

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ 20 AOÛT 1955 SKIKDA  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

## **MASTER**

**Filière :** Hygiène et sécurité industrielle

**Spécialité :** Sécurité des procédés industriels et maîtrise des risques

*EVALUATION DES RISQUES AU NIVEAU D'UNE COLONNE DE  
SÉPARATION NAPHTA (RA1K) PAR L'APPLICATION DE LA  
DÉMARCHEHAZOP*

Soutenu le 25/06/2023

Réalisé par : Benyoucef Houssef

Encadré par : Lokchiri Naima

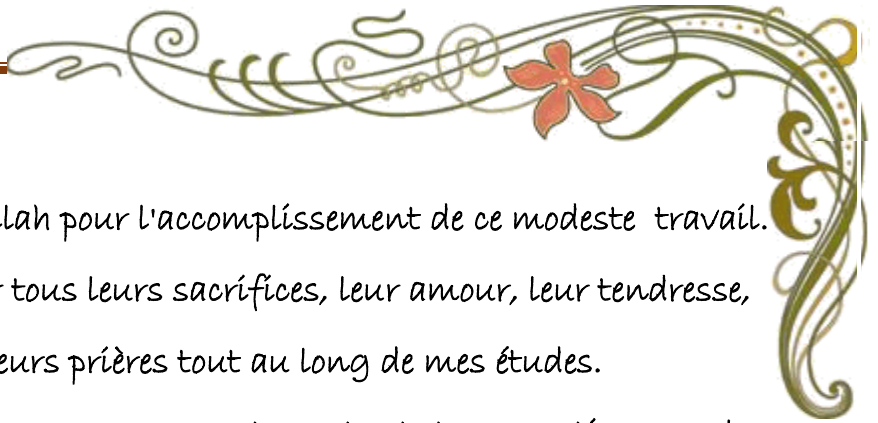
Fennouche Taha Mokhtar

Nakkoub Mahmoud

Année Universitaire 2022- 2023

## *Remerciements*

*Avant tout, nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude et notre grande reconnaissance à Dieu, car sans Lui, ce travail n'aurait pas pu être accompli. Nous tenons également à exprimer notre profond respect et notre immense reconnaissance envers nos enseignants à l'Université "20 Août 1955- Skikda" et au département de génie procédés pour leur soutien et leurs précieux conseils tout au long de ce parcours de recherche. Nous ne pouvons pas oublier notre encadratrice, Mme Naima Lokchiri, et nous tenons à lui exprimer notre profonde gratitude pour sa contribution considérable et son assistance tout au long de ce travail. Nous remercions également les membres du jury qui ont accepté d'évaluer et de discuter de cette recherche. Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous nos amis et camarades de promotion pour leur soutien et leurs encouragements.*



Tout d'abord, louange à Allah pour l'accomplissement de ce modeste travail.

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À ma chère sœur, pour son encouragement constant et son soutien moral.

À mes chers frères Tarek , Mohamed Salah, Khalil , pour vous soutien et vous encouragement.

À la encadrer : " Lokchiri Naïma ", qui a eu la gentillesse de guider ce travail tout au long de l'expérience et de rédiger le mémoire de fin d'études. Ses nombreux conseils ne m'ont jamais déçu. Je suis heureux de pouvoir exprimer ici ma gratitude respectueuse envers elle.

À mes chers amis et compagnon tout au long de mon parcours universitaire, housseem , Mahmoud et sans oublier mes chers amis : zeyd hocine Malek , Abderrahim , amer , Yasser , amar , Abdelalí , montassar , Salah , Houcine raki , Morad , Mohamed CH , Saad , Tomas , lacha , Imad D , abdelghafour ..et les autres .

À toute ma famille, pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

Que ce travail puisse être une réalisation de ce que vous appelez vos aspirations, et le résultat de votre soutien constant

Je tiens également à me remercier moi-même pour ma patience et ma persévérance face à tous les défis et difficultés rencontrés tout au long de mon parcours universitaire.



MOKHTAR .FE

---

## Dédicaces

---



Tout d'abord, louange à Allah pour l'accomplissement de ce modeste travail.

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,  
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À ma chère sœur, pour son encouragement constant et son soutien moral.

À mon cher frère aymen , pour son soutien et son encouragement.

À la cadre : " Lokchiri Naïma ", qui a eu la gentillesse de guider ce travail  
tout au long de l'expérience et de rédiger le mémoire de fin d'études. Ses  
nombreux conseils ne m'ont jamais déçu. Je suis heureux de pouvoir exprimer ici  
ma gratitude respectueuse envers elle.

À mes chers amis et compagnon tout au long de mon parcours universitaire,  
Mokhtar , houssem et sans oublier mes chers amis : zeyd , Abderrahim , amar  
, nidal , Imad D , abdelghafour ..et les autres .

À toute ma famille, pour leur soutien tout au long de mon parcours  
universitaire.

Que ce travail puisse être une réalisation de ce que vous appelez vos aspirations,  
et le résultat de votre soutien constant.

Je tiens également à me remercier moi-même pour ma patience et ma persévérance  
face à tous les défis et difficultés rencontrés tout au long de mon parcours  
universitaire.



MAHMOUD . NA

---

## Dédicaces

---

Tout d'abord, louange à Allah pour l'accomplissement de ce modeste travail.

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,  
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À mes chères sœurs, pour votre encouragement constant et votre soutien moral.

À mon cher frère Hicham, amine, pour son soutien et son encouragement.

À la encadrer : " Lokchiri Naïma ", qui a eu la gentillesse de guider ce travail  
tout au long de l'expérience et de rédiger le mémoire de fin d'études. Ses  
nombreux conseils ne m'ont jamais déçu. Je suis heureux de pouvoir exprimer ici  
ma gratitude respectueuse envers elle.

À mes chers amis et compagnon tout au long de mon parcours universitaire,  
Mokhtar, Mahmoud et sans oublier mes chers amis : zeyd, Abderrahim,  
Hocine, amer, Yasser Malek, Lotfi, Nasro, aymen, Najib, Hocine, Ahmed,  
Haroun, Tayb, housseem, Sami, djaber, noufel, Yahya, Zakaria, walid,  
Rafik ..et les autres .

À toute ma famille, pour leur soutien tout au long de mon parcours  
universitaire.

Que ce travail puisse être une réalisation de ce que vous appelez vos aspirations,  
et le résultat de votre soutien constant.

Je tiens également à me remercier moi-même pour ma patience et ma persévérance  
face à tous les défis et difficultés rencontrés tout au long de mon parcours  
universitaire.



HOUSSEM .BEN

---

**Table des matières**

Remerciements\*\*\*\*\*I

Dédicaces\*\*\*\*\*II

Table des matières\*\*\*\*\*V

Résumé \*\*\*\*\*VIII

Liste des figures\*\*\*\*\*IX

Liste des tableaux\*\*\*\*\* XI

INTRODUCTION GENERAL..... 1

CHAPITRE I :

I.1 INTRODUCTION : .....3

I.2. RISQUE INDUSTRIEL : .....3

I.3 LES FACTEURS DE RISQUE INDUSTRIEL : .....3

I.4 LES CARACTERISTIQUES DE RISQUE : .....4

    I.4.1 LA PROBABILITE D'OCCURRENCE : .....4

    I.4.2 LA FREQUENCE : .....4

    I.4.3 LA GRAVITE : .....4

I.5 CATEGORIES DES RISQUES : .....5

    I.5.1 CAUSES DU RISQUE INDUSTRIEL : .....5

    I.5.2MANIFESTATIONS DU RISQUE INDUSTRIEL : .....6

    I.5.3EFFETS ET CONCEQUENCES DU RISQUE INDUSTRIEL .....6

I.6 RÉDUCTION DU RISQUE : .....7

    I.6.1LA PRÉVENTION:.....7

    I.6.2 LA PROTECTION:.....7

I.7 ACCEPTABILITE DU RISQUE : .....8

I.8 GESTION DES RISQUES : .....8

    I.8.1 DEFINITION : .....8

    I.8.2 OBJECTIF : .....9

    I.8.3 PROCESSUS DE GESTION DES RISQUES : .....9

I.9 EVALUATION DES RISQUES ET ETUDE DE DANGERS : .....10

I.10 TRAITEMENT DU RISQUE (MAITRISE OU REDUCTION DU RISQUE) : ..... 11

## *Table de Matière*

---

|  |    |
|--|----|
| I.10.1 DEFINITION :                                      | 11 |
| I.10.2 IDENTIFIER LES OPTIONS DE TRAITEMENT :            | 12 |
| I.10.3 ÉVALUATION DES OPTIONS DE TRAITEMENT :            | 13 |
| I.10.4 PREPARER LES PLANS DE TRAITEMENT :                | 14 |
| I.10.5 METTRE EN ŒUVRE DES PLANS DE TRAITEMENT:          | 15 |
| I 11 ANALYSE DES RISQUES :                               | 15 |
| I.11.1DEFINITION :                                       | 15 |
| I.11.2 ACTIONS PRINCIPALES D'ANALYSE DU RISQUE:          | 15 |
| I.11.3 DETERMINATION DES CONSEQUENCES POTENTIELLES :     | 16 |
| I.11.4 DETERMINATION DES PROBABILITES D'OCCURRENCE :     | 16 |
| I.11.3 ESTIMATION DU NIVEAU DE RISQUE:                   | 18 |
| I.12 CONCLUSION:   | 19 |
| Chapitre II :  |    |
| II .1 INTRODUCTION :                                     | 20 |
| II .2 HISTORIQUE DES METHODES D'ANALYSE :                | 20 |
| II .3CLASSIFICATION DES METHODES D'ANALYSE DE RISQUE :   | 21 |
| II.5 APPROCHE DETERMINISTE :                             | 22 |
| II .6 APPROCHE PROBABILISTE :                            | 22 |
| II .7 METHODES QUALITATIVES VS. METHODES QUANTITATIVES : | 23 |
| II .7.1 METHODES QUANTITATIVES :                         | 23 |
| II .7.2 METHODES QUALITATIVES :                          | 24 |
| II.8 INTÉRÊTS DES MÉTHODES D'ANALYSE DE RISQUES :        | 26 |
| II.9 PRINCIPALES MÉTHODES UTILISÉES :                    | 28 |
| II . 10 HISTORIQUE ET DOMAINE D'APPLICATION:             | 28 |
| II.10.1 DEFINITION DE LA METHODE HAZOP :                 | 29 |
| II.10.2 PRINCIPE:  | 29 |
| II.10.3 DEROULEMENT:                                     | 30 |
| II.10.4 OBJECTIVES DE LA METHODE HAZOP :                 | 31 |
| II.10.5 DEFINITION DES PARAMETRES:                       | 31 |
| II.10.6 CRITERES DE CHOIX DES METHODES :                 | 32 |
| II.10.7 ÉQUIPE HAZOP :                                   | 32 |
| II.10.7 PROCEDURE DE L'ETUDE :                           | 33 |

## ***Table de Matière***

---

|  |    |
|--|----|
| II.10.8 MISE EN OUVRE DE LA METHODE HAZOP :.....                 | 34 |
| II.10.9 ANALYSE DU SYSTEME : .....                               | 34 |
| II.11 CONCLUSION:.....   | 35 |
| Chapitre III :   |    |
| III.1 INTRODUCTION :.....  | 36 |
| III.2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE SONATRACH : .....             | 36 |
| III.2.1. AMONT :.....  | 36 |
| III.2.2. TRANSPORT PAR CANALISATION : .....                      | 36 |
| III.2.3. AVAL : .....  | 36 |
| III.2.4. COMMERCIALISATION DES HYDROCARBURES :.....              | 36 |
| III.3 PRESENTATION DU COMPLEXE RA1K DE SKIKDA :.....             | 37 |
| III.3.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :.....                           | 37 |
| III.3.2. ORGANIGRAMME DU COMPLEXE DE RAFFINAGE DE SKIKDA : ..... | 39 |
| III.3.3 OBJECTIFS :.....   | 39 |
| III.3.4 BRUT TRAITE : .....                                      | 40 |
| III.3.5 PRESENTATION GENERALE DES UNITES DE PROCEDES.....        | 40 |
| III.3.6 UNITE 101 PRETRAITEUR DE NAPHTA : .....                  | 42 |
| III.3.7 FONCTIONS DE L'UNITE 101 PRETRAITEUR DE NAPHTA :.....    | 43 |
| III.4.1 OBJECTIF :.....  | 45 |
| III.4.2 DESCRIPTION DE PROCEDE :.....                            | 45 |
| III.5 LA COLONNE :.....  | 47 |
| III.5.1 CONDENSEURS INTERMEDIAIRE SETSTRIPPERS LATERAUX :.....   | 47 |
| III.5.2 APPROCHE DE LA PRESSION ET DE LA TEMPERATURE :.....      | 48 |
| III.5.4TECHNOLOGIE INTERNE DE LA COLONNE: .....                  | 49 |
| III.5.5PLATEAUX A CONTRE-COURANT.....                            | 54 |
| III.5.6 MATERIAUX DE CONSTRUCTION.....                           | 54 |
| III.5.7 NETAT DESCRIPTIF EQUIPEMENT : COLONNE.....               | 54 |
| III.6 CONCLUSION : .....   | 56 |
| Chapitre VI :  |    |
| VI.1-DEBIT :.....  | 57 |
| VI.2-LA PRESSION : .....   | 58 |
| VI.3-LA TEMPERATURE :.....                                       | 59 |

*Table de Matière*

---

VI.4 CONCLUSION: .....60  
CONCLUSION GENERAL.....61

### Résumé

L'objet premier de notre travail était l'évaluation des risques liés à une colonne de separation de NAPHTHA en utilisant la demarche HAZOP afin d'identifier les scénarios d'accident potentiels.

technique représente une solution très pratique et Simple comme une gestion efficace des

risques. Au début on a introdui des notions générales de risque industriel

Ensuite on a donnée un presentation globale de la demarche HAZOP, qu'elle

nous méne enfin à l'application de cette demarche sur la colonne C1.

Abstract :

The primary purpose of our work was to assess the risks associated with a NAPHTHA separation column using the HAZOP approach in order to identify potential accident scenarios.

technique represents a very practical and Simple solution as an effective management of risks At the beginning we introduced general notions of industrial risk Then we gave a global presentation of the HAZOP approach, which it finally leads us to the application of this approach on the column C1

ملخص

كان الغرض الأساسي من عملنا هو تقييم المخاطر المرتبطة بعمود فصل نافتا باستخدام نهج هزوب من أجل تحديد سيناريوهات الحوادث المحتملة.

تمثل التقنية حلاً عملياً وبسيطاً للغاية لإدارة فعالة للمخاطر.

في البداية قدمنا المفاهيم العامة للمخاطر الصناعية ثم قدمنا عرضاً تقديمياً عالمياً لنهج هزوب ، وهو

يقودنا أخيراً إلى تطبيق هذا النهج على العمود C1.

### Chapitre I:

|  |    |
|--|----|
| Figure I.1 Les Composants de risque et les relations entre eux .....                                     | 6  |
| Figure I. 2 Principales causes des accidents industriels majeurs.....                                    | 7  |
| Figure I.3 Processus de gestion du risque.....   | 11 |
| Figure I.4 Processus de traitement du risque.....  | 13 |
| Figure I.5 Mécanisme de réduction du risqué.....   | 14 |
| Figure I.6 le coût de réduction en fonction du niveau de risque.....                                     | 15 |
| Figure I. 7 les principes généraux de prevention.....  | 16 |
| Figure I.8 Exemple d'une carte synthèse de détermination des conséquences en fonctionde probabilité..... | 19 |

### Chapitre II:

|   |    |
|---|----|
| Figure II.1 Approches d'analyse de risque .....   | 22 |
| Figure II.2: Typologie des méthodes d'analyse de risque .....                               | 24 |
| Figure II.3 : Classification des principales méthodes d'analyse de risque qualitatives..... | 26 |
| Figure II. 4 Intérêts des méthodes d'analyse de risque.....                                 | 28 |
| Figure II. 5 PRINCIPALES MÉTHODES UTILISÉES .....   | 29 |
| Figure II. 6 montre la séquence des questions à poser à l'équipe.....                       | 35 |
| Figure II.7 : Procédure d'élaboration d'une méthode HAZOP .....                             | 36 |

### Chapitre III:

|   |    |
|---|----|
| Figure III.1 Localisation de la raffinerie de SKIKDA.....                               | 40 |
| Figure III.2 Localisation de la raffinerie SKIKDA par rapport aux autres complexes..... | 40 |
| Figure III.3: Organigramme général de la raffinerie de Skikda.....                      | 41 |
| Figure III.4 Schéma descriptif de raffinerie de Skikda.....                             | 43 |
| Figure III.5 Schéma section de fractionnement 100p .....                                | 44 |
| Figure III.6 Raffinerie RA1K SKIKDA.....  | 45 |
| Figure III.7 Schéma unité 101 .....   | 49 |
| Figure III.8 Condenseur intermédiaire de l'unité 101.....                               | 50 |

## *Liste des figures*

---

|  |    |
|--|----|
| Figure III.9 Stripper latéral de l'unité 101.....              | 51 |
| FigurIII.10 Plateau à courants croisés.....                    | 52 |
| Figure III.11 Possibilités de circulation du liquide.....      | 54 |
| FigureIII 12 Disposition des éléments de barbotage.....        | 54 |
| Figure III.13 Plateaux perforés et assimilés.....              | 55 |
| Figure III.14 Modèle de clapets de quelques constructeurs..... | 56 |
| Figure III.15 Plateau à contre-courants.....                   | 57 |

### Chapitre I:

|  |    |
|--|----|
| Tableau I. 1 Les facteurs de risque industriel.....                                | 4  |
| Tableau I.2 Acceptabilité du risque.....   | 9  |
| Tableau I.3 Echelle de classification des niveaux de probabilité d'occurrence..... | 17 |
| Tableau I.4 Echelle de classification des niveaux de gravité des conséquences..... | 18 |
| Tableau I.5 Matrice de risqué.....   | 20 |

### Chapitre II:

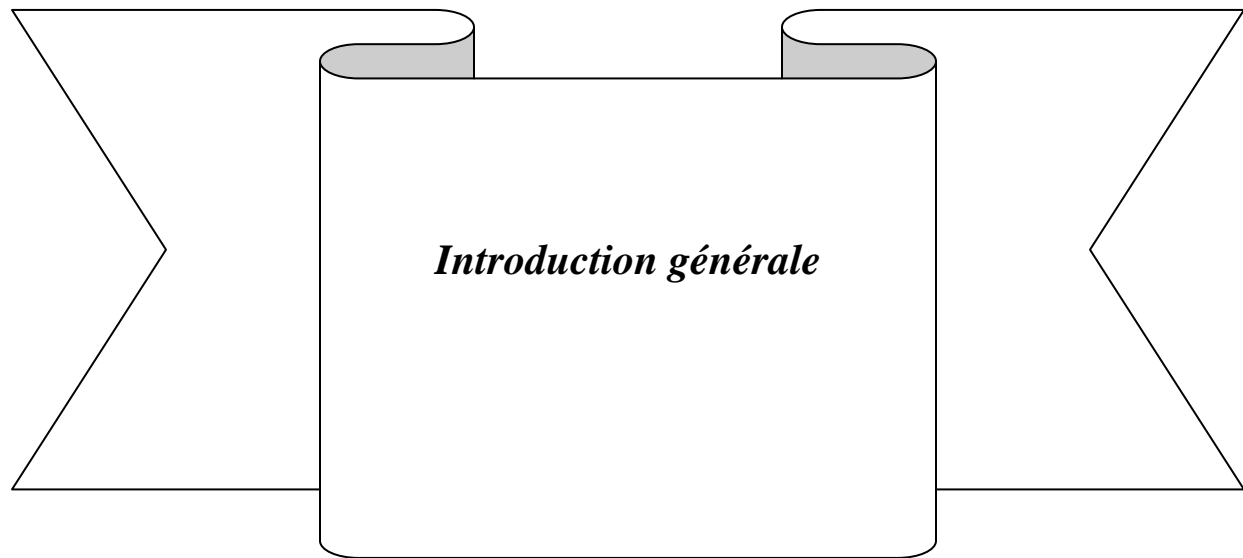
|   |    |
|---|----|
| Tableau II.1 Les courants mot-clés utilisées dans la méthode HAZOP..... | 31 |
| Tableau II.2 : Les paramètres utilisées dans la méthode HAZOP.....      | 33 |
| Tableau II.3: Composition d'équipe HAZOPP.....                          | 34 |
| Tableau II.4 tableau HAZOP.....   | 37 |

### Chapitre III:

|   |    |
|---|----|
| Tableau III.1 PROPRIETES PHYSIQUES DES CHARGES..... | 46 |
| Tableau III .2 PERFORMANCES.....                    | 57 |
| Tableau III .3 construction.....                    | 58 |
| Tableau III .4 Matériaux.....                       | 58 |
| Tableau III .5 CONTROLE NDT.....                    | 58 |

### Chapitre IV:

|   |    |
|---|----|
| Tableau VI.1 L'étude HAZOP sur la colonne C1..... | 59 |
|---|----|



## **Introduction générale:**

Problème :

Actuellement, l'industrie des hydrocarbures joue un rôle crucial dans le développement et la fourniture d'énergie à travers le monde, notamment en Algérie. Cependant, l'évolution de cette industrie a entraîné à la fois des avancées techniques et une nécessité de maîtriser certains risques.

Les risques associés aux hydrocarbures, largement utilisés dans tous les secteurs, se présentent sous deux formes. D'une part, il y a le risque d'incendie ou d'explosion, car la plupart des hydrocarbures sont inflammables. D'autre part, il y a le risque de dispersion de substances toxiques, dont le degré varie selon les produits utilisés.

Solution :

Une gestion des risques met l'accent sur la prévention des risques liés aux activités de l'entreprise, qu'ils soient d'ordre stratégique, opérationnel ou financier. Elle consiste également à mettre en place des stratégies pour faire face à ces risques. Une telle approche implique la surveillance de l'efficacité des systèmes de qualité et de sécurité. Elle comprend diverses missions, parmi lesquelles les principales sont :

1. Favoriser le développement de systèmes de prévention des risques au sein de l'entreprise, englobant la sécurité des biens, des personnes, des informations, la sauvegarde du savoir-faire, les risques environnementaux, sociaux, financiers et l'image de l'entreprise.
2. Mettre en œuvre des plans d'action visant à améliorer la performance de la structure.
3. Développer une démarche globale de développement durable pour l'entreprise.
4. Adapter la stratégie de l'entreprise pour maîtriser les risques.
5. Préparer l'entreprise et son personnel à gérer des situations de crise en fonction de l'activité exercée.

## *Introduction générale*

---

De plus, la gestion des risques revêt une importance toute particulière lorsque l'entreprise se lance dans un nouveau projet. Dans ce cas, les décideurs attendent du gestionnaire des risques une étude approfondie de la faisabilité du projet et des risques associés à sa réalisation.

Objectif :

Dans ce contexte, ce mémoire vise principalement à réduire le risque associé à une colonne de séparation de naphtha dans une unité de raffinerie de SKIKDA, en Algérie, à un niveau jugé tolérable ou acceptable, en utilisant la méthode HAZOP (HAZard and Operability studies).

Plan de la mémoire :

Afin de réaliser cet objectif, nous avons décomposé notre travail en deux parties :

Partie théorique et partie pratique.

Dans la partie théorique on présente les notions et les présentations générales utilisées

Dans notre travail, sont :

Chapitre I : Nous avons introduire des définitions et des concepts des risqué industrial

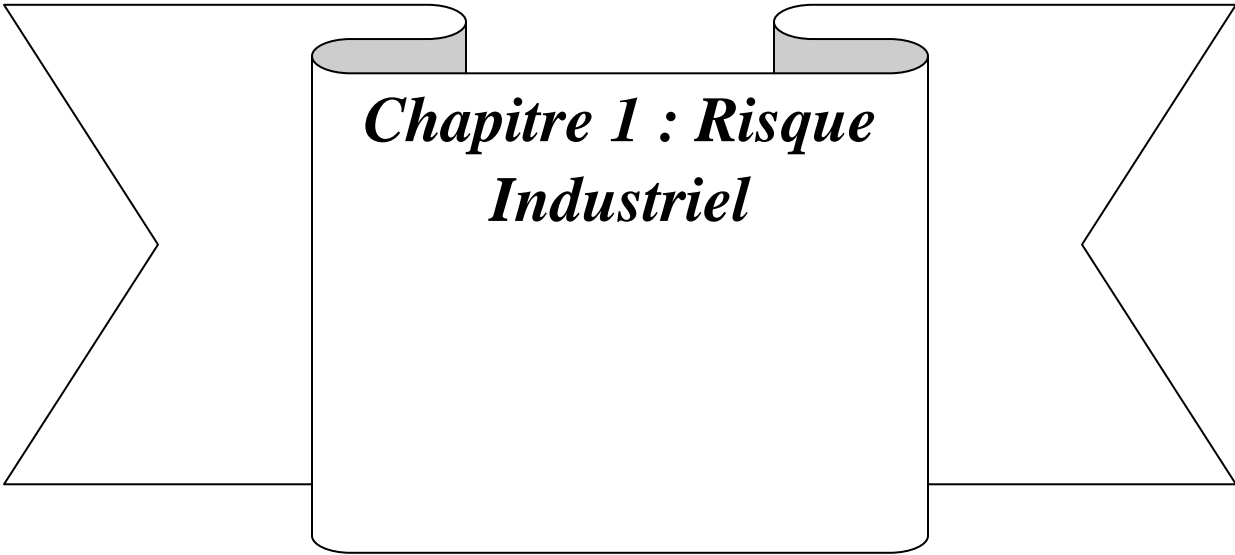
Chapitre II : Nous avons donnée une présentation de la démarche HAZOP

deuxième partie comporte les chapitres suivants :

Chapitre III : Nous avons présenté l'entreprise et identifié ses différentes installations.

Chapitre IV : Nous avons appliqué la démarche HAZOP sur la colonne

C1 de la raffinerie SKIKDA.



## I.1 Introduction :

La notion de risque est un concept, une construction de l'esprit. Ce concept repose sur l'hypothèse selon laquelle on peut prédire l'avenir à partir du passé.

C'est pour ça que ce chapitre a pour but de mettre en clair la première vision sur des notions de danger et de risque...etc. Une bonne gestion des risques complète et détaillée s'appuie sur une bonne connaissance de ces notions de base afin de mieux maîtriser chaque étape ou phase d'une gestion des risques.[1]

## I.2. Risque industriel :

Le risque industriel est défini comme un événement accidentel se produisant sur un site industriel mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, les biens et l'environnement. Afin d'en limiter la survenue et les conséquences, les établissements les plus dangereux sont soumis à une réglementation particulière (classement des installations) et à des contrôles réguliers. Néanmoins, ce n'est pas parce qu'un site n'est pas classé qu'il ne présente pas de danger.[2]

## I.3 Les facteurs de risque industriel :

Tableau I. 1 Les facteurs de risque industriel[2]

| Les facteurs | DÉFINITIONS  |
|--------------|--|
| Danger       | Propriété intrinsèque des produits, des équipements, des procédés...pouvant entraîner un dommage.  |
| Risque       | Exposition d'une cible (salarié, entreprise, environnement y compris la population...) à un danger.<br>Le risque est caractérisé par la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté (accident) et de la gravité de ses conséquences. |
| Exposition   | Dans le présent contexte, quand on parle d'exposition, il s'agit du contact<br>Entre le danger et une personne, pouvant dès lors entraîner un  |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
|                             | dommage.<br>Sans exposition, pas de possibilité de dommage.<br>Le risque est donc la probabilité que quelqu'un soit atteint par un danger   |
| <b>Facteur des risques:</b> | Les facteurs de risques sont des éléments qui peuvent Augmenter ou diminuer la probabilité de survenance d'un accident ou la gravité d'un événement Les facteurs de risques complètent l'équation:<br><b>RISQUE = DANGER X EXPOSITION</b> |

### I.4 Les caractéristiques de risqué :

En autre terme ils sont des différents composants propres et générales qui caractérisent le véritable concept de risque.

#### I.4.1 La probabilité d'occurrence :

une probabilité est une « mesure de la possibilité d'occurrence exprimée par un chiffre [sic] entre 0 et 1, 0 indiquant une impossibilité et 1 indiquant une certitude absolue » (le lecteur perspicace notera ici une autre confusion, celle entre « chiffre » et « nombre »... peut être issue d'une mauvaise traduction du mot anglais « *number* »)[22]

#### I.4.2 La fréquence :

une fréquence est un « nombre d'événements ou d'effets par unité de temps donnée » (pour certains domaines d'application, notamment celui du transport et de l'aéronautique, la notion de fréquence est étendue afin d'exprimer un nombre d'évènements par unité de distance)[22]

#### I.4.3 La gravité :

C'est l'importance des conséquences négatives directes et indirectes associées au risque. Elle est définie qualitativement ou quantitativement en fonction des répercussions sur les personnes, le projet, l'organisation ou son environnement[23]

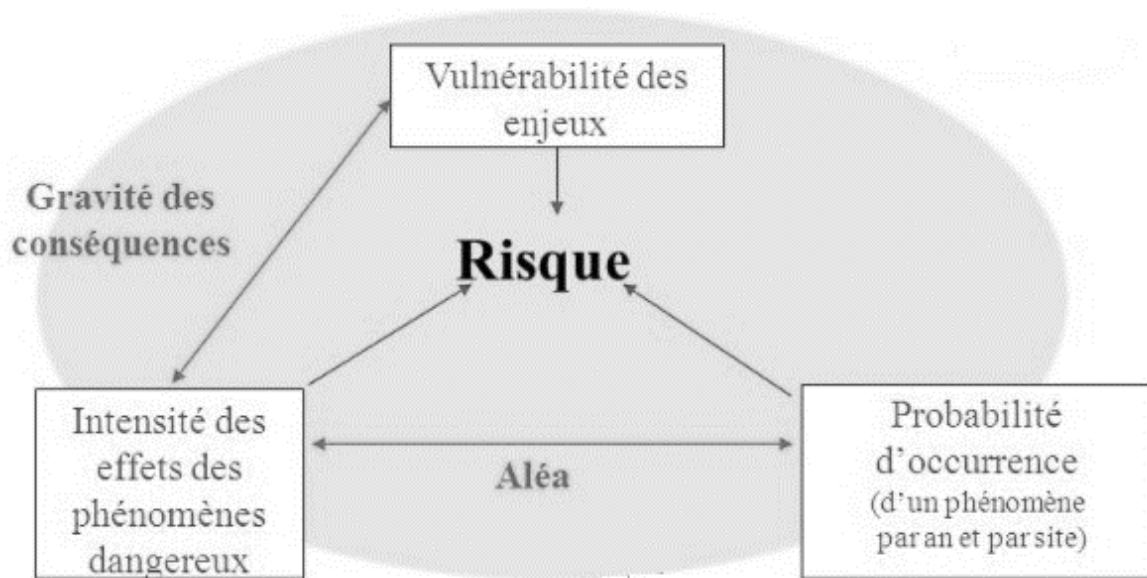


Figure I.1 Les Composants de risque et les relations entre eux [23]

### I.5 Catégories des risques :

On peut les regrouper en deux catégories:

- Risques naturels: avalanches, feux de forêt, inondations, mouvements de terrain, cyclones, séismes, éruptions volcaniques ;
- Risques technologiques: risques de nature industrielle, nucléaires, liés à la radioactivité, aux transports de matières dangereuses, aux exploitations minières et souterraines ou encore liés à la rupture de barrages. Ils sont engendrés par l'activité humaine. Ils pèsent sur l'environnement considéré dans son acception la plus large (pollution de l'air, environnement du travail, pollution des sols...).[4]

#### I.5.1 Causes du risque industriel :

Les causes potentielles pouvant conduire à un accident industriel sont diverses :

- Une défaillance du système : il peut s'agir d'une défaillance mécanique ou d'une défaillance liée à un mauvais entretien (vanne bloquée, capteur défaillant, etc.) ;
- Une erreur humaine : le facteur humain peut être lié par exemple à une méconnaissance des risques, une erreur de manipulation (mauvais dosage, inattention, etc.), à un défaut d'organisation ;
- Un emballement réactionnel : une réaction chimique mal maîtrisée peut entraîner un débordement, une montée en pression, la génération de produits corrosifs ou toxiques ;
- Des causes externes peuvent engendrer un accident industriel : les risques naturels tels qu'un séisme ou une inondation, une panne due à un problème d'alimentation électrique mal gérée ou encore une cause extérieure comme la chute d'un avion ;
- Un accident sur une installation voisine. du même établissement ou non, ayant des effets sur autre installation, on parle alors d'effets dominos entre équipements ;
- Une défaillance peut également être l'origine d'un accident industriel, comme par exemple une dégradation d'un outil de production.[5]

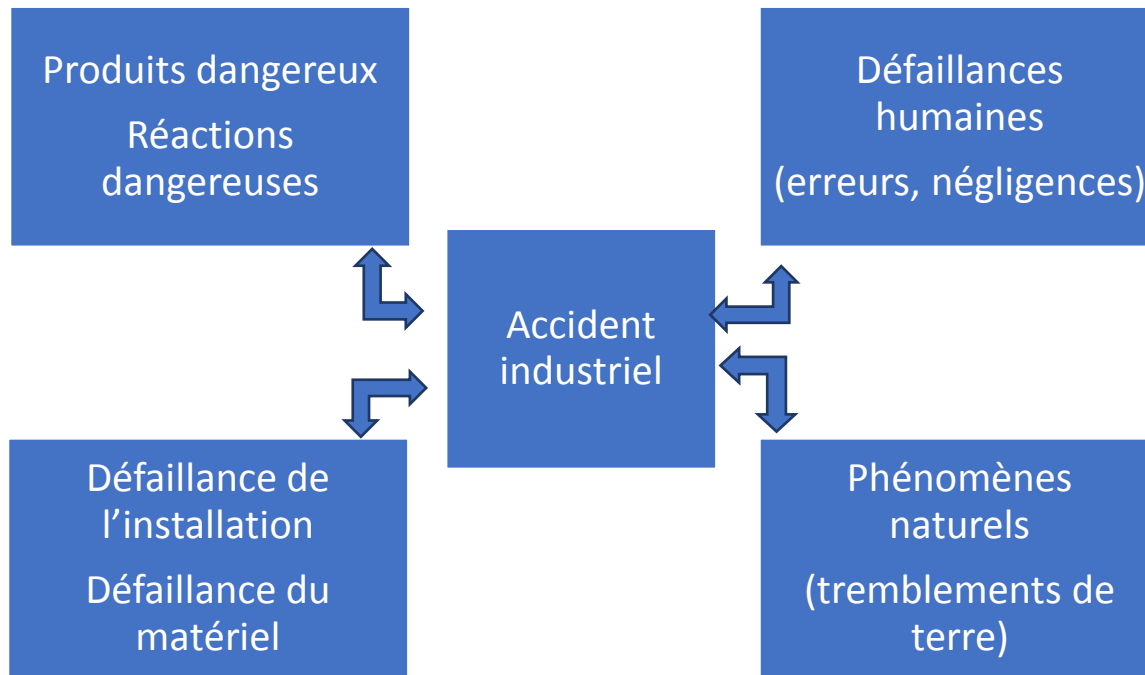


Figure I. 2 Principales causes des accidents industriels[6]

### I.5.2 Manifestations du risque industriel :

Ses principales manifestations sont :

- l'incendie dû à l'ignition de combustibles par une flamme ou un point chaud (risque d'intoxication, d'asphyxie et de brûlures) ;
- l'explosion due au mélange combustible / comburant (air) avec libération brutale de gaz (risque de décès, de brûlures, de traumatismes directs par l'onde de choc...) ;
- la pollution et la dispersion de substances toxiques, dans l'air, l'eau ou le sol, de produits dangereux avec une toxicité pour l'homme par inhalation, ingestion ou contact.

Ces différents phénomènes peuvent être associés.[7]

### I.5.3 Effets et conséquences du risque industriel

Les effets d'un accident industriel sont de trois ordres pouvant intervenir seuls, successivement, ou simultanément. Les conséquences de ces effets peuvent porter atteinte à la santé humaine, aux biens et à l'environnement.

#### I.5.3.1 les effets :

Les principales manifestations du risque industriel sont regroupées sous trois typologies d'effets :

- **les effets thermiques** sont liés à une combustion d'un produit inflammable ou à une explosion ;
- **les effets mécaniques** sont liés à une surpression, résultant d'une onde de choc (déflagration ou détonation), provoquée par une explosion.

## **Chapitre 1 : Risque Industriel**

---

Celle-ci peut être issue d'un explosif, d'une réaction chimique violente, d'une combustion violente (combustion d'un gaz), d'une décompression brutale d'un gaz sous pression (explosion d'une bouteille d'air comprimé par exemple) ou de l'inflammation d'un nuage de poussières combustibles.

Pour évaluer ces conséquences, les spécialistes calculent la surpression engendrée par l'explosion (par des équations mathématiques), afin de déterminer les effets associés (lésions aux tympans, poumons, etc...);

- **les effets toxiques** résultent de l'inhalation d'une substance chimique toxique (chlore, ammoniac, phosgène, etc...), suite à une fuite sur une installation. Les effets résultant de cette inhalation peuvent être, par exemple, un oedème du poumon ou une atteinte au système nerveux.[4]

### **I.5.3.2 LES CONSÉQUENCES :**

- **Les conséquences humaines** : il s'agit des effets sur les personnes physiques directement ou indirectement exposées aux conséquences de l'accident. Elles peuvent se trouver dans un lieu public, chez elles, sur leur lieu de travail, etc. Le risque peut aller de la blessure légère au décès. Le type d'accident influe sur la nature des blessures.

- **Les conséquences économiques** : un accident industriel majeur peut porter atteinte à l'outil économique d'une zone. Les entreprises, les routes ou les voies de chemin de fer voisines du lieu de l'accident peuvent être détruites ou gravement endommagées. Dans ce cas, les conséquences économiques peuvent être désastreuses.

- **Les conséquences environnementales** : un accident industriel majeur peut avoir des répercussions importantes sur les écosystèmes.

On peut assister à une destruction de la faune et de la flore, mais les conséquences d'un accident peuvent également avoir un impact sanitaire (pollution d'une nappe phréatique par exemple).[4]

## **I.6 RÉDUCTION DU RISQUE :**

### **I.6.1 LA PRÉVENTION:**

- ÉLIMINATION DU RISQUE (changement de procédé, de produits, de matériel, ...)
- LIMITATION DES PARAMÈTRES DANGEREUX (Domaines de fonctionnement et paramètres nominaux - Contrôle des limites - Surveillance et contrôle automatique)
- DISPOSITIF DE MISE EN SÉCURITÉ, DE BLOCAGE ET D'INTERDICTION
- RÉDUCTION DES PROBABILITÉS DE PANNES OU D'ERREURS (Marges de sécurité - Redondances Maintenance préventive)
- ÉLOIGNEMENT DES SOURCES D'AGRESSION
- RÉCUPÉRATION APRÈS DÉFAILLANCE[6]

### **I.6.2 LA PROTECTION:**

- DISPOSITIFS D'ISOLEMENT, DE RÉTENTION

## Chapitre 1 : Risque Industriel

---

- ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION
- CONFINEMENT
- DISPOSITIFS LIMITANT LA DESTRUCTION DES ÉQUIPEMENTS
- RÉSISTANCE AUX AGRESSIONS EXTERNES[6]

### I.7 Acceptabilité du risque :

Tableau I.2 Acceptabilité du risque[7]

| Classe de criticité | Intitulé de la classe   | Intitulés des décisions et des action  |
|---------------------|-------------------------|--|
| C1                  | Acceptable              | Aucune action n'est à entreprendre .   |
| C2                  | Tolérable sous contrôle | Suivi en termes de gestion du risque   |
| C3                  | inacceptable            | Refuser la situation et prendre des mesures en réduction . des risques ou refuser toute une partie de l'activité |

**La zone verte** correspond à un risque acceptable sous réserve d'avoir déjà mise en place les améliorations nécessaires (barrières de sécurité)

**La zone jaune** correspond à un risque tolérable pour lequel il sera nécessaire de démontrer que les actions de maîtrise proposées sont effectivement mises en place et bien appliquées et que le risque est ramené à un niveau acceptable

**La zone rouge** correspond à un risque inacceptable nécessitant une étude détaillée des scénarios existants avec pour objectif de les rendre acceptables[7]

### I.8 Gestion des risques :

Les dangers et les risques peuvent se traiter, se contrôler ou peut-être se supprimer par un processus ou une opération classique et complète utilisée dans les systèmes de management qui s'appelée la gestion des risques.[5]

#### I.8.1 Définition :

La gestion des risques est l'ensemble des activités qui consistent à recenser les risques auxquels l'entité (une personne, une entreprise, une organisation, etc.) est exposée, puis à définir et à mettre en place les mesures préventives appropriées en vue de supprimer ou d'atténuer les conséquences d'un risque couru. [5]

### **I.8.2 Objectif :**

La gestion des risques est une opération commune à tout type d'activité. Les objectifs visés peuvent concerner par exemple :

- Le gain de rentabilité et de productivité ;
- La qualité d'un produit ;
- L'amélioration des démarches de sécurité. [5]

### **I.8.3 Processus de gestion des risques :**

De manière classique, la gestion des risques est un processus itératif qui inclut notamment les phases suivantes :

- Appréciation du risque (analyse et évaluation du risque) ;
- Acceptation du risque ;
- Maîtrise ou réduction du risque (traitement du risque).[5]

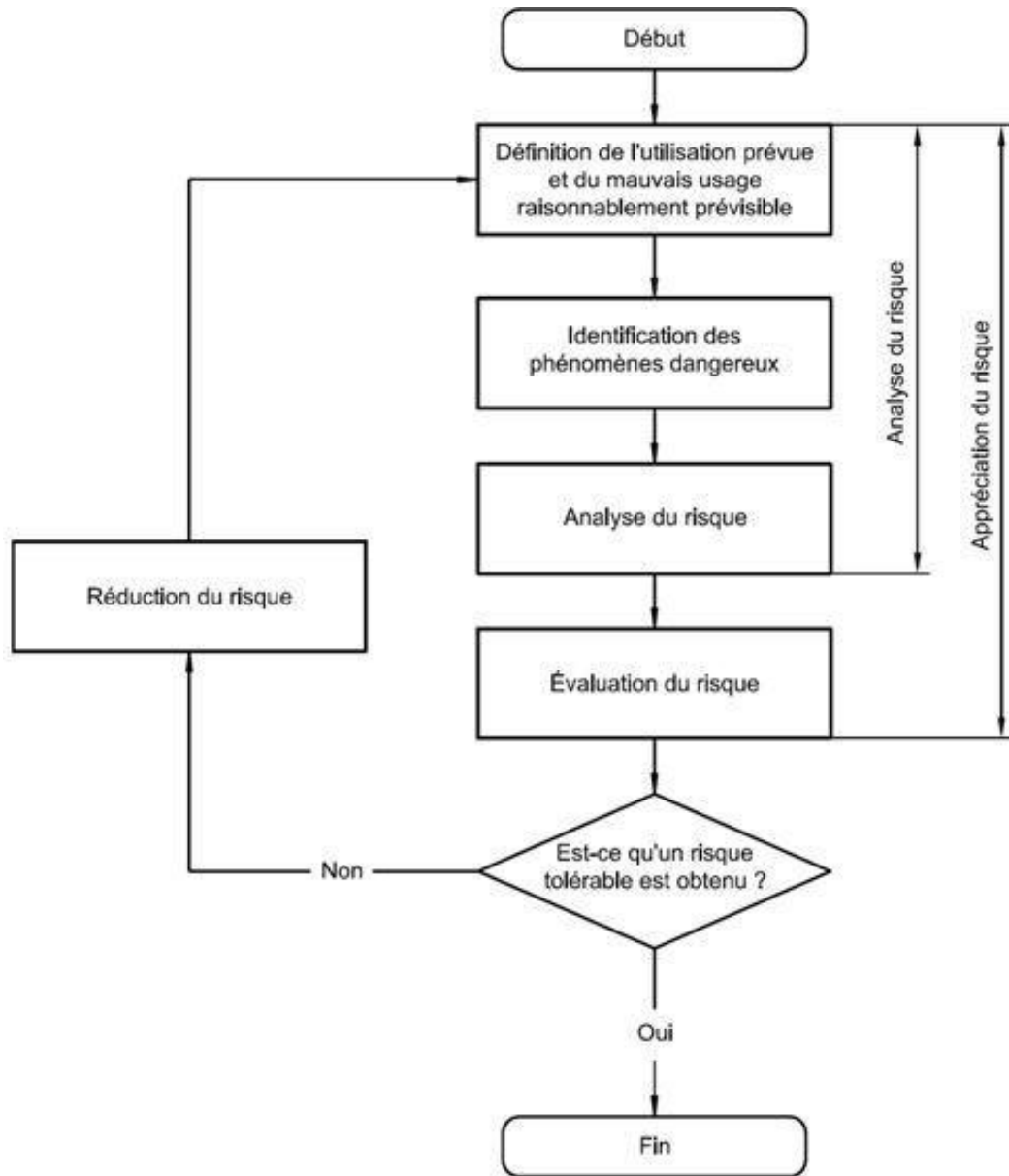


Figure I.3 Processus de gestion du risque

### I.9 Evaluation des risques et étude de dangers :

Cette étude de dangers n'est pas sans rappeler le document unique. Elle doit constituer de la part de l'industriel un engagement et une démonstration de la maîtrise des risques des accidents industriels. Pour la protection de l'environnement, l'administration (préfet, direction régionale de l'environnement, de l'Aménagement et du Logement ou DREAL) réalise une évaluation « a priori » des risques, qui conduit à la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE / L. 511-1 et suivants du Code de l'environnement). En fonction des risques présentés par ces installations et à partir de la nomenclature, les entreprises devront

## **Chapitre 1 : Risque Industriel**

---

déterminer à quelle procédure elles sont soumises (déclaration, déclaration soumise à contrôle périodique, enregistrement, autorisation, autorisation avec servitude).

Pour les installations soumises à autorisation, une étude de dangers est exigée. Dans celle-ci, l'exploitant de l'installation : expose les dangers que peut présenter l'installation en cas d'accident (en présentant une description des accidents susceptibles d'intervenir, que leur cause soit d'origine interne ou externe et en décrivant la nature et l'extension des conséquences que peut avoir un accident éventuel), justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets d'un accident, déterminées sous sa responsabilité.

L'étude de dangers met en évidence les différents scénarios d'accidents possibles. Par exemple, un risque d'explosion peut être identifié alors que des habitations se trouvent à proximité. La DREAL demande à l'exploitant de limiter les conséquences de ce risque.

L'étude de dangers pourra préciser une organisation des secours adaptée à ce scénario. Cette étude tiendra notamment compte des moyens de secours publics sur lesquels l'entreprise peut s'appuyer mais aussi de l'organisation des moyens de secours privés dont elle dispose ou dont elle s'est assuré le concours. Une mesure de prévention efficace devra être pensée non seulement au regard des risques industriels présentés par l'activité de l'entreprise, de ses installations, de son environnement, mais également en fonction de la présence de salariés sur le site. Les mesures de prévention identifiées dans le document unique devront être en cohérence avec les barrières de protection figurant dans l'étude de dangers[8]

### **I.10 Traitement du risque (maîtrise ou réduction du risque) :**

Les premières phases d'appréciation et d'acceptation du risque sont établies, un traitement de résultats de ces phases nécessaire et dépend de la décision finale de la phase précédente.[9]

#### **I.10.1 Définition :**

Le traitement du risque est un processus destiné à modifier un risque ou créer un nouveau risque.

Le traitement du risque peut inclure :

- un refus du risque en décidant de ne pas démarrer ou poursuivre l'activité porteuse du risque ;
- la prise ou l'augmentation d'un risque afin de saisir une opportunité ;
- l'élimination de la source de risque ;
- une modification de la probabilité d'occurrence ;
- une modification des conséquences ;

## Chapitre 1 : Risque Industriel

- un partage du risque avec une ou plusieurs autres parties (incluant des contrats et un financement du risque) ;
- un maintien du risque fondé sur une décision argumentée.[9]

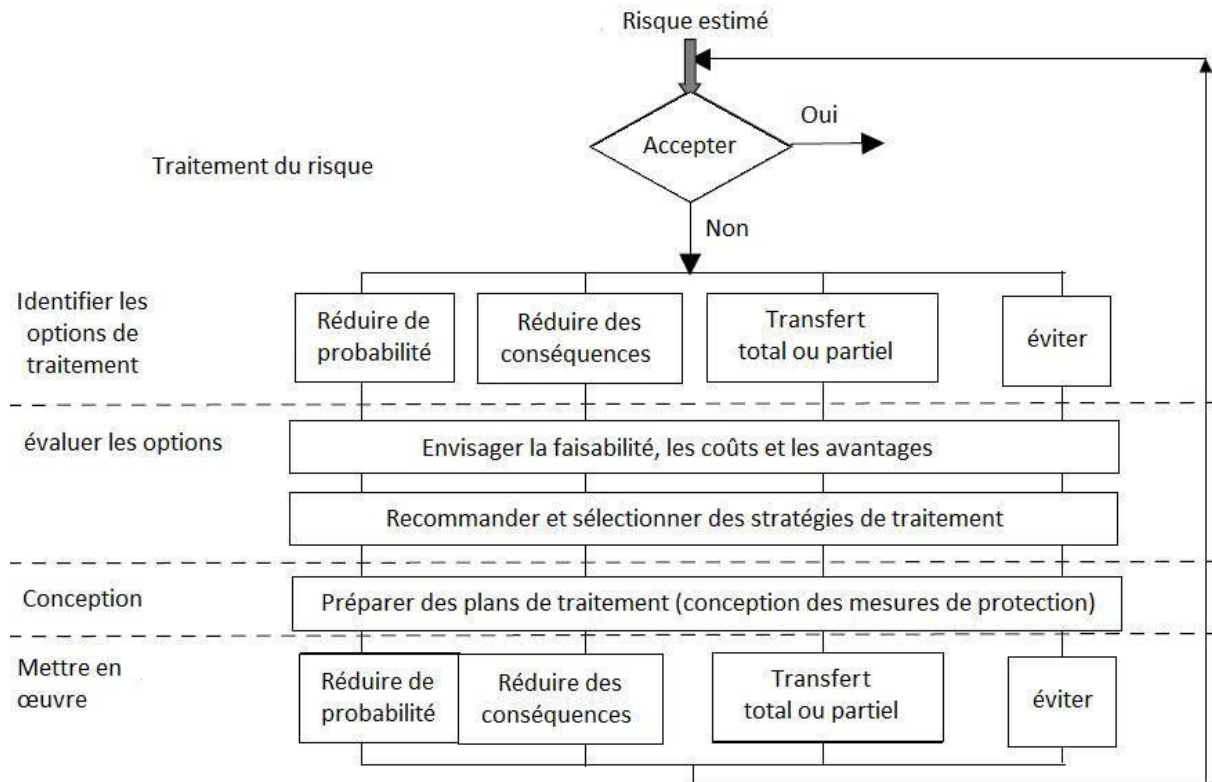
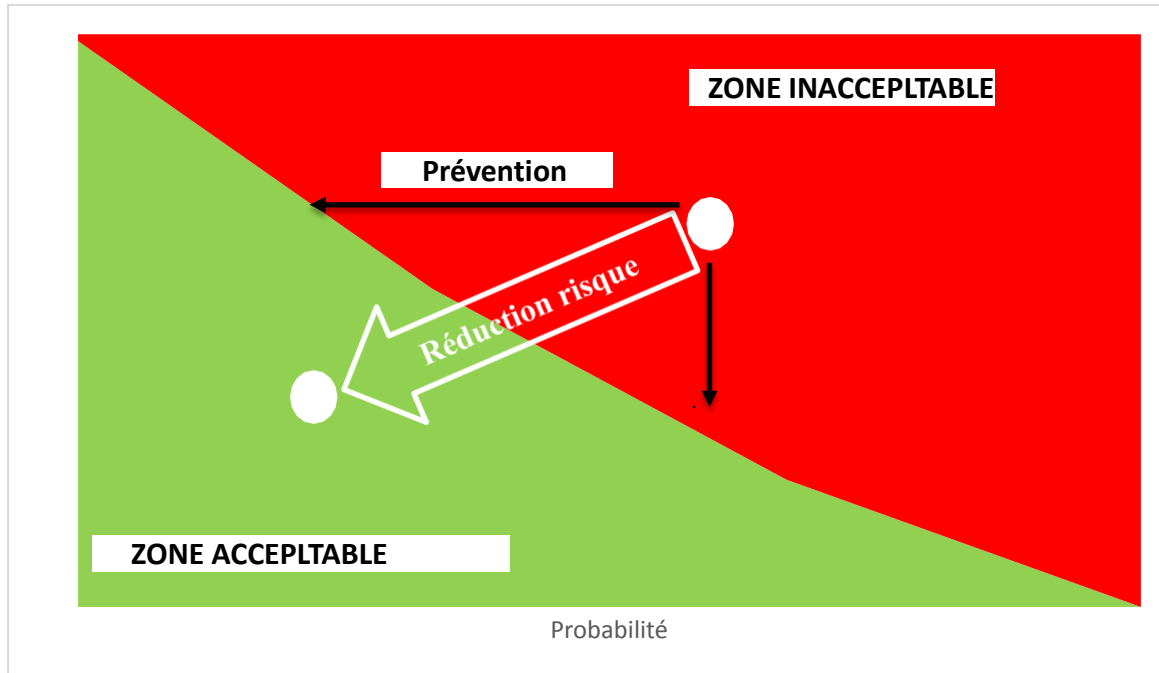


Figure I.4 Processus de traitement du risque[9]

### I.10.2 Identifier les options de traitement :

Dans les applications de sécurité, on est souvent en mesure de réduire le risque en traitant la probabilité par un processus de prévention (c'est-à-dire réduire les chances de l'accident). Parfois, il est nécessaire de réduire les conséquences par ce qu'on appelle l'atténuation ou protection. Les méthodes de protection pour réduire le risque sont décrites comme des « couches de protection » et on va voir ceux-ci dans les chapitres suivants. [9]



**Figure I.5 Mécanisme de réduction du risqué [10]**

Une solution à un risque inacceptable consiste à l'éviter complètement.

Malheureusement, cette route implique parfois de ne pas construire l'installation et cela doit être considéré avec toutes les autres options.

L'un des résultats les plus importants d'une étude de danger peut être la décision d'abandonner l'ensemble du projet ou d'adopter une technologie alternative sur la base de risque inacceptable pour les personnes et l'environnement.

Le transfert de risque est généralement plus approprié aux processus d'affaires où il peut être attrayant de trouver une autre organisation pour gérer le risque en question.

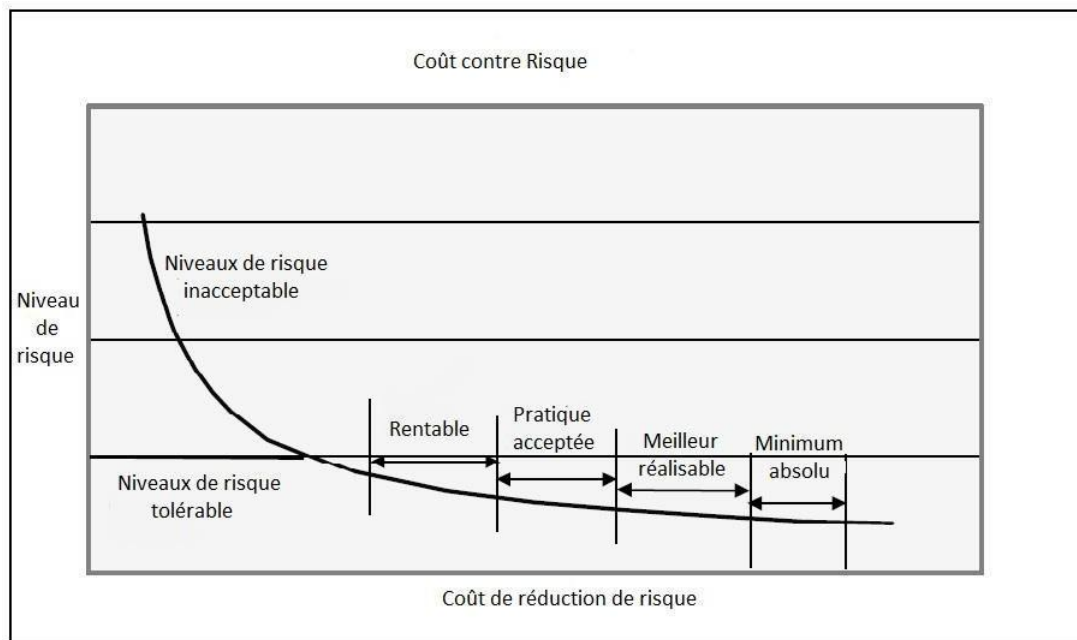
### **I.10.3 Évaluation des options de traitement :**

On doit considérer la faisabilité, les coûts et avantages des options de traitement du risque. Dans le cas d'un projet d'ingénierie, les choix se résument généralement à :

- Doit-on revoir le processus pour minimiser les risques ?
- Doit-on fournir des alarmes et des déclenchements pour arrêter le processus lorsque le danger la condition approche ?
- Doit-on prévoir une salle anti-souffle et des installations d'évacuation pour protéger personnes sur l'usine ?
- Va on faire toutes ces choses ?

## Chapitre 1 : Risque Industriel

Prendre une bonne décision ici nécessite une connaissance du processus et de la protection méthodes, une certaine expérience et de bonnes informations sur les coûts. [9]



**Figure I.6 le coût de réduction en fonction du niveau de risque [9]**

Habituellement, le coût de réduction des niveaux de risque augmentera avec le montant de réduction atteint et il suivra «la loi des rendements décroissants».

Le risque est généralement impossible à éliminer donc il doit y avoir un seuil pour la réduction des risques qu'on est prêts à payer pour. On doit décider d'un équilibre entre le coût et le risque acceptable.

### **I.10.4 Préparer les plans de traitement :**

La prochaine étape du modèle de gestion des risques consiste à détailler les solutions choisies ou proposées aux problèmes de risque. La nécessité d'un suivi et d'un examen devient critique à partir de ce moment, car on cherche à assurer que les solutions correspondent toujours au problème. Cette étape est terminée lorsque les solutions choisies sont prêtes à l'emploi et ont été validée pour être correcte pour l'objectif initial.



Figure I. 7 les principes généraux de prévention [11]

### I.10.5 Mettre en œuvre des plans de traitement:

La mise en œuvre couvre l'exploitation en service des systèmes de sûreté et est soutenue par le processus de surveillance et d'examen. La question du risque acceptable doit rester ouverte et à l'examen. Cette philosophie exige, par exemple, que l'information sur l'étude des dangers soit tenue à jour et que des examens périodiques soient tenus pour s'assurer que les niveaux de risques sont toujours acceptables.

## I 11 Analyse des risques :

Le processus d'analyse des risques fait la preuve d'un processus principale d'une gestion du risque vue la plage d'application (les méthodes d'analyse), il inclut notamment une identification puis une estimation des risques. [5]

### I.11.1 Définition :

C'est un processus mis en oeuvre pour comprendre la nature d'un risque et pour déterminer le niveau de risque. L'analyse du risque fournit la base de reévaluation du risque et les décisions relatives au traitement (maîtrise ou réduction) du risque. [5]

### I.11.2 Actions principales d'analyse du risque:

Trois actions principales caractérisent l'analyse des risques, soit :

## Chapitre 1 : Risque Industriel

---

- la détermination des conséquences potentielles;
- la détermination des probabilités d'occurrence des dangers;
- l'estimation du niveau de risque. [12]

### I.11.3 Détermination des conséquences potentielles :

L'objectif est de dégager, avec le plus de précision possible, la nature et l'importance du risque généré par la combinaison de danger potentiel et de l'exposition du milieu à son égard.[12]

### I.11.4 Détermination des probabilités d'occurrence :

Cette action sera réalisée en recourant à des modélisations ou à des scénarios visant à déterminer ce qui pourrait survenir et à estimer les possibilités que cela se produise. Ces modélisations devraient alors couvrir les différents types des risques pouvant survenir.[12]

**Tableau I.3 Echelle de classification des niveaux de probabilité d'occurrence [13]**

| Niveau                 | Description   |
|------------------------|---|
| <b>Invraisemblable</b> | Extrêmement improbable. On peut supposer que la situation dangereuse ne se produira pas.  |
| <b>Improbable</b>      | Peu susceptible de se produire mais possible. On peut supposer que la situation dangereuse peut exceptionnellement se produire.                   |
| <b>Rare</b>            | Susceptible de se produire à un moment donné du cycle de vie du système.<br>On peut raisonnablement s'attendre à ce que la situation se produise. |
| <b>Occasionnel</b>     | Susceptible de survenir à plusieurs reprises. On peut s'attendre à ce que la situation dangereuse survienne à plusieurs reprises.                 |
| <b>Probable</b>        | Peut survenir à plusieurs reprises. On peut s'attendre à ce que la situation dangereuse survienne souvent.  |
| <b>Fréquent</b>        | Susceptible de se produire fréquemment. La situation dangereuse est continuellement présente.   |

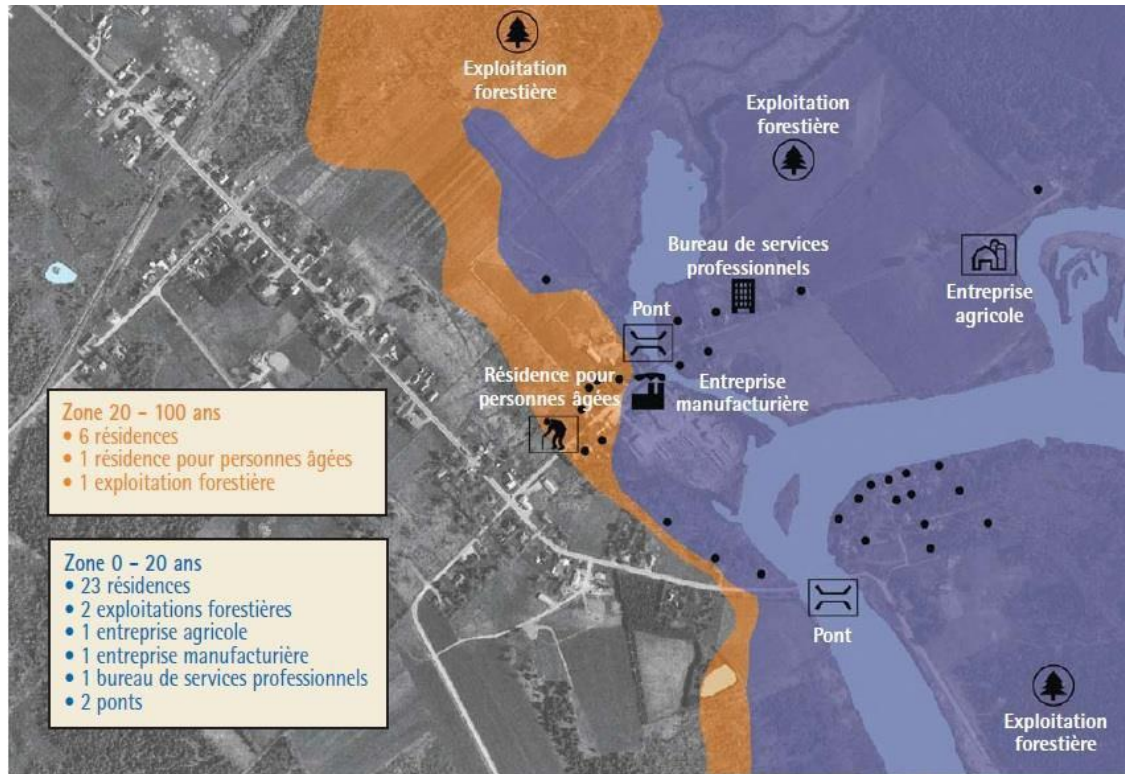
## Chapitre 1 : Risque Industriel

---

Tableau I.4 Echelle de classification des niveaux de gravité des conséquences[13]

| <b>Gravité</b>        | <b>Conséquences pour les personnes ou l'environnement</b>   | <b>Conséquences pour le service</b>           |
|-----------------------|---|---|
| <b>Insignifiant</b>   | Eventuellement une personne légèrement blessée.   |   |
| <b>Marginal</b>       | Blessures légères et/ou menace grave pour l'environnement.  | Perte d'un système important.                 |
| <b>Critique</b>       | Un mort et/ou une personne grièvement blessée graves et/ou des dommages graves pour l'environnement.    | Dommages graves pour un ou plusieurs systèmes |
| <b>Catastrophique</b> | Des morts et/ou plusieurs personnes gravement blessées et/ou des dommages majeurs pour l'environnement. | Dommages mineurs pour un système              |

Selon la nature, la quantité et la qualité de l'information et des ressources disponibles, ces modélisations présenteront des degrés de précision pouvant varier considérablement. Elles pourront ainsi être très sophistiquées et recourir à des modèles mathématiques complexes ou, à l'opposé, être établies de façon intuitive en s'appuyant sur l'historique des sinistres et une compréhension générale du comportement de danger et les éléments exposés.



**Figure I.8 Exemple d'une carte synthèse de détermination des conséquences en fonction de la probabilité.[13]**

### I.11.3 Estimation du niveau de risque:

Cette action réfère à une estimation d'importance d'un risque ou combinaison de risques, exprimée en termes de combinaison des conséquences et de leur probabilité d'occurrence. Ainsi, une fois les probabilités d'occurrence et les conséquences potentielles déterminées, toutes les données requises pour estimer le niveau de risque sont alors connues. Cette estimation doit toutefois s'effectuer en utilisant un outil s'appelle Matrise du risque permettant de classer les risques selon leur importance relative.

Alors la matrice du risque est un outil permettant de classer et de visualiser des risques en définissant des catégories de conséquences et de leur probabilité d'occurrence. [13]

Tableau I.5 Matrice de risqué [13]

|                 | Insignifiant | Marginal     | Critique     | Catastrophique |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| Invraisemblable | Négligeable  | Négligeable  | Négligeable  | Négligeable    |
| Improbable      | Négligeable  | Négligeable  | Acceptable   | Acceptable     |
| Rare            | Négligeable  | Acceptable   | Indésirable  | Indésirable    |
| Occasionnel     | Acceptable   | Indésirable  | Indésirable  | Inacceptable   |
| Probable        | Acceptable   | Indésirable  | Inacceptable | Inacceptable   |
| Fréquent        | Indésirable  | Inacceptable | Inacceptable | Inacceptable   |

### I.12 Conclusion:

Nous devons comprendre les concepts de risques industriels et utiliser les moyens disponibles pour éviter les risques pouvant affecter les personnes ou l'environnement.



***Chapitre 2 :  
Présentation de  
Méthodes HAZOP***

### **II .1 Introduction :**

Les méthodes d'analyse des risques sont des outils d'aide à la réflexion et en ce sens, leur qualité est fortement liée à leurs conditions de mise en œuvre.

Il est donc indispensable de se pencher sur les raisons qui justifient l'utilisation de telles méthodes. En conséquence, ce chapitre est dédié à la description des outils suivants :

- L'Analyse Préliminaire des Risques (APR);
- L'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) ;
- Méthodes quantitatives ;
- Méthodes qualitatives ;
- L'analyse des risques sur schémas type HAZOP ou « What-if ? » ;
- L'analyse par arbre des défaillances ;
- L'analyse par arbres d'évènements ;
- Le Nœud Papillon.[14]

### **II .2 Historique des méthodes d'analyse :**

Quelques événements ou dates clefs permettent de fixer l'évolution chronologique de la sûreté de fonctionnement. Ils sont rappelés dans cette introduction :

À partir des années 1930, les taux de défaillance, utilisés pour comparer des événements passés, le sont aussi pour faire des prévisions sur des événements à venir : la théorie de la fiabilité est née.

Au cours des années 1940 et 1950, l'approche fiabilise se développe dans les industries à fort risque technologique : l'aéronautique, le militaire et le nucléaire.

À la fin des années 1950, de nombreux travaux sont menés montrant l'importance des erreurs humaines dans les défaillances des systèmes. Les premières analyses prévisionnelles de fiabilité des systèmes incluant des erreurs humaines et leur quantification sont réalisées à partir de 1957 : elles considèrent alors l'homme comme une « mécanique ».

## Chapitre 2 : Présentation de méthodes la HAZOP

---

Dans les années 1960, H. A. Watson des laboratoires Bell met au point la méthode dite des arbres de défauts ; grâce à elle, il devient possible de décrire les aléas du fonctionnement de systèmes complexes.

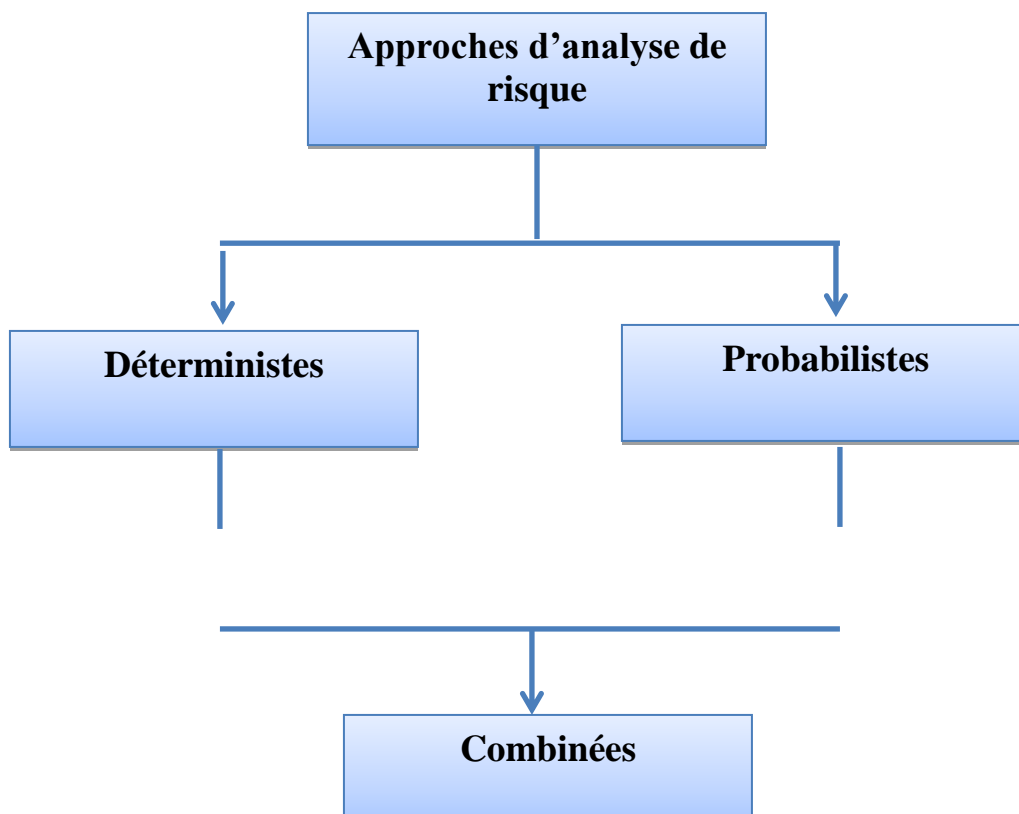
Au début des années 1970, N. Rasmussen, des US Nuclear Regulatory Commission, réalise la première « analyse de risques » complets de centrales nucléaires dans leur intégralité.

La décennie 80 voit l'approfondissement dans plusieurs directions :

- collecte de données de fiabilité,
- mise au point de nouvelles méthodes d'analyse de la fiabilité, et de la disponibilité, des systèmes (par exemple les réseaux de Pétri),
- méthodes de prise en compte de facteur humain (méthode HCR: "Human Cognitive Response technique", méthode HEART: "Human Error Assessment and Reduction Technique"...).
- Les méthodes de la Sûreté de Fonctionnement sont généralement classées selon différentes typologies :

- ✓ méthodes qualitatives ou quantitatives ;
- ✓ méthodes inductives ou déductives ;
- ✓ méthodes statiques ou dynamiques.[14]

### II .3Classification des méthodes d'analyse de risque :



**Figure II.1 Approches d'analyse de risque[14]**

### **II.4 OBJECTIF GENERAL DES METHODES D'ANALYSE DE RISQUE :**

Apprécier le niveau de dangerosité (risques et conséquences )d'une installation diminuer les risques techniques à la source . pour assurer et améliorer en continu :

- la protection de l'exploitant
- la protection de l'environnement et des populations
- la qualité de la production
- la fiabilité de l'outil

Se conformer à la réglementation

Faire des investissements appropriés au niveau de risque.[15]

### **II.5 Approche déterministe :**

L'approche déterministe a généralement été adoptée dans les domaines à haut risque tels que nucléaire, militaire, transports guidés, où le moindre risque significatifs est traqué et réduit à la source. Elle consiste à recenser les événements pouvant conduire à un scénario d'accident en recherchant le pire cas possible (The Worst Case) et en affectant une gravité extrême à ses conséquences potentielles. Par conséquent, les sous-systèmes critiques (systèmes de sauvegarde, de protection et de prévention) sont dimensionnés pour éviter toute défaillance dangereuse et organisés rigoureusement selon une stratégie de défense en profondeur. [14]

### **II .6 Approche probabiliste :**

L'approche probabiliste fait intervenir le calcul de probabilités relatives à l'occurrence d'événements faisant partie du processus de matérialisation d'un scénario d'accident donné.

Il s'agit d'une approche complémentaire qui permet d'analyser le dispositif de défense en profondeur décidé à l'issue d'une approche purement déterministe, ceci a été le cas dans le domaine nucléaire ou les techniques probabilistes viennent appuyer l'approche déterministe. [14]

### II .7 Méthodes qualitatives vs. Méthodes quantitatives :

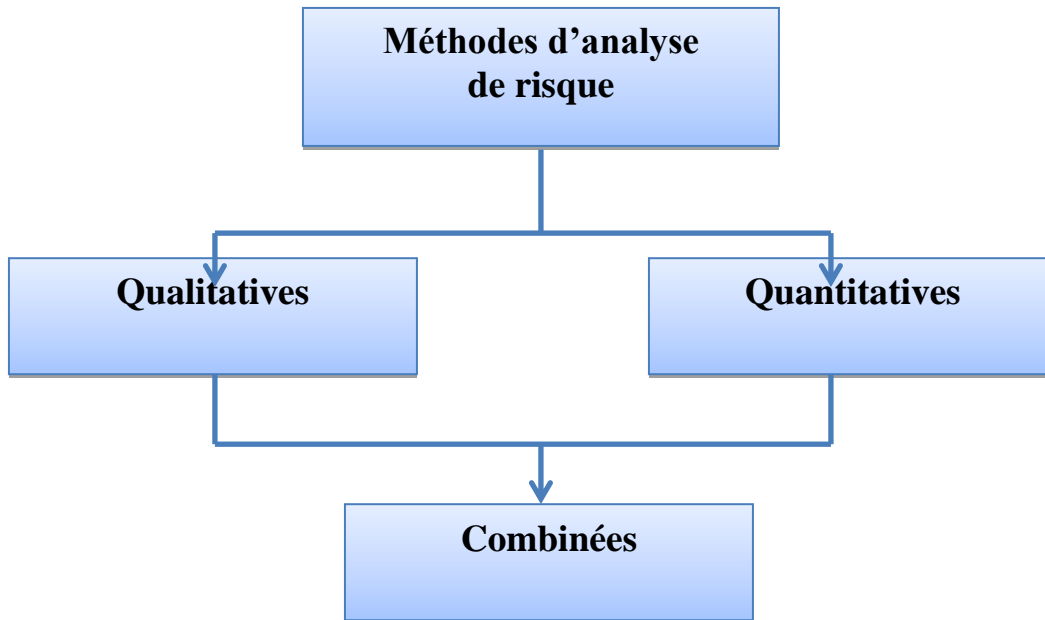


FIGURE II.2 Typologie des méthodes d'analyse de risque[14]

#### II .7.1 Méthodes quantitatives :

Les analyses quantitatives sont supportées par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités (par exemple lors de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté) ou bien par recours aux modèles différentiels probabilistes tels que les Chaines de Markov, les réseaux de pétri, les automates d'états finis, etc.

Les analyses quantitatives ont de nombreux avantages car elles permettent:

- D'évaluer la probabilité des composantes de la sûreté de fonctionnement.
- De fixer des objectifs de sécurité.
- De juger de l'acceptabilité des risques en intégrant les notions de périodicité des contrôles, la durée des situations dangereuses, la nature d'exposition, etc.
- D'apporter une aide précieuse pour mieux juger du besoin d'améliorer la sécurité.
- De hiérarchiser les risques.

## ***Chapitre 2 : Présentation de méthodes la HAZOP***

---

- De comparer et ensuite ordonner les actions à entreprendre en engageant d'abord celles permettant de réduire significativement les risques.

- De chercher de meilleures coordination et concertation en matière de sécurité entre différents opérateurs (sous-systèmes interagissant) ou équipes (exploitation, maintenance, etc.).

Quoique l'utilité des méthodes quantitatives soit indiscutable, ces dernières présentent tout de même un certain investissement en temps, en efforts et également en moyens (logiciels, matériels, financiers, etc.). Il peut s'avérer que cet investissement soit disproportionné par rapport à l'utilité des résultats attendus, le cas échéant l'analyse quantitative est court-circuitée pour laisser la place aux approximations qualitatives (statistiques, retour d'expérience, jugement d'expert, etc.).

Un point très important mérite d'être clarifié, c'est que les résultats de l'analyse quantitative ne sont pas des mesures absolues, mais plutôt des moyens indispensables d'aide au choix des actions pour la maîtrise des risques. Nous citons par exemple l'évaluation par des techniques floues/possibilistes de la subjectivité des experts humains, ou la priorisation de certaines actions de maîtrise par rapport à d'autres par une analyse de type coût/bénéfices. [14]

### **II .7.2 Méthodes qualitatives :**

L'APR, l'AMDEC, l'Arbre de Défaillances ou l'Arbre d'Evénements restent des méthodes qualitatives même si certaines mènent parfois aux estimations de fréquences d'occurrence avant la classification des risques.

L'application des méthodes d'analyse de risque qualitatives fait systématiquement appel aux raisonnements par induction et par déduction (Monteau & Favaro, 1990).

La plupart des méthodes revêtent un caractère inductif dans une optique de recherche allant des causes aux conséquences éventuelles. En contrepartie, il existe quelques méthodes déductives qui ont pour but de chercher les combinaisons de causes conduisant à des événements redoutés.[14]

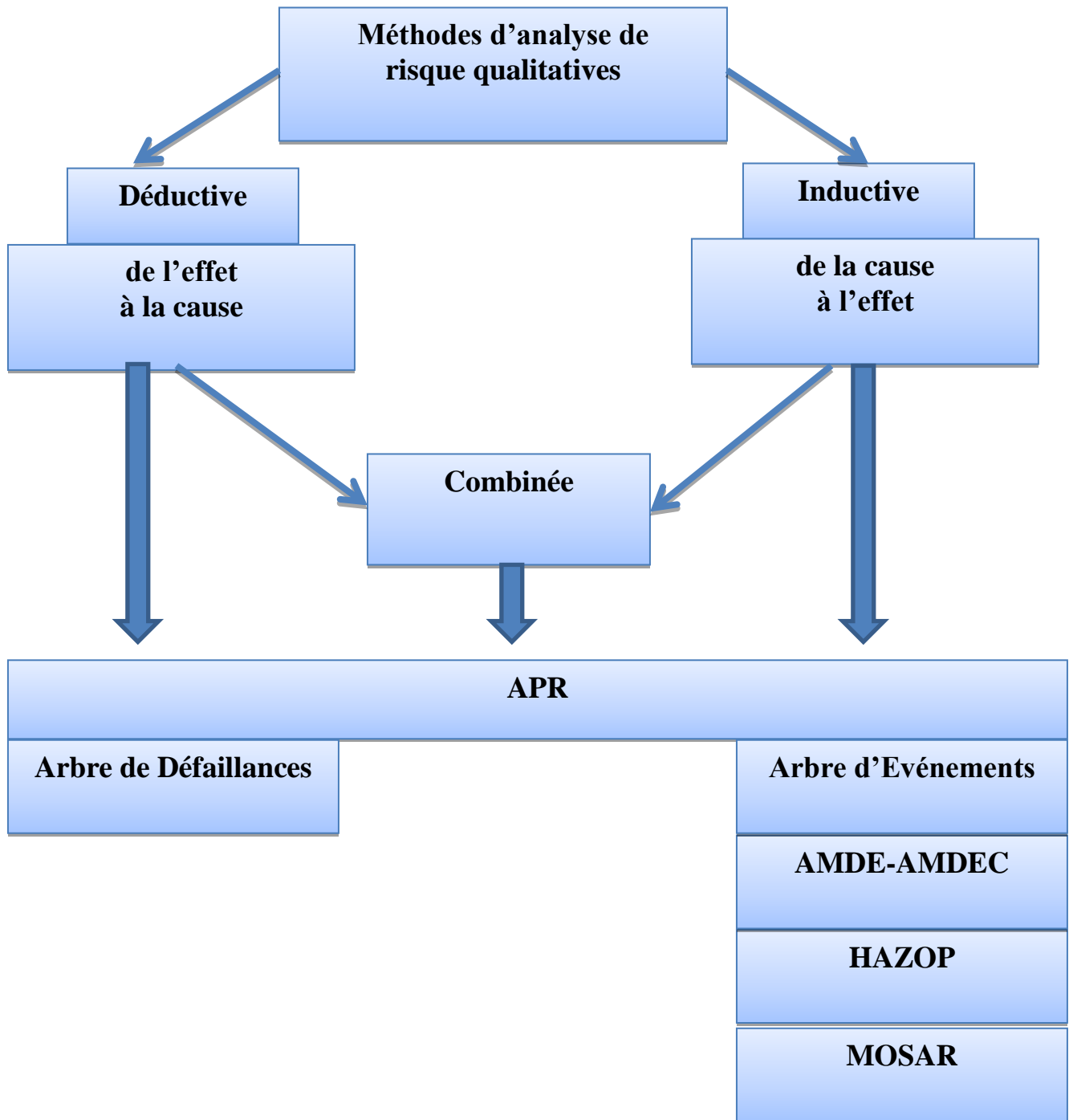


Figure II.3 Classification des principales méthodes d'analyse de risque qualitatives[14]

### **II.8 INTÉRÊTS DES MÉTHODES D'ANALYSE DE RISQUES :**

PRÉVUES à L'ORIGINE PAR ET POUR LES CONCEPTEURS ELLES DIMINUENT LA FRÉQUENCE DES ACCIDENTS DUS AUX FACTEURS TECHNIQUES (équipements, procédés, matériels, ...).  
MAIS UTILISABLES TOUS LES JOURS DANS LES OPÉRATIONS COURANTES, DANS LES TRAVAUX, EN SITUATION D'INCIDENTS :[15]

## Chapitre 2 : Présentation de méthodes la HAZOP

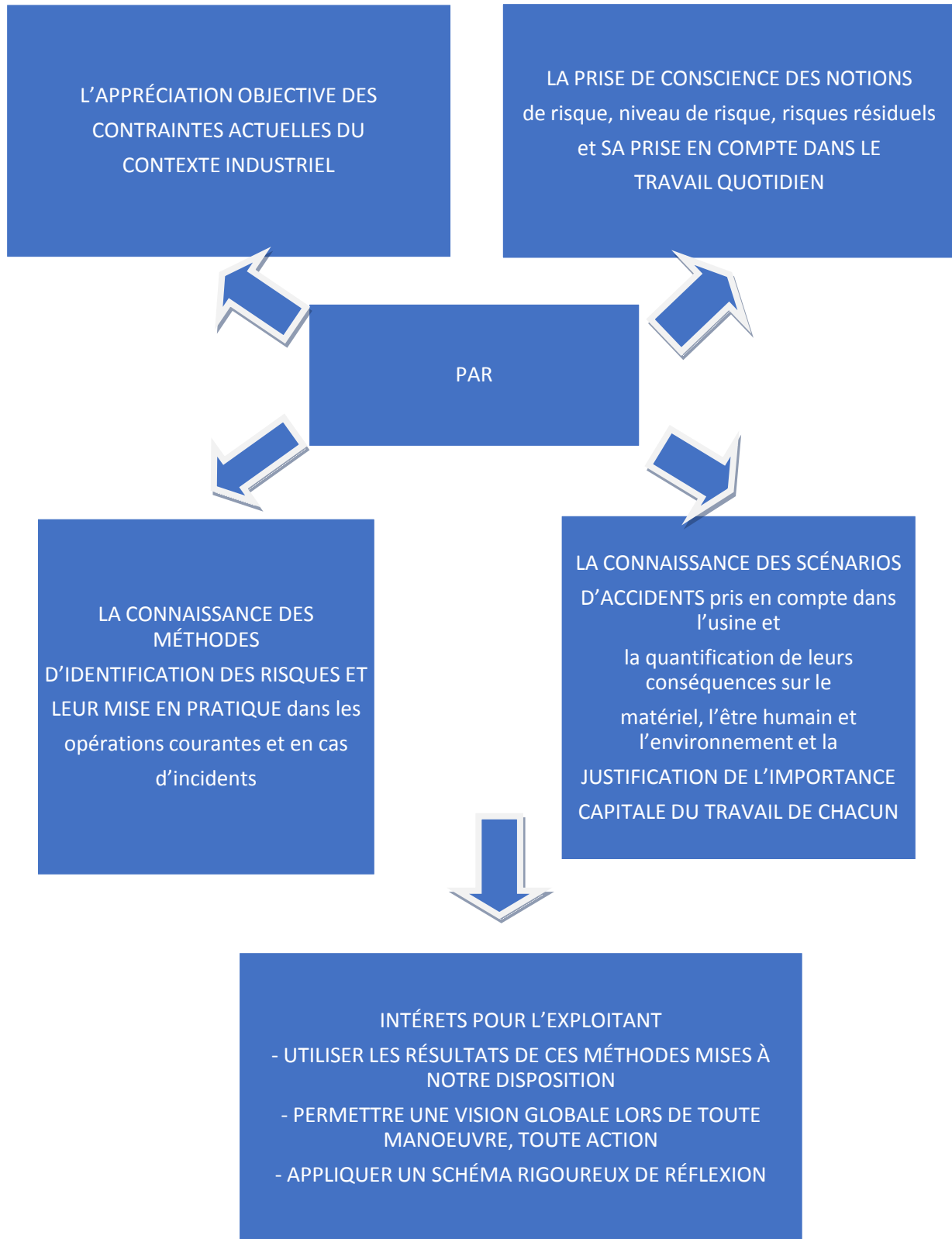
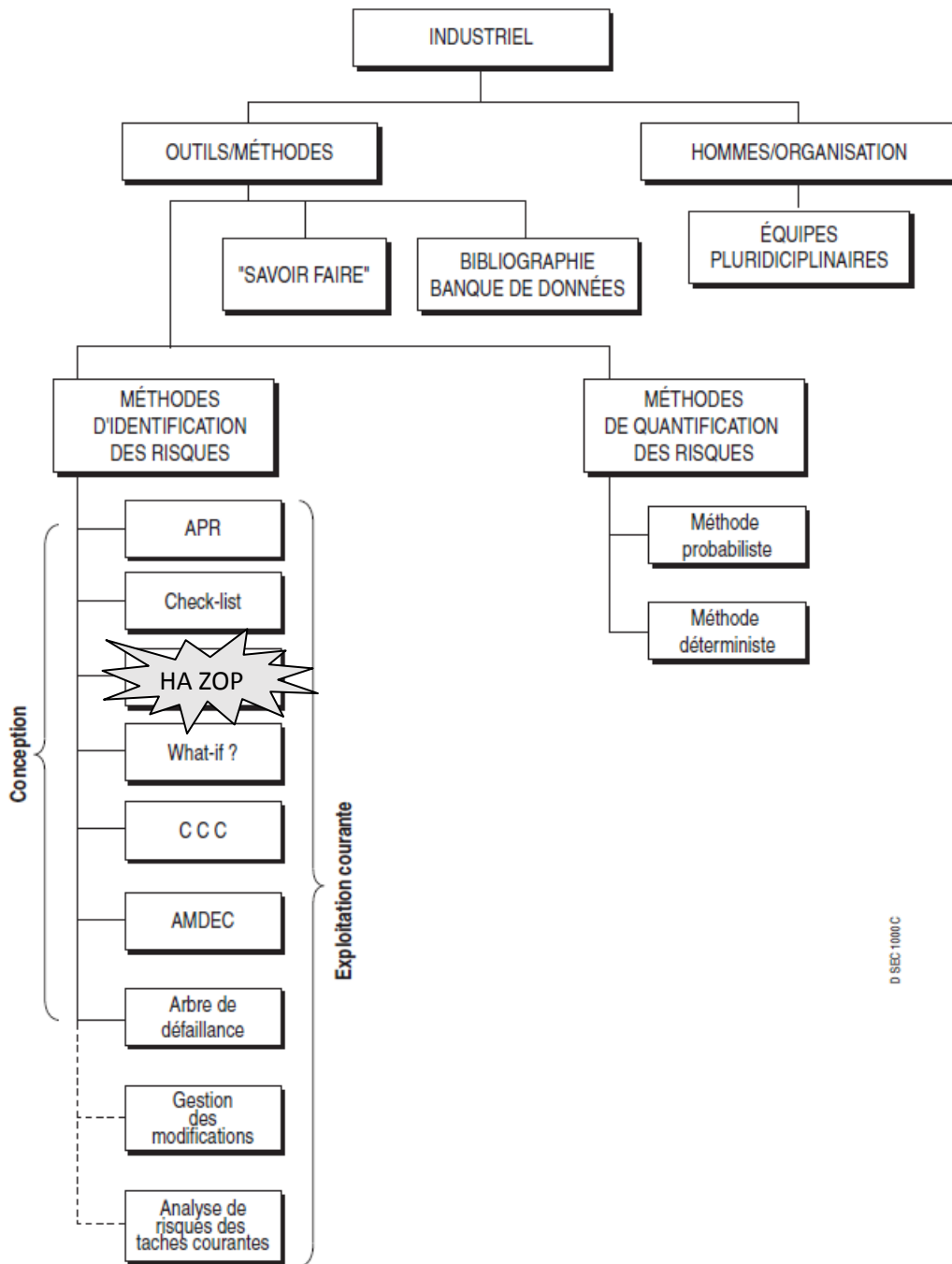


Figure II. 4 INTÉRÊTS DES MÉTHODES D'ANALYSE DE RISQUES[15]

**II.9 PRINCIPALES MÉTHODES UTILISÉES :**



**Figure II. 5 PRINCIPALES MÉTHODES UTILISÉES[15]**

**II . 10 Historique et domaine d’application: [14]**

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. L’Union des Industries Chimiques (UIC) a publié en 1980 une version française de

## Chapitre 2 : Présentation de méthodes la HAZOP

---

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 PID (Piping and Instrumentation Diagram).

### II.10.1 Définition de la méthode HAZOP :

Application d'un examen critique formel et systématique aux intentions du procédé et de l'ingénierie d'une installation neuve ou existante afin d'évaluer le potentiel de danger lié à la mauvaise utilisation, ou au mauvais fonctionnement, d'éléments d'équipement et leurs effets sur l'installation dans son ensemble [16]

### II.10.2 Principe:

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermohydrauliques 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 l'installation à la différence de l'AMDE qui est centrée sur les composants.

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-clé comme par exemple « Pas de », « Plus de », « Moins de », « Trop de »
- des paramètres associés au système étudié. Des paramètres couramment rencontrés concernent la température, la pression, le débit, la concentration, mais également le temps ou des opérations à effectuer.

MOT-CLÉ + PARAMÈTRE = DÉVIATION

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.

## Chapitre 2 : Présentation de méthodes la HAZOP

A l'origine, l'HAZOP n'a pas été prévue pour procéder à une estimation de la probabilité d'occurrence des dérives ou de la gravité de leurs conséquences. Cet outil est donc parfois qualifié de qualitatif[16]

Les mots-clés les plus courants dans l'utilisation de la méthode HAZOP sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau II.1 Les courants mot-clés utilisés dans la méthode HAZOP [18].**

| Mots-clés                  | Signification  |
|----------------------------|--|
| Pas de, Non, Plus du tout  | Aucune partie de l'intention n'est remplie                     |
| Plus de                    | Augmentation quantitative                                      |
| Moins de                   | Diminution quantitative  |
| Aussi, En plus de          | Modification quantitative ou activité additionnelle se produit |
| En partie, En moins        | Une partie seulement de l'intention est réalisée.              |
| Inverse, contraire         | au Résultat logiquement opposé à celui de l'intention.         |
| Autre que                  | Substitution complète, activité différente se produit          |
| Où d'autre                 | Appliqué sur débits, transferts, sources et destinations       |
| Avant/Après                | Relatif à l'ordre de la séquence                               |
| Plus tôt que/Plus tard que | Moment différent de l'intention                                |
| Plus vite/Plus lente       | Étape effectuée plus rapidement/lentement que le moment prévu  |

### II.10.3 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 :

1) Dans un premier temps, choisir une ligne ou de la maille.

Elle englobe généralement un équipement et ses connexions, l'ensemble réalisant une fonction dans le procédé identifiée au cours de la description fonctionnelle.

2) Choisir un paramètre de fonctionnement,

3) Retenir un mot-clé et générer une dérive,

4) Vérifier que la dérive est crédible. Si oui, passer au point 5, sinon revenir au point 3,

## Chapitre 2 : Présentation de méthodes la HAZOP

- 5) Identifier les causes et les conséquences potentielles de cette dérive,
- 6) Examiner les moyens visant à détecter cette dérive ainsi que ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets,
- 7) Proposer, le cas échéant, des recommandations et améliorations,
- 8) Retenir un nouveau mot-clé pour le même paramètre et reprendre l'analyse au point 3),
- 9) Lorsque tous les mot-clé ont été considérés, retenir un nouveau paramètre et reprendre l'analyse au point 2),
- 10) Lorsque toutes les phases de fonctionnement ont été envisagées, retenir une nouvelle ligne et reprendre l'analyse au point 1).[17]

### II.10.4 Objectives de la méthode HAZOP :

L'objectif de la méthode HAZOP est, à l'origine, d'identifier les dysfonctionnements de nature technique et opératoire dont l'enchaînement peut conduire à des événements non souhaités. Il s'agit donc de déterminer, pour chaque sous-ensemble ou élément d'un système bien défini, les conséquences d'un fonctionnement hors du domaine d'utilisation pour lequel ce système a été conçu.

La norme CEI 61882 définit l'objectif de la méthode HAZOP comme : identification des dangers potentiels dans le système. Le danger peut se limiter à la proximité immédiate du système ou étendre ses effets bien au-delà, comme dans le cas des dangers environnementaux.[16]

### II.10.5 Définition des paramètres:

Les paramètres auxquels sont accolés les mots-clé 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 :

**Tableau II.2 : Les paramètres utilisés dans la méthode HAZOP [18]**

| Paramètre     | Mots-clés qui peuvent donner une combinaison significative  |
|---------------|---|
| Débit         | Pas de, Plus de, Moins de, Inverse, Où d'autre, En plus de  |
| Température   | Plus de, Moins de   |
| Pression      | Plus de, Moins de, Inverse                                  |
| Niveau        | Pas de, Plus de, Moins de                                   |
| Mélange       | Moins de, Plus de, Pas de                                   |
| Reaction      | Plus de, Moins de, Pas de, Inverse, En plus d               |
| Composition   | En partie, En plus de                                       |
| Phase         | Autre que, En plus de                                       |
| Communication | Pas de, Autre que, Plus de, Moins de, En partie, En plus de |

## Chapitre 2 : Présentation de méthodes la HAZOP

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 ».

Plus détailler voire .[17]

### II.10.6 Critères de choix des méthodes :

De très nombreux critères interviennent dans le choix d'une méthode d'analyse qui sont:

- Critères liée aux objectifs de l'analyse prévisionnelle ;
- Critères liée au système étudié ;
- Critères liée aux études déjà existantes ;
- Critères liée aux moyens d'étude .[17]

### II.10.7 Équipe HAZOP :

L'équipe HAZOP c'est l'équipe ou le groupe de travail responsable de l'étude ou l'élaboration de la méthode HAZOP, où les membres de cette équipe doivent être des experts dans tous ce qui est en relation avec le champ d'application de la méthode HAZOP[19]

**Tableau II.3: Composition d'équipe HAZOP [19].**

| Composition d'équipe HAZOP dans l'implantation d'une nouvelle installation |  |
|--|--|
| Ingénieur de projet  | Maintenir les coûts dans des limites préétablis                          |
| Ingénieur de processus   | Dessiner la feuille de flux  |
| Responsable de la mise en service  | Démarrer ou opérer l'installation  |
| Ingénieur de conception de système de Contrôle                             | Où l'installation doit contenir des systèmes de Contrôle                 |
| Chef d'équipe indépendant  | Expert en HAZOP, guider l'équipe et assurer la continuation du procédure |
| Composition d'équipe HAZOP dans une installation existante                 |  |
| Directeur de l'installation  | Responsable de fonctionnement de l'installation                          |

## Chapitre 2 : Présentation de méthodes la HAZOP

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Contremaître de processus           | Connaitre ce qui est en train de se passer et ce qui doit se passer |
| Ingénieur de plan                   | Responsable de maintenance mécanique                                |
| Ingénieur de contrôle               | Responsable de maintenance des instruments                          |
| Gestionnaire d'enquête de processus | Investiguer les problèmes techniques qui résultent à l'installation |
| Chef d'équipe indépendant           | Expliquer et discuter les objectives                                |

### II.10.7 Procédure de l'étude :

Le chef d'équipe de l'étude des dangers a pour tâche de prendre les membres de l'équipe méthodiquement à travers une séquence de questions pour chaque déviation reconnue. [18]

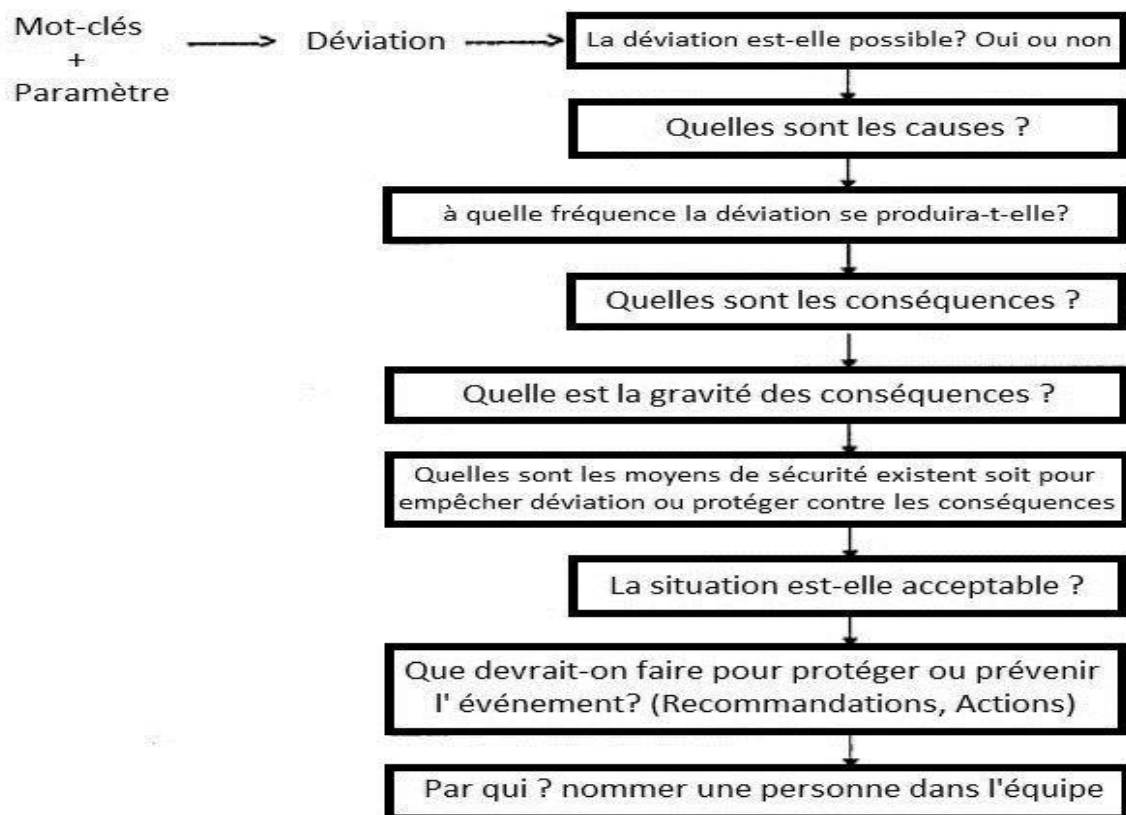
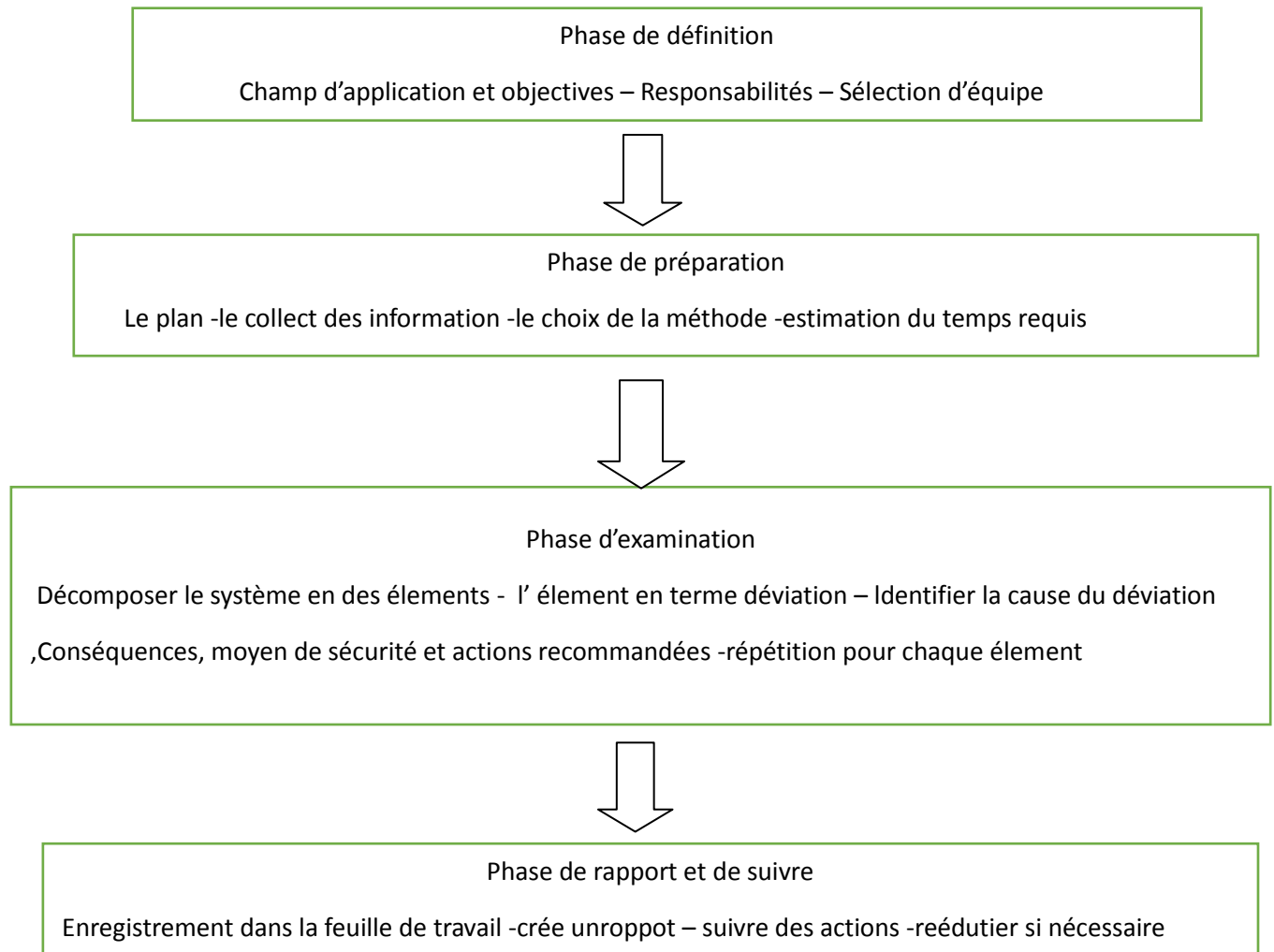


Figure II. 6 montre la séquence des questions à poser à l'équipe.[18]

## Chapitre 2 : Présentation de méthodes la HAZOP

### II.10.8 Mise en oeuvre de la méthode HAZOP :

La mise en oeuvre de la méthode HAZOP s'effectue généralement en passant par un processus dans lequel des phases représentent une élaboration juste de la méthode[18]



**Figure II.7 : Procédure d'élaboration d'une méthode HAZOP[18]**

### II.10.9 Analyse du système :

Le système est constitué de l'ensemble du processus industriel, de l'acheminement des produits à leur transformation, en passant par les conditions de stockage.

La première des actions à engager dans une étude HAZOP est de fixer le périmètre du système à étudier. Les enjeux et les moyens humains à mettre en oeuvre sont différents selon que l'on l'adresse à un site, une installation, ou un équipement.

## Chapitre 2 : Présentation de méthodes la HAZOP

---

La deuxième action consiste à modéliser le système. Une installation industrielle peut être modélisée comme un ensemble composé essentiellement de matériels et d'opérateurs en interaction entre eux et avec l'environnement.

Après tous les préparations et les définitions des toutes les éléments de la méthode HAZOP, une organization de ces éléments et leur contenu doivent être tracée dans un tableau qui est le tableau[20]

**Tableau II.4 tableau HAZOP[20]**

| Mot-clé | Paramètre | Déviati on | caus e | conséquen ce | Moyen de sécurité | Action recommandée |
|---------|-----------|------------|--------|--------------|-------------------|--------------------|
|         |           |            |        |              |                   |                    |

### II.11 Conclusion:

Les méthodes d'analyse fonctionnelle sont indispensables pour réaliser une décomposition fonctionnelle et matérielle d'une installation industrielle en cours de conception ou en fonctionnement, et cette étape facilite la mise en application des méthodes d'analyse prévisionnelle qui permettent d'identifier les causes et les conséquences potentielles d'un événement et de mettre en lumière les barrières de sécurité qui peuvent être envisagé pour garde les bon fonctionnement des installation. Il n'existe pas de bonne ou de mauvaise méthode, chacune possède des avantages et des inconvénients qui lui sont propres, une méthode particulière est donc généralement plus ou moins adaptée au contexte de l'installation étudiée et aux objectifs recherchés.



### **III.1 Introduction :**

Notre stage pratique a eu lieu au niveau de la raffinerie de SKIKDA. La variété des produits raffinés et leurs natures (GPL, bitumes, aromatiques ; des paraxylènes et des carburants...) font de cette entreprise un lieu de travail à haut risque.

Raffinerie est l'une des activités SONATRACH donc elle est concernée par les différents changements apportés par SONATRACH par la nouvelle politique adoptée par SONATRACH dans le domaine santé, sécurité et environnement.

### **III.2 Présentation de l'entreprise SONATRACH :[21]**

Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures » est une entreprise publique algérienne créée le 31 décembre 1963, un acteur majeur de l'industrie pétrolière surnommé la major africaine. Sonatrach est classée la première entreprise d'Afrique.

Sonatrach doit répondre au souci de mobiliser les ressources de la rente pétrolière perçue très tôt comme un élément moteur dans le développement de l'Algérie. Au fil des années, elle devient un puissant élément d'intégration nationale, de stabilité et de développement économique et social.

Elle est subdivisée en activités :

#### **III.2.1. Amont :**

Dans ce stade SONATRACH intervient dans l'exploration, le développement et la production des hydrocarbures et de leurs dérivés.

#### **III.2.2. Transport par canalisation :**

Après la production, SONATRACH assure l'acheminement des hydrocarbures (pétrole, brut, gaz nature, GPL et condensat) vers les zones de nord (les raffineries) et dispose d'un réseau de canalisation (oléoducs et gazoducs).

#### **III.2.3. Aval :**

L'activité aval de groupe SONATRACH a en charge disposer de la liquéfaction de gaz naturel et la séparation de GPL et de raffinage de pétrole, brut et de condensat.

#### **III.2.4. Commercialisation des hydrocarbures :**

SONATRACH commercialise ses produits sur le marché intérieur et extérieur directement et à travers des infrastructures, ouvrages et entreprise mise en place pour la distribution et la valorisation de ses produits.

Deux activités nouvelles ont été ajoutés plus tard, il s'agit de :

HSE et environnement.

## ***Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation***

---

□ Sponsoring, mécénat et investissement social.

### **III .3 Présentation du complexe RA1K de SKIKDA :[21]**

Le Complexe de raffinage de pétrole de Skikda baptisé RA1K a pour mission de transformer le pétrole brut provenant de Hassi Messaoud avec une capacité de traitement (15 millions t/an) ainsi que le brut réduit importé (271100 t/an).

La raffinerie de Skikda est alimentée en brut Algérien par l'unité de transport est (UTE) de Skikda, qui est une station intermédiaire de Hassi -Messaoud.

Le transport du pétrole brut est réalisé à l'aide de pipelines. La distance entre les champs pétrolifères et la raffinerie de Skikda est de 640 Km.

La raffinerie possède une capacité de stockage de 2.500.000 m<sup>3</sup> environ. L'unité comprend tous les équipements nécessaires au mouvement blending et exportation des produits finis.

L'évacuation des produits finis de fait par un réseau de canalisation vers les deux ports de Skikda, les dépôts GPL et carburants de Skikda, ainsi que le centre installations intégrées de distributions du Kharroub Constantine. L'évacuation du bitume routier se fait quant à elle par camions et par pipe lines vers le port.

#### **III.3.1. Situation géographique :**

La raffinerie de Skikda RA1K est située dans la zone industrielle pétrochimique à 7 Km à l'Est de Skikda et à 2 Km de la mer. Elle couvre une superficie de 230 hectares (projet de réhabilitation inclus). avec un effectif à l'heure actuelle de 1280 travailleurs environ.

Elle est bordée Au Nord par la cité El Arbi Ben Mhidi. A l'Ouest par un tissu urbain.

Au Sud par un tissu urbain et par d'autres sites industriels (ENGI, DRGS). A l'Est par la zone industrielle (pas de site industriel pour le moment).

### Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation

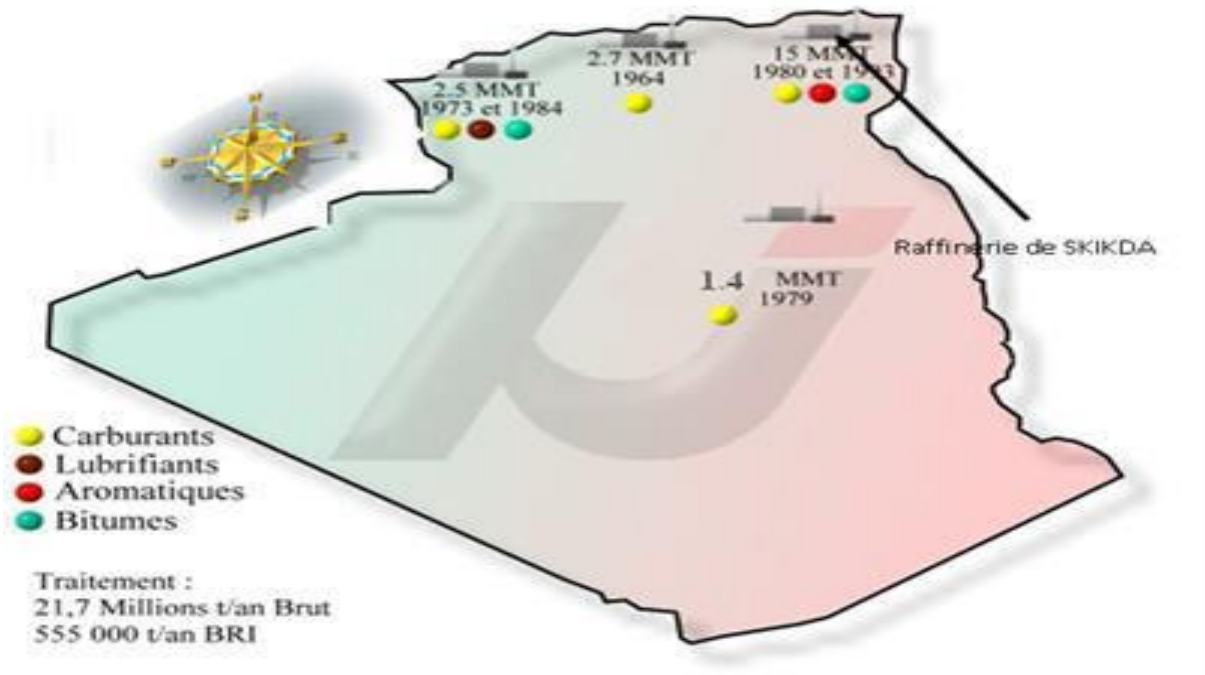


Figure III.1 Localisation de la raffinerie de SKIKDA

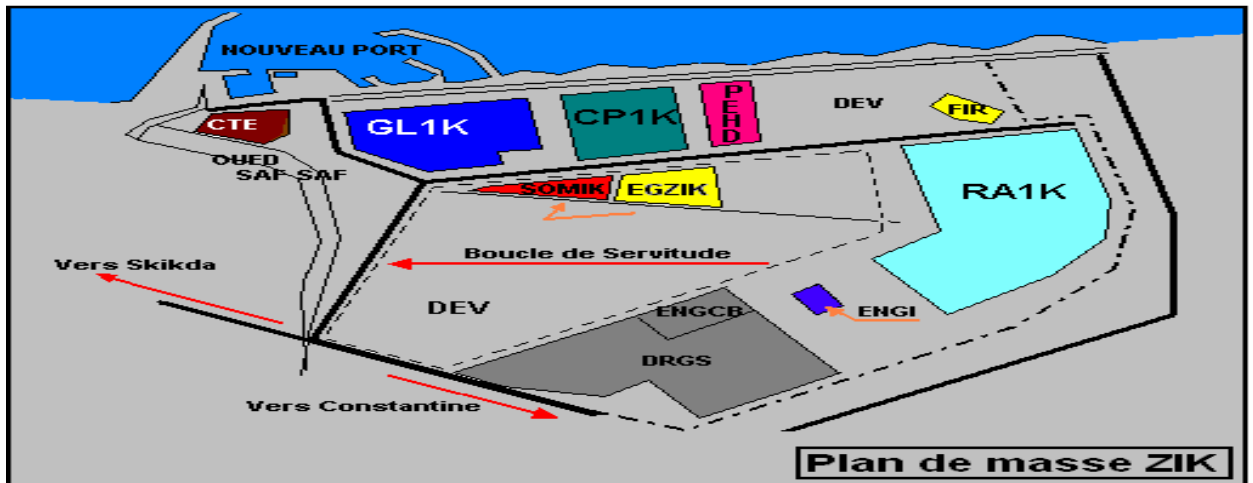


Figure III.2 Localisation de la raffinerie SKIKDA par rapport aux autres complexes

Les accès routiers à la raffinerie de Skikda sont les suivants : La route vers Fil Fila, qui passe à l'est en bordure du site. Le chemin Wilaya 18, qui passe à environ 2,5 km au Nord de la raffinerie.

## Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation

### III.3.2. Organigramme du complexe de raffinage de Skikda :

La structure hiérarchique de la gestion de la raffinerie de Skikda prévoit à son sommet, un Directeur du quel dépend cinq services, techniques de ligne, plus deux services comme le montre l'organigramme suivant :

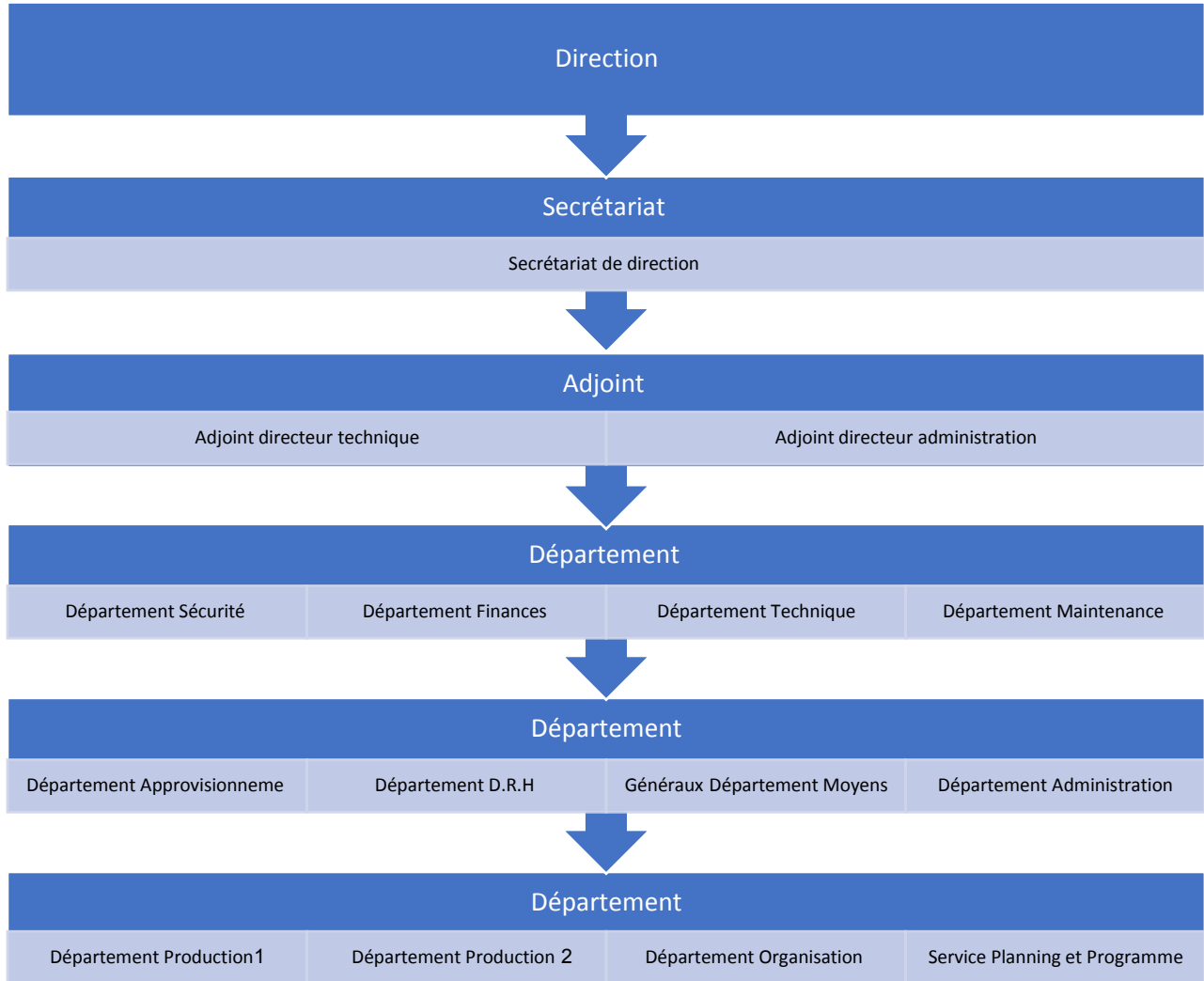


Figure III.3: Organigramme général de la raffinerie de Skikda

### III.3.3 Objectifs :

Les objectifs de l'entreprise sont :

## ***Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation***

---

- Continuer à assurer la couverture des besoins du marché nationale en produits raffinés autant sur le plan quantitatif que quantitatif que qualitatif.
- Continuer à offrir des produits raffinés destinées à l'exportation répondant aux normes en vigueur sur les marchés ciblés.

### **III.3.4 Brut traite :**

La raffinerie de Skikda a été projetée pour traiter les bruts suivants :

- Brut **Hassi Messaoud**.
- Brut mélange d'**Arzew**.
- Brut réduit **Tai Juana** medium.

Le brut **Hassi – Messaoud** arrive à la raffinerie au moyen d'un pipe – line de **700 Km** de longueur à offrir des provenant des champs de production.

Le brut d'**Arzew** arrive à la raffinerie par mer au moyen de bateaux citernes, pontons de déchargement et déoduc. Ce brut provient du port d'embarquement d'Arzew ou il arrive depuis les autres champs de production.

Pour ces deux bruts on à prévu une capacité maximum de traitement de **15 millions de t/an** à traiter dans les deux unités de distillation atmosphérique.

Le brut réduit **Tai Juana** medium arrive à la raffinerie à l'aide de bateaux citernes, pontons de déchargement et déoduc comme le brut d'**Arzew**, il provient du **Venezuela** et est importe pour la production des bitumes d'une capacité de **165000 t/an** dans l'unité de distillation sous vide.

### **III.3.5 Présentation générale des unités de procédés**

La raffinerie est divisée en différentes zones et en outre elle comprend 09 unités de production :

- Unité 10/11 de distillation atmosphérique (Topping).
- Unité 100 de pré traitement et de reforming catalytique (magnaforming).
- Unité 101.103 de pré traitement et de reforming catalytique (platforming).
- Unité 30/31 et 104 de traitement et séparation des gaz (GPL).
- Unité 200 d'extraction des aromatiques.

## Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation

- Unité 400 de cristallisation et séparation du para xylène.
- Unité 70 de distillation sous vide (production du bitume).

Autres unités annexe et utilités sont :

- Unité 600 de stockage, mélange et expédition (melex).
- Unité 1050 : centrale thermique électrique et utilités (C.T.E)

Les unités et le cheminement des produits sont illustrés dans le schéma qui suit :

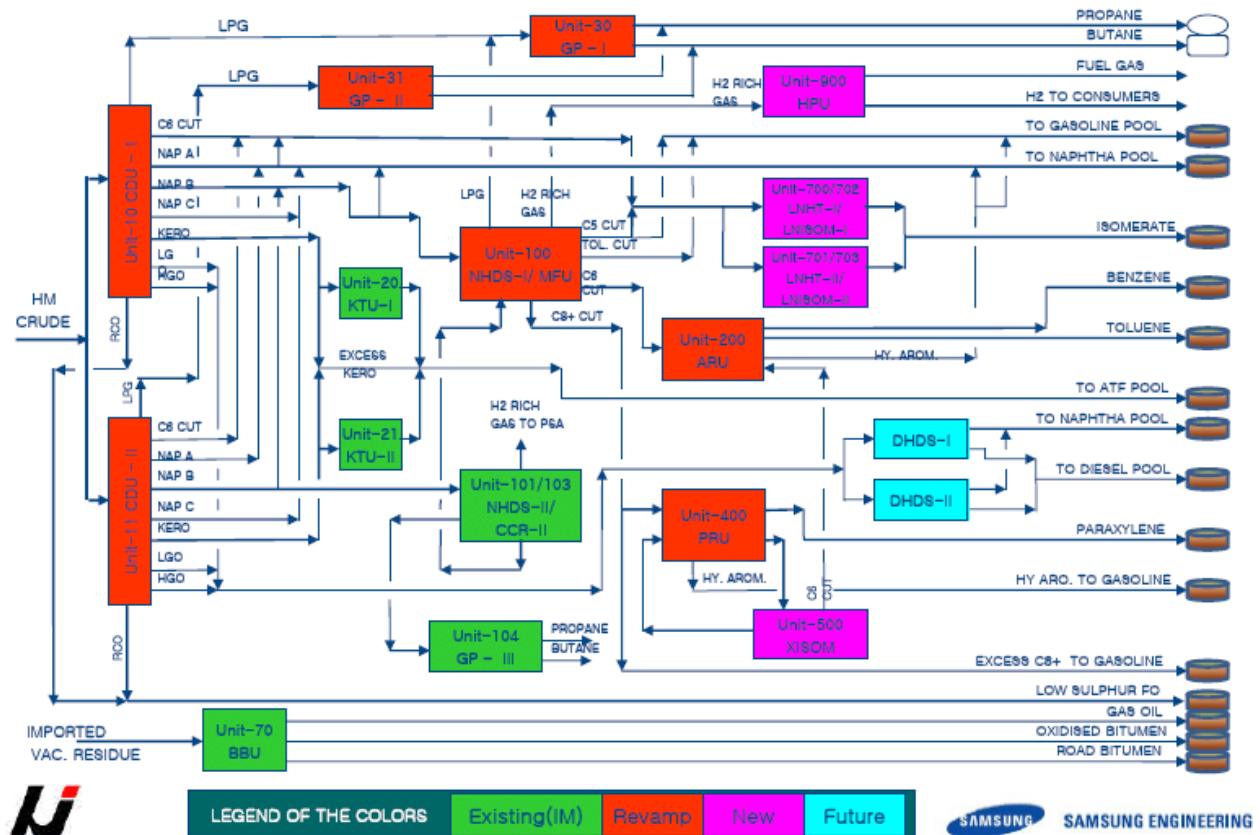
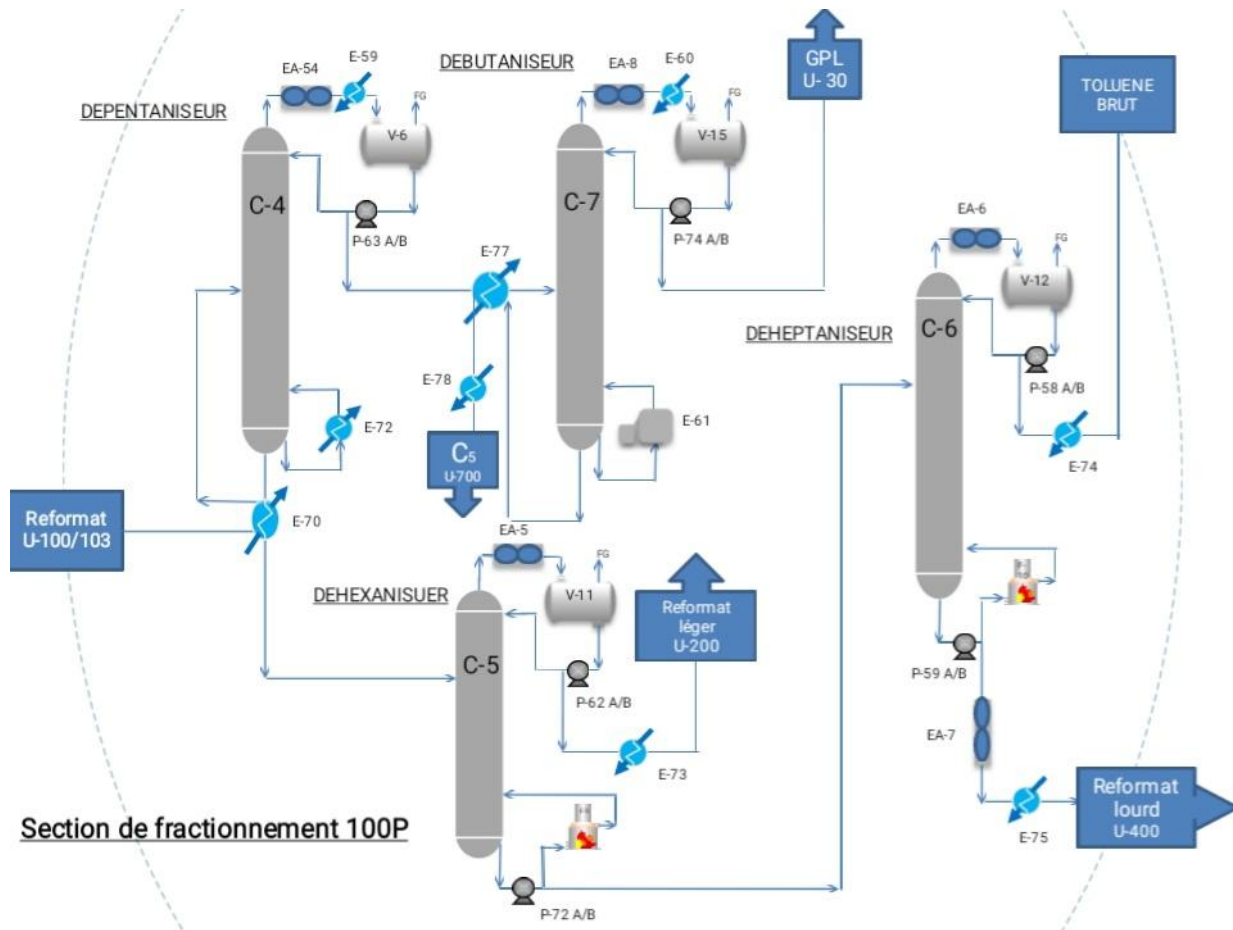


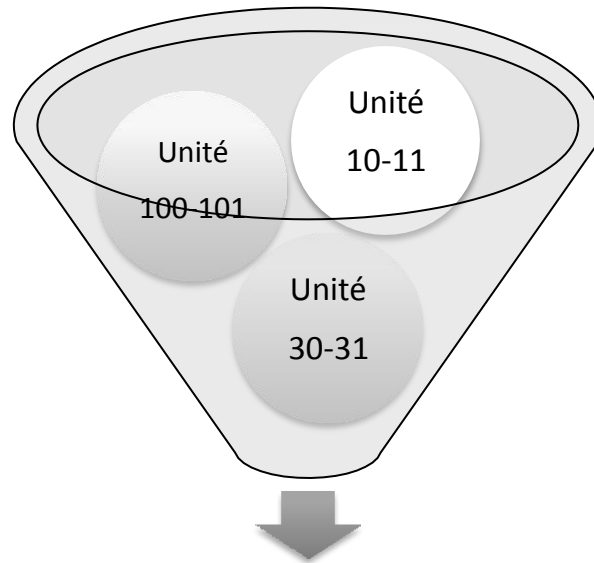
Figure III.4 Schéma descriptif de raffinerie de Skikda[24]



**Figure III.5 Schéma section de fractionnement 100p**

### III.3.6 Unité 101 Prétraiteur de naphta :

Parmi toutes les unités du complexe de la raffinerie RA1K, notre étude vas seulement s'intéresse sur l'unité 101.103 de pré traitement et de reforming catalytique (platforming).



**Figure III.6 Raffinerie RA1K SKIKDA**

Le choix de l'unité 101 comme unité d'étude

### III.3.7 Fonctions de L'unité 101 Prétraiteur de naphta :

L'unité est conçue pour produire la charge prétraitée de naphta pouvant être transformé ultérieurement dans l'unité de Platforming, ayant une capacité

d'approvisionnement du Platformer de 30.000 BPSD.

L'unité 101 se compose principalement d'un réchauffeur de charge, d'un réacteur, de compresseurs de recyclage, de compresseurs de gaz d'appoint, d'une colonne de stripper, d'échangeurs de chaleur, de pompes, etcLe catalyseur utilisé dans le réacteur est le S-9 fourni par UOP qui peut être régénéré à la vapeur et à l'air.

L'unité est conçue pour le traitement de mélanges de naphta "B" (30% vol.) et de naphta "C" (70% vol.) produits par l'unité de distillation de pétrole brut

existante (Unité 10) et passant par les réservoirs de stockage S-201 et S-202 qui sont en construction pour la nouvelle unité. Les propriétés physiques du naphta "B" et "C" sont mentionnées plus loin.

Les hydrocarbures légers (pentanes et plus légers) produits par les réactions sont séparés dans la colonne de stripper en tant que produits de tête. Le liquide de tête ainsi séparé est envoyé vers les unités de pétrole brut existantes (Unités 10 et 11) et le gaz séparé sert de gaz combustible.

L'unité est aussi capable de traiter du naphta "B" seul.

### ***Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installations***

Le compresseur de gaz de recyclage et le compresseur de gaz d'appoint sont du type alternatif et entraînés par moteur électrique; ils sont équipés à 100% de machines de réserve. Dès que l'unité de Platforming sera équipée d'une section de régénération de catalyseur en continu, il sera nécessaire d'ajouter des compresseurs booster 1<sup>er</sup> en raison du passage à une pression de service plus basse de l'unité de Platforming.

**Tableau III.1 PROPRIETES PHYSIQUES DES CHARGES**

| <b>PROPRIETES</b>                | <b>NAPHTA "B"</b> | <b>NAPHTA "C"</b> |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| Densité à 15°C                   | 0,7267            | 0,7715            |
| TVR à 37,8°C, kg/cm <sup>2</sup> | 0,146             | 0,018             |
| Distillation ASTM, °C            |                   |                   |
| PI                               | 68                |                   |
| 5% vol.                          | 83                | 142               |
| 10% vol.                         | 87                | 149               |
| 30% vol.                         | 95                | 150               |
| 50% vol.                         | 105               | 156               |
| 70% vol.                         | 117               | 161               |
| 90% vol.                         | 135               | 168               |
| 95% vol.                         | 142               | 172               |
| P.F                              | 157               | 180 (185 max.)    |
| P % vol.                         | 66,47             | 63,47             |
| N % vol.                         | 26,10             | 22,24             |
| A % vol.                         | 7,43              | 14,29             |
| Plomb, ppb poids                 | 5 max.            | 5 max.            |
| Soufre, ppm poids                | 15 max.           | 15 max.           |
| Azote, ppm poids                 | 1 max.            | 1 max.            |

## ***Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation***

---

### **III.4.1 Objectif :**

L'objectif principal de l'unité de prétraitement de naphta (hydrotraiteur) consiste à épurer la fraction du naphta pour que celui-ci puisse être utilisé comme charge à l'unité de Platforming.

Voici les six types de réactions de base qui se déroulent dans l'unité d'hydrotraitement:

- Conversion des composés de soufre organique en sulfures d'hydrogène.
- Conversion des composés d'azote organique en ammoniac.
- Conversion des composés d'oxygène organique en eau.
- Saturation des oléfines.
- Conversion des halogénures organiques en halogénures d'hydrogène.
- Elimination des composés organo-métalliques.

### **III.4.2 DESCRIPTION DE PROCEDE :**

La charge de naphta dans S-201 (ou S-202) est amenée à l'unité par la pompe de charge de naphta (101-MP-O1 A ou B) et est combinée avec le gaz de recyclage comprimé par le compresseur de gaz de recyclage (101-K-01 A ou B) puis préchauffée par les échangeurs de chaleur combinés (101-E-O1 A à H) du type à faisceau et calandre, par échange de chaleur avec l'effluent du réacteur (côté tube).

Les matériaux de la charge préchauffée (charge de naphta + gaz de recyclage riche en hydrogène) sont séparés en quatre (4) passes et ils sont réchauffés jusqu'à la température de réaction par le réchauffeur de charge (101-F-01). Chaque passe est dotée d'une connexion d'air et de vapeur à l'entrée du réchauffeur, pour la régénération du catalyseur.

Après le passage dans le réchauffeur, le naphta réchauffé est amené à la tête du réacteur (101-R-O1) et ressort par le fond du réacteur. Dans le réacteur, différentes réactions chimiques sont provoquées au passage par le lit du catalyseur.

Les effluents du réacteur échangent de la chaleur dans les échangeurs de chaleur de charge combinée, puis ils sont refroidis encore avant d'être condensés dans le condenseur de produits (aéroréfrigérant 101-EA-01). La température de sortie est réglée par le réglage du pas des ailettes.

L'appoint d'hydrogène, consommé par les réactions chimiques et les pertes mécaniques, est effectué par le compresseur d'appoint (101-K-01 A ou B) et il est amené dans le circuit du

### ***Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation***

---

compresseur à l'entrée du condenseur de produit. L'hydrogène est fourni par le gaz riche en hydrogène, qui est un produit secondaire de l'unité de Platforming.

Le bac d'eau de rinçage (101-V-04) et la pompe d'injection de l'eau de rinçage (101-MP-03) sont installés pour dissoudre le dépôt de chlorure d'ammonium dans la ligne (10"-P1119-A2A2) et dans le condenseur de produit (101-EA-OI) (exploitation en continu et intermittente)

Les effluents du réacteur, après avoir été refroidis et condensés, sont séparés dans le séparateur de produits (101-V-02) en produits liquides d'un côté et en gaz riche en hydrogène de l'autre, ce gaz étant recyclé à nouveau dans le circuit du réacteur par le compresseur de recyclage.

Le liquide du séparateur est envoyé à la colonne du stripper (101-C-OI) en passant par les échangeurs de charge, au fond du stripper (101-E-02 A/B), où les pentanes et plus légers sont séparés comme produits de tête et la charge du Platformer est séparée comme produit de fond du stripper.

Le liquide de tête de stripper pur est envoyé aux unités de pétrole brut existantes (unités 10 et 11) par la pompe de reflux du stripper (101-MP-05 A/B).

Le gaz non-condensable du stripper est utilisé comme gaz combustible. L'inhibiteur de corrosion UNICOR-LHS est injecté dans la ligne de tête du stripper(10"-P1151-A1A1) par une pompe d'injection d'Unicor (101-MP-06 A).

La colonne du stripper est équipée d'une pompe de rebouilleur (101-MP-04 A ou B) et d'un réchauffeur de rebouilleur de stripper (101-F-OI). Le réchauffeur de rebouilleur de stripper est conçu avec quatre (4) passes et quatre (4) brûleurs.

Les produits de fond de stripper, après être pompés par la pompe du rebouilleur du stripper, échangent leur chaleur avec la charge du stripper dans les échangeurs au fond du stripper (101-E-02 A/B) et sont amenés directement à l'unité de Platforming.

Le refroidisseur des produits de fond du stripper (101-E-04) est installé pour refroidir les produits de fond du stripper et pour amener le naphta prétraité aux bacs de stockage S-26 (existant) pour un futur démarrage.



## Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation

quantité de chaleur à extraire ,le plateau de soutirage ,le plateau de renvoi et le débit à soutirer. L'illustration du positionnement d'un condenseur intermédiaire sur la colonne du topping estfaiteci-dessus.

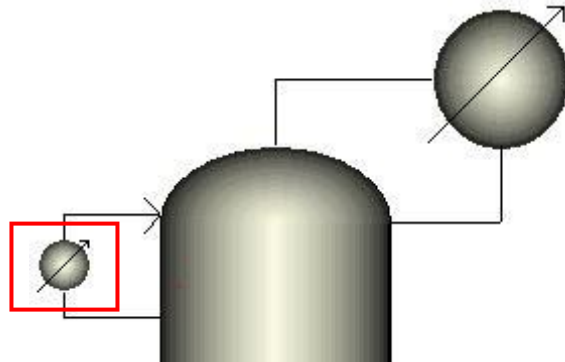


Figure III.8 Condenseur intermédiaire de l'unité 101

### III.5.1.2 Strippers latéraux

Cette technique utilise de la vapeur surchauffée à contre-courant pour revaporiser les gaz préalablement dissous dans les outirâtes les entraîne ensuite vers la colonne principale afin de porter correction sur les points de coupe du produit à traiter.

Dans Aspen Plus, l'efficacité de ces appareils est fonction du débit de vapeur et des spécifications du design à savoir :le nombre de plateaux, le plateau de soutirage, le plateau de renvoi et le débit de soutirât.

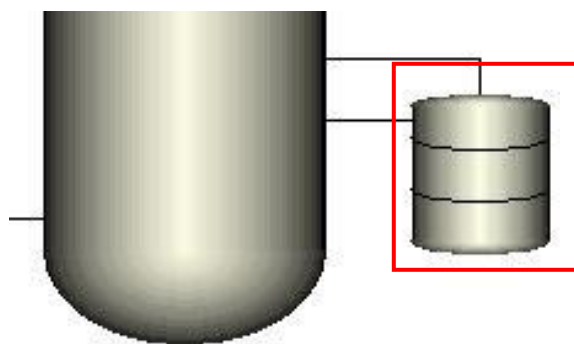


Figure III.9 Stripper latéral de l'unité 101

### III.5.2 Approche de la pression et de la température :

#### III.5.2.1 Pression

La pression joue un grand rôle dans l'évolution des niveaux thermiques dans le

## ***Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation***

---

rebouilleur et lecondenseur.

Dans la colonne de distillation atmosphérique ,un bon choix serait compris entre 1 et 3 bar et lapression est réglée au sommet de la colonne.

$$P \nearrow = \alpha \nearrow$$

### **III.5.2.2 Température**

Dans la colonne le profil de température est décroissant du bas vers le haut et ceci est fonction de la température d'ébullition des produits.

Les grandes températures se situent autour de la chaudière, servant de vaporisation partielle du brut ,et autour du résidu atmosphérique. Toutefois pour minimiser la dépense énergétique ou de matière, en termes d'utilité dans la chaudière, la solution serait de préchauffer le brut dans un train d'échangeurs allant de 2 à 4 unités.

### **III .5.3Conception d'un schéma de séparation Règles heuristiques**

Ces règles donnent des orientations pour définir les schémas de mise en place pour la séparation des mélanges d'hydrocarbures .

Elle constitue la base de l'idéologie de la colonne atmosphérique et se rencontre le plus souvent dans le fractionnement des essences.

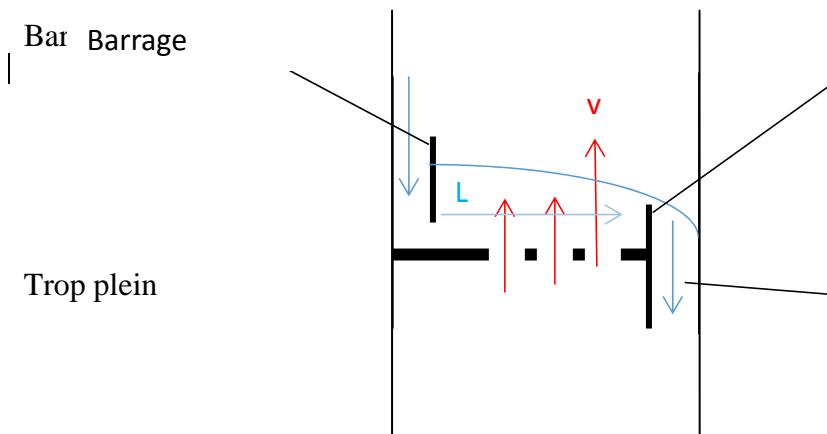
Ces règles suivent la chronologie suivante :

- Eliminer en premier les constituants majoritaires
- Commencer par les séparations faciles
- Privilégier les séparations équilibrées, c'est à dire celles où les débits de distillat et de résidu sont du même ordre de grandeur
- Terminer par les séparations difficiles

### **III.5.4TECHNOLOGIE INTERNE DE LA COLONNE:**

#### **III .5.4.1Plateaux à courants croisés:**

Ce sont les plus répandus et ils se caractérisent par la présence d'un barrage et d'un déversoir permettant d'imposer une rétention liquide[25]



FigurIII.10 Plateau à courants croisés

Le plateau est constitué généralement des éléments suivants:

- Aire active
- Déversoir
- Zone de dévésiculation
- Barrage d'entrée
- Zone de dégazage
- Éléments de barbotage

### III .5.4.1Circulation des fluides

#### Côté vapeur

Pour ce qui concerne la vapeur, la circulation est invariante, elle se fait du bas en haut en passant à travers les éléments de barbotage tout en traînant avec elle les constituants les plus volatils du liquide et cède les plus lourds à ce dernier.

#### Côté liquide

La circulation du liquide peut se faire, selon la technologie utilisée, en une ou plusieurs passes occasionnée par les éléments de barbotage et débouche en une rétention quantifiée par une variable appelée gradient hydraulique ( $\Delta$ ).

## Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation

Les différentes possibilités de circulation du liquide se présentent comme suit [24]

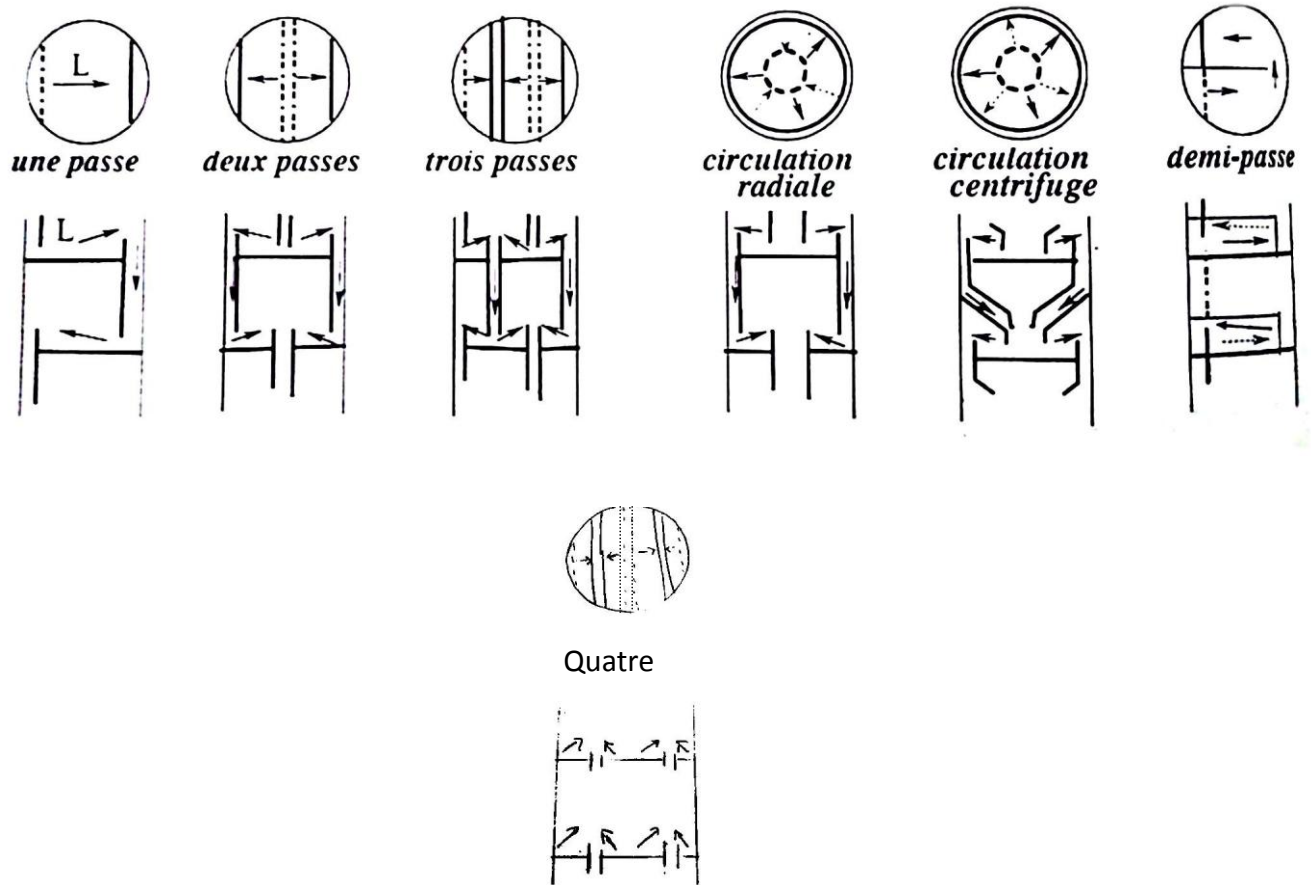


Figure III.11 Possibilités de circulation du liquide[25]

### III .5.4.2 Les éléments de barbotage

Ils peuvent être disposés selon trois configurations avec un écartement «p» appelé:

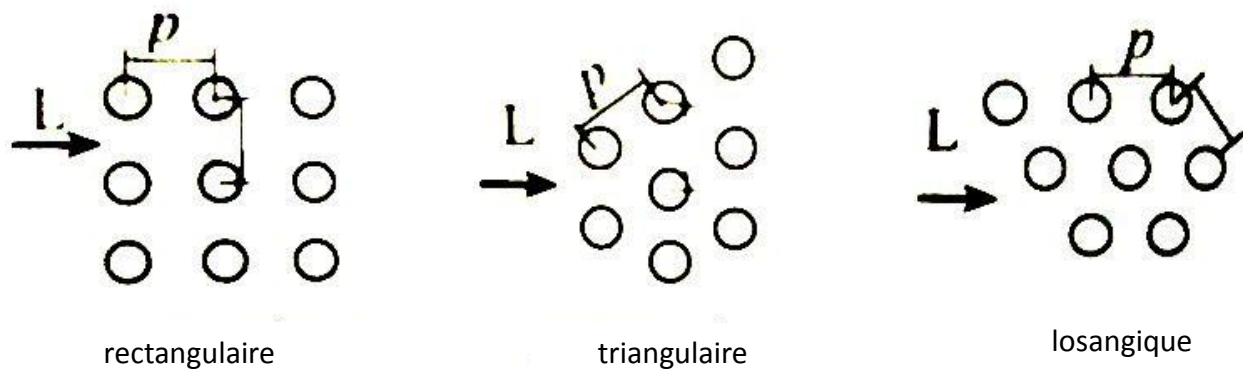


Figure III 12 Disposition des éléments de barbotage

Les éléments de barbotage définissent quatre classes de plateaux:

➤ **Plateaux perforés et assimilés**

Les deux sont moins coûteux et peu efficaces mais les plateaux assimilés présentent un gain d'efficacité à cause de l'ajout d'un trajet chicané coté vapeur. Les diamètres des orifices pouvant aller de 1 à 25 mm. Plateau perforé ( à gauche) et deux plateaux assimilés ( à droite).

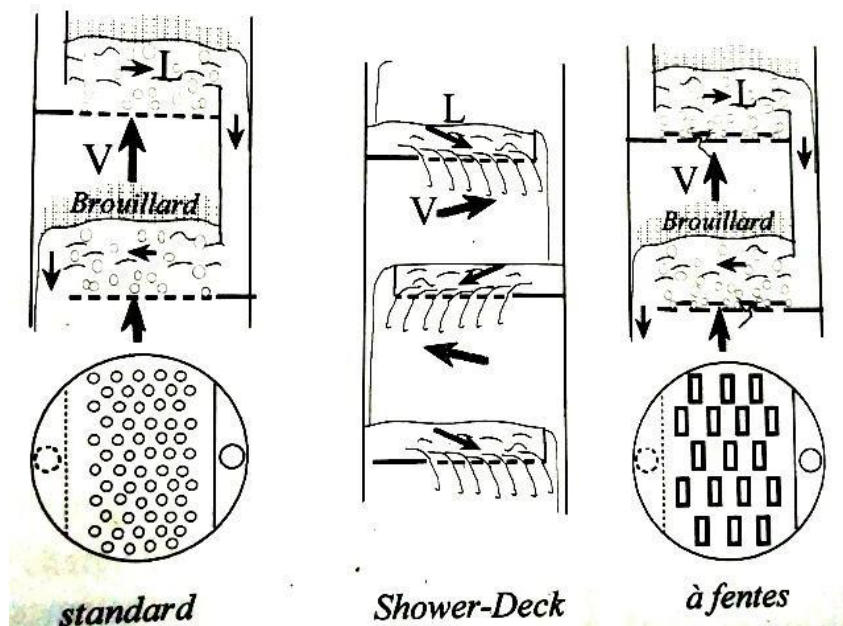


Figure III.13 Plateaux perforés et assimilés

➤ **Plateaux à cloches**

Ils sont plus efficaces et engendrent moins d'entraînement de liquide mais leurs importantes rétentions statiques et dynamiques et leur coût élevé constituent des inconvénients majeurs et amoindrissent leur éligibilité lors des choix de dimensionnement.

### ➤ Plateaux à clapets

Ces plateaux sont un bon compromis entre les deux derniers car ils s'adaptent aux conditions de fonctionnement, donc une grande flexibilité, et ils ont des pertes de charges limitées à débits élevés. Les clapets sont des pièces métalliques munies de pattes recourbées, disposées sur les orifices du plateau et dont le soulèvement est fonction croissante du débit de vapeur [26]

Plusieurs constructeurs proposent des technologies différentes

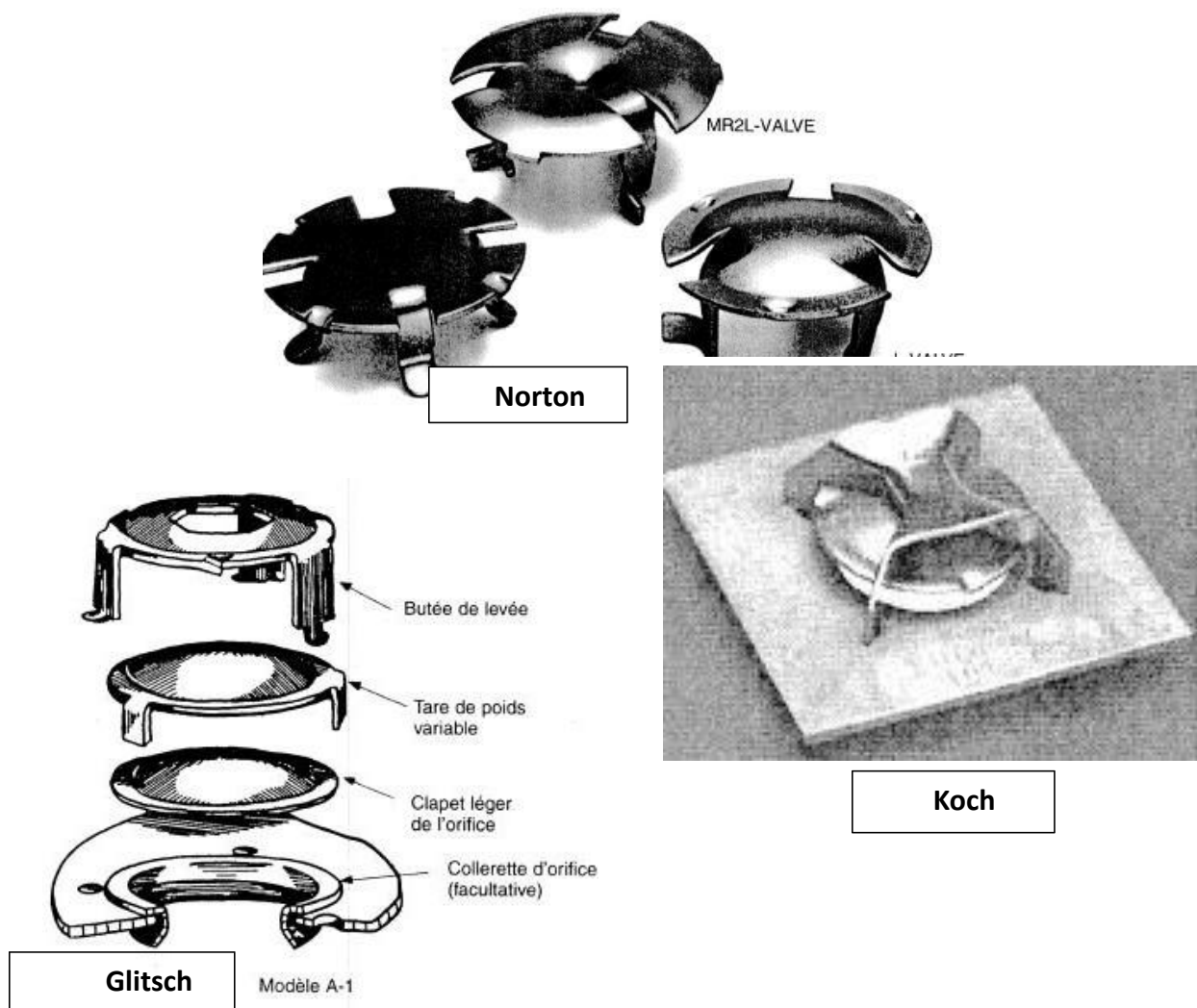


Figure III.14 Modèle de clapets de quelques constructeurs[25]

## Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation

### III.5.5 Plateaux à contre-courant

Utilisés principalement en cas de fluide encrassant et/ou contenant du solide susceptible de se déposer. Il s'agit d'un plateau perforé, sans barrage ni déversoir dont le diamètre pouvant aller de 20 à 50 mm

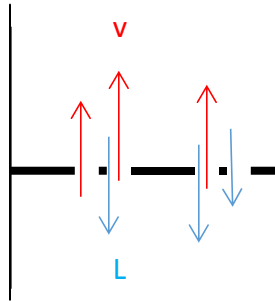


Figure III.15 Plateau à contre-courants

### III.5.6 Matériaux de construction

La sélection des matériaux de construction est d'une grande importance vu les éventuels problèmes de corrosion pouvant s'interférer dans la colonne. Pour lutter contre ces derniers on utilise des alliages spéciaux en fonction des zones de la colonne.

- On utilise souvent du monel en tête de colonne pour faire face à la salinité résiduelle des produits dans le condenseur.
- On utilise généralement de l'acier du type 410S ou acier carbone pour les plateaux.
- On utilise, pour les zones plus chaudes de la colonne ( 300-420°C ), des aciers alliés ( 5%Cr , 0.5%Mo) et voire à des vitesses élevés , des aciers alliés ( 12% à 18%Cr ).

La colonne elle même peut être revêtue en 410 en certaines zones et en acier inoxydable dans d'autres.

### III.5.7 NETAT DESCRIPTIF EQUIPEMENT : COLONNE

Tableau III .2 PERFORMANCES

| DESIGNATION  |          |               |
|--------------|----------|---------------|
| Fluides      |          | Hydrocarbures |
| Debit total  | mw.kg/hr | /             |
| Vapeur       | mw.kg/hr | /             |
| Liquide      | mw.kg/hr | /             |
| Vapeur d'eau | mw.kg/hr | /             |
| Eau          | mw.kg/hr | /             |

## Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation

|                            |              |          |
|----------------------------|--------------|----------|
| Incondensables             | mw.kg/hr     | /        |
| Température deservice      | °c           | 104 /238 |
| Pression de service        | kg/cm2g      | 7.5      |
| Nombre de plateaux /passes |              | 26/2&3   |
| Chute de pression admis    | kg/cm2g      | 0.35     |
| Rendement                  | mm kcal/hr   | /        |
| Coef. d'encrassement       | kcal/hr.m2°c | /        |

**Tableau III .3 construction**

|                                 |                                     |  |
|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| Normes/standards/spécifications | Asme sect .8 dif.1 / f10- 1351- 102 |  |
| Nombre de plateau / espace      | 26/600 mm                           |  |
| Pression de calcul              | 9.4                                 |  |
| Température de calcul           | °c 270                              |  |
| Pression test hydrost           | kg/cm2g 14.1                        |  |
| Pwht                            | Non                                 |  |
| Examen radiographique           | 100%                                |  |
| Surépaisseur de corrosion       | mm 3                                |  |
| Coef.soudure                    | 1                                   |  |
| Calorifugeage                   | Oui 50 mm /top & 80 mm / bottom     |  |

**Tableau III .4 Matériaux**

|                  |                     |
|------------------|---------------------|
| Calandre         | A 516- gr 70        |
| Fonds            | A 516- gr 70        |
| Jupe             | A 285 gr c          |
| Tubulures        | A 106 gr B          |
| Brides           | A 105               |
| Tirants & ecrous | A 193 B7 / A 194 2h |

**Tableau III .5 CONTROLE NDT**

|                    |        |                     |  |                      |  |                   |        |
|--------------------|--------|---------------------|--|----------------------|--|-------------------|--------|
| Contrôle radiogr.  |        | Répliques métallo   |  | Contrôle thermogr    |  | contrôle ressuage |        |
| Contrôle ultrasons | *<br>* | Contrôle endoscop.  |  | Contrôle d'étanche   |  | Contrôle visuel   | *<br>* |
| Contrôle magnétos  |        | Contrôle résistance |  | Contrôle dimension . |  |                   |        |

## ***Chapitre 3: présentation de l'entreprise et ses différentes installation***

---

### **III.6 Conclusion :**

Ce chapitre nous a permet de connaitre l'état des lieux de la raffinerie de Skikda ainsi que la description générale des différentes installations. [22].



## Chapitre 4: Application de la méthode HAZOP

|  |  |
|--|--|
| -La partie : 101 C1<br>-Elément : NAPHTA B+C.<br>-Composant : COLONE 101 C1. | -Intention de conception.<br>- Nœud : axial<br>-Activité : Séparation. |
|--|--|

### VI.1-Débit :

| N | Mot clé | Déviation   | Cause possible   | Conséquence   | Détection                    | Sécurité existante  | Recommandation  |
|---|---------|---|--|---|------------------------------|---|---|
| 1 | Pas de  | - Débit trop faible ou absence de débit.<br><b>Débit minimal 150 m3/h</b> | -Défaillance de pompe<br>-Défaut d'accouplement<br>- Défaut sur une vanne automatique,<br>-Une cavitation<br>-Manque de produit<br>-Formation d'une poche de gaz<br>-Erreur opérateur<br>-Défaillance d'entraînement | -Augmentation de la pression<br>-Température produit<br>-Modification des conditions de réaction, de séparation     | 101 FI 103<br>101 PIC<br>107 | -Réduire la température de rebouilli 101 F2<br>-101 MP1 ouverture spill-bac pour garantir l'aspiration de la pompe                    | -Vérification sur site<br>-Vérification des instruments de mesure du débit<br>-Ouvrir la vanne de refoulement jusqu'à obtenir le point normal de fonctionnement.<br>-Vérification niveau du bac de charge<br>-Vérification la pression d'aspiration<br>-Vérification filtre de la pompe<br>-Vérification les vibrations de la pompe de charge |
| 2 | Plus de | -Débit de brut excessif<br><b>Débit maximal 200 m3/h</b>                  | -Défaillance d'alimentation<br>-Chute de pression au refoulement<br>-Défaillance du contrôle<br>-Défaut sur une soupape de   | -Erosion<br>-Surpression<br>-Mélange<br>- Inversion d'écoulement -<br>Modification de température<br>-Changement de | 101 FI 103<br>101 PIC        | -Ouverture du bay-pass des train d'échange préchauffage 101 HC 101<br>-Augmentation de la concentration du fuel gaz pour augmenter la | -Vérification sur site<br>-Vérification de l'instrument de mesure du débit<br>-Vérification pression de refoulement du compresseur de recyclage 101 K1  |

## Chapitre 4: Application de la méthode HAZOP

|  |  |  |  |  |     |  |   |
|--|--|--|--|--|-----|--|---|
|  |  |  | sécurité, une position de vanne automatique<br>-Erreur opérateur | phase<br>-Echauffement du moteur de la pompe | 107 | température<br>-Ouverture de la vanne 101 FV 108 a fin de contrôlé le débit a traité | -Ouverture bay-pass soupape de sécurité PSV |
|--|--|--|--|--|-----|--|---|

### VI.2-la Pression :

|   |          |   |   |  |                             |  |  |
|---|----------|---|---|--|-----------------------------|--|--|
| 1 | Moins de | -Pression faible                            | - Fuite de l'appareillage<br>-Soutirage exagéré<br>- Variation pression -<br>Erreur opérateur<br>-Défaillance au niveau du four 101 F2<br>-La vanne de régulation de pression défiante<br>-Perforation des plateaux de la colonne | -Modification des propriétés chimiques<br>-Condensation              | 101 PIC 107                 | -Augmentation du taux de la chauffe<br>-Réduire le débit<br>-Fermeture du 101 PIC 107  | -Vérification sur site<br>-Vérification de l'instrument de mesure de la pression<br>-Vérifier le niveau e la colonne |
| 2 | Plus de  | -Pression excessive >7.1 Kg/cm <sup>2</sup> | -perturbation réseau fuel-gas<br>- diminution du niveau de la colonne<br>- la nature de la charge (présence des fraction légère )   | -Modification des propriétés chimiques<br>- vaporisations<br>- fuite | 101 PIC 107<br>101-PAHH-122 | -dimunution du taux de chauffage<br>- ouverture de la vanne 101-FV103 (pour ajuster le niveau de la colonne)<br>-Arrêt d'urgence de l'installation | -Vérification sur site<br>-Vérification de l'instrument de mesure de la pression                                     |

## Chapitre 4: Application de la méthode HAZOP

---

### VI.3-La température :

|   |          |                               |  |  |            |  |  |
|---|----------|-------------------------------|--|--|------------|--|--|
| 1 | Moins de | -Basse température $\leq 190$ | - -<br>Refroidissement excessif<br>- perturbation réseau fuel-gas<br>- augmentation du niveau fond de colonne<br>-Défaillance du contrôle<br>- Erreur opérateur. | -Modification des propriétés chimique<br>-<br>Condensation<br>-<br>Cristallisation | 101-TI-122 | Augmenter le taux de chauffage<br>- fermeture de la vanne 101-FV103 (pour ajuster le niveau de la colonne)<br>-Arrêt d'urgence de l'installation | - Vérification sur site<br>-Vérification de l'instrument de mesure de la température |
|---|----------|-------------------------------|--|--|------------|--|--|

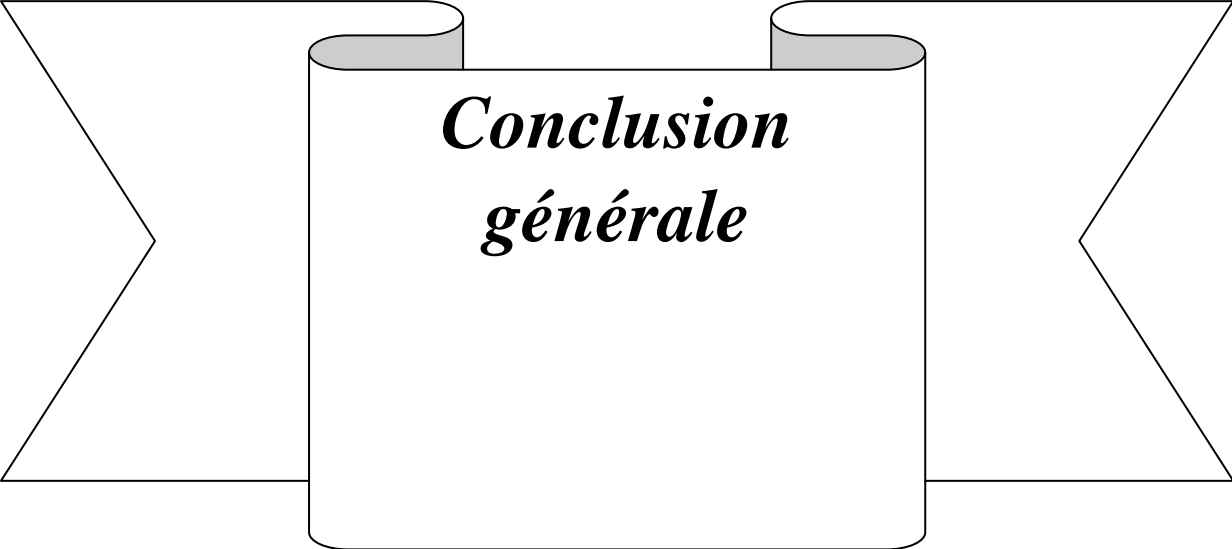
## Chapitre 4: Application de la méthode HAZOP

---

|   |         |                                |   |   |            |   |  |
|---|---------|--------------------------------|---|---|------------|---|--|
| 2 | Plus de | - Haute température $\geq 204$ | - chauffage excessif<br>- perturbation réseau fuel-gas<br>- bas niveau fond de colonne<br>- Défaillance du contrôle<br>- Erreur opérateur | Modification des propriétés chimique<br>-vaporisation | 101-TI-122 | Réduire le taux de chauffage<br>- ouverture de la vanne 101-FV103 (pour ajuster le niveau de la colonne)<br>- Arrêt d'urgence de l'installation | Vérification sur site<br>-Vérification de l'instrument de mesure de la température |
|---|---------|--------------------------------|---|---|------------|---|--|

### VI.4 Conclusion:

l'application de la démarche HAZOP à la colonne C1 s'est avérée être un choix judicieux en raison de la diversité des équipements impliqués. Les résultats de cette application ont été positifs, car nous avons atteint les objectifs fixés.



## *Conclusion Générale*

---

### **conclusion générale:**

L'industrie d'hydrocarbures est indispensable pour notre vie où des risques de plusieurs types sont inhérents à cette industrie. La gestion de ces risques s'appuie sur un processus itératif qui a pour objectif la maîtrise des risques. Cette activité consiste à apprécier les risques et des dommages induits et à maîtriser ces risques par la réduction de niveau de probabilité et/ou le niveau de gravité. L'objet premier de notre travail était de profiter d'une gestion des risques liés à une colonne de la séparation de naphta c1 en utilisant une la démarche HAZOP. Le complexe de raffinerie RA1K Skikda a été vraiment un d'application convena pour la mise en œuvre de la démarche HAZOP vue la diversité des différentes installations et bien entendu leurs différents systèmes de sécurité.

## Références Bibliographiques

---

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- [1] Document PDF: La gestion des risques dans le domaine de la santé, Dr Stéphane GAYET – Praticien hospitalier,
- [2] Site WEB :[www.inrs.fr/demarche/risques-industriels.html](http://www.inrs.fr/demarche/risques-industriels.html)
- [3] Site WEB: « L'étude de dangers » Notions de base et éléments de réglementation,<http://slideplayer.fr/slide/9488846/>
- [4] Document PDF :INFORMATION SUR LES RISQUES MAJEURS DDRM 29 – Novembre 2006
- [5] Cours: Culture de sécurité, Chaouit Hanifa, 2017
- [6] Documo Nichan Margossian RISQUES ET ACCIDENTS
- [7] COUR Prévention et gestion des risques professionnels LAMRAOUI 2023
- [8] Retrouvez ce dossier sur le site de l'INRS : [www.inrs.fr/demarche/risques-industriels.html](http://www.inrs.fr/demarche/risques-industriels.html)
- [9] Document PDF: Practical Hazops, Trips and Alarms, Dave Macdonald, 2004.
- [10] Site WEB: Approches théoriques des risques, [https://campus.minesparistech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2\\_2-1\\_3.html](https://campus.minesparistech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2_2-1_3.html)
- [11] Site WEB: Approches théoriques des risques, [https://campus.minesparistech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2\\_2-1\\_3.html](https://campus.minesparistech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2_2-1_3.html)
- [12] Document PDF: Gestion des risques en sécurité civile, gestions risques partie 4
- [13] Site WEB: Aqhsst optimisez l'efficacité de la gestion des risques sst,
- [14] Cours: MÉTHODES D'ANALYSE DE RISQUES ; bouras ; 2023
- [15] Document PDF: SÉCURITÉ DES SYSTÈMES - ANALYSE DE RISQUES MÉTHODES D'ANALYSE DE RISQUES
- [16] Document PDF: Integrating HAZOP and LOPA, Process safety, Ken Bingham, 2007
- [17]mimoire fin d'étude . applique méthode hazop (pomp ) .
- [18] Document PDF: Practical Hazops, Trips and Alarms, Dave Macdonald, 2004
- [19] Document PDF: Hazop and Hazan Identifying and Assessing Process Industry Hazards, Trevor Kletz, 1999
- [20] Document PDF: Techniques de l' Ingénieur, Sécurité et gestion des risques, Méthodes d'analyse des risques
- [21] Document SONATRACH COMPLAX RA 1K
- [22] Document PDF: ISO Guide 73, Management du risque — Vocabulaire, 2009.
- [23] Document PDF: Vocabulaire de la gestion du risque, Office québécois de la langue française, 2007.
- [24] Site WEB: Schema-descriptif-de-raffinerie-de-Skikda\_fig1

## *Références Bibliographiques*

---

[25] Pierre TRAMBOUZE, Raffinage du pétrole, tome4, matériels et équipements. Edition TECHNIP,(1999)

[26] Ralph SCHEFFLAN, Teach yourself the basics of Aspen Plus, Stevens institute of technology, AIChE-Wiley2011