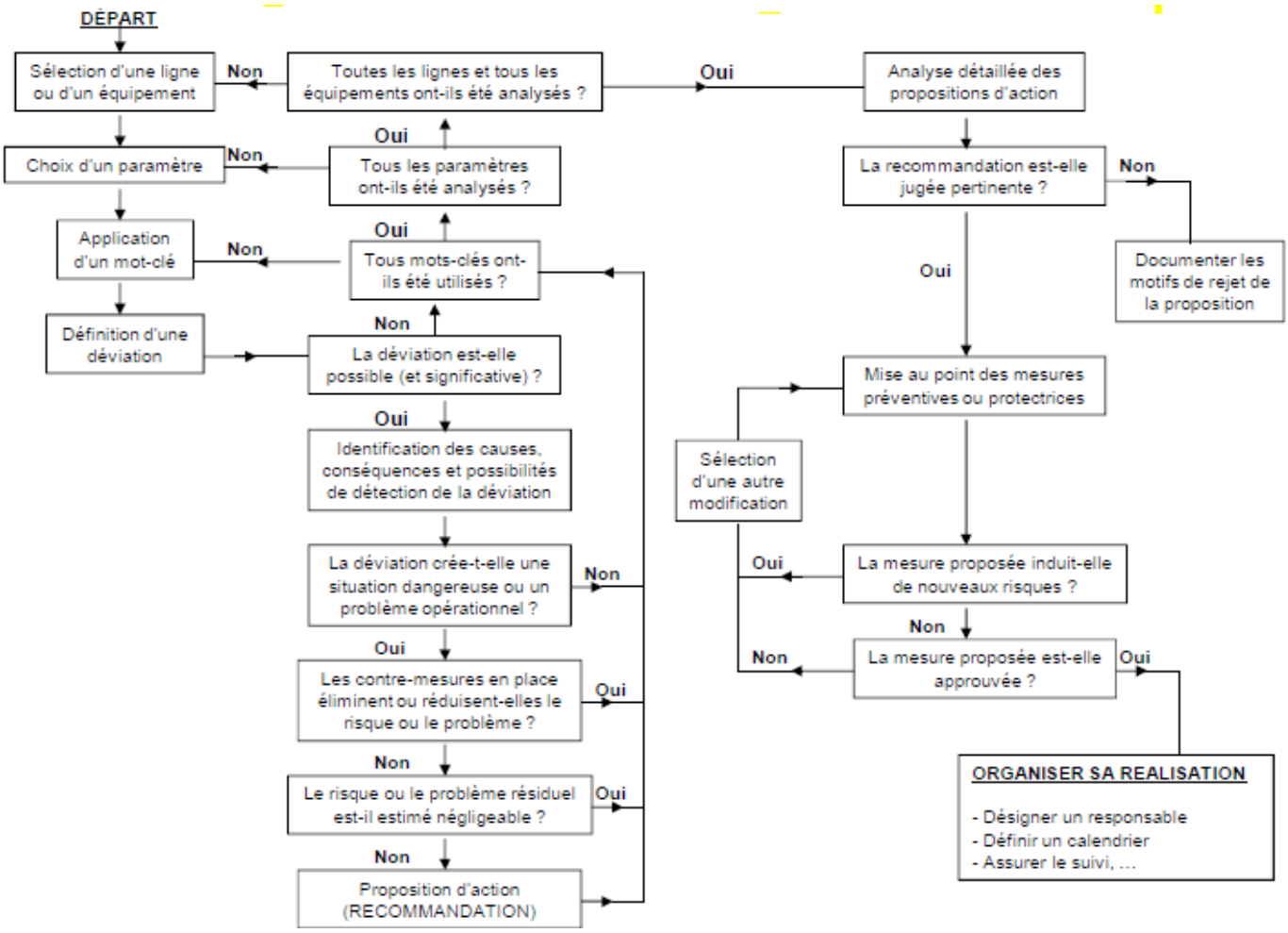


Figure 13 *: Organigramme de la procédure d'application de l'HAZOP*

3.4.4 Description du tableau

	Date : Ligne ou équipement :							
		3	4	5	6	7	8	9
	Mot clé	**Paramètre**	**Causes**	**Conséquences**	**Détection**	**Sécurités existantes**	**Propositions d'amélioration**	**Observations**

Tableau 12 *: Exemple de tableau pour l'HAZOP*

3.4.4.1 Des mots-clés (colonne 2)

Les mots-clés, accolés aux paramètres importants pour le procédé, permettent de générer de manière systématique les dérives à considérer. La norme CEI : 61882 propose des exemples de mot-clé dont l'usage est particulièrement courant. Ces mots-clés sont repris dans le tableau ci-dessous, inspiré du Tableau 13 de la norme précitée.

Type de déviation	Mot-Guide	Exemples d'interprétation
Négative	NE PAS FAIRE	Aucune partie de l'intention n'est remplie
Modification quantitative	PLUS	Augmentation quantitative
	MOINS	Diminution quantitative
Modification qualitative	EN PLUS DE	Présence d'impuretés – Exécution simultanée d'une autreopération/étape
	PARTIE DE	Une partie seulement de l'intention est réalisée
Substitution	INVERSE	S'applique à l'inversion de l'écoulement dans les canalisations ou à l'inversion des réactions chimiques
	AUTRE QUE	Un résultat différent de l'intention originale est obtenu
Temps	PLUS TOT	Un événement se produit avant l'heure prévue
	PLUS TARD	Un événement se produit après l'heure prévue
Ordre séquence	AVANT	Un événement se produit trop tôt dans une séquence
	APRES	Un événement se produit trop tard dans une séquence

***Tableau 13** : Mots-clés*

3.4.4.2 Définition des paramétrés (colonne 3)

Les paramètres auxquels sont accolés les mots-clés dépendent bien sûr du système considéré. Généralement, l'ensemble des paramètres pouvant avoir une incidence sur la sécurité de l'installation doit être sélectionné. De manière fréquente, les paramètres sur lesquels porte l'analyse sont :

- ✓ la température,
- ✓ la pression,
- ✓ le débit,
- ✓ le niveau,
- ✓ la concentration,
- ✓ l'agitation,
- ✓ la quantité,

- ✓ l'absorption,
- ✓ la composition,
- ✓ la séparation,
- ✓ l'homogénéité,
- ✓ la viscosité…

La combinaison de ces paramètres avec les mots clé précédemment définis permet donc de générer des dérives de ces paramètres.

Par exemple :

- ✓ « Plus de » et « Température » = « Température trop haute »,
- ✓ « Moins de » et « Pression » = « Pression trop basse »,
- ✓ « Inverse » et « Débit » = « Retour de produit »,
- ✓ « Pas de » et « Niveau » = « Capacité vide ».

3.4.4.3 Causes et conséquences de la dérivé (colonnes 4 et 5)

De la même façon que pour une AMDE, le groupe de travail, une fois la dérive envisagée, doit identifier les causes de cette dérive, puis les conséquences potentielles de cette dérive.

En pratique, il peut être difficile d'affecter à chaque mot clé (et dérive) une portion bien délimitée du système et en conséquence, l'examen des causes potentielles peut s'avérer, dans certains cas, complexe.

3.4.4.4 Moyens de détection, sécurités existantes et propositions (colonnes 6, 7 et 8)

La méthode HAZOP prévoit d'identifier pour chaque dérive les moyens accordés à sa détection et les barrières de sécurité prévues pour en réduire l'occurrence oules effets.

Si les mesures mises en place paraissent insuffisantes au regard du risque encouru, le groupe de travail peut proposer des améliorations en vue de pallier ces problèmes ou du moins définir des actions à engager pour améliorer la sécurité quant à ces points précis.

Chapitre IV

Analyse du risque du reformer

Partie pratique

4 Evaluation des risques du reformer

4.1 Présentation des potentiels de dangers [2]

4.1.1 Détermination des potentiels de dangers

Il s'agit du potentiel de danger lié aux éléments constitutifs de l'exploitation

4.1.1.1 Potentiels de dangers liés aux produits

Les produits présents dans le reformer sont les suivants :

Méthane (Gaz naturel)	**Matière première et combustible Unité Ammoniac**
Hydrogène	/ Matière première Unité ammoniac
Dioxyde de carbone	Produit de la réaction de synthèse de l'ammoniac et matière première de la synthèse de l'urée
Monoxyde de carbone	Produit de réaction intermédiaire pour la production d'ammoniac
Katalco 25-4Q	Catalyseur pour l'usine d'ammoniac : reformage vapeur primaire
Katalco 57-4GQ	Catalyseur pour l'usine d'ammoniac : reformage vapeur primaire

***Tableau 14** : Matière première*

4.1.1.1.1 Dangers liés au caractère inflammable ou explosif des Produits

Pour la réalisation de la synthèse de l'ammoniac, les principaux produits inflammables mentionnés ci-après sont nécessaires ou issus de la production de l'unité. A noter particulièrement que le dihydrogène, le gaz naturel (méthane) et le monoxyde de carbone sont extrêmement inflammables.

Produits	**caractéristiques**
Gaz naturel (méthane)	Extrêmement inflammable
	Température d'auto-inflammation : 495°C
	LIE : 5% - LSE : 15%
Monoxyde de carbone	Extrêmement inflammable
	Température d'auto-inflammation : 609°C
	LIE : 12,5% - LSE : 74%
Dihydrogène	Extrêmement inflammable
	Température d'auto-inflammation : 560°C
	LIE : 4% - LSE : 75%

***Tableau 15** : Les limites d'inflammabilités*

4.1.1.1.2 Dangers liés au caractère toxique des produits

- ✓ **Monoxyde de carbone :** Le monoxyde de carbone est un composé toxique par inhalation. En cas d'intoxication suraiguë ou massive, la symptomatologie clinique associe paralysie des membres, coma, convulsions et évolue rapidement en l'absence de traitement vers le décès en quelques secondes ou quelques minutes.
- ✓ **Catalyseurs :** Katalco 25-4Q et Katalco 57-4GQ, Ces composés peuvent provoquer le cancer par inhalation.

4.1.1.1.3 Dangers liés au caractère instable des produits

Les produits inflammables (méthane, dihydrogène et monoxyde carbone) peuvent former un mélange explosif avec l'air. Il peuvent réagir violemment avec les oxydants.

- ✓ **Hydrogène** : L'hydrogène est incompatible avec l'air, les comburants, les halogénures, les métaux alcalins et les métaux catalyseurs. Il peut réagir avec certains métaux et causer la fragilisation par l'hydrogène.

- ✓ **Dioxyde de carbone** : Le dioxyde de carbone à haute température est incompatible avec le molybdène, le tungstène, le fer, les aciers et alliages à base de nickel, qu'il oxyde.

- ✓ **Les catalyseurs :** Katalco 25-4Q et le Katalco 57-4GQ (Oxyde de nickel, céramique) réduits ne doivent pas être exposés à des gaz contenant du monoxyde de carbone entre 20°C et 200°C à cause du danger de formation de carbonyle de nickel; Après l'activation dans un environnement réducteur, le catalyseur devient pyrophorique (tenir à l'écart des matériaux combustibles).

4.1.1.2 Potentiels de dangers liés aux produits utilitaires

Les utilités que l'on trouve au niveau des unités de production d'ammoniac, de production d'urée et des stockages, sont présentées ci-après :

4.1.1.2.1 Gaz naturel

Les gaz, regroupés sous la dénomination de gaz naturel, contiennent essentiellement du méthane (entre 86 et 98%), de l'éthane (entre 2 et 9%) ainsi que des hydrocarbures plus lourds et de l'azote en faibles quantités.

Le gaz naturel alimente les reformeurs primaire et secondaire des unités de production d'ammoniac.

Le potentiel de danger provient du caractère inflammable du gaz. Sa LIE est de 4,4% et sa LSE est de 16,5%.

4.1.1.2.2 Eau

Il n'y a pas de potentiel de danger lié à l'eau.

4.1.1.2.3 Vapeur

Des projections de vapeur (MP, HP) peuvent provoquer des brûlures ou l'endommagement de circuits électriques (câbles).

4.1.1.2.4 Azote

Il existe un risque anoxie en cas de fuite. Ce potentiel de danger est lié à la sécurité du personnel.

4.1.1.3 Potentiels de dangers liés aux procédés [8]- [1]

4.1.1.3.1 Identification des potentiels de dangers dans reformer

Au niveau du reformer, les potentiels de dangers liés aux procédés proviennent des stades aux niveaux desquels sont mis en jeu des produits dangereux (matières premières, intermédiaires).

Les produits les plus dangereux intervenant dans la fabrication du l'ammoniac sont :

- ✓ **Matières premières et combustible** : Gaz naturel (Méthane) : extrêmement inflammable, utilisé jusqu'à une pression de 50 bar.
- ✓ **Produits intermédiaires** : Le dihydrogène : extrêmement inflammable, et le monoxyde de carbone : extrêmement inflammable.

Les conditions opératoires de l'installation nécessitent des pressions et des températures hautes. Une défaillance d'un système de régulation peut conduire à :

- ✓ Un éclatement de capacité dû à une surpression
- ✓ La fragilisation des matériaux conduisant ainsi à une perte de confinement.

Les potentiels de dangers identifiés au niveau des différentes étapes du reformer mettant en œuvre des gaz inflammables (gaz naturel, hydrogène ou du monoxyde de carbone) et sont les suivants :

• **UVCE** (effets de surpression et effets thermiques) ou **feu de jet** (effets thermiques) en cas de perte de confinement d'une canalisation ou d'équipement contenants du gaz inflammable.
• **Explosion** du reformeur primaire en cas de présence d'une atmosphère explosible non maîtrisée (effets de surpression et effet missile).

Le dégagement de vapeurs inflammables ne peut résulter du fonctionnement normal des installations mais plutôt de situations de fuites accidentelles (brides, joints, raccordements, démontages, et actions spécifiques de maintenance).
Pour limiter les potentiels de dangers liés à la mise en œuvre de gaz inflammables dans cette zone, l'ensemble des opérations s'effectue en circuit fermé sous pression et isolé de la pression atmosphérique.

4.1.2 Dangers liés à la perte d'utilités [2]

4.1.2.1 Perte de l'alimentation électrique

Le site est équipé d'une unité de production d'électricité et est secouru par deux arrivées d'électricité SONELGAZ.

La perte d'alimentation électrique provoque l'arrêt de la quasi-totalité des installations de production.

Tous les automates et les systèmes de sécurité (DCS & ESD) sont alimentés par des onduleurs.

Ces derniers sont mis en double afin que le système soit secouru de manière redondante.

4.1.2.2 Perte de l'alimentation en eau

L'eau nécessaire pour le fonctionnement des installations est produite par l'unité de dessalement et alimentée en faible proportion par le réseau d'eau potable de la zone industrielle.

Des réserves d'eau s'élevant à 19 000 m^3 permettent de faire face à une perte d'alimentation générale pendant un temps nécessaire pour permettre la mise à l'arrêt des installations.

Les réserves d'eau sont réparties de la manière suivante :

- ✓ Réservoir d'eau dessalée : 6 000 m^3 dont 3 000 m^3 d'eau incendie,
- ✓ Réservoir d'eau adoucie : 10 000 m^3,
- ✓ Réservoir d'eau déminéralisée : 3 000 m^3.

En cas d'incendie, une réserve de 5000 m^3 d'eau incendie sera complétée par la réserve d'eau dessalée (3000 m^3) dédiée spécialement à cet usage.

A noter qu'en cas de problème d'alimentation en eau, une alarme est générée sur les postes de supervision.

4.1.2.3 Perte de l'alimentation en azote

L'azote est utilisé pour l'inertage des installations lors des opérations de démarrage. Les installations sont à l'arrêt lors de cette phase.

4.1.2.4 Perte de l'alimentation en air instrument

La perte d'alimentation en air instrument provoque son remplacement par l'azote en attendant la mise à l'arrêt des installations.

4.1.2.5 Perte du gaz fuel

Le gaz naturel est alimenté via une pipe principale SONATRACH-RTO. En cas de défaillance, le site est interconnecté à deux autres sources de gaz naturel qui assurent l'alimentation en continu des procédés.

4.1.2.6 Perte de vapeur

La vapeur nécessaire pour le fonctionnement des installations est soit produite par la centrale d'utilités, soit récupérée par la chaleur produite par les unités de production d'ammoniac. La perte totale de vapeur est très improbable. Le cas échéant, cela conduira à l'arrêt des installations.

4.2 EVALUATION PAR LA METHODE APR

***Tableau 16** : Analyse Préliminaire des Risques*

N°	EVENEMENT REDOUTE CENTRAL	Causes	Conséquence / Effets	Risque initial		BARRIERE DE SECURITE EXISTANT	RISQUE RESIDUEL			RECOMMENDATION/ OBSERVATION
				P	G		P	G	C	
1	Perte de confinement du mélange GN/Fuel	Matières combustible + température d'enceinte /Echauffement des câbles électrique / Court-circuit	Feu de Jet Explosion UVCE	**4**	**3**	- procédure - moyen fixe et mobile de lutte C/F - Respecter les consignes de sécurité. -Formation de personnel	**2**	**3**		Détection de gaz / flamme
2	Perte de confinement du fuel gaz	Matières combustible + température d'enceinte /Echauffement des câbles électrique / Court-circuit	Feu de Jet Explosion UVCE	**4**	**3**	- Formation des opérateurs. - Respecter les consignes de sécurité. -moyen fixe et mobile de lutte C/F	**2**	**3**		Détection de gaz / flamme

N°	EVENEMENT REDOUTE CENTRAL	Causes	Conséquence/ Effets	Risque initial		BARRIERE DE SECURITE EXISTANT	RISQUE RESIDUEL			RECOMMENDATION/ OBSERVATION
3	Perte de confinement du GN	Matières combustible + température d'enceinte /Echauffement des câbles électrique / Court-circuit	**Pas de conséquence**, combustion immédiate du GN ou du mélange des gaz (CO, CO2, H2, CH4) sans effet de surpression	**2**	**1**	- Inspection périodique - Extincteurs, - Respecter les consignes de sécurité. - Essais et vérification des instruments contrôle hebdomadaire.	**1**	**1**		Détection par caméras thermique
4	Perte de confinement du mélange (H2, CO, H2 et CH4	Matières combustible + température d'enceinte avoisinante/Echauffement des câbles électrique / Court-circuit	Feu de Jet Explosion UVCE Dispersion toxique de CO	**4**	**4**	- procédure - moyen fixe et mobile de lutte C/F - Respecter les consignes de sécurité. -Formation de personnel	**2**	**4**		Détection de gaz / flamme

N°	EVENEMENT REDOUTE CENTRAL	Causes	Conséquence/ Effets	Risque initial		BARRIERE DE SECURITE EXISTANT	RISQUE RESIDUEL			RECOMMENDATION/ OBSERVATION
5	Surpression interne	Matières combustible + température d'enceinte avoisinante/Echauffement des câbles électrique / Court-circuit	Explosion interne	**4**	**3**	- procédure. - Inspection périodique - moyen fixe et mobile de lutte C/F - Respecter les consignes de sécurité. -Formation de personnel	**2**	**3**		Caméra thermique portable

4.3 EVALUATION PAR LA METHODE AMDEC

Tableau 17 : *Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités*

Reformer primaire								Evaluation				
Equipement Repère	**Fonctions états**	**Mode de défaillance**	**Causes de défaillance**	**Effet local**	**Effet final**	**Moyens de detection**	**Dispositions compensatoires**	**D**	**G**	**O**	**G**	**Remarque**
Tube de reforming	Craquage CH4	déformation	Saturation catalyseur	déformation de tube T°C Haute	Isolé le Tube Déformé	visuelle	Diminution de traitement de charge	**4**	**5**	**2**	**44**	**Interdite**. Arrêt annuel pour La revision des installations
chaudière à vapeur	Production De la vapeur-MP	corrosion	Erosion	Perforation de serpentain	Arrêt	Capteurs de pression	By-pass vers la 2ème ,3ème ou 4ème Chaudière	**3**	**5**	**2**	**30**	**Elevé**. Intervention de la maintenance
Compresseur Air instrument	Alimen Système de régulation	structurel	Fuite d'huile Refroidi--ssement	Faible rendement	Arrêt	Capteurs niveau	By-pass vers la 2ème ou 3ème compresseur	**1**	**5**	**3**	**15**	**Moyenne**. ntervention de la maintenance
Moteur Ventilateur Air de combustion	Alimen D'Air de combustion	Fluctuation électrique	Sur intensité	Déséquili—-bre de phase	Arrêt	Capteurs de Pression HH-LL	Arrêt Automatique ET Verrouillage	**4**	**5**	**2**	**40**	**Interdite.** Déclenchement de L'installation

Reformer primaire								Evaluation				
Equipement Repère	**Fonctions états**	**Mode de défaillance**	**Causes de défaillance**	**Effet local**	**Effet final**	**Moyens de detection**	**Dispositions compensatoires**	**D**	**G**	**O**	**G**	**Remarque**
Pupitre de contrôle	Gestion production	Court-circuit	Échauffe--ment carte PLC	Perte de signale	Arrêt	Alarme sur pupitre	redondance des cartes PLC	**1**	**2**	**2**	**4**	**Négligeable**. chagement de carte PLC
Box	Enceinte de chauffage	Fuite	Refractère dégradé	Perte de chaleur	Significa-tif	Capteurs de T°C	Arrêt, traitement assure par le 2ème train	**2**	**5**	**1**	**10**	**Négligeable.** Selon la puissance de dissipation ; intervention de la maintenance
Zone de convection	Échangeur thermique	Fuite	corrosion	Perforation échangeur	Arrêt	Capteurs de pression	Arrêt, traitement assure par le 2ème train	**4**	**5**	**2**	**40**	**Interdite.** intervention de la maintenance
Bruleurs	Échauffem--ent Four	Ecoulement réduit	déreglage	Flamme jaune	Isolé Par vanne	visuelle	Diminution de traitement de charge	**4**	**5**	**1**	**20**	**Elevé**. Arrêt annuel pour La revision des installations
Turbo-alternateurs	Alimen électrique	Ne s' Arrête Pas	survitesse	Déformat--ion D'arbre axial	Arrêt	Capteurs de vibration	By-pass vers l'alimentation sonelgaz	**1**	**5**	**1**	**5**	**Négligeable.** intervention de la maintenance

4.4 EVALUATION PAR LA METHODE HAZOP

Tableau 18 : *HAZOP*

Ligne ou équipement : circuit de air de combustion et gaz de combustion								
Noeud	**Paramètre**	**Mot clé**	**Déviation**	**Causes**	**Conséquences**	**Détection**	**Sécurités existantes**	**Propositions d'amélioration**
Air de combu--stion	Débit	-bas débit	-Trés bas débit	-Panne de ventilateur 103k001	-Perte de flame dans le box et dans la conduit des fume. -Combustible déclenchant un mélange explosive. -Baisse de pression dans le reformer. -Perte de confinement. -explosion	-trés bas niveau Switch FXLL103006, lance le déclenchement XB arête unite. - PXLL103001 trés basse pression Vide poussé dans le box du reformer.	-alarme trip B1. -déclenchement arrêt de l'unité.	- prévoir un by-pass avec Un ^{2ème} ventilateur.

Ligne ou équipement : circuit de air de combustion et gaz de combustion								
Noeud	**Paramètre**	**Mot clé**	**Déviation**	**Causes**	**Conséquences**	**Détection**	**Sécurités existantes**	**Propositions d'amélioration**
Air de combu--stion	pression	-Bas pression	-Trés bas pression	- Panne de ventilateur 103k001	-Perte de flame dans le box et dans la conduit des fume. -Combustible déclenchant un mélange explosive. -Baisse de pression dans le reformer. -Perte de confinement. -explosion -impact sur l'environnement	-trés bas niveau Switch FXLL103006, lance le déclenchement XB arête unite. - PXLL103001 trés basse pression Vide poussé dans le box du reformer	- alarme trip B1. -déclenchement arrêt de l'unité.	- prévoir un by-pass avec Un 2ème ventilateur.
Air combu--stion	température	-Bas température	-Trés bas température	- Panne de ventilateur 103k001	-baissement d'efficacité énergétique du box.	-Lecture locale et au niveau de la salle controle	/	/

4.5 Simulation et modélisation de fuite de gaz sur reformer par logiciel ALOHA

4.5.1 Phénomènes dangereux et accidentels [1]- [15]

L'élaboration des méthodes d'analyse AMDEC qui a une criticité alarmante de 40Pts et la méthode HAZOP qui nous ont menés à un facteur commun d'une défaillance significatives qui engendre une situation peut être dangereuse catastrophique de perte des vies humaines et économique.

C'est dans ce cadre qu'on va modéliser la situation par logiciel ALOHA

Tableau 04 : Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités

Reformer primaire								Evaluation				
Equipement Repère	**Fonctions états**	**Mode de défaillance**	**Causes de défaillance**	**Effet local**	**Effet final**	**Moyens de detection**	**Dispositions compensatoires**	**D**	**G**	**O**	**G**	**Remarque**
Moteur Ventilateur Air de combustion	Alimen D'Air de combustion	Fluctuation électrique	Sur intensité	Déséquili—bre de phase	Arrêt	Capteurs de Pression HH-LL	Arrêt Automatique ET Verrouillage	**4**	**5**	**2**	**40**	**Interdite.** Déclenchement de L'installation

Tableau 05 : HAZOP

Ligne ou équipement : circuit de air de combustion et gaz de combustion								
Noeud	**Paramètre**	**Mot clé**	**Déviation**	**Causes**	**Conséquences**	**Détection**	**Sécurités existantes**	**Propositions d'amélioration**
Air de combu--stion	Débit	-bas débit	-Trés bas débit	-Panne de ventilateur 103k001	-Perte de flame dans le box et dans la conduit des fume. -Combustible déclenchant un mélange explosive. -Baisse de pression dans le reformer. -Perte de confinement. -explosion	-trés bas niveau Switch FXLL103006, lance le déclenchement XB arête unite. - PXLL103001 trés basse pression Vide poussé dans le box du reformer.	-alarme trip B1. -déclenchement arrêt de l'unité.	- prévoir un by-pass avec Un ^{2ème} ventilateur.

4.5.2 Données météorologiques

4.5.2.1 Vent

Les données météorologiques recueillies par les services météo logiques montrent que la zone industrielle d'Arzew a un vent de référence de vitesse maximum de 90 km/h (25 m/s).

La Figure VI.1 présente les fréquences de vents selon leur direction (mesurée en % de temps) dans la baie d'Arzew. Ce diagramme montre la prédominance de deux directions :

- le premier vent dominant est de Est Nord Est, ce vent est dominant pendant les mois d'été,
- le second vent dominant est de Ouest-Sud-Ouest pendant les mois d'hiver.

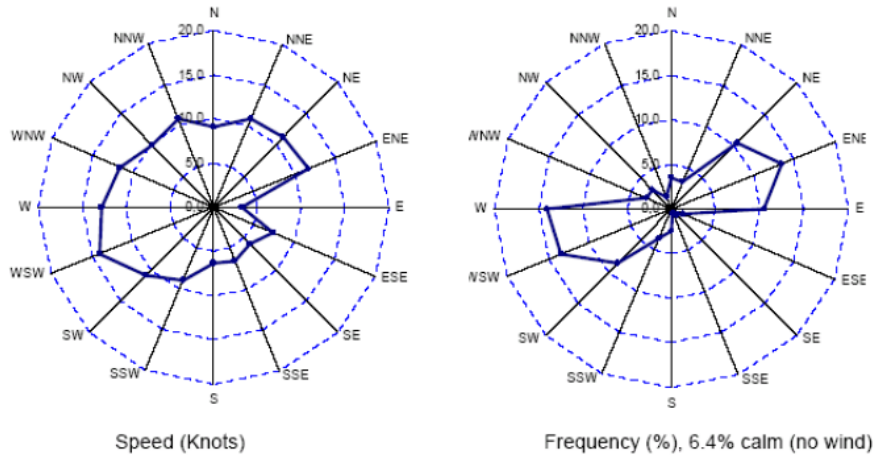


***Figure 14** : présente les fréquences de vents selon leur direction*

4.5.3 Modélisation des conséquences par le logiciel ALOHA [5]

Le scénario étudié est l'accumulation du gaz dans le reformer évacué vers la cheminé suite à une défaillance du ventilateur d'air 103K001 qui alimente les bruleurs au niveau du box reformer qui contient des produits dangereux pour l'enceinte.

4.5.3.1 Les entrées

Les paramètres d'entrée permettent de donnée une bonne description de l'accident étudié, la mise en place de ces paramètres est facile et nécessite quelques données : **Figure 15**

- Coordonnées du lieu: Latitude = 35°52'17.88" N, Longitude = 19'18.22" W

  Altitude = 30 m (données Google *earth*).

- Localisation : Arzew, ALGERIE.

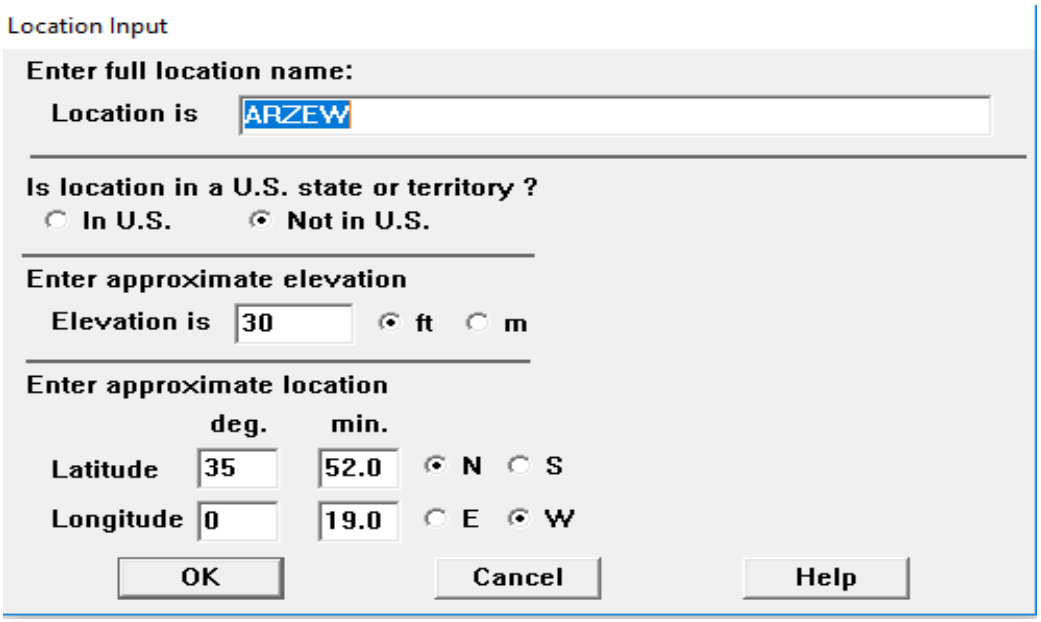


Figure 15 *: Fenêtre d'application pour les coordonnées du lieu*

4.5.3.2 Substance étudiée : Méthane

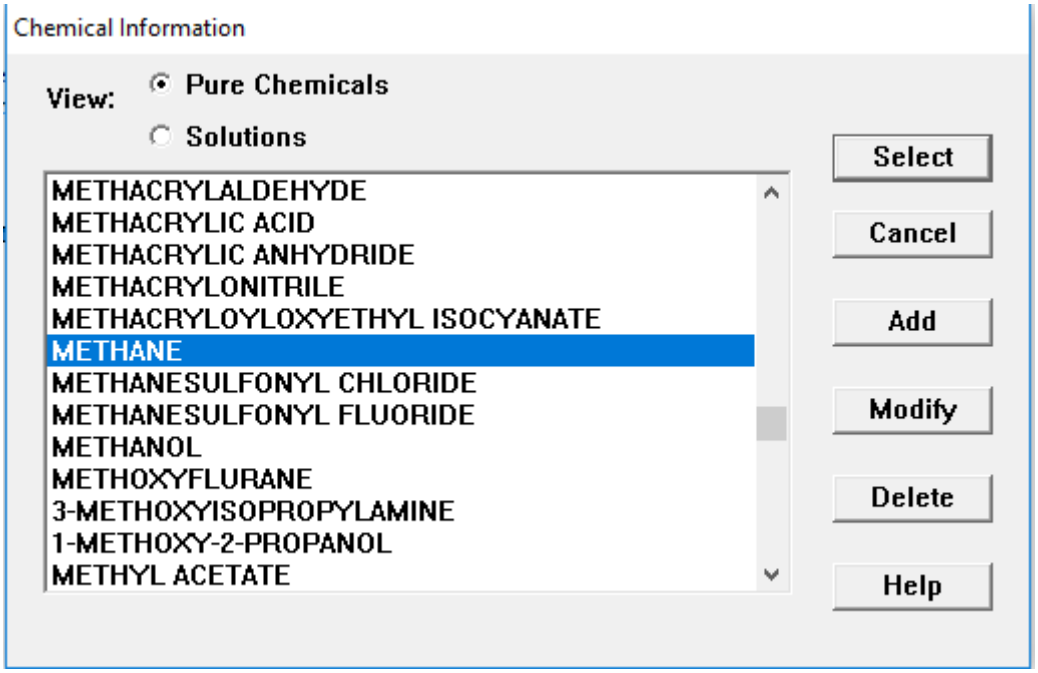


Figure 16 *: Fenêtre d'application pour la substance étudiée*

4.5.3.3 Conditions météorologiques :

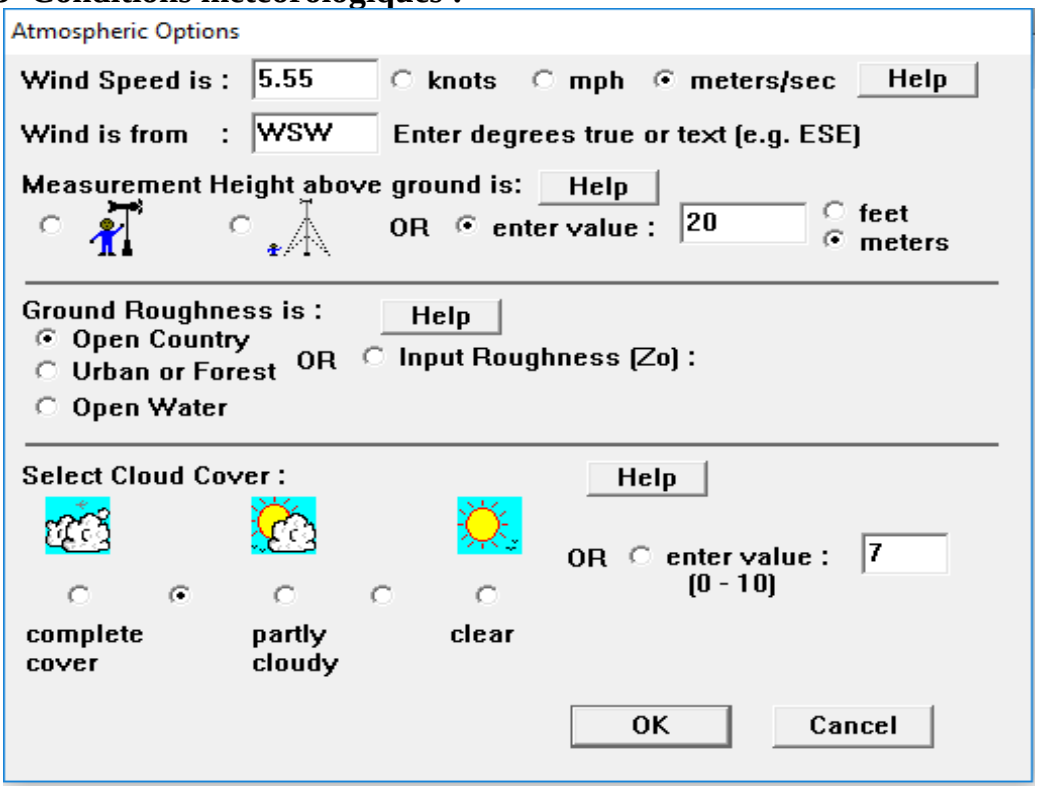


Figure 17 *: Fenêtre d'application pour les conditions atmosphériques*

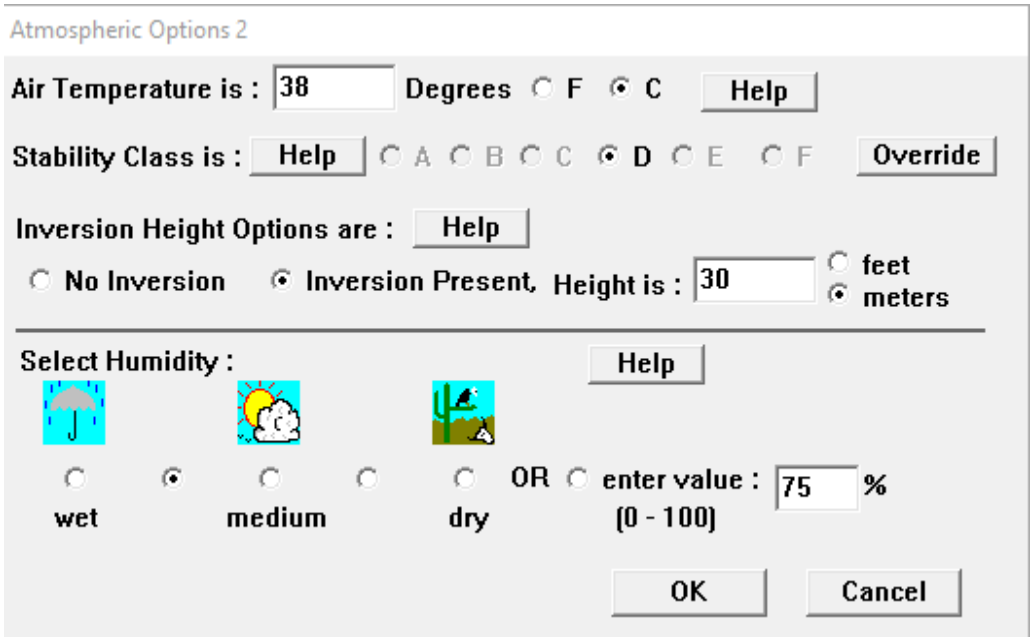


Figure 18 *: Deuxième fenêtre d'application pour les conditions atmosphériques*

4.5.3.4 Caractéristiques de la fuite : Direct (type panache).

Le débit du gaz est égal à 32245 (kg/h).

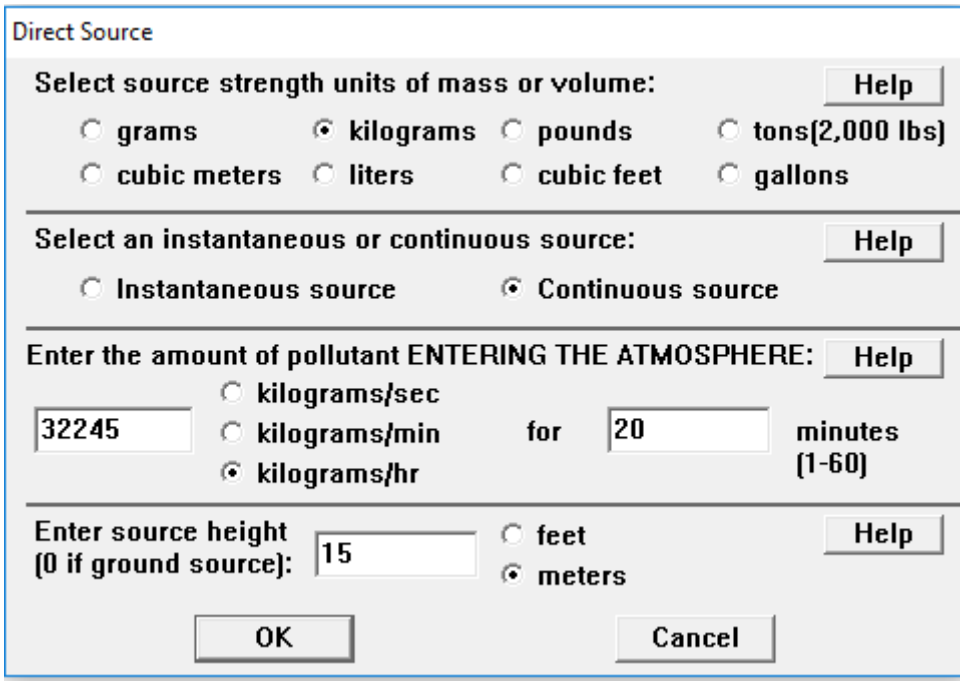


Figure 19 *: Fenêtre d'application pour les caractéristiques de la fuite*

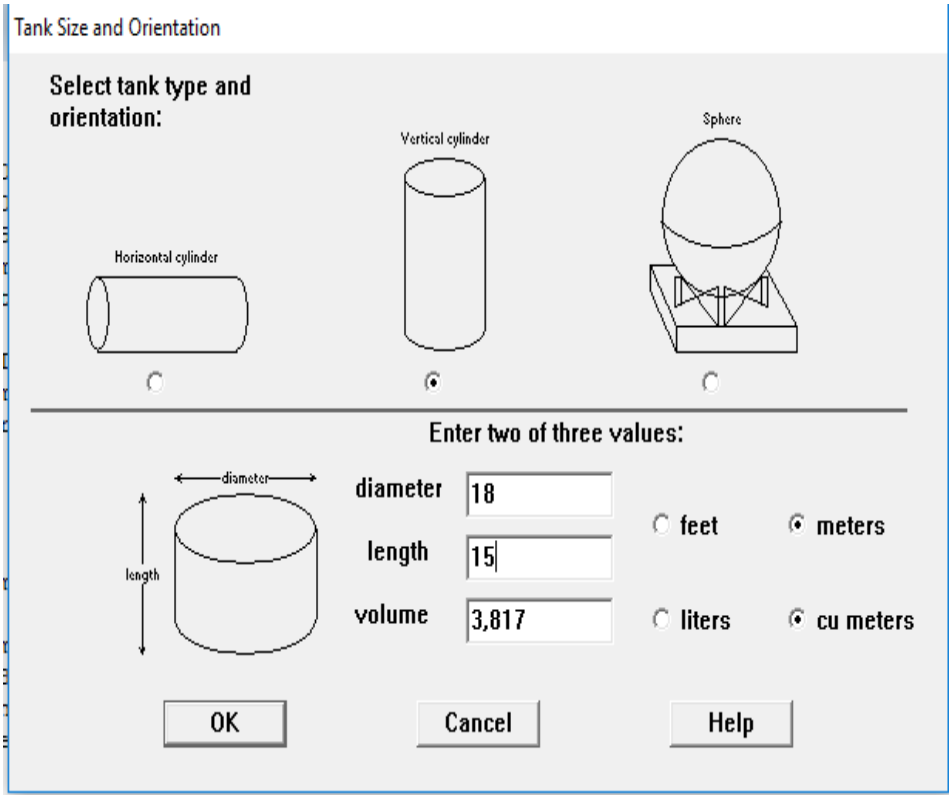


Figure 20 *: Fenêtre d'application pour les caractéristiques capacitée*

4.5.4 Résultats

Nous avons modélisé la dispersion atmosphérique du Méthane suite à son accumulation à l'intérieur du box reformer est nous avons retenus les résultats de la modélisation des distances suivantes :

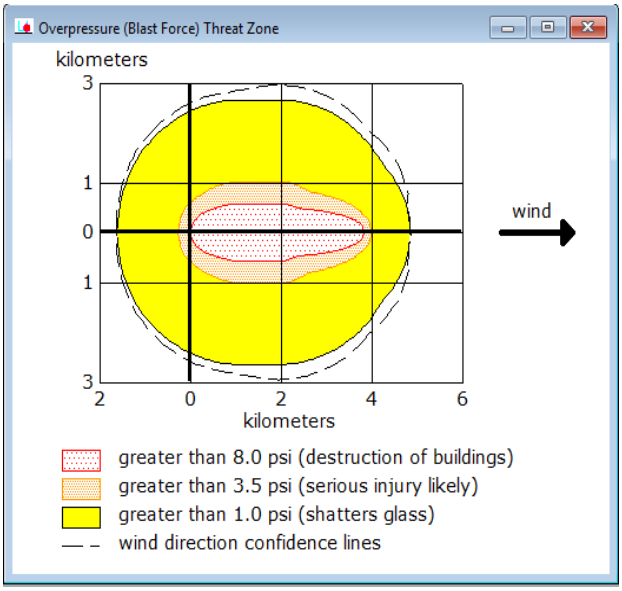


***Figure 21** : Dispersion du gaz pendant 20min*

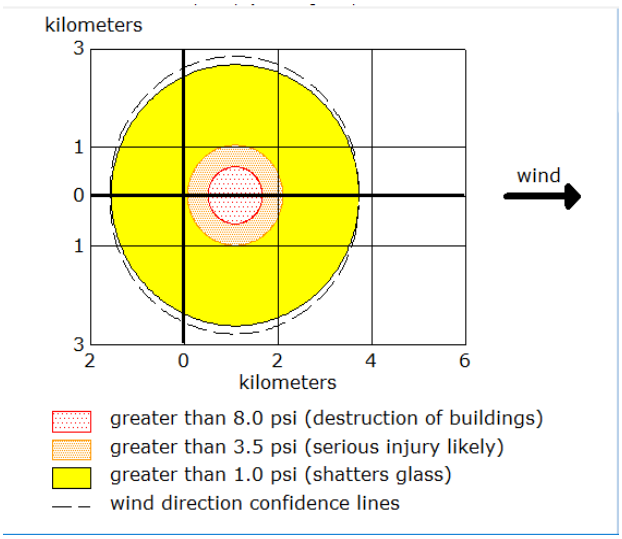


***Figure 22** : Dispersion du gaz pendant 05 min*

Dans un intervalle de temps d'intervention des opérateurs de 15Min on constate que l'ampleur est significatif soient de :

- de la destruction des buildings à une pression de 08 PSI presque d'un kilomètre ; aussi prendre en considération les habitations des riverains.
- Des blessures probable grave dans à un rayon de 2 kilomètre.
- Jusqu'au la cassure des vitres des habitations à une distance de 4 kilomètre.

5 Conclusion Générale

L’évaluation des risques liés aux accidents impliquant des substances chimiques dangereuses, il permet de prévoir et de planifier des mesures d’urgence contre la dispersion des gaz toxiques dans l’air, La modélisation avec le logiciel Aloha a démontré les zones affectées et l’estimation de conséquences prévues.

Notre reformer de craquage ayant subi une importante fuite de gaz méthane à travers la cheminée d’évacuation des gaz d’échappement, du au dysfonctionnement du moteur électrique entrainant le ventilateur en panne d’air et arrêt de la combustion des bruleurs à l’intérieur du Box, concluant un effet de retour de flamme par la présence d’ une étincelle à une distance de 4 kilomètres comme scénario défavorable près de la zone en question met en lumière plusieurs points cruciaux :

- ✓ L'incident illustre la capacité du méthane à se déplacer sur de grandes distances, jusqu'à 4 kilomètres, souligne l'importance d'une surveillance rigoureuse des installations.
- ✓ L'effet de retour de flamme représente un risque sérieux pour les installations environnantes, le personnel et les communautés locales.
- ✓ Cet événement démontre la nécessité d'évaluer régulièrement les risques liés aux installations et aux processus industriels.
- ✓ L’incident aussi sérieux peut également remettre en question l'existant des révisions pourraient être nécessaires pour garantir que les normes de sécurité et en tenant compte des technologies récentes et des meilleures pratiques.
- ✓ Cette modélisation de l’incident nous a démontré la nécessité d'une vigilance continue, d'un renforcement des mesures de sécurité et d'une préparation adéquate pour minimiser les risques futurs associés aux procédés industriels tels que ceux des reformers de craquage.
- ✓ Cette situation dangereuse qui met en danger les salariés, l’environnement et la destruction de l’installation à mettre des perspectives causé par une telle fuite importante impliquent la mise en place un système de détection avancés, des procédures d’urgence clairement définis, une formation adéquate au personnel, des plan d’intervention et d’évacuation efficace.

- ✓ Enfin, la situation met en exergue l'importance d'un engagement constant envers la culture de sécurité au sein de l'entreprise. La sécurité ne doit pas être perçue comme une obligation, mais comme une valeur fondamentale intégrée à toutes les opérations.

6 BIBLIOGRAPHIE

[1]-MFD - Modélisation de la dispersion atmosphérique - 2016.

[2]-Manuel opératoire – process – SORFERT.

[3]-Manuel technique du reformer.

[4]-Légendes des symboles de P&ID | Symboles P&ID – EdrawMax.

[5]-Logiciel modélisation ALOHA.

[6]- Rapport D'étude_omega_7-2 – INERIS 13-10-2006. http://www.ineris.fr

[7]- MFD - Application de la méthode AMDEC machine clé en service – 11/2020.

[8]- étude de dangers ref :mg/ab/ev.1359419/05/r/004/2 - zone industrielle de skikda-2005.

[9]- suivi des équipements électriques tournants: analyse et diagnostic des défaillances
HAL Id: tel-00905281https://theses.hal.science/tel-00905281
Submitted on 18 Nov 2013- auteur - raphaël peuget.

[10]- Retour Expérience acte-impel-2009.

[11]-AMDEC école des HEC Porf -Joseph kélada – 1994.

[12]-support méthodologique pour la mise en place d'un système de gestion de la sécurité
Rapport intermédiaire – dra-08- Décembre 2001.

[13]- Guide-line -Elaboration des études de dangers.

[14]-JO en ligne site journal officiel.

[15]-rapport DRA-09-102965-04675C INERIS.

[16]-TECHNIQUE DE L’ingénieur –titre - chaudières et fours.

[17]-grilles de cotations retenues par SORFERT.

[18]-Norme international CEI812.