REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie de procédé

Spécialité : Hygiène et sécurité Industriel

Analyse des Risque Par Méthode HAZOP
Etude De Cas

Présentée par :

- **Hadjira Mergueb**
- **Remadi Rania**

Proposé et Dirigé par

Dr. SARRAI Abdelaziz

Promotion Juin 2022

REMERCIMENT

Le travail de ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'études réalisé à l'université YAHIA FARES de Médéa.

En premier lieu, nous remercions Dieu le tout puissant de nous Avoir donné la volonté et le courage pour réaliser ce travail.

Nous tenons à adresser nos plus sincères remerciements à notre promoteur Docteur ABDELAZIZ SARRAI pour leur temps précieux qu'il nous a consacré, qui ont dirigé et suivi nos travaux et qui a toujours su nous faire confiance et nous apporter l'aide nécessaire, tant sur le plan scientifique que moral.

Nos plus vifs remerciements iront également aux membres de Jerry Dr RAHMANI AHMED CHERIF et Dr FARHAT SAMIRA qui nous a fait l'honneur d'examiner notre travail et à toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté à répondre à nos questions durant nos recherches.

Nous remercions également beaucoup MNS LADEK BELABES

Nous présentons aussi nos sincères Remerciements
À tous les enseignants du département
Du génie des procédés et environnement qui
Ont contribué à notre formation.

Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près où
De loin à la réalisation de ce travail trouvent
Ici l'expression de nos sincères remerciements.



Dédicace

Avant tout, je remercie le grand Dieu, qui nous a aidés à élaborer ce modeste travail.

Je dédie ce travail en premier à mes chers parents qui est toujours cru en moi et en mes capacités, qui ont toujours était là pour me motiver, me soutenir, m'aider dans les moments difficiles, à surmonter mes problèmes et veiller sur mon bonheur que dieu les protège.

A mes chers frères que je les adorent.

A mes sœurs qui m'ont encouragé.

A mon binôme Rania

Mes Amies.

Enfin je dédie ce mémoire à ceux qui m'ont aidée de loin ou de près durant mes études, surtout mon promoteur DR ABD EL AZIZ Sarrai

A toute la promotion HSI 2022.



HADJER

Dédicace

A nos chers parents qui ont toujours été là pour nous, et qui nous ont donné un magnifique
Modèle de labeur et de persévérance…

A celui qui a la vie, l'espoir et l'amour pour moi, celui qui a veillé pour mon bien être et m'a soutenu, celui qui a été présent pendant les moments le plus difficile durant ma vie, mon cher mari…
A notre encadreur Mr Sarrai. A qui a crédité de sa confiance cette recherche et pour la somme de ses conseils et de ses recommandations…



A nos chers frères et sœur…

A mon meilleur ami Gharnouti.M …

A mon meilleur binôme Hadjer…

A tous ceux qui nous aime et tous ceux que nous aimons…

Nous vous dédions ce modeste mémoire.

RANIA

تحليل المخاطر بطريقة HAZOP دراسة حالة

الملخص

هازوب هي طريقة راجحة في تحليل السلامة للصناعات السابقة الكيميائية, الصيدلانية, البترولية لا غنى عنه تقريبًا لفحص الأنظمة التي تعتمد سلامتها في التثبيت إلى حد كبير على التحكم في ظروف التشغيل (معدل التدفق ,الضغط , درجة الحرارة)

في هذا العمل ، طبقنا طريقة هازوب لدراسة وتحليل مخاطر: الغلاية ، الخزان العالي ودائرة المياه ، على مستوى الشركة فرتيال بعنابة

الكلمات المفتاحية : الأمان النظام التمكن هازوب غلاية .

ANALYSE DE RISQUE PAR METHODE HAZOP :Etude de cas

Résume

L'HAZOP est une méthode prépondérante dans l'analyse de sécurité des industries de précédés chimique, pharmaceutique, pétrolière... Elle est presque indispensable pour l'examen de systèmes dont la sécurité de l'installation dépend en grande partie de la maîtrise des conditions opératoires (débit, pression, température...).

Dans ce travail, nous avons appliqué la méthode HAZOP pour étudier et analyser les risque de : chaudière, bâche à haut et circuit d'eau, au niveau de l'entreprise Fétial, Annaba.

Mot cle : Sécurité, Système, Maitrise, HAZOP. Chaudière

RISK ANALYSIS BY METHODE HAZOP:Case Study

Abstract

HAZOP is a preponderant method in the safety analysis of industries preceded chemical, pharmaceutical, petroleum. It is almost indispensable for the examination of systems whose safety of the installation depends largely on the control of the operating conditions (debit,pressure,temperature...)

In this work, we have applied the HAZOP method to study and analyze the risks of: boiler, high tank and water circuit, at the company level Fertial Annaba

Key word :Security,System ,Mastery,HAZOP ,Boiler.

Sommaire

Tableau des matières

Introduction générale	**1**
Chapitre I : L'analyse des risques	
Introduction	**2**
I.1 .Notion du danger	**2**
I.2. Notion du risque	**3**
I.2.1. Risque industrielle	**5**
I.2.1.1.Risque nucléaire	**6**
I.2.1.2.Risque chimique	**6**
I.2.1.3.Risque électrique	**6**
I.2.1.4.Risque d'explosion	**6**
I.2.1.5. Risque d'incendie	**7**
I.2.1.6. Risque biologique	**7**
I.2.1.7. Risque Mécanique	**7**
I.3. Gestion du risque	**8**
I.3.1. Analyse du risque	**9**
I .3.1.1. Méthodes d`analyse du risque	**10**
I.3.1.2. Classification des méthodes d'analyse de risque	**10**
I.3.1.3 L'analyse Qualitative	**11**
I .3.1.3.1 L'analyse Semi- Quantitative	**20**
I .3.1.3.2.L'analyse Quantitative	**20**
I .3.2. Evaluation du risque	**21**
I .3.2.1.Méthodes d`évaluation des risques	**21**
I .3.3. Critères de choix d'une méthode d'analyse de risque	**23**
Conclusion	**24**
Chapitre II: Présentation de la Méthode HAZOP	
Introduction	**26**
II.2. Historique de la méthode HAZOP	**26**
II.3. Définition de L`HAZOP	**27**
II.4 .Domaine d'application	**28**
II.5.Principe de L`HAZOP	**28**
II.6.L`objectif de L`HAZOP	**29**
II.7. Déroulement de L`HAZOP	**30**
II.8. Équipe d'étude HAZOP	**32**
II.9. Technique de la méthode HAZOP	**32**
II.10. Représentation de la méthode d`HAZOP	**33**
II.10.1.Définition des Mots-clés	**33**
II.10.2.Définitions des paramètres	**36**
II.10.3.Déviations	**37**
II.10.4.Causes et Conséquences de la dérive	**39**

Sommaire

II.10.5.Moyens de detection,securites existantes et propositions	**42**
II.11.Informations utilisées dans l'étude HAZOP Les éléments suivants doivent	**42**
II.12. Avantages et Limites de L`HAZOP	**42**
II.13. Rapport de HAZOP	**43**
II.14. Fonctionnement de L`HAZOP	**43**
Conclusion	**45**
Chapitre III : Résultats et discussion	
III.1.1.Introduction	**47**
III.1.2.Présentation du complexe Fértial (Ex .ASMIDAL)	**47**
III.1.3.Présentation de la centrale a vapeur	**49**
III.2. Système choisi : Chaudière	**50**
III.2.1.Description de la chaudière FCB	**51**
III.2.2.Schéma globale de la chaudière FCB	**52**
III.2.3.partie pratique	**54**
Conclusion	**63**
Conclusion générale	**64**
References	

Liste des Figures

FIGURE1	Caractérisation du risque	4
FIGURE 2	Processus de gestion de risque	91
FIGURE 3	Approches d'analyse de risque	10
FIGURE 4	Typologies et approches de la méthode d'analyse de risque	11
FIGURE 5	Représentation de l`arbre de défaillance	14
FIGURE 6	Exemple de l'arbre de défaillance	15
FIGURE 7	Représentation de l'arbre d'évènement	16
FIGURE 8	Représentation de MOSAR	19
FIGURE 9	Etapes d'évaluation des risques	21
FIGURE 10	Classification des risques	22
FIGURE 11	les Etapes De Déroulement De L'HAZOP	31
FIGURE 12	la Relation de déviation	37
FIGURE 13	Localisation de Fértial par rapport à la ville d'Annaba	48
FIGURE 14	Schéma des structures du complexe	49
FIGURE 15	Schéma synoptique de la centrale à vapeur	50
FIGURE 16	Schéma descriptif des principaux composants de l'installation FCB	52
FIGURE 17	Schéma de chaudière	53
FIGURE 18	Schéma descriptif du circuit d'eau d'alimentation	53

Liste Des Tableaux

Tableau 1	Exemple de tableaux de type APR	13
Tableau 2	Matrice de criticité	22
Tableau 3	Rôle Équipe d'étude HAZOP	32
Tableau 4	Descripteur de données d'une étude HAZOP	33
Tableau 5	Les principaux mot-guides et signification	34
Tableau 6	Exemple de mots-clés pour l'HAZOP	35
Tableau 7	Exemple de paramètres de la méthode HAZOP	37
Tableau 8	Exemple de matrices potentielle des mots guide et des parameters	38
Tableau 9	Quelques mots-clés utiles	39
Tableau 10	La méthode HAZOP au niveau du réservoir de refroidisseur	44
Tableau 11	Liste des capacités de production de chaque unité	48
Tableau 12	La Méthode HAZOP au niveau de la Bâche alimentaire d`eau	54
Tableau 13	La méthode HAZOP au niveau de bruleur - Circuit de GAZ/AIR	56
Tableau 14	La méthode HAZOP au niveau de la Chaudière-circuit d`eau bâche vers la chaudière	58
Tableau 15	La méthode HAZOP au niveau de Générateur de vapeur	61

Liste d'abréviation

Adc	Arbre de Cause
AdD	Arbre de Défaillance
AdE	Arbre d'Evénement
AFNOR	Association Française de Normalisation
AMDE	Analyse des Modes de Défaillance et leurs Effets
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, leurs Effets et leur Criticité
APR	Analyse Préliminaire des Risques
C&E	Causes et Effets
CEA	Le Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives
CEI	Commission Electrotechnique Internationale
DRA	Direction des Risques Accidentels
ENS	Evènement Non Souhaite
ENSPM	École Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs
EPR	Evaluation Probabiliste de Risques
FMDS	La Fiabilité, La Disponibilité, La Maintenabilité et La Sécurité
HAZOP	Hazard and Operability study
HSE	Hygiène-Sécurité-Environnement
ICI	Imperial Chemical Industries
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
INERIS	Institut National de Recherche de l'Environnement Industriel et des Risques
ISO	International Standard Organisation
MOSAR	Méthode Organisée et Systémique d'Analyse des Risques
NF EN	Norme Française Européenne Norme
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
PID	Piping and Instrumentation Diagramme
PME	Petites et Moyennes Entreprises
POI	Plan d'Opération Interne
PPI	Plan Particulier d'Intervention

Liste d'abréviation

SONATRACH	Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et le commercialisation des hydrocarbures
ASMIDAL	Le complexe Fértial (ASMIDAL pour la nouvelle entité)
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
PUI	Plan d'Urgence Interne
HP	Haut pression
BP	Bas pression
HT	Haute température
FCB	La chaudière à vapeur Fives-Cail Babcock

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale :

La sécurité de fonctionnement est un socle nécessaire pour toutes les questions relatives à la sécurité des personnes, des installations et des biens au sens de ne pas détériorer un système vis-à-vis de son environnement, que ce soit en fonctionnement normal ou en cas de panne.

Les activités industrielles telles que l'idée d'analyse, d'identification et d'évaluation des risques, afin de faire une bonne appréciation et une bonne gestion des risques faisant partie des risques éliminés, et de donner un aperçu de la méthode d'application des principales étapes de l'analyse intermédiaire de la sécurité d'exploitation d'un système.

Pour cela nous nous soumettons à la méthode HAZOP, qui est une méthode qualitative prédictive d'analyse et d'évaluation des risques, et du fait qu'elle est spécifique aux systèmes thermo-hydrauliques, elle est plus adaptée aux installations de production telles que: compresseur d'air, turbine à gaz, chaudière, four, etc.

Notre étude consiste à appliquer cette méthode (HAZOP) pour étudier les risques liés à la chaudière qui se trouve au sein de l'entreprise Fértial (ville de Annaba)

Notre travail est divisé en trois chapitres répartis comme suit :

Le premier chapitre intitulé "analyse des risques industriels ", dans ce chapitre nous donnons quelques notions et concepts fondamentaux liés à la démarche d'analyse des risques industriels.

Dans le deuxième chapitre intitulé "présentation de la méthode HAZOP ", nous présentons la méthode HAZOP d'une manière détaillée et approfondie commençons par son historique, définition, principe et enfin le déroulement de la méthode.

Le troisième chapitre est consacré pour la présentation de l'entreprise de l'étude du cas Fértile-Annaba ,et pour l'application de la méthode de HAZOP pour l'analyse de risque au niveau de :la bâche alimentaire d'eau, bruleur-circuit de GAZ /AIR ,chaudière et générateur de vapeur

1. Dans la première partie, nous présentons une description de la chaudière à vapeur industrielle FCB au sein du complexe Fertial-Annaba.
2. La deuxième partie est consacré à l'application de la méthode HAZOP pour analyser les risque liés à la déviation des paramètres existant dans la chaudière choisi.

Enfin, nous finalisons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Analyse Des Risques

INTRODUCTION :

L'évaluation du risque désigne une procédure fondée sur l'analyse du risque. Il s'agit d'estimer les risques en vue de les hiérarchiser et de les comparer à un niveau jugé acceptable bien entendu, l'acceptation de ce risque est subordonné à la définition préalable de critères d'acceptabilité du risque.

Ainsi, la finesse dans l'estimation des grandeurs du risque dépend en partie de ces critères.

Le choix de la méthode ou des méthodes nécessaires pour réaliser l'analyse des risques est primordial. Il n'existe pas une méthode unique miraculeuse qui permettrait à toutes les entreprises de toutes tailles et de tous secteurs d'analyser leurs risques afin de déterminer les mesures de prévention.

Il existe donc des méthodes avec des objectifs différents, selon le besoin de l'entreprise dans la mise en place de son système dynamique de gestion des risques.

I.1 Notion de danger :

Un danger est toute source potentielle de dommage, de préjudice ou d'effet nocif à l'égard d'une chose ou d'une personne. Fondamentalement, le danger peut entraîner un préjudice ou des effets nocifs pour les personnes[1].

le danger est un événement ou une situation susceptible d'entraîner des conséquences négatives ou dommages à l'homme et/ou à l'environnement[2].

Selon la norme ISO[3], le danger est une propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoques des dommages pour la santé humaine et/ou l'environnement.

L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS)[4],a défini le danger comme : propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et/ou l'environnement.

Le même terme est défini Selon Des roches[5] et la norme IEC 61508[6], le danger désigne une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux personnes, aux biens (détérioration ou destruction) ou à l'environnement. Les dangers peuvent avoir une incidence directe sur les personnes, par des blessures physiques ou des troubles de la santé, ou indirecte, au travers de dégâts subis par les biens ou l'environnement.

Le référentiel OHSAS 18001[7] définit le danger comme étant une source ou une situation

pouvant nuire par blessure ou atteinte à la santé, dommage à la propriété et à l'environnement du lieu de travail ou une combinaison de ces éléments.

Selon Périlhon Pierre [8], le danger est un phénomène, situation ou événement potentiel, déclenché par un ou plusieurs événements initiateurs, susceptible de menacer une ou plusieurs des quatre cibles, ces cibles sont les individus, les populations, les écosystèmes et les matériels.

Selon Griot et Ayral [9], le danger est un état ou situation comportant une potentialité de dommages inacceptables .situation d'un système ou sont réunis tous les facteurs pouvant conduire à la réalisation d'un accident potentiel.

Notons que ces définition de danger et autres qui sont proposées par d'autres normes et auteurs, malgré leur vocabulaire différent mais elles portent le même sens.

I.2 Notion du risque

Un "risque" est un événement dont l'arrivé aléatoire, est susceptible de causer un dommage aux personnes ou aux biens ou aux deux à la fois[10].

La perception des dommages potentiels liés à une situation dangereuse se rapporte à la notion de risque. Le terme risque à plusieurs significations. De même, les risques peuvent être de nature très variée et beaucoup de classifications ont été proposées[11].

Selon ISO[12], le risque est Combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences.

Selon INERIS [13], le risque est considéré comme la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition aux effets d'un phénomène dangereux.

C'est une espérance mathématique de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et dans une région donnée.

Selon la norme AFNOR[14],Le risque est la combinaison de deux éléments : la probabilité d'occurrence d'un événement ou d'une combinaison d'événements conduisant à une situation dangereuse, ou la fréquence de tels événements et les conséquences de cette situation dangereuse.

Les définitions du risque à deux dimensions. selon villemeur [15], le risque est une mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses effets ou conséquences.

Et selon OHSAS 18001[7], un risque est la combinaison de la probabilité et de la (des) conséquence (s) de la survenue.

Cependant, il existe des définitions légèrement plus complexes dans lesquelles apparaît une troisième dimension : l'acceptabilité du risque, seuil en dessous duquel on accepte l'existence du danger bien que sa gravité et sa probabilité d'occurrence ne soient pas nulles.

Dans la suite du présent travail, le terme risque est lié sans ambiguïté aux risques encourus dans la conduite des systèmes. qualitativement, le risque se caractérise par :

– L'ampleur des dommages, suite à un événement redouté, selon un critère de gravité (critique, marginal, mineur, insignifiant, etc.). ce critère tient compte de l'appréciation des conséquences

en terme de pertes humaines (blessures, mort) ou en termes de pertes économiques (coût liés aux dégradations, etc.) ;

– Le caractère incertain lié à l'apparition d'un événement redouté (fréquent, rare, improbable, etc.)

Provoquant le dommage à partir d'une situation dangereuse déterminée. selon Gouri veau, le risque peut être défini par l'association d'événements causes et conséquences d'une situation donnée. Les événements-causes peuvent être caractérisés par leur occurrence (P) et les événements-effets par leur impact (I) (voir figure 1). La corrélation de ces grandeurs permet de construire un indicateur de risque R = f (Occurrence, Impact).

Le risque en général est défini comme une mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses effets ou conséquence[16].

Notons qu'en fonction de la probabilité et de la gravité d'un risque qu'on qualifie qu'un risque est majeur, acceptables, inacceptable[17].

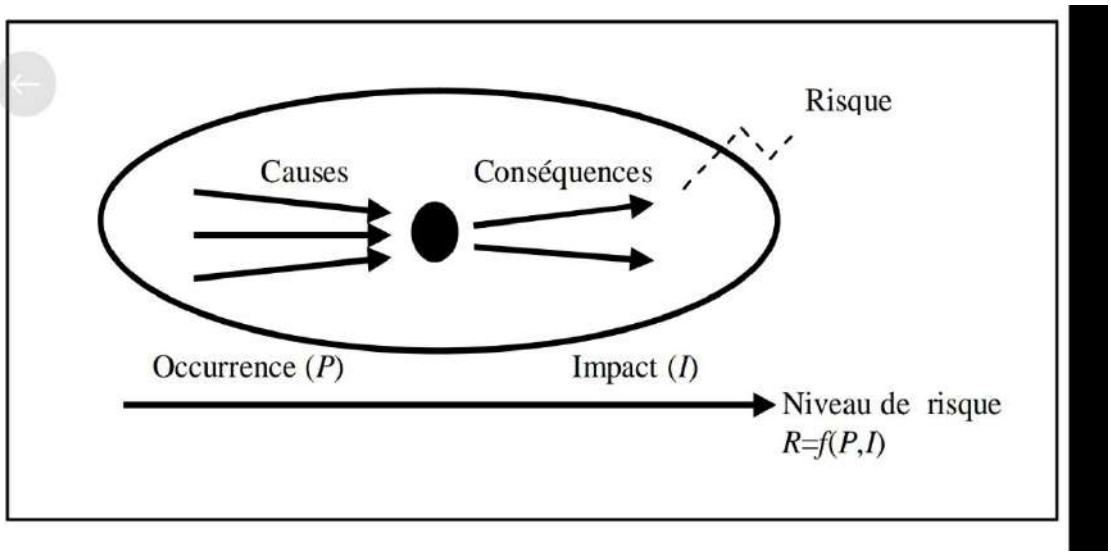


Figure 1 :Caractérisation du risque[18].

I.2.1 Risque industrielle :

Un risque industriel est un événement accidentel qui se produit sur un site industriel et entraîne des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, et l'environnement. Plusieurs secteurs sont concernés, comme la pétrochimie, le secteur minier, l'agroalimentaire ou le nucléaire. Leur fonctionnement implique en effet des activités à risques majeurs, mais aussi la manipulation et/ou le stockage de matières dangereuses, répertoriées à haut risque de toxicité, comme les hydrocarbures, les produits inflammables, les engrais, etc. Mais les installations elles mêmes sont aussi sujettes à défaillance, qu'il s'agisse d'une tuyauterie industrielle, d'un équipement sous pression, ou d'une cuveriez, et requièrent un contrôle régulier.

Par conséquent, ces sites industriels sont soumis à des réglementations spécifiques et à des contrôles réguliers. En somme, les risques industriels sont rares, mais leur gravité est importante. La catastrophe nucléaire de Tchernobyl (Ukraine) en 1986 ou l'exposition de l'usine AZF à Toulouse en 2001 en sont quelques exemples[19].

La directive de seveso II (C'est une directive créée suite à un accident industriel dans le but de réglementer les établissements à risque et qu'on va discuter dans les éléments suivants [20], définit également le risque industriel comme étant : « un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeur résultant de développement incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement couvert par la présente directive, entrainant pour la santé humaine, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et/ou pour l'environnement, un danger grave, immédiat ou différé et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses.

Les risques industriels peuvent être défini[2] comme des situations dangereuses rencontrées dans les activités dites industrielles, dans les usines de production et leurs annexes comme les locaux de stockage des matières premières et des produits finies, les laboratoires de recherche, de mise au point et de contrôle.

I.2.2 Les différents types de risques industriels :

Plusieurs facteurs peuvent générer un risque industriel. On les divise en deux catégories.

D'abord, les risques naturels, dus à un phénomène extérieur comme une catastrophe naturelle. Ce peut être un incendie déclenché par un feu de forêt, une avalanche, une inondation, un mouvement de terrain suite à un séisme, un cyclone, etc.

Viennent ensuite les risques technologiques, qui eux, sont engendrés par l'activité humaine.

Un accident nucléaire peut survenir après la fuite de matière radioactive dans une cuve mal entretenue.

Les exploitations minières sont soumises à la menace potentielle d'une rupture de barrage. Le transport de matières dangereuses comme des produits chimiques, par voie maritime, terrestre ou fluviale, comportent des risques : mauvaise manipulation, erreur humain etc[19].

I.2.1 Risque nucléaire :

Le risque nucléaire est un événement accidentel, lié à l'utilisation de matériaux radioactifs, sources de rayonnements ionisants avec des risques d'irradiation ou de contamination pour le personnel, les populations, les biens et l'environnement[21].

I.2.2 Risque chimique :

Le risque chimique est omniprésent dans de nombreuses activités anthropiques (l'industrie chimique, la pétrochimie, l'agriculture, la métallurgie…), il est susceptible d'engendrer des conséquences néfastes pour l'homme et l'écosystème. Le risque chimique est celui qu'engendre l'utilisation, la manipulation et/ou le stockage des produits chimiques. La directive 98/24 le définit comme « la probabilité que le potentiel de nuisance soit atteint dans les conditions d'utilisation et/ou d'exposition ».

Le risque chimique, lié à la nature du produit, se manifeste par des atteintes à la santé de manière aiguë telle que les lésions, brulures, irritations, intoxication…ou chronique sur le long terme pour aboutir à des pathologies (cancer, ...)[22].

I.2.3 Risque électrique :

Le risque électrique peut causer des lésions ou la mort par le choc électrique ou une brulure pouvant résulter :

- d'une possibilité de **contact direct** ou **indirect** d'un salarié avec une pièce sous tension
- du seul fait de sa présence à proximité d'un équipement électrique particulièrement dans la catégorie haute tension **(travail au voisinage)**
- d'une **isolation** ne convenant pas dans les conditions d'utilisation prévues.
- d'un **phénomène électrostatique** (contact d'une personne avec des parties chargées)[23].

I.2.4 Risque D'explosion :

Une explosion résulte de l'inflammation d'un mélange explosif, d'une réaction chimique violente, d'une combustion violente (d'un gaz ou d'un nuage de poussières), d'une

décompression brutale d'un gaz sous pression (éclatement d'une bouteille d'air comprimé par exemple). Il peut survenir lors de la libération brutale de vapeurs ou de gaz inflammables mélangés avec de l'air et au contact d'une source d'inflammation. L'onde de choc formé, entraîne une surpression pouvant entrainer des lésions internes au niveau des poumons et des tympans ainsi que des traumatismes[24].

I.2.5 Risque d'incendie :

L'incendie est une combustion qui se développe sans contrôle dans le temps et dons l'espace, contrairement au feu qui est une combustion maitrisée .elle engendre de grandes quantité de chaleur, des fumées et des gaz polluants, voire toxique, l'énergie émise favorise le développement de l'incendie.

Le processus de combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant. Cette réaction nécessitant une source d'inflammation pour être initiée.

La présence simultanée de ces trois éléments forme ce qu'on appelle le triangle du feu. L'absence d'un des trois éléments empêche le déclenchement de la combustion[25].

I.2.6 Risque biologique :

Les agents biologiques (bactéries, champignons, virus…) peuvent être à l'origine de maladies chez l'homme : infections, intoxications, allergies voire cancers.

Le risque biologique concerne de multiples activités : les métiers de la santé, les services à la personne, l'agriculture, les industries agroalimentaires, les métiers de l'environnement[26].

Organisme, ou substance dérivée d'un organisme, qui représente une menace à la santé humaine.

a) Bioterrorisme.
b) Emergence infectieuse.

I.2.7 Risque Mécanique :

Ensemble des facteurs physiques qui peuvent être à l'origine d'une blessure par l'action mécanique d'éléments de machine, d'outils, de pièces ou de matériaux solides ou de fluides projetés[27].

Les effets des risques industriels :

Les conséquences varient en fonction de la nature, de la gravité et de localisation de l'accident. Les effets sont classés selon trois typologies, qui peuvent se combiner. Les effets thermiques sont liés à une combustion d'un produit inflammable ou combustible ou à une explosion.

Les effets mécaniques, aussi dits de surpression, résultent d'une onde de choc (déflagration ou détonation), provoquée par une explosion.

Celle-ci peut être issue d'un explosif, d'une réaction chimique violente, d'une combustion violente, d'une décompression brutale d'un gaz sous pression ou de l'inflammation d'un nuage de poussières combustibles.

Les effets toxiques résultent de l'inhalation d'une substance chimique toxique comme le chlore, l'ammoniac, le phosgène, etc., suite par exemple à une fuite sur une installation, à une réaction chimique ou à la combustion de produits dégageant des fumées toxiques. Les effets sur la santé peuvent se présenter sous la forme, par exemple, d'un œdème du poumon ou d'une atteinte au système nerveux.

Outre les effets directs sur les biens et les personnes, ces phénomènes entraînent généralement une pollution de l'air, une contamination des eaux ou laissent des sols pollués par des produits toxiques[19].

I.3. Gestion du risque :

Le mot gestion a été remplacé par le terme management. bien qu'il existe des différences importantes sur les termes liés à la gestion du risque, la définition de processus de gestion des risques est relativement identique dans tous les référentiels et normes :

-Le management des risques est un processus mis en œuvre par le conseil d'administration, la direction générale, le management et l'ensemble des collaborateurs de l'organisation.

-Il est pris en compte dans l'élaboration de la stratégie ainsi que dans toutes les activités de l'organisation.

-Il est conçu pour identifier les événements potentiels susceptibles d'affecter l'organisation et pour gérer les risques dans les limites de son appétence pour le risque.

-Il vise à fournir une assurance raisonnable quant à l'atteinte des objectifs de l'organisation.

-C'est l'art de protéger l'entreprise contre les incertitudes ou encore la combinaison des techniques permettant de limiter la survenance d'événements aléatoires pouvant compromettre la pérennité de l'entreprise[28].

Selon la norme ISO [12], Le management du risque inclut typiquement l'appréciation du risque, le traitement du risque, l'acceptation du risque et la communication relative au risque.

Application systématique des politiques de gestion, des procédures et des usages aux tâches d'analyse, d'évaluation et de maîtrise du risque[29].

La démarche de gestion des risques consiste à :

planifier, acquérir les informations, modéliser l'exposition du système aux risques et enfin conduire le système[30]. les processus de gestion de risque sont illustrés dans la figure 2.

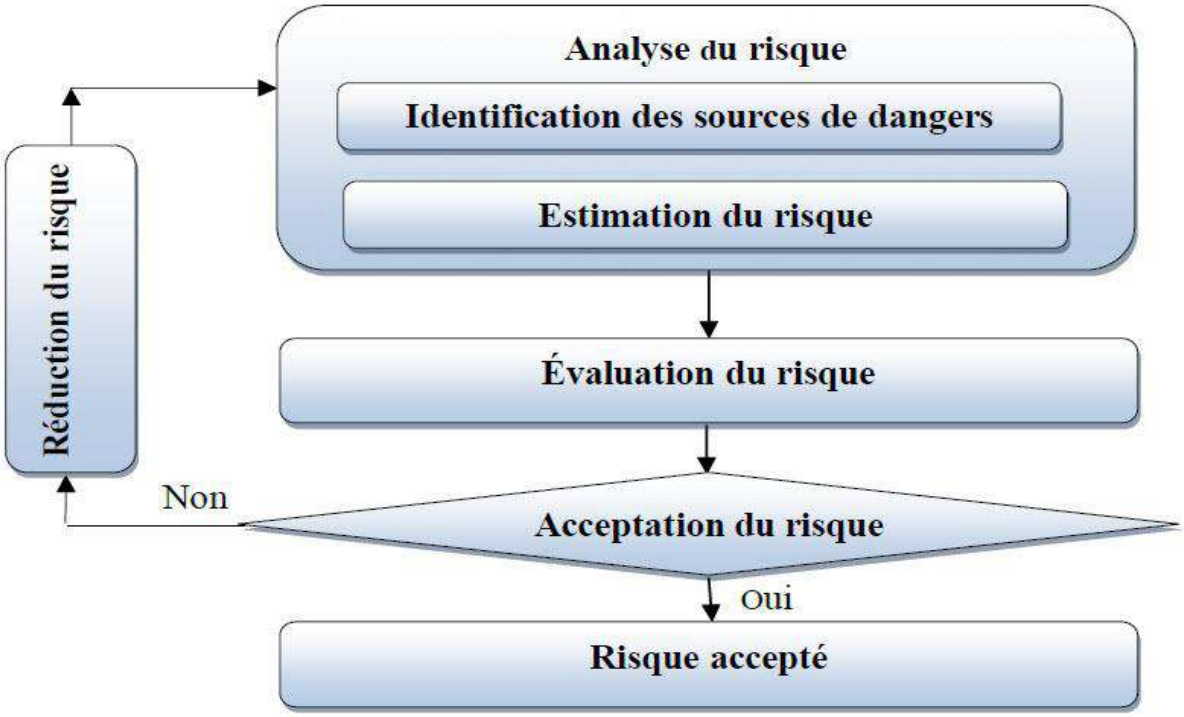


Figure 2 : Processus de gestion de risque[3].

I.3.1. Analyse du risque :

-L'analyse du risque est une étape essentielle dans le milieu industriel.

-Elle participe notamment à la maîtrise de la sécurité des installations.

-Il existe différents niveaux de détail dans l'analyse du risque, et plusieurs méthodes.

- Les analyses peuvent être globales, générales ou très détaillées[31].

Selon la norme ISO [3],l'analyse du risque est définie comme l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque.

L'analyse des risques consiste à les identifier et à comprendre les mécanismes conduisant à leur concrétisation dans le but de réduire leur probabilité d'occurrence et / ou leur gravité. Cette étude doit aboutir à la mise en place de mesures permettant de réduire leur apparition ou leurs conséquences sur l'homme au travail, les matériels de production, les produits, les populations extérieures à notre domaine d'étude ainsi que les écosystèmes pour tendre le plus possible à une maîtrise des risques[32].

Utilisation systématique d'informations pour identifier les facteurs de risque et pour estimer le risque[12] .

I.3.1.1 Méthodes d`analyse du risque :

Afin de prévenir les risques associés à un procédé, un certain nombre de méthodologie sont été développées pour procéder à une analyse systématique des risques et de leurs conséquences[33].

L'analyse du risque est une étape essentielle dans le milieu industriel.

Elle participe notamment à la maîtrise de la sécurité des installations.

Il existe différents niveaux de détail dans l'analyse du risque, et plusieurs méthodes. Les analyses peuvent être globales ,générales ou très détaillées[31].

I.3.1.2 Classification des méthodes d'analyse de risque :

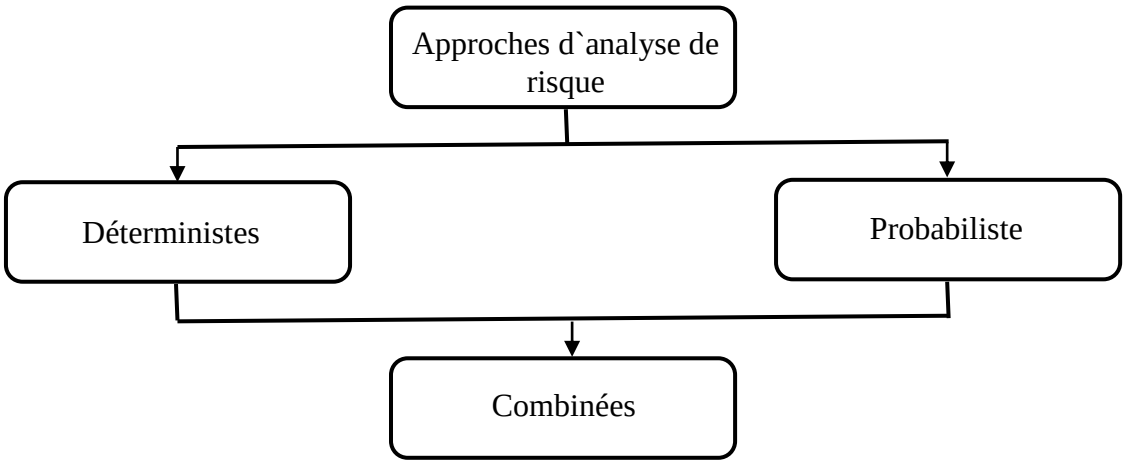


Figure 3 : Approches d'analyse de risque[34].

a. 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[35].

b. 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[35].

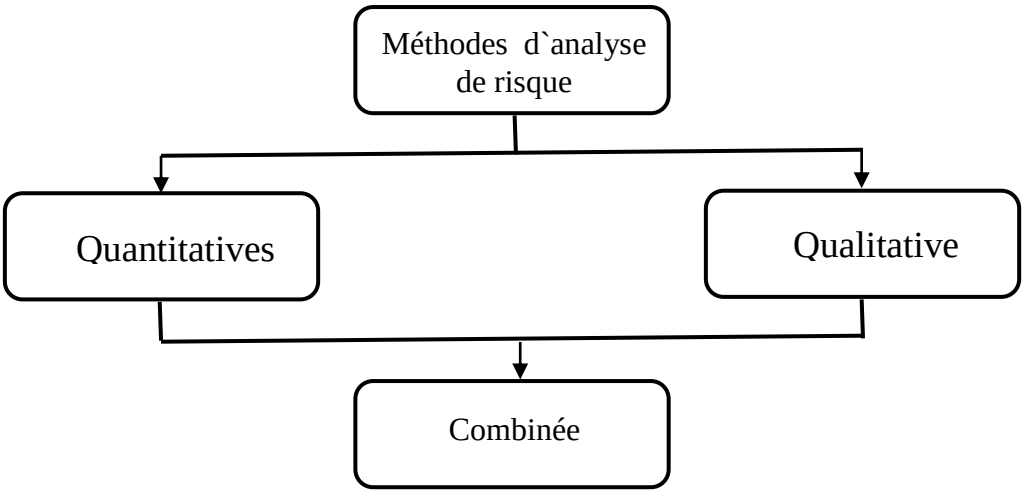


Figure 4 : Typologies et Approches des méthodes d'analyse de risque[35].

I.3.1.3 L'analyse Qualitative :

L'analyse qualitative des risques constitue un préalable à toutes autres analyses .en effet elle permet la bonne compréhension et connaissance systématique du système étudié et de ses composants .pour une bonne évaluation qualitative du risque cette approche ne s'appuie pas explicitement sur des données chiffrées, mais elle se réfère à des observations pertinentes sur l'état du système et surtout sur le retour d'expérience et les jugements d'experts.

Cette approche nécessite alors une très bonne connaissance des différents paramètres et causes liés au système étudié. dans quelques études de dangers, cette approche peut être suffisante pour atteindre les objectifs voulus si elle est bien menée et justifiée[17].

C'est la recherche qui produit et analyse des données descriptives, telles que les paroles écrites ou dites et le comportement observatoire des personnes (Taylor et Bogdan, 1984). Elle renvoie à une méthode de recherche intéressée par le sens et l'observation d'un phénomène social en milieu naturel. Elle traite des données difficilement quantifiables. Elle ne rejette pas les chiffres ni les statistiques mais ne leur accorde tout simplement pas la première place[36].

I.3 Différentes méthodes d'analyse des risques :

Certaines méthodes d'analyse des risques sont limitées à la seule identification des dangers alors que d'autres intègrent l'aspect analyse et évaluation.

Ces différentes méthodes d'analyse des risques sont utilisables soit par un seul expert soit par un groupe d'experts selon l'objectif attendu de l'étude en cours[35].

Nous allons établir dans cette section une gamme des méthodes d`analyse des risque :

I .3.1 L'Analyse Préliminaire de Risque – APR :

Selon la norme CEI: L'APR est une technique d'identification et d'analyse de la fréquence du danger qui peut être utilisée lors des phases amont de la conception pour identifier les dangers et évaluer leur criticité [29].

Les principes :

L'analyse Préliminaire des Risques nécessite dans un premier temps d'identifier les éléments dangereux de l'installation.ces éléments dangereux désignent le plus souvent :

-Des substances ou préparations dangereuses, que ce soit sous forme de matières premières, de produits finis, d'utilités, Des équipements dangereux comme, par exemple, des stockages, zones de réception-expédition, réacteurs, fournitures d'utilités (chaudière),des opérations dangereuses associées au procédé.

-L'identification de ces éléments dangereux est fonction du type d'installation étudiée. L'APR peut être mise en œuvre sans ou avec l'aide de liste de risques types ou en appliquant les mots guides HAZOP.

Il est également à noter que l'identification de ces éléments se fonde sur la description fonctionnelle réalisée avant la mise en œuvre de la méthode.

A partir de ces éléments dangereux, l'APR vise à identifier, pour un élément dangereux, une ou plusieurs situations de danger.

Dans le cadre de ce document, une situation de danger est définie comme une situation qui, si elle n'est pas maîtrisée, peut conduire à l'exposition d'enjeux à un ou plusieurs phénomènes dangereux.

Le groupe de travail doit alors déterminer les causes et les conséquences de chacune des situations de danger identifiées puis identifier les sécurités existantes sur le système étudié. Si ces dernières sont jugées insuffisantes vis-à-vis du niveau de risque identifié dans la grille de criticité, des propositions d'amélioration doivent alors être envisagées. [37]

Tableau 1 : Exemple de tableau de type « APR »[37].

Fonction ou système :						Date:	
1	2	3	4	5	6	7	8
N°	Produit ou équipement	Situation de danger	Causes	Conséquences	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration	Observations

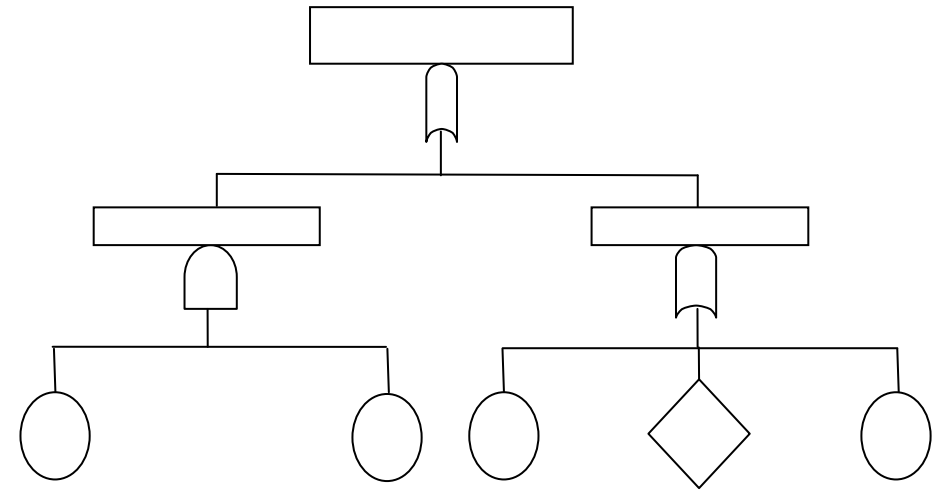
I.3.2 arbre de défaillance :

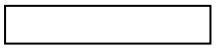
Est une analyse déductive qui fournit une évaluation Qualitative et quantitative du système[38] .

Cette technique permet l'identification et l'évaluation de la probabilité d'occurrence d'un événement de tête elle est appuyée par une représentation graphique organisée des conditions ou des facteurs qui contribuent à l'avènement de l'événement indésirable[38] .

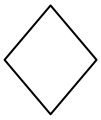
Principe de l'AdD :

Un arbre de défaillance représente de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'évènements qui, dans certaines conditions produisent un événement donné, point de départ de l'étude. Construire un arbre de défaillance revient à répondre à la question « comment tel événement peut-il arriver ? », ou encore « quels sont tous les enchaînements possibles qui peuvent aboutir à cet événement ? »[39].




Événement sommet et/ou intermédiaire


Événement de base


Événement no développe


Connecteur et


Connecteur

Figure 5: Représentation de l`arbre de défaillance[40]**.**

I.3.3 arbre des causes :

-Est une méthode d'analyse des incidents.

-Il s'agit de représenter les faits inhabituels ou les incidents sur un arbre des causes.

-Leur objectif est d'identifier, parmi les actes constituant l'histoire globale qui s'est achevée par un incident, ceux qui correspondent à des défaillances afin de proposer des améliorations, et basée sur le principe d'organisation et décrire, à partir des faits, l'ensemble des actions ayant abouti à l'incident. il permet ainsi de mettre en évidence l'enchaînement des actes à des fins d'analyse et d'amélioration (correction et/ou prévention)[41].

Les principes :

La construction de l'arbre des causes passe par quatre phases distinctes:

1. Le recueil des faits
2. L'organisation des faits récoltés et la construction de l'arbre

3. La formulation des actions de prévention possibles

4. Le choix des actions à mener selon des critères d'efficacité.



Figure 6: Exemple de l`arbre des causes[42]**.**

I.3.4 arbre d'événements :

Est une méthode déductive qui consiste à partir de l'événement initiateur conduisant à un événement indésirable à envisager l'échec ou le succès des fonction de sécurité puis définir les événements susceptibles de se produire en aval de l'événement initiateur, les barrières de sécurité et leurs fonctions doivent être identifiées en leurs affectant des probabilité de défaillance.

L'ADE construit permet temporellement d'identifier les différentes séquences d'événements susceptibles de conduire ou non à des conséquences aux limites et les chemins les plus dangereux conduisant à des conséquences catastrophiques sont ensuite analyses en détail[17].

Principe de l'arbre d'évènements :

L'ADE évalue le potentiel d'accident résultant d'une défaillance d'un équipement ou d'un dérangement de procédé (événement initiateur).

À la différence de l'analyse par arbre de panne (une approche déductive) l'ADE est un raisonnement inductif où l'analyste commence par un événement initiateur et développe la séquence probable d'évènements qui conduisent aux accidents potentiels, en tenant compte tant du succès que de la défaillance des barrières de sécurité au fur et à mesure que l'accident progresse.

Les arbres d'évènements fournissent une façon systématique d'enregistrer les séquences d'accidents et de définir la relation entre les événements initiateurs et la séquence d'évènements qui peut résulter en accidents.

Les arbres d'évènements sont bien indiqués pour analyser les événements initiateurs qui pourraient conduire à une variété de conséquences.

Un arbre d'évènements met en évidence la cause initiale d'accidents potentiels et fonctionne à partir de l'évènement initiateur jusqu'aux effets finaux.

Chaque branche d'un arbre d'évènements représente une séquence séparée d'accident qui est, pour un événement initiateur donné, un ensemble de relations entre les barrières de sécurité[43].

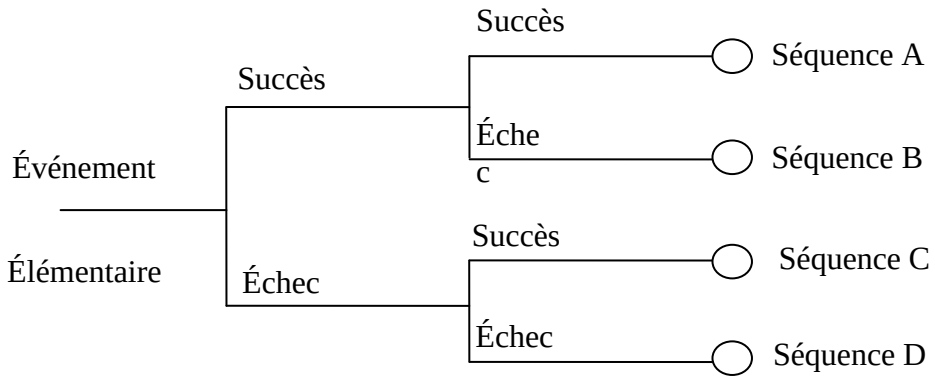


Figure 7: Représentation de l`arbre d`évènement[44].

I.3.5 Analyse des Modes Défaillance, de leurs Effets (AMDE) :

L'AMDE est une démarche d'analyse préventive et inductive qui recense et met en évidence les risques potentiels et permet l'étude systématique des causes et des effets des défaillances qui affectent les composants d'un système[45].

Elle comprend quatre étapes principales :

a) Définition du système et ses composants,
b) Etablissement des modes de défaillances et de leurs causes,
c) Etude des effets des modes de défaillances,
d) Conclusions et recommandations.

I.3.6 Analyse des Modes Défaillance de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) :

Est une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative de la fiabilité des systèmes.

Elle a pour but d'évaluer l'impact ou la criticité de chacun des modes de défaillance sur la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité d'un système.

Elle consiste à recenser les modes de défaillance, d'en évaluer les effets sur l'ensemble des fonctions du système et d'en analyser les causes.

-Elle est particulièrement efficace pour l'étude des défaillances simples.

-Elle est relativement exhaustive et elle permet d'identifier les défaillances de cause commune mais elle peut devenir très ardue à réaliser pour des systèmes complexes[38].

L'A.M.D.E.C, est une extension de L'AMDE et elle a pour objectifs [45]:

a) D'identifier les modes de défaillance du système,
b) De recenser toutes les causes, pour chaque mode.
c) De recenser les effets sur la mission du système.

Principe de L'AMDEC :

Recenser les risques potentiels d'erreur (ou les modes de défaillance) et en évaluer les effets puis en analyser les causes**.**

L'AMDEC est d'identifier et de hiérarchiser les modes potentiels de défaillance susceptibles de se produire sur un équipement, d'en rechercher les effets sur les fonctions principales des équipements et d'en identifier les causes. Pour la détermination de la criticité des modes de défaillance, l'AMDEC requiert pour chaque mode de défaillance la recherche de la gravité de ses effets, la fréquence de son apparition et la probabilité de sa détectabilité.

Quand toutes ces informations sont disponibles, différentes méthodes existent pour déduire une valeur de la criticité du mode de défaillance.

Si la criticité est jugée non acceptable, il est alors impératif de définir des actions correctives pour pouvoir corriger la gravité nouvelle du mode de défaillance (si cela est effectivement possible), de modifier sa fréquence d'apparition et d'améliorer éventuellement sa détectabilité.)[46].

I.3.7 Hazard and Operability Study (HAZOP):

L'étude HAZOP est une technique qui a pour but d'identifier les dangers.

Elle Évalue toutes les parties d'un système afin de déterminer comment les déviations par rapport à la conception originale sont susceptibles de survenir et les problèmes qu'elles peuvent entraîner i1 s'agit d'un processus créatif qui est basé sur l'utilisation de mots-guides (principales et secondaires) pour réaliser une recherche systématique des déviations[38].

Généralement une étude HAZOP représente une extension de l'analyse des modes de défaillance et leurs effets (AMDE).elle consiste à détecter des problèmes potentiels qui peuvent causer un écart par rapport à la conception d'origine et à voir les causes et les conséquences de ces écarts.

Cette méthode est mise en œuvre à la fin de phase de conception et précisément au début de phase de réalisation des systèmes industriels puisqu'elle s'appuie sur les plans de circulation des fluides et les schémas détaillés PID (Piping and Instrumentation Diagramme) du système étudié[47].

Principes généraux de la méthode HAZOP :

La méthode HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo –hydrauliques Pour lesquels il est primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit...

L'HAZOP suit une procédure assez semblable à celle proposée par l'AMDE.

Mais 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 centré sur les composants.

Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (Conceptuelle) des dérives sont effectuées de manière systématique par la conjonction:

1- De mots clés comme par exemple « Pas de » ; « Plus de » ; « Moins de » ; « Trop de ».
2- Des paramètres associés au système étudié.
3- Des paramètres couramment rencontrés concernent la température, la pression, le débit, la concentration mais également le temps.
4- 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.
5- Le cas échéant, le groupe de travail pourra proposer des mesures correctives à engager en vue de tendre vers Plus de sécurité.

A l'origine, l'HAZOP n'a pas été prévue pour procéder à une estimation de la probabilité d'occurrence des dérives ou de la gravité de leurs conséquences.

Cet outil est donc parfois qualifié de qualitatif. pourtant, dans le domaine des risques accidentels majeurs, une estimation a priori de la probabilité et de la gravité des conséquences des dérives identifiées S'avère souvent nécessaire[48] .

I.3.8 Méthode Organisée et Systémique d'Analyse des Risques (MOSAR) :

MOSAR est utilisée dans divers domaines, en particulier dans l'étude des risques d'installations à hauts risques (nucléaire, chimique, etc.) en effet, la méthode a été effectivement appliquée dans le domaine nucléaire et notamment à EDF (centres de recherches et d'essais) et au CEA (installations d'essais).

MOSAR contient deux modules hiérarchiques, un module macro « module `A' » et un module micro « module `B' ».

-Le module `A' a pour but d'identifier les dysfonctionnements techniques et opératoires provoquant un évènement indésirable.

Les scenarios d'accident sont examinés d'une manière macroscopique, autrement dit, sans traiter en détail des aspects fonctionnels du système et de ses interfaces.

-Le module `B' de la méthode MOSAR, qui se présente d'ailleurs comme une suite logique du module `A', permet d'effectuer une analyse plus détaillée des dysfonctionnements techniques et opératoires et aussi de l'impact qu'ils pourraient engendrer sur le système global[45].

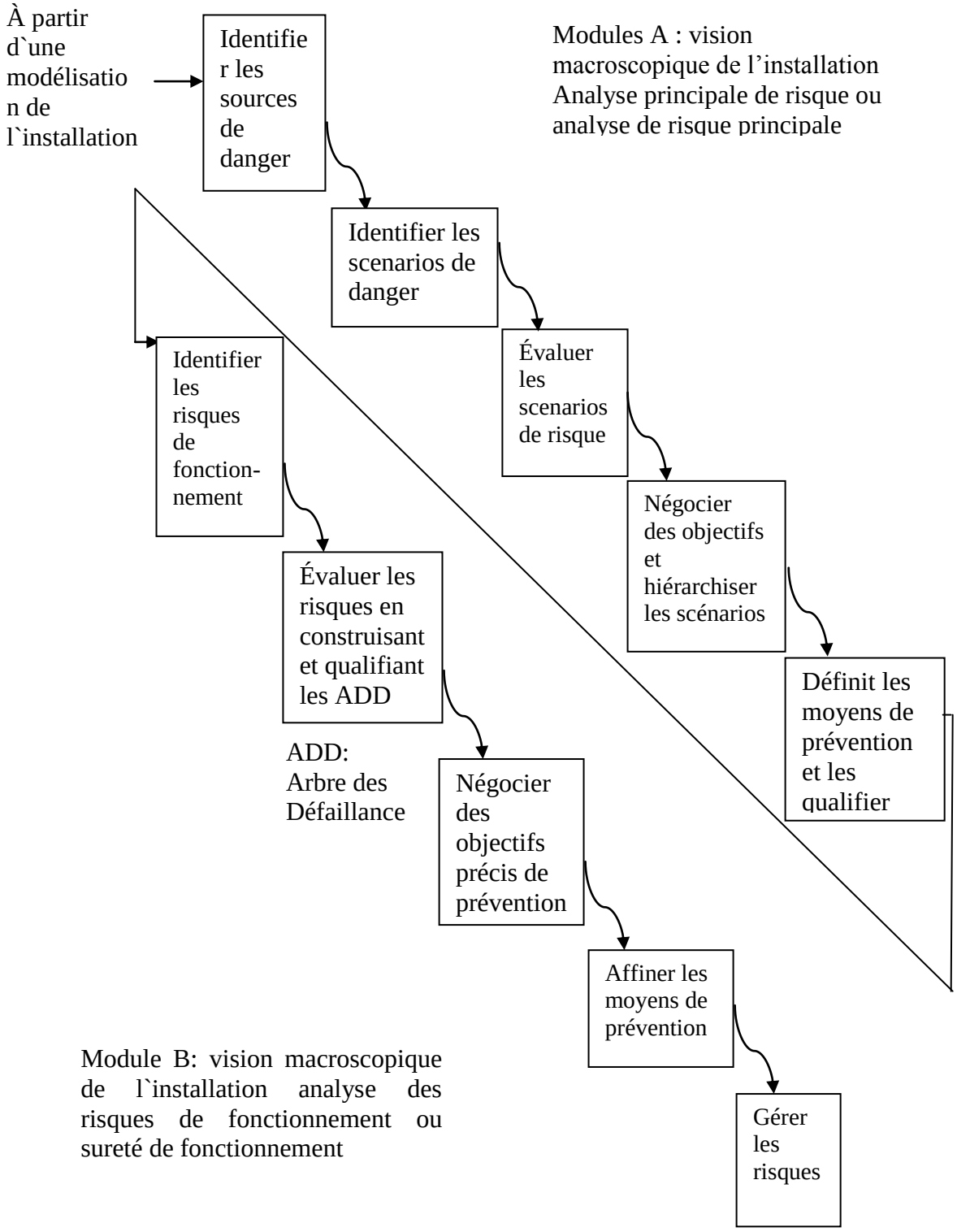


Figure 8: Représentation de MOSAR[44]**.**

I.3.1.3.1 L'analyse semi- quantitative :

Lors d'une évaluation semi-quantitative, la probabilité est calculée subjectivement, mais l'impact est calculé objectivement.

Ce mode de calcul s'applique lorsque l'impact du risque peut être déterminé avec exactitude alors que sa probabilité reste incertaine.

Ce genre de risque concerne en général les changements dans la loi, car l'impact peut être calculé numériquement, mais la probabilité est souvent difficile à établir[49] .

I.3.1.3.2 L'analyse quantitative :

L'évaluation quantitative est basée sur le calcul de la probabilité et l'impact du risque d'une manière objective.

Ce mode de calcul est utilisé quand l'information est suffisamment disponible pour pouvoir calculer, numériquement, la valeur de la probabilité et la gravité du risque[49].

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.
- 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[35].

I.3.2 Evaluation du risque :

L'évaluation du risque désigne une procédure fondée sur l'analyse du risque pour décider si le risque tolérable est atteint[3].

L'importance :

L'évaluation des risques n'est pas un sujet nouveau, mais une obligation légale introduite dans la législation luxembourgeoise en 1994, puis intégrée dans le code du travail.

L'évaluation des risques est aussi un outil pour l'employeur, afin que ce dernier puisse garantir la sécurité et la santé des salariés sur leurs postes de travail[35].

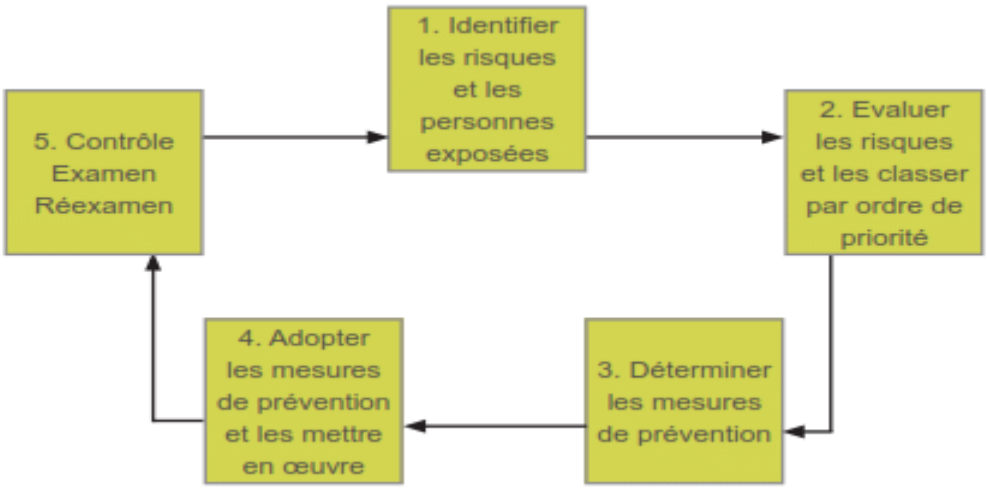


Figure 9 : étapes d'évaluation des risques[50].

I.3.2.1. Méthodes d`évaluation des risques :

Généralement, les niveaux de gravité et de probabilité d'occurrence sont croisés dans une matrice de criticité afin de positionner les zones de risque. la matrice Gravité/Occurrence ci-dessous :

Tableau 2 : Matrice de criticité[51].

	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

Nous proposons de garder les qualificatifs de la norme NF EN 50126, tout en les répartissant sur 3 classes distinctes : « risque maitrisé » regroupant le risque négligeable et le risque acceptable, « risque maitrisable » regroupant le risque indésirable non résiduel et enfin « risque non maitrisable » regroupant le risque résiduel et le risque inacceptable.

Toute fois nous définissons le risque indésirable comme une sous-catégorie du risque tolérable et nous procédons de la même façon en ce qui concerne le risque inacceptable par rapport au risque résiduel[52]

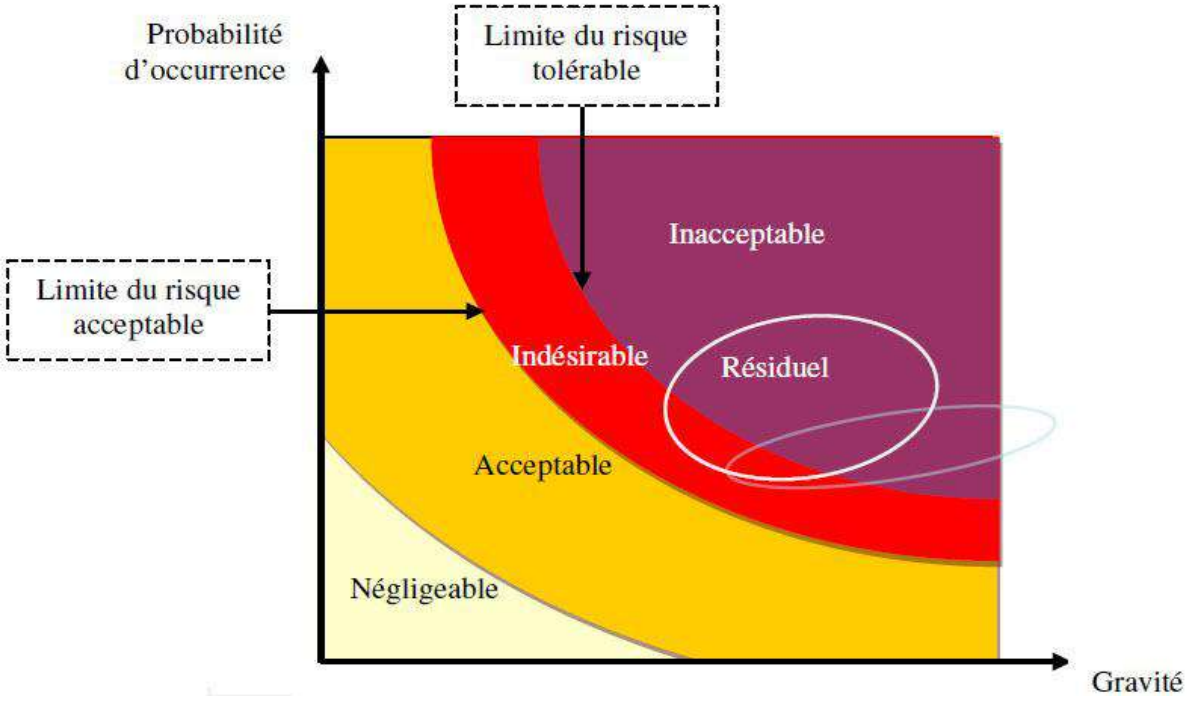


Figure. 10 : Classification des risques[34].

I.3.3 Critères de choix d'une méthode d'analyse de risque :

Nous avons retenu l'essentiel des critères pesant dans la mise en œuvre d'une méthode plutôt qu'une autre dans l'étude d'un système donné:

- Domaine de l'étude.
- Stade de l'étude (spécification, conception, .., démantèlement).
- Perception du risque dans ce domaine.
- Culture de la Sûreté de Fonctionnement de l'organisation.
- Caractéristiques du problème à analyser.
- Niveau envisagé de la démonstration de la sécurité.
- Savoir-faire des intervenants.
- Nature des informations disponibles (spécifications du système et de ses interfaces contraintes, etc.)
- Retour d'expérience et base de données disponibles.
- Moyens humains, logistiques et autres.
- Délais et autres contraintes de management de projet.

Toutefois, l'utilisation séparée d'une seule méthode d'analyse de risque peut ne pas apporter une démonstration définitive de la réalisation des objectifs de sécurité.

En effet, il est nécessaire de combiner plusieurs méthodes pour une meilleure complétude et une bonne cohérence en termes de résultats[35].

CONCLUTION :

Les méthodes d'analyse fonctionnelle sont indispensables pour réaliser une analyse fonctionnelle et physique de l'installation industrielle en cours de conception ou d'exploitation, et cette étape facilite l'application de méthodes d'analyse prédictive qui permettent d'identifier les causes et conséquences possibles d'un événement et de mettre en évidence les barrières de sécurité qui peuvent être envisagées pour assurer le bon fonctionnement des installations.

Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise méthode, chacune d'elles a ses propres avantages et inconvénients, et donc une méthode particulière est plus ou moins adaptée au contexte de l'installation envisagée et aux objectifs recherchés.

Celles-ci permettent une identification systématique des composantes du risque Les différentes situations dangereuses, évènements redoutés, causes, conséquences, ou accidents potentiels, tous ces éléments sont identifiés d’une manière méthodologique et présentés dans une forme tabulaire à l’image de l’APR et L’AMDEC et HAZOP, ou arborescente à l’image de l’arbre de défaillances ou d’évènements.

Chapitre II

Présentation de la méthode HAZOP

I Introduction:

Après avoir présenté dans le chapitre précédent plusieurs méthodes d'analyse des risques telles que l'APR ,l'AMDEC ,le nœud de papillon ,l'HAZOP etc.…et expliqué le fonctionnement de chaque méthode, nous avons décidé de choisir l'analyse des dangers et d l'opérabilité qui s'appelle HAZOP.

La méthode HAZOP est un outil développé il y a de longues décennies, pour analyser les risques potentiels associés à l'exploitation d'une installation industrielle.

De simple technique,la méthode HAZOP est devenue une pratique d'identification des dangers et des problèmes d'exploitabilité ,adoptée par de nombreuses industries à risques.

L'HAZOP c'est une méthode qualitative a été développée pour identifier les risques et les problèmes opérationnels, par les effets des écarts par rapport aux conditions de conception,dans les usines industrielles.

Une présentation détaillée de cette méthode sera représenter dans ce chapitre, où nous premièrement déterminerons leur secteur d'activité après nous l'expliquerons le principe de la méthode et leur objectif ainsi que leur déroulement en fin les avantages et les limites.

II.1 Historique de la méthode HAZOP :

La méthode HAZOP, inventée en 1965 en Grande-Bretagne par la société ICI (Imperial chemical industries), elle était conçue comme une technique d'analyse de risque qualitative et s'adressait particulièrement à la phase d'ingénierie de détail de nouvelles installations chimiques ou pétrochimiques.

Elle innovait par rapport aux pratiques des codes de construction et des revues sécurité sur schémas, employées à l'époque par les sociétés d'ingénierie, toutes basées sur l'analyse d'événements passés.

Son originalité résidait dans son approche a priori des dangers et des dysfonctionnements d'une installation, par l'étude systématique des déviations des paramètres gouvernant de procédé à analyser[38].

Cette technique s'est développée hors des limites de la société ICI, au sein de l'industrie chimique et pétrochimique après l'explosion catastrophique.

Le samedi 1er juin 1974, un nuage de 40 tonnes de cyclohexane sur le site Nypro (Royaume-Uni) de Flixborough en Grande-Bretagne a été gravement endommagé par une explosion qui a tué 28 ouvriers et a blessé 36 autres.

Il a été admis que le nombre de victimes aurait été nettement plus important si l'incident s'était produit un jour de semaine, car la tour de bureaux principale était inoccupée.

Selon les rapports, 53 personnes extérieures au site ont été blessées et des propriétés avoisinantes ont aussi été endommagées[53]. MILWAUKEE.D,KLEETLAAN.C, and BOMBARDIER.B, "Sécurité fonctionnelle dansl'industrie des procédés Principes, normes et mise en oeuvre," 2013.

La technique a été crée dans la «Division of Organic Chemistry Heavy ICI» ,une importante société chimique britannique et internationale, où, en 1963, une équipe de trois personnes s'est réunie trois jours par semaine pendant quatre mois pour étudier la conception d'un nouveau phénol et de l'acétone à partir de la production du cumène.

Depuis lors, la méthode a été améliorée dans de nombreux travaux.

En effet, elle a d'abord été développée pour analyser les systèmes de processus chimiques, elle a ensuite été étendue à d'autres types de systèmes plus complexes [54].

De simple technique, la méthode HAZOP est devenue une pratique d'identification des dangers et des problèmes d'exploitabilité, adoptée par de nombreuses industries (à risques), en particulier, l'industrie pétrolière caractérisée par des dangers similaire sa ceux de l'industrie chimique ou pétrochimique, mais aussi dans des industries ou les dangers sont d'une autre nature, comme ceux rencontrés dans le nucléaire, l'alimentaire et les transports.

L'identification des dangers est un processus permettant de trouver, lister et caractériser les situations, conditions ou pratiques qui comportent en elles-mêmes un potentiel à causer des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement.

Ces situations, conditions ou pratiques, sont des dangers[45].

II.3 Définition de L`HAZOP :

L'HAZOP est l'application d'une procédure critique systématique d'examen des principes de fonctionnement d'un système pour évaluer le danger potentiel résultant d'un mauvais fonctionnement ou de l'utilisation incorrecte de certains composants et des effets en résultant sur le système.

Elle oriente le choix d'équipements, de conception et de méthodes d'installation qui apporteront la sécurité des personnes travaillant dans l'usine, de l'environnement et du public en général.

L'HAZOP assure aussi que les installations et les équipements ne peuvent pas être en dommages et qu'il n'ya pas de risque pour la qualité du produit[55].

Selon généralement la méthode HAZOP représente une extension de l'analyse des modes de défaillance et leurs effets (AMDE).

Elle consiste à détecter des problèmes potentiels qui peuvent causer un écart par rapport à la conception d'origine et à voir les causes et les conséquences de ces écarts.

Cette méthode est mise en œuvre à la fin de phase de conception et précisément au début de phase de réalisation des systèmes industriels puisqu'elle s'appuie sur les plans de circulation des fluides et les schémas détaillés PID (piping and instrumentation diagramme) du système étudié[47].

II.4 Domaine d'application :

A l'origine, les études HAZOP ont été mises au point pour analyser les systèmes de processus chimiques, mais elles ont été étendues à d'autres types de systèmes, notamment les systèmes de puissance mécaniques, électroniques et électriques, les systèmes logiciels, les changements organisationnels, le comportement humain ainsi que la conception et la révision des contrats juridiques.

Il s'applique dans lesquels des produits (liquide, gaz, solide) sont en mouvement lors de l'installation.

Ces systèmes sont particulièrement adaptés car leur fonctionnement peut être facilement caractérisé par des grandeurs physiques mesurables (température, pression, débit) ainsi que par des enchaînements d'opérations (automatiques ou manuelles).

Lors qu'il y a des risques majeurs dans le processus, l'autorité compétente doit effectuer une analyse des risques HAZOP à la demande de l'administration [56].

II.5 Principe de L`HAZOP :

Le principe de l'HAZOP consiste, en premier lieu, à identifier toutes les dérives potentielles des principaux paramètres de fonctionnement d'une installation.

Le recensement de ces diverses dérives est effectué de manière systématique par l'association de «mots guides» comme par exemple : «Pas de»,«Plus de»,«moins de »,à chacun des paramètres de l'installation .

Bien souvent les paramètres de fonctionnement examinés sont la température ,la pression ,le débit ainsi que le temps

Puis la seconde étape de l'HAZOP consiste, d'une part, à déterminer les causes et les

conséquences possibles de chacune des dérives décelées, et d'autre part, à identifier les moyens existants pour prévenir ou détecter ces dérives.

Le groupe de travail chargé de mettre en œuvre la méthode HAZOP peut ainsi émettre des recommandations d'amélioration des mesures existantes ou définir des mesures à mettre en place pour rendre l'exploitation de l'installation plus sûre [57].

L'HAZOP est d'associer des mots-clés et des paramétrés relatifs à l'installation étudiée pour ainsi déceler des dérives.

Elle ne considère plus des modesde défaillances mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramétrésliés à l'exploitation de l'installation.

De ce fait, elle est centrée sur le fonctionnement du procédé, à la différence de l'AMDE qui est centrée sur le fonctionnement des composants de l'installation[4].

II.6.L`objectif de L`HAZOP :

La méthode HAZOP (HAZard and OPerability studies) a été développée en 1963pour l'industrie chimique.

Cette méthode a pour objectif l'identification des risques et l'étude de leur protection en s'appuyant sur l'analyse systématique de toutes les déviations possibles des différents paramètres d'un système.[58]

La méthode HAZOP est, à l'origine, d'identifier les dysfonctionnements, de nature technique et opératoire, dont l'enchainement peut conduire à des événements non souhaites.

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[59].

La norme CEI 61882 définit les objectifsde la méthode HAZOP originelle, à savoir :

a) « ...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... » ;

b) « ...identification des problèmes potentiels d'exploitabilité posés par le système et, en particulier, l'identification des causes, des perturbations du fonctionnement et des déviations dans la production susceptibles d'entraîner la fabrication de produits non conformes [47].

Les raisons qui vont conduire à engager une étude HAZOP sur une installation industrielle peuvent répondre à de multiples objectifs qui sont en fait des exigences[45],[53]:

a) Satisfaire aux exigences de la politique ' Hygiène-Sécurité-Environnement "
(HSE) de l'entreprise propriétaire de l'installation ;

b) Satisfaire aux exigences de l'Administration : Assurer la conformité avec la réglementation des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), les codes du travail et de l'environnement, la Directive SEVESO;

c)Etablir les plans d'urgence : Plan d'opération interne (POI) pour les installations industrielles, Plan d'urgence interne (PUI) pour les installations nucléaires, tous deux établis sous la responsabilité de l'exploitant, le Plan particulier d'intervention (PPI) et le Plan de prévention des risques technologiques (PPRT), établis sous l'autorité du Préfet ;

d) Renforcer la confiance des parties prenantes (stakeholders) : populations, personnels, dirigeants, actionnaires, clients ;

e)Satisfaire aux exigences des assureurs qui vont devoir couvrir financièrement le risque résiduel.

f) les études HAZOP permettent de corriger les erreurs avant que deviennent trop onéreux.

g) les études HAZOP sont devenues la méthode la plus employée pour l'identification des dangers.

Bien que la conception de l'usine se fonde sur les réglementations et normes applicables, le processus HAZOP a offert la possibilité de les compléter par une anticipation ingénieuse des écarts susceptibles de se produire en raison, par exemple, de conditions ou problèmes de procédé, du dysfonctionnement d'un équipement ou d'une erreur humaine.

II.7 Déroulement de L`HAZOP :

La mise en œuvre de l'HAZOP nécessite la constitution d'un groupe de travail rassemblant autour d'un animateur, garant de la méthode, une équipe pluri disciplinaire ayant une connaissance approfondie de l'installation décrite sur des plans détaillés.

La méthode consiste à décomposer le système considéré en sous-ensembles, appelés « noeuds », puis à l'aide de mots–clés, ou mots guides, spécifiques à la méthode, faire varier les paramètres du système par rapport à ses points de consignes, appelées« intentions de conception ».

On obtient ainsi une déviation dont l'équipe examiner a les causes possibles et en déduira leurs conséquences potentielles pour l'ensemble du système, d'où l'emploi fréquent «d'analyse des déviations » pour caractériser la méthode HAZOP.

L'équipe se concentre alors sur les déviations conduisant à des risques potentiels pour lasécurité des personnes, des biens et de l'environnement.

Elle examine et définit ensuite les actions recommandées pour éliminer, en priorité, la cause et/ou éliminer ou atténuer les conséquences.

L'analyse des déviations fait l'objet d'un enregistrement sous forme de tableaux des déviations, base indispensable pour la mise en place ultérieure des actions recommandées parle groupe de travail.

La méthode HAZOP conventionnelle comporte alors une estimation a priori de la probabilité d'apparition des déviations et de la gravité de leurs conséquences.

On obtient une estimation semi quantitative du risque, se pour suivant par une évaluation permettant de définir l'acceptabilité ou non du risque. On qualifie alors la méthode HAZOP de «probabiliste» par rapport à l'approche originelle qualifiée de «déterministe »[60] .

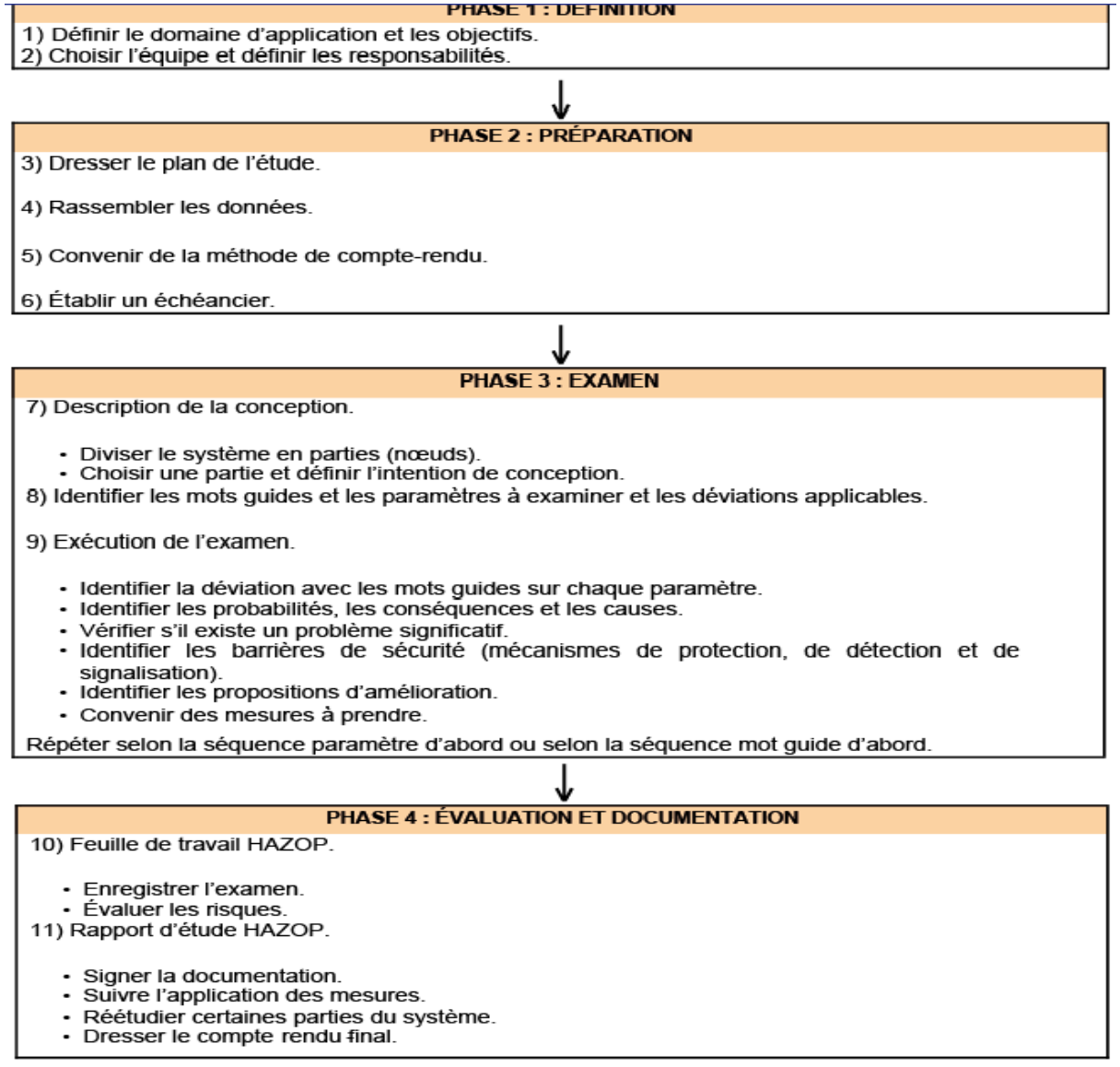


Figure11:les étapes de déroulement de L`HAZOP [60]

II.8 Équipe d'étude HAZOP :

Il est important qu'une équipe HAZOP soit constituée de personnes qui apportent à l'étude le meilleur équilibre possible entre les connaissances et l'expérience sur le type d'usine envisagé.

Une équipe HAZOP type sera constituée comme suit[53]:

Tableau 3 : Rôle Équipe d'étude HAZOP.

Nom	**Rôle**
President	Explique le processus HAZOP, dirige les discussions et facilite l'étude HAZOP. Personne ayant une bonne expérience de la méthode HAZOP, mais pas directement impliquée dans la conception, afin de garantir le respect scrupuleux de la méthode.
Secrétaire	Consigne les discussions de la réunion HAZOP et fournit un compte-rendu de celles-ci. Consigne les recommendation suctions.
Ingénieur de procédé	Généralement l'ingénieur responsable de l'organigramme des opérations de procédé et de l'élaboration des diagrammes de tuyauterie et d'instrumentation (P&ID).
Utilisateur/opérateur	Fournit des conseils sur l'utilisation et l'opérabilité du procédé, ainsi que sur l'incidence d'écarts.
Spécialiste C&I	Personne ayant les connaissances techniques adaptées en commandes et instrumentation.
Technicien de Maintenance	Personne chargée de la maintenance du procédé.
Représentant de l'équipe de conception	Fournit des détails relatifs à la conception ou des informations supplémentaires.

II.9 Technique HAZOP :

Les études HAZOP servent à identifier des dangers potentiels et des problèmes d'exploitabilité provoqués par des écarts vis-à-vis de l'intention de conception des usines de procédés nouvelles ou existantes, et elles sont généralement réalisées régulièrement pendant toute la durée de vie

de l'usine. Une étude HAZOP initiale ou préliminaire doit assurément être réalisée très tôt au cours de la phase de conception.

Le procédé doit être examiné pendant l'avancement du développement, à chaque proposition de modifications majeures et enfin, à la fin du développement, afin de garantir l'absence de risque résiduel avant l'étape de construction.

Une étude HAZOP est réalisée au cours de réunions organisées entre les parties concernées ayant une connaissance et une expérience suffisantes du fonctionnement et de la maintenance de l'usine .La réunion est une session structurée de réflexion, au cours de la quelle des mots-guides servent stimuler la production d'idées sur les dangers potentiels.

Le procès-verbal de la réunion consigne les discussions et collecte les informations sur les dangers potentiels, leurs causes et leurs conséquences [61].

II.10 Représentation de la méthode d`HAZOP :

Date : Ligneouéquipement :								
N°	Mot clé	Paramètre	causes	conséquences	Detection	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration	Observations

Tableau 4 : Descripteur de données d'une étude HAZOP[62].

II.10.1 Définition desmots-clés(colonne2):

Parallèlement, la méthode introduit un nombre limité (sept à l'origine) de mots-clés appelés aussi « mots guides » et définis originellement ainsi[47] :

« ...simple mot ou courte phrase qualifiant l'intention en vue de guider et de stimuler le processus créatif et ainsi de permettre la découverte de déviations... ».

Liste des sept mots-clés (keywords) :

a) non ou pas de (no ou not).
b) plus de (more) .
c) moins de (less) .
d) en plus de (as well as) .
e) en partie (part of) .
f) autre que (otherthan) .
g) inverse (reverse).

Depuis, se sont ajoutés quatre mots-clés relatifs aux notions de temps et de séquence :

a) plus tôt que (earlierthan) .
b) plus tard que (laterthan) .
c) avant (before) .
d) après (later).

- L'équipe établit une liste des« mots guides ».Les principaux mots guides utilisés lors d'une étude HAZOP ainsi que leurs significations sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau5 : Les principaux mots guides et signification [57] .

Mot-guide	**Signification**
Pasde	Négation totale
Plus de ,Trop de	Augmentation quantitative d'une quantité ou d'un paramètre Du procédé
Moins de,Pasassez de	Diminution quantitative d'une quantité ou d'un paramètre du Procédé
Inverse	Opposé logique de l'objectif du procédé
Plus long	La durée d'une operation du procédé est plus longue
Plus court	La durée d'une operation du procédé est plus courte
Plus tôt	Une operation du procédé se produit avant le moment prévu
Plus tard	Une operation du procédé se produit après le moment prévu

-L'équipe établit la liste des paramètres de fonctionnement de l'installation à examiner.

-L'animateur désigne un premier paramètre à analyser.Le premier mot guide de la liste est appliqué (par exemple, « Pas de »).

-La combinaison du mot guide et du paramètre conduit ainsi à identifier une première dérive potentielle de l'installation.

-Après identification de la dérive, l'équipe vérifies il a dérive est crédible.

-Elle en recherche le cas échéant, les causes et les conséquences potentielles.

-L'équipe recherche l'existence de mesures de prévention ou de détection de la dérive.
-L'équipe décide si les mesures de sécurité doivent être mises en place ou si des améliorations doivent être apportées aux mesures existantes [57].

Une fois toutes ces étapes réalisées, l'équipe applique un second mot guide au paramètre examiné .Puis, lorsque tous les mots guides de la liste on tétée puisés, l'animateur désigne le second paramètre de l'installation devant être examiné. Une étape HAZOP est achevée lorsque toutes les combinaisons paramètre et mots guide ont été analysées par le groupe de travail [57] .

Exemple de mots-clés pour HAZOP :

Tableau6 : Exemples de mots-clés pour l'HAZOP[20].

Type de Deviation	**Mot-guide**	**Exemples d'interprétation**
Négative	Ne pas faire	Aucune partie de l'intention n'est remplie
Modification quantitative	Plus	Augmentation quantitative
	Moins	Diminution quantitative
Modification qualitative	En plus de	Présence d'impuretés Exécution simultanée d'une autre opération/étape
	Partie de	Une partie seulement de l'intention est réalisée
Substitution	Inverse	S'applique à l'inversion de l'écoulement dans les canalizations ou à l'inversion des reactions chimiques
	Autre que	Un résultat different de l'intention originale et obtenu
Temps	Plus tôt	Un évènement se produit avant l'heure prevue
	Plus tard	Un évènement se produit après l'heure prevue

Ordre sequence	Avant	Un évènement se produit trop tôt,dans une sequence
	Après	Un évènement se produit trop tard dans une sequence

II.10.2.Définition des paramètres:(colonne3)

Les paramétrés de fonctionnement, pouvant avoir une incidence sur la sécurité de l'installation, doivent être sélectionnes. De manière fréquente, les paramétrés sur lesquels porte l'analyse, sont [63]:

a) La pression.
b) Le débit.
c) Le niveau.
d) La concentration.
e) La viscosité.
f) Le temps.
g) La température ;

La combinaison de ces paramètres avec des mots clés pré définis(plus que,moins que,pas de,etc.)se fait de la manière suivante :

Mot-clé+Paramètre= Dérive

Exemple :

- «Plusde»et«Pression»=**«Pression trophaute»**
- «Pas de»et«Niveau»=**« Capacitévide»**
- «Inversede»et«Débit»=**«Retourdeproduit»**
- «Plus de»et«Température»=**«Températuretrèshaute »**

Les opérations à réaliser :

a) La quantité.
b) L'absorption.
c) La composition.
d) La séparation.

Actions à réaliser:

a) Démarrer

b) Isoler

Fonctions-situations

a) Protection

b) Séisme

Tableau 7 : Exemples de paramètres de la méthode HAZOP[64].

Grandeurs physiques Mesurables		**Opérations à réaliser**		**Actions à réaliser**	**Fonctions-situations**
Température	Ph	Chargement	Contrôle	Démarrer	Protection
Pression	Intensité	Dilution	Séparation	Échantillonner	Fuite
Niveau	Vitesse	Chauffage	Refroidissement	Arrêter	Défaut d'utilités
Débit	Fréquence	Agitation	Transfert	Isoler	Gel
Concentration	Quantité	Mélange	Maintenance	Purger	Séisme
Contamination	Temps	Réaction	Corrosion	Fermer	Malveillance

II.10.3 Déviations

La combinaison de mots-clés et de paramètres de fonctionnement va constituer une dérive, ou déviation, de ce paramètre[47].

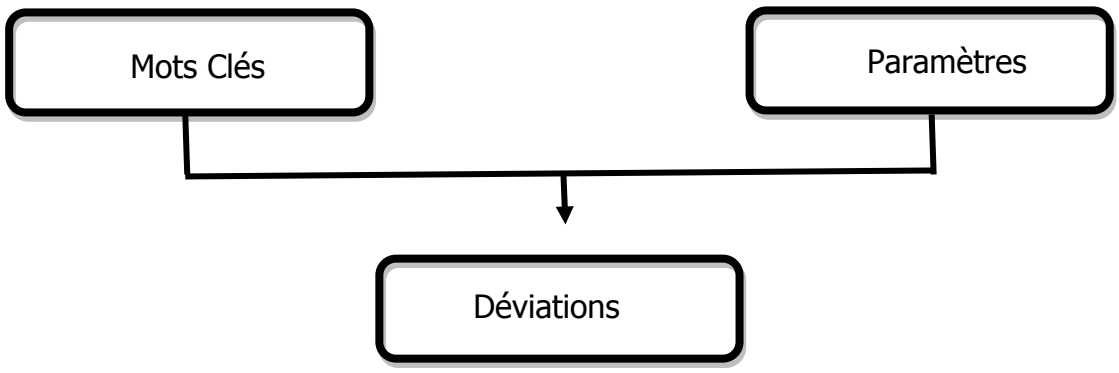


Figure 12 : La relation de déviation.

Exemple I [64]:

Le paramètre grandeur physique « température » appliqué au mot-clé « plus de » conduit à la déviation « plus de température », sous-entendu par rapport à l'intention du procédé, déviation qui s'exprimera plus clairement par « température haute ».

De la même façon, le paramètre opératoire « agitation » appliqué au mot-clé « pas de » conduit à la déviation « pas d'agitation ».

On notera que l'état de référence du paramètre soumis à déviation dépend notamment de l'état du système considéré : fonctionnement normal ou transitoire (démarrage, arrêt).

Exemple II [45]:

a) "Plus de " et " Température " = " Température trop haute " ;
b) " Moins de " et " Pression " = "Pression trop basse " ;
c) " Inverse " et "Débit " = "Retour de produit " ;
d) " Pas de " et " Niveau " = "Capacité vide".

Tableau 8 : Exemple de matrices potentielle des mots guide et des paramètres[65].

Mot-guide **Paramètre**	**Plus de**	**Moins de**	**Pas de**	**Inverse**	**Partiellement** **Incorrect**	**Equivalent**	**Autre que**
Pression	Pression trop haute	Pression trop basse	Absence de confinement	Appareil sous vide	Erreur point de mesure de pression	Pression extérieure	Manque d'air instruments
Température	Trop Chaude	Trop froid	Manque de réchauffage	Manque de refroidissement	Erreur point de mesure de température	Exposition au feu	Réaction Exothermique endothermique
Débit	Trop grande	Trop petit	Débitnul	Retour de produit	Fausseorigine du produit	Autre phase	Manque de gazinerte
Niveau	Trop haut	Trop bas	Appareil vide	Recyclage	Erreur de produit	Moussage expansion	Manque d'énergie électrique
Concentration	Trop forte	Trop basse	Manque d'additif (catalyseur)	Rapport inverse	Erreur de constituent	Densité déférente	Contamination
Temps	Opération trop longue	Opération trop courte	Opération oubliée	Reprise de la même opération	Mauvais eopération	Addition d'une autre opération	Démarrage Arrêt
Protection	Risque induit par surprotection	Protection Insuffisante	Manque de protection	Impact choc		Chute dispersion	Mal veillance

II.10.4 Causes et conséquences de ladérive(colonnes4et5):

De la même façon que pour l'AMDE, après avoir considéré la dérive, le groupe de travail doit déterminer les causes de cette dérive, puis les conséquences potentielles de cette dérive.

En pratique, il peut être difficile d'attribuer chaque mot-clé et dérivé à une partie bien définie du système ,donc dans certains cas ,la vérification des causes potentielles peut être compliquée et afin de faciliter cette identification, il est utile de se référer à des listes guides telles que celle présentée en tableau suivant :

Tableau9 : Quelques mot-clé utiles[66].

Hypothèses de Derives	**Causes**	**Conséquences**
Débit Débit trop élevé	-Embalmment de pompe -Défaillance de compresseur,deventilateur de trémie d'alimentation -mise en parallèle d'une deuxième pompe Chute de pression au refoulement -Mise en pression de l'aspiration Introduction d'un autre fluide par fuite à travers une paroi -Défaillance du contrôle - Défaut sur une soupape de sécurité, un disque de rupture, une position de vane automatique -Erreur opérateur	-Débordementaval -Erosion -Corrosion -Surpression -Mélange-Inversion d'écoulement -Modification des proportions, de température - Passage en zone d'explosivité -Changement de phase - Modification des conditions de réaction, des éparation.
Débit trop faible ou absence de debit	-Défaillance de pompe,de compresseur, ventilateur,trémie d'alimentation,de transporteur - Défaut d'accouplement -Formation de depot dans tuyauterie -Présence de corps étrangers ou sediments -	-Dépôt en cas de suspension température produit -Modification des Conditions de réaction, Des éparation -Mélange -Inversion d'écoulement par introduction d'un fluide d'un autre réseau -Echauffement de pompe -Modification

	Fuite vers un autre fluide à travers une paroi - Inversion -Défaut sur une soupape de sûreté, un disque de rupture,une vane automatique,une purge -Cavitation -Défaillance du contrôle -Manque de produit -Joint plein laissé en place - Formation d'une poche de gaz -Erreur opérateur	-Des proportions -Débordement amont -Changement de phase -Assèchement de garde hydraulique -Passage d'explosivité
Pression Pression haute	-Mise en équilibre avec temperature extérieure en été -Apport excessif chaleur (vapeur,chauffage électrique) -Refroidissement insuffisant -Emballement réaction ou reaction -Confinement -Dilatation -Défaillance du contrôle - Vanne fermée ou joint plein laissé en place Bouchage par corps étrangers ou sediments Variation pression ,gel du fluide -Erreur operateur	-Modification des propriétés physiques et chimiques -Condensation avec corrosion -Explosion appareillage-Emission produit toxique inflammable par organe limitateur de pression -Mélange Fuite -Inversion d'écoulement.
Pression basse	-Mise en équilibre avec temperature extérieure en hiver - Refroidissement exagéré(gel ou pluie) --Fuite de l'appareillage-Arrêt	Modification des proprieties physiques et chimiques -Corrosion - Evaporation avec abasement de temperature et gel possible - Flash -Moussage
	Reaction -Absorption -Position vanne	Entrée d'air ou d'humidité extérieure- Pollution par un autre réseau plus haute

	-Bouchage par corps étrangers ou sediments –Soutirage -Exagéré -Mise sous vide -Inhibition -Variation pression -Erreur opérateur.	-Pression -Extinction flamme.
Température haute	Mise en équilibre avec temperature Extérieure en été emballement -Reaction apport excessif de Chaleur -Réaction parasite (introduction produitoun Changement conditions) - Elimination insuffisante de chaleur - Défaillance du contrôle -Feu extérieur -Corrosion -Variation de pression -Erreur opérateur	Modification des proprieties physiques-Evaporation et modification mélange réactionnel-Réaction parasite–Elévation de pression -Cavitation- Perte des proprieties mécaniques des matériaux de l'appareillage - Dilatation liquid confine - Instabilité produits Inflammation spontanée.

Température basse	-Mise en équilibre avec temperature basse en hiver -Refroidissement excessif -Evaporation brutale par suite d'une fuite ou d'une détente brutale -Défaillance du contrôle -Erreur opérateur.	Modification des proprieties physiques,mécaniques (fragilisation) - Condensation avec corrosion -Cristallisation -Sédimentation -Bouchage -Gel Cavitation
Niveau	-Fuite -Bouchage -Variation de débit, de température, de pression -Moussage,condensation -Evaporation -Densité anormale -Turbulence -Erreur opérateur.	-Débordement ou vidange -Pression élevé excessive -Défaillance d'agitation -Modification échange thermique -Charge excessive sur supports

Pannes utilités	-Manque d'eau, d'énergie électrique,d'air d'instrument ,d'azote,de vapeur,de vide	-Analyser les derives resultant de lapanne de chacun deséléments,soit isolés, soit couplés,soit prisentotalité, et examiner l'ensemble des consequences possible à l'aide en particulier de la présente liste.
Electricitéstatique	-Perte ou défaut de la continuitéélectrique sur les mises à la terre -Foudre.	-Etincelle et source d'ignition -Décharge électrique sur le personnel.

II.10.5 Moyens de détection,sécuritésexistantes et propositions (colonnes6,7et8):

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

Si les mesures prises semblent insuffisantes face aux risques qui surviennent, le groupe de travail peut proposer des mesures d'amélioration pour atténuer ces problèmes, ou au moins définir les mesures à prendre pour améliorer la sécurité quant ces points précis [66]

II.11.Informations utilisées dans l'étude HAZOP Les éléments suivants doivent être consultables par l'équipe HAZOP[53]:

- •Diagrammes de tuyauterie et d'instrumentation (P&ID) pour l'installation .
- •Documentation de philosophie ou de description de procédé .
- •Procédures de fonctionnement et de maintenance existantes .
- •Diagrammes de causes et effets (C&E) .
- •Plans d'aménagement d'usine.

II.12. Avantages et les Limites de L`HAZOP :

Les avantages :

a) L'HAZOP est une méthode accessible et facile à mettre en œuvre, rigoureuse et logique, exhaustive grâce à ces mots guide .Elle ne s'applique cependant qu'à des paramètres mesurables donc elle est très utilisée pour les équipements, les lignes de fabrication… Cependant l'HAZOP ne permet pas de hiérarchiser les risques, elle peut donc nécessiter un outil complémentaire. Il faut préciser également qu'elle ne permet pas d'étudier deux paramètres simultanément [67]

b) HAZOP est une méthode très adaptée à l'étude de dangers dans le domaine des procédés tel que le domaine chimique[51].

c) HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes thermo hydrauliques, Cette méthode présente un caractère systématique et méthodique[45].

Limites de L`HAZOP :

Les limites de la méthode HAZOP sont[68],[45]:

a) La méthode HAZOP repose sur la déviation des variables, mais ne prend pas en compte les défaillances, ni les enchaînements que peuvent entraîner les déviations de ces variables.

b) Cette méthode ne représente pas l'installation sous une forme structurée facilement informatisable.

c) HAZOP permet difficilement d'analyser les événements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances ;

d) Il est parfois difficile d'affecter un mot-guide à une portion bien délimitée du système à étudier. Cela complique singulièrement l'identification exhaustive des causes potentielles d'une dérive.

II.13.Rapport HAZOP:[60].

Un rapport doit être préparé avec le résultat de l'étude .Le contenu du rapport doit inclure (Méthode HAZOP, Procédure FERTIAL, 2015):

- Introduction
- Objectifs
- Description des installations concernées
- Description de la méthodologie
- Liste des nœud s'étudiés
- Lieu de dates des sessions HAZOP
- Recommandations HAZOP
- Feuilles de travail HAZOP
- Liste des participants
- Documentations utilisées
- P&ID's

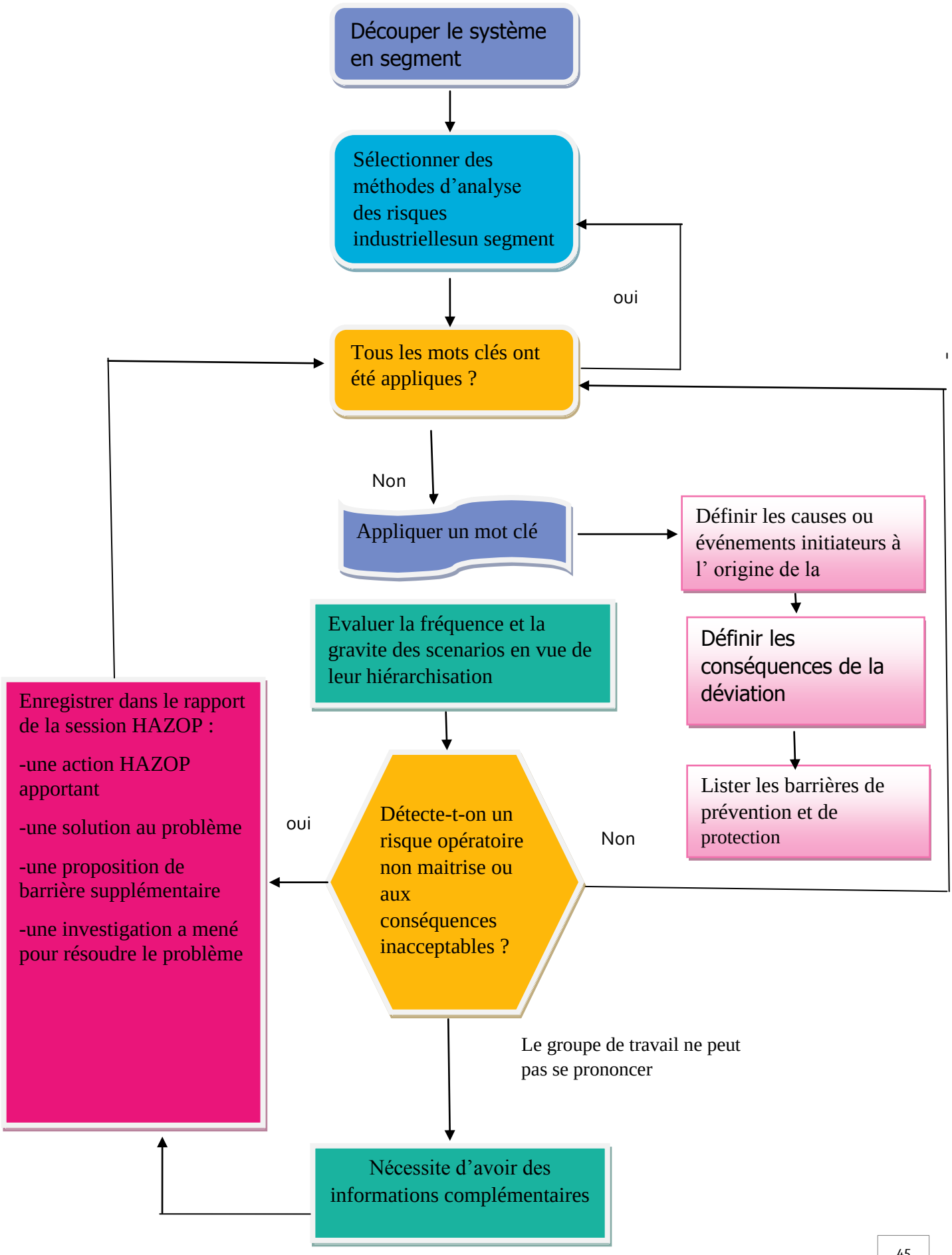
Exemple de HAZOP :

Tableau10 : la méthode HAZOP au niveau du réservoir de refroidisseur

:ur.

Date :du23 à 25/06/2021 Ligneouéquipement : au niveau du réservoir de refroidisseur								
N°	Mot clé	Paramètre	Déviation	causes	conséquences	Barrières Sécurités	Actions correctives	observations
1	Plus de	Niveaud'eau	Niveaud'e auélevé	-vanne défaillante -Pressostat défaillant	.Augmentation de pression -Risque d'endommag-ementde réservoir	Evacuation de sécurité (tarage)	-Alarme niveau haut -Ronde de routine	Criticité négligeable, Aucune modification de conception Maintenance corrective
2	Moins de	Niveaud'eau	Niveaud'e au bas	-vannedéfaillante .Pressostat défaillant - Rupture ou fuite dans la Conduite	-Diminution de Pression -Risque d'arrêt du procès -Cavitation de la Pompe	vanne de secours (redondance)	Alarme niveau bas -Ronde de routine	Criticité négligeable, Aucune modification de conception Maintenance corrective -Afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
3	Plus de	Pression	Pression trop haute	- Défailla-nce de la boucle régulation	Endomagementles équipements	-Aucun	- ajouterunesoupape	- Afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
4	Moins de	Pression	Pression trop bas	- bouchage des tubes -la puissance de la pompe tro faible	-avec le temp Arrêt du process	-Maintenance périodique	-ajouter un produit anti calcaire	-Maintena-nce corrective - Afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)

II.14.Fonctionnement de HAZOP :


Découper le système en segment
Sélectionner des méthodes d'analyse des risques industriellesun segment
oui
Tous les mots clés ont été appliques ?
Non
Appliquer un mot clé
Définir les causes ou événements initiateurs à l' origine de la
Définir les conséquences de la déviation
Lister les barrières de prévention et de protection
Evaluer la fréquence et la gravite des scenarios en vue de leur hiérarchisation
Détecte-t-on un risque opératoire non maitrise ou aux conséquences inacceptables ?
oui
Non
Enregistrer dans le rapport de la session HAZOP :
-une action HAZOP apportant
-une solution au problème
-une proposition de barrière supplémentaire
-une investigation a mené pour résoudre le problème
Le groupe de travail ne peut pas se prononcer
Nécessite d'avoir des informations complémentaires

Conclusion :

La méthode HAZOP est une méthode systématique et un outil puissant dans le domaine des procédés utilisant des fluides. Elle nous a aidé à identifier toutes les causes des scénarios ainsi leurs enchainements, mais elle ne peut pas traiter les scénarios assez complexe.

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1.1 Introduction[70] :

La chaudière à vapeur Fives -Cail Babcock (FCB) est installée en 1983 à la centrale Utilité- II au sein du complexe national Fértial-Annaba. Ce complexe a été confié à la société française KREPS avec la participation de SONATRACH suite au contrat signé le 07/05/1972. Le complexe est destiné à la fabrication des engrais phosphatés et azotés, pour satisfaire les besoins de l'agriculture algérienne[69]. Le rôle principal de ces chaudières, est d'assurer l'alimentation de l'entreprise avec de la vapeur surchauffée .La chaudière FML13 M 102 est un générateur de vapeur de type (D), à circulation naturelle à deux ballons. Elle est conçue pour un fonctionnement manuel ou automatique selon l'étape d'exploitation. Sa capacité maximale est 70 t/h de vapeur surchauffée sous une pression de 43 bars et une température de 420°C. La chaudière est conçue pour fonctionner sous trois modes d'opération avec des charges appropriées Présentation du complexe FERTIAL (Ex-Asmidal)

III.1.2 Présentation du complexe Fértial (Ex-Asmidal) :[70]

La zone d'étude est située à l'extrême Nord-Est de l'Algérie, dans la wilaya d'Annaba. L'ensemble des unités de FERTIAL se trouve sur la plateforme chimique, située au Sud-est de la ville d'Annaba vers la route des salines sur les berges de la mer Méditerranée. L´usine Fértial d'Annaba est située sur un terrain vague de forme trapézoïdale et d'une surface de 184.817 m2 dans la zone industrielle qui se trouve au sud de la ville d'Annaba.

Les unités de productions des engrais azotés et la centrale utilité II sont implantées dans la partie Nord et les unités de productions d'engrais phosphatés et centrale utilité I dans la partie Sud. Le sitedu complexe occupe une superficie de l'ordre de 108 hectares délimité :

- Nord-Est par la méditerranée,
- Sud-Est par l'Oued Seybouse et la cité Sidi Salem,
- Sud-Ouest par la route RN 44 et par la Cité et El Bouni
- Nord-Ouest par l'Oued Boudjlina et la cité Seybouse.

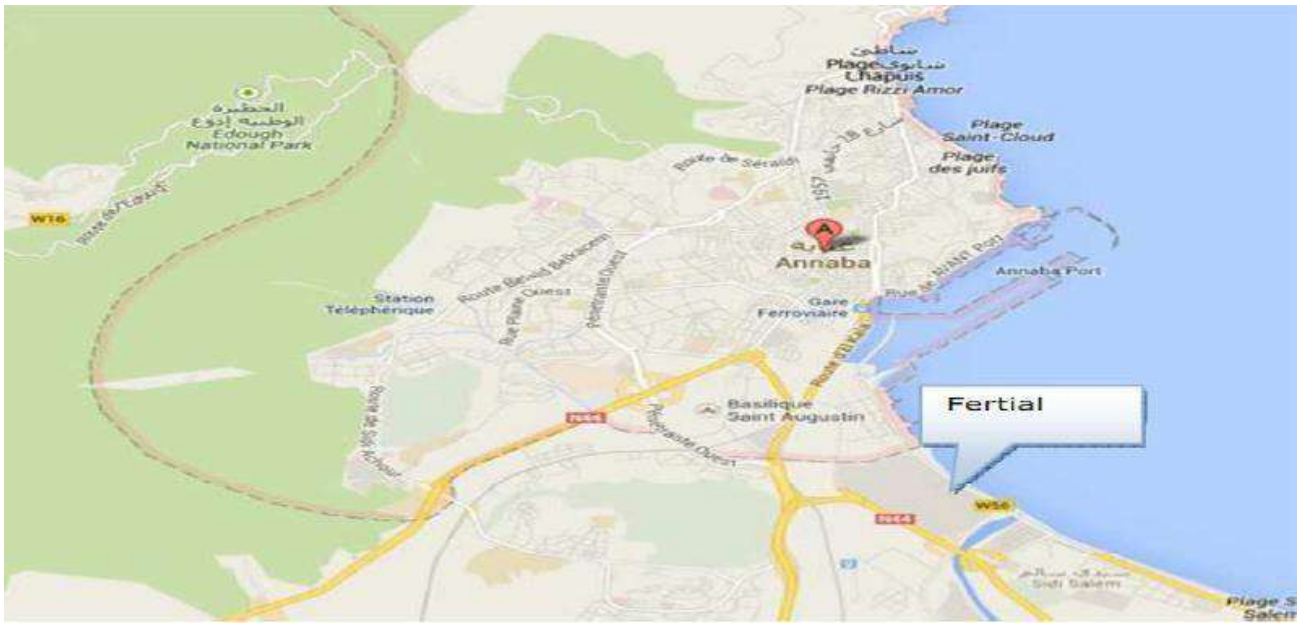


Figure 13: Localisation de Fértial par rapport à la ville d'Annaba[70] .

Dans le cadre de son domaine d'activités, la société des fertilisants d'Algérie FERTIAL SPAANNABA produit et commercialise:

- L'ammoniac anhydre liquide (-33° C)
- Nitrate d'Ammonium granulé à usage agricole et Technique
- Le Calcium Ammonium Nitrate 27% Azote (CAN 27)
- Différentes types d'engrais NPK

(Azote,Nitrate,Phosphate) Les capacités de production des différentes unités sont reprises ci-dessous:

Unités	Capacité de traitement
Une unité d'ammoniac- procédé Kellogg	1000 t/j
Un stockage d'ammoniac	20000 t
Une unité d'acide nitrique composée de 2 lignes de fabrication	400 t/j/l
4 bacs de stockage d'acide nitrique	660 m³
Une unité de nitrate d'ammonium composée de 2 lignes de fabrication	500 t//j/l
Une unité de NPK- procédé Pechiney Saint-Gobain	1050 t
Un centre de conditionnement et stockage du nitrate d'ammonium	-
4 unités de dessalement eau de mer- multi-flash	200t/h
2 chaudières Bab-cool	720 t/h
1 chaudière standard Kecal	720 t/h

Tableau 11: Liste des capacités de production de chaque unité[70].

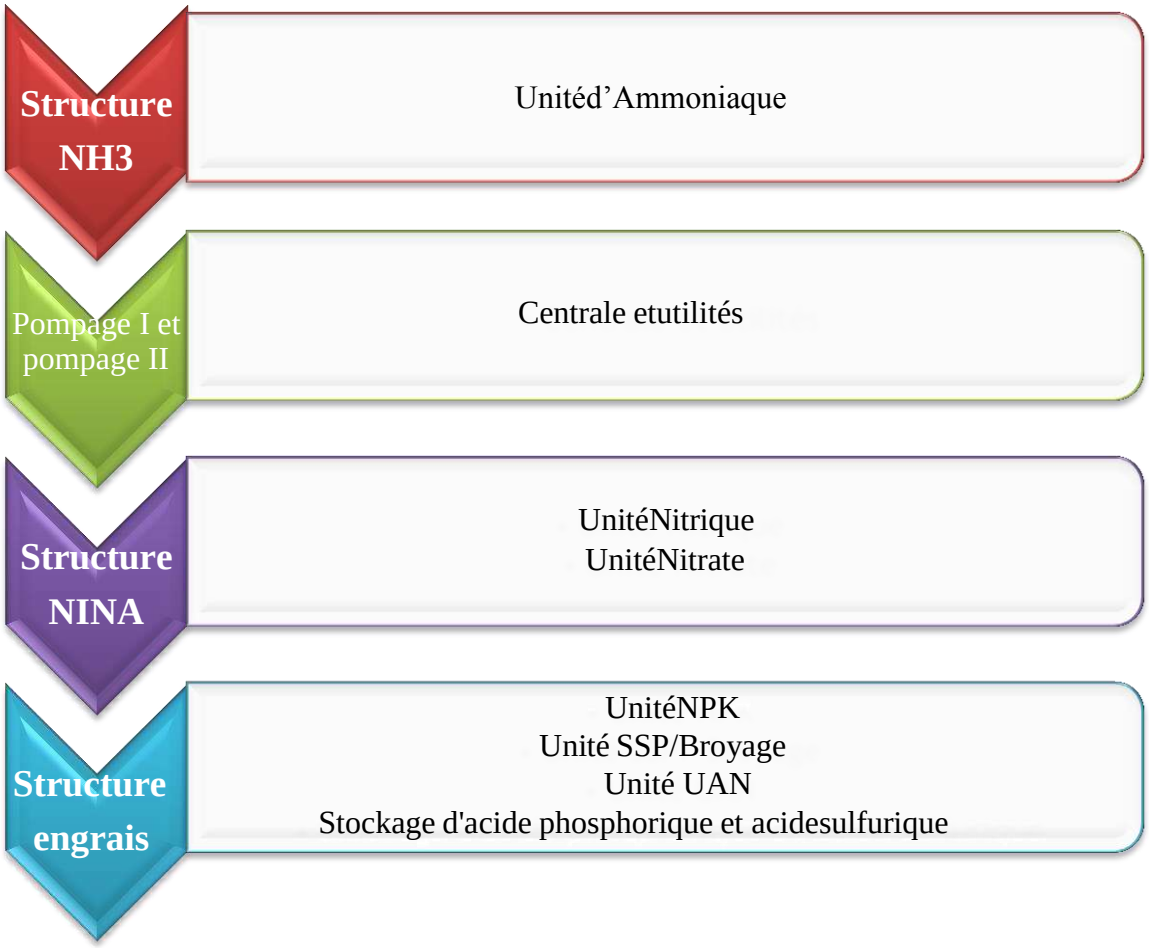


Figure 14 : Schéma des structures du complexe**.[70]**

III.1.3 Présentation de la centrale à vapeur [70] :

La centrale à vapeur est une structure très importante dans le complexe FERTIAL.Elle est pour but de satisfaire les besoins du complexe en vapeur surchauffée à 420°C et une pression de 40 bars pour les autres structures du complexe. La centrale est équipée de trois (03) chaudières similaire de type-D à circulation naturelle dont deux sont en fonctionnement et la troisième et à l'arrêt (sauvegarde). Ces chaudières utilisent le gaz naturel comme combustible. La production de la vapeur nécessite la synchronisation de plusieurs structures, systèmes et éléments à savoir :

1. Station de dessalement et traitement des eaux (traitement physique et chimique),
2. Station de pompage,
3. Poste gaz,
4. Système d'alimentation électrique,
5. Système de contrôle et de régulation (électrique et pneumatique)

6. Turbine à vapeur,
7. Système de distribution de la vapeur.

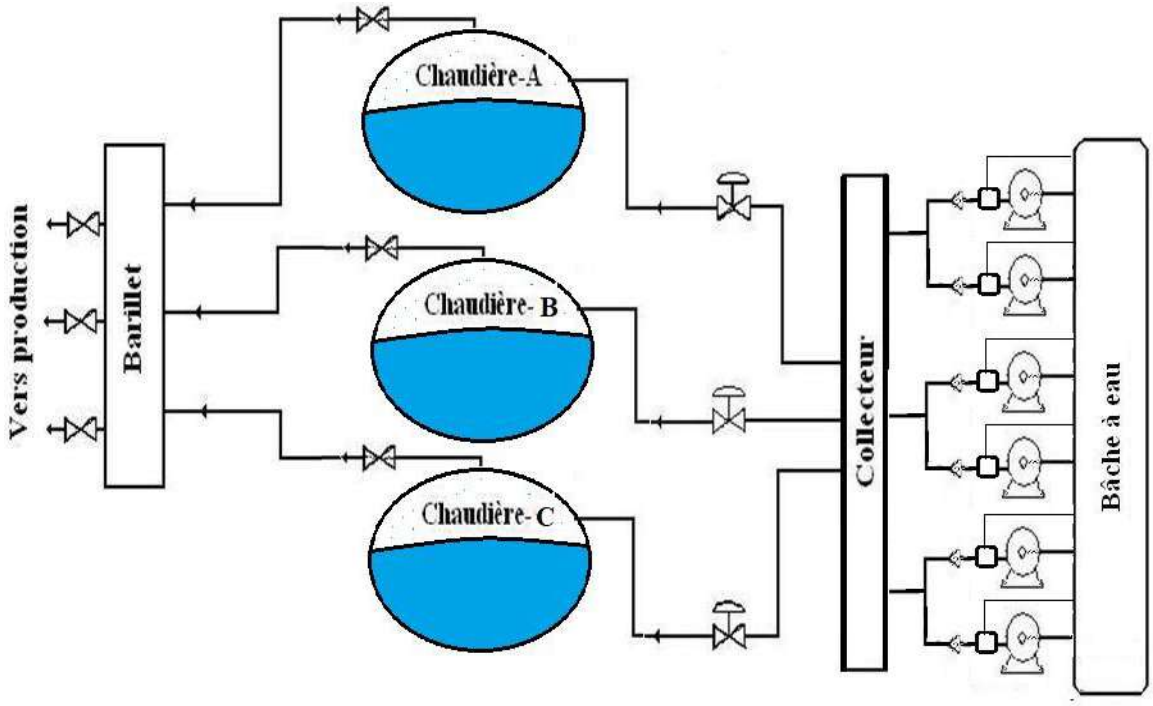


Figure15: Schéma synoptique de la centrale à vapeur[71].

III.2 Système choisi : Chaudière FCB

III.2.1 Description de la chaudière FCB:[70]

Les parties sous pression de la chaudière sont calculées et construites selon le Code FCB de construction des chaudières [69]. Ce code, qui décrit les matériaux utilisés, les règles de calcul, les prescriptions de mise en œuvre et le contrôle de la qualité, constitue un recueil de règles internes que les divers départements de la société Fives-Cail Babcock appliquent, sauf spécifications contraires explicitées dans la commande, pour que les chaudières construites aient la sécurité nécessaire et donnent satisfaction à l'usage. La chaudière FML 13M102se compose de:

- un économiseur.
- la robinetterie et les accessoires réglementaires équipant la chaudière.
- les tuyauteries inhérentes à la chaudière.
- les fumisteries, le calorifuge et le bardage de la chaudière.

- le ventilateur de soufflage et les équipements de chauffe au gaz.
- les escaliers, échelles et passerelles inhérentes à la chaudière.
- le reliage des automates.
- les matériels de régulation et de contrôle.
- une armoire regroupant les automatismes, la régulation et le contrôle installée à l'extérieur àproximité immédiate des chaudières.
- un silencieux de mise à l'air libre du surchauffeur.
- les boulons de scellement des différents matériels fournis.
- un ballon de détente des purges et les tuyauteries inhérentes.
- la chaudière proprement dite du type monobloc transportable.

La chaudière à vapeur FCB peut être subdivisées en trois principaux circuits:

le circuit principal d'eau d'alimentation, le générateur de vapeur et le circuit principal de vapeur. Cette répartition est faite à la base de l'état de l'eau depuis son admission au niveau de la bâche d'alimentation jusqu'au barillet.

La phase liquide sous saturée désigne la ligne principale d'alimentation. Le changement de phase liquide/vapeur (ébullition, évaporation et condensation) a lieu dans le générateur de vapeur.

L'état vapeur et ses transformation (surchauffe, désurchauffe,…) caractérise la ligne principale de vapeur. La figure 2.5 montre un schéma descriptif de l'installation FCB.

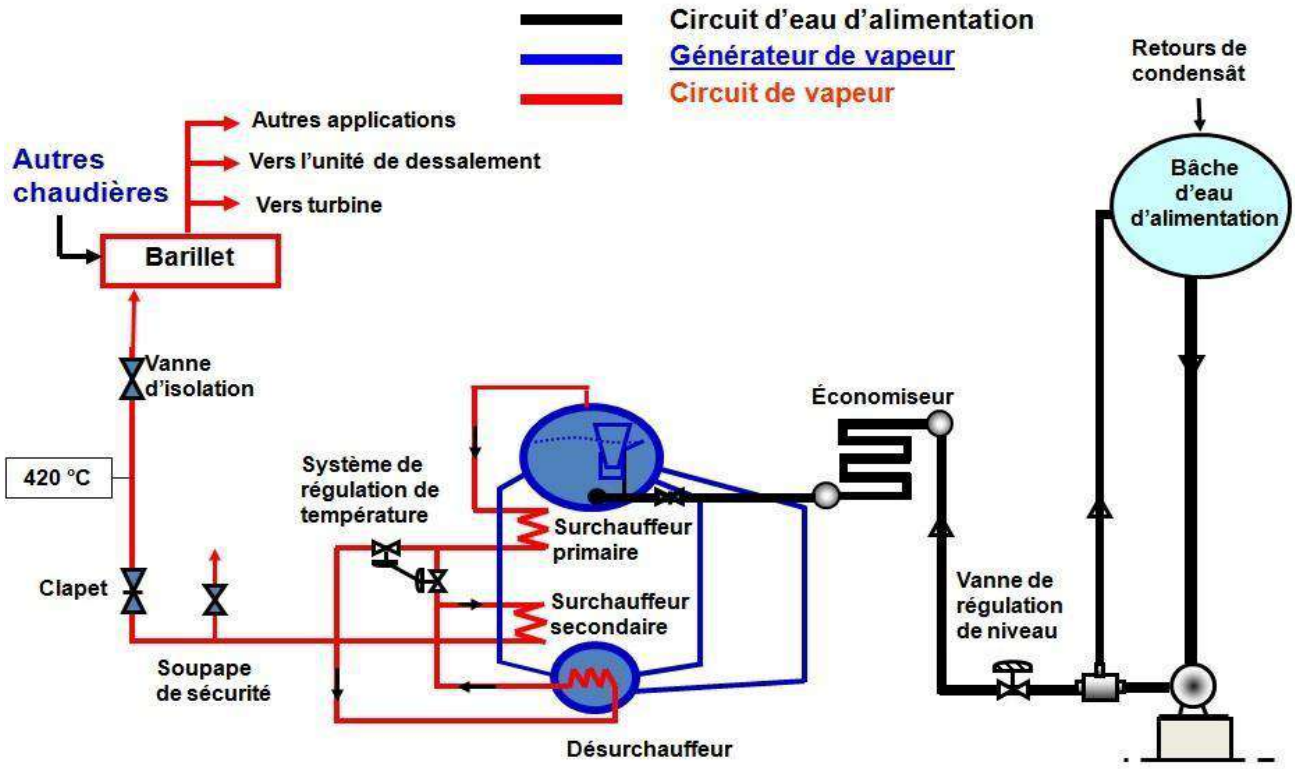


Figure 16: Schéma descriptif des principaux composants de l'installation FCB [71]

III.2.2. Schéma globale de la chaudière a vapeur FCB :

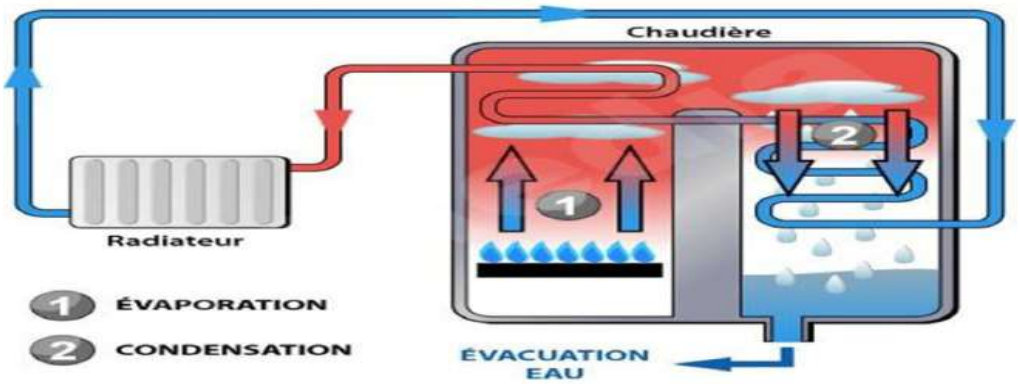


Figure 17: Schéma de chaudière

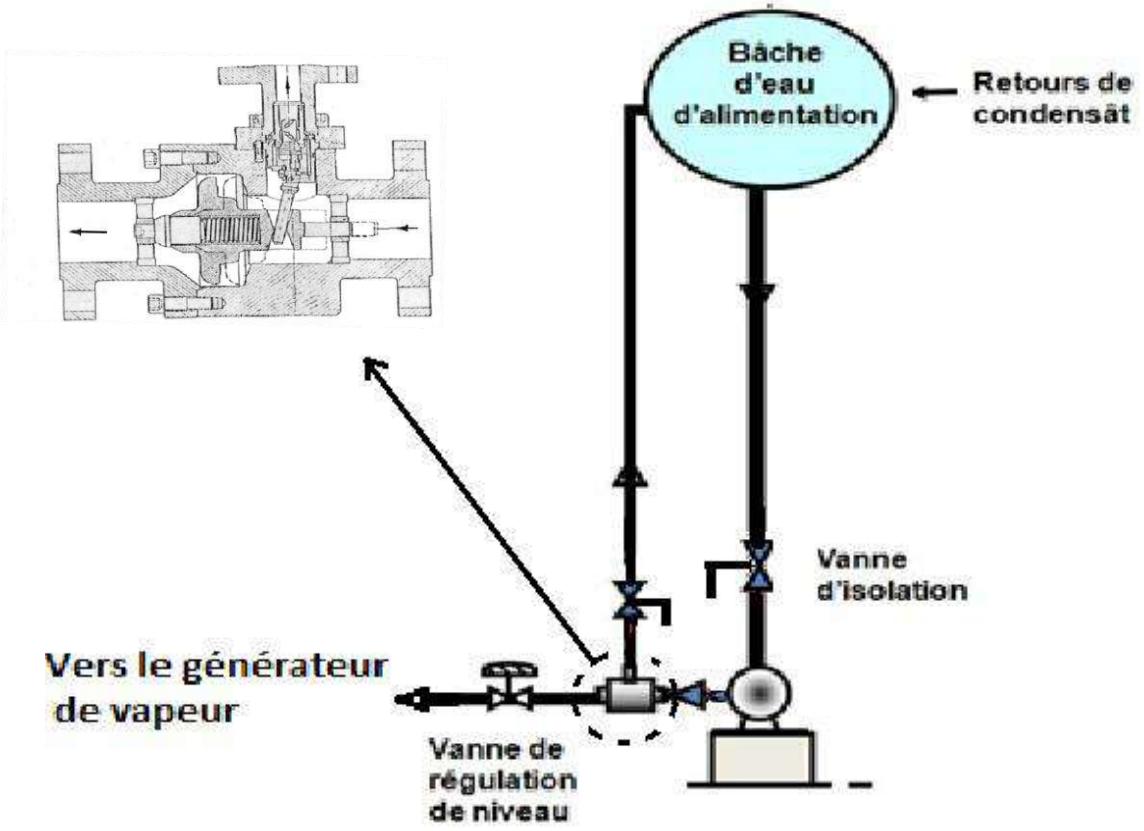


Figure 18: Schéma descriptif du circuit d'eau d'alimentation[71].

III.3.Partie Pratique :

Tableaux HAZOP :

Pour cette partie, nous avons appliqué la méthode d'analyse de risque HAZOP afin d'étudier les risque existants dans la chaudière,

1-Nous commençons par la bâche alimentaire d`eau:

Tableau 12 présente l'analyse par la méthode HAZOP au niveau de la Bâche alimentaire d`eau

Tableau 12 : la méthode HAZOP au niveau de la Bâche alimentaire d`eau

Date : 04/04/2022 **Ligne ou équipement** : Bâche alimentaire d`eau								
N°	**Mot clé**	**Paramètre**	**Déviation**	**Causes**	**Conséquences**	**Barrières Sécurités**	**Actions Correctives**	**Observations**
1	Trop de	Niveau d'eau	Niveau d'eau élevé	-vanne défaillante (Flotteur)	-augmentation de pression -risque d'endommagement la bâche (Débordement d'eau et perte)	- Evacuation de sécurité - limiteur de niveau	- Ronde de routine -Alarme H.P	- maintenances corrective -criticité négligeable -Afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
2	Moins de	Niveau d'eau	Niveau d'eau bas	-vanne défaillante	-diminution de pression -risque d'arrête du procès (perte)	-vanne de secours	-alarme niveau bas	- maintenances corrective -criticité négligeable -Afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
3	Moins de	Niveau d`eau	Trop bas	-Rupture ou fuite dans la Conduite (acte de malveillance)	-diminution de pression -Cavitation de la Pompe -Arrêt de chaudière -Risque d'arrêt du procès	-vanne de secours	- Alarme niveau bas - électrovanne défaillante	- maintenances corrective -criticité négligeable -Afficher un panneau (que faire en cas

								de problème ou bien de panne)
4	Trop De	Pression	Trop haute	Défaillance de la boucle régulation	endommagement des équipements	Aucun	-ajout soupape de sécurité	- maintenances corrective -criticité négligeable -Afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
5	trop de	Température	Elevée	- thermostat défaillante -vanne vapeur défaillante	surchauffe d' eau de la Bâche	Thermo stat	prévoir alarme de température	- maintenances corrective -criticité négligeable -Afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
6	moins de	Température	Basse	thermostat Défaillante _ vanne vapeur défaillante	diminution niveau d'eau de la bâche	Thermo stat	-prévoir alarme de température	- maintenances corrective -criticité négligeable -Afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
7	plus de	Concentration	Elevée	- traitement eau insuffisant - contamination dans la conduite -défaillance détecteur	-risque d'obstruction de circuit -dommage aux parfois intérieur chaudière -mauvais échange du a l'entartrage des tubes.	-ajout d'additifs - prélèvement pour analyse	-détecteur de concentration -analyse d'eau	-criticité négligeable -mettre en service un nouvel analyseur - Afficher un panneau - maintenances corrective

				de concentration				
8	Autre que	Utilités	Manque d'énergie électrique	Défaillance du système Électrique	Perte de contrôle sur le système de	-Aucun	- Groupe alternateur - Double alimentation Electrique et thermique (meilleure fonctionnement)	Signalisation d'un système sonore (détection insuffisance d'énergie)

2-Bruleur –circuit de GAZ/AIR :

Tableau13:la méthode HAZOP au niveau de bruleur - Circuit de GAZ/AIR

Date : 04/04/2022 **Ligne ou équipement** : BRULEUR - Circuit de GAZ/AIR								
N °	**Mot clé**	**Paramètre**	**Déviation**	**Causes**	**Conséquences**	**Barrières Sécurités**	**Actions Correctives**	**Observations**
1	Trop	Débit	Augmentation de débit	- Défaillance de La boucle de régulation	- Explosion en cas de rallumage -Perte de flamme -Impact sur l'environnement (combustion incomplète)	-aucune	-la ventilation avant le démarrage et au cours d'opération -Interlock arrêt de la Chaudière -Analyse de fumées	-afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne) - maintenance corrective
2	pas de	Débit	Débit très bas	Défaillance de la boucle de régulation	- - Perte de la flamme -	- Analyse en ligne de fumée - Interlock arrêt de la chaudière - Balayage renforcé	-la ventilation avant le démarrage et au cours d'opération -Interlock arrêt de la Chaudière -Analyse de fumées	- maintenance corrective -Criticité négligeable -afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)

				Arrêt de ventilateur	-Explosion par excès de gaz - Impact sur l'environnement -Perte de flamme - Explosion en ca de rallumage	- Interlock arrêt de la chaudière - Analyse en ligne de fumée - balayage - Interlock de la chaudière	la ventilation avant le démarrage et au cours d'opération -Interlock arrêt de la Chaudière -Analyse de fumées	- maintenance corrective - Criticité négligeable -afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
				-Fermeture de la vanne d'aire de combustion	- Explosion par excès de gaz - Impact sur	Interlock arrêt de la chaudière -Analyse	la ventilation avant le	maintenance corrective - Criticité négligeable -afficher un
					l'environnement - Pert de la flamme -Explosion en cas de rallumage	en ligne de fumée - Pré ventilation	démarrage et au cours d'opération -Interlock arrêt de la Chaudière -Analyse de fumées	panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
				- défaillance du détendeur de gaz (a changer)	explosion en cas de rallumage -perte de la flamme	Prévention -alarme basse pression	-la ventilation avant le démarrage et au cours d'opération -Interlock arrêt de la Chaudière -Analyse de fumées	-afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne) - maintenance corrective

3	Utilité		-Manque d'air instrument	- Défaillance de compression d'air -Mauvaise qualité d'air comprimé	-perte de contrôle sur le système de régulation -Impact sur l'environnement Explosion en cas de rallumage - Pert de la flamme	- Analyse de l'air comprime -sécheur d'air -Alarme et interlock de la chaudière - Sécheur d'air	-analyse d'air régulièrement -sécheur d'air - interlock de la chaudière	maintenance corrective -Criticité négligeable -afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
4	Utilité		Manque d'énergie électrique	Défaillance du système électrique	-Perte de contrôle sur le système de régulation	-Aucune	--double alimentation électrique -Groupe alternateur	-préparer un groupe de secours -afficher un panneau

3-circuit d'eau bâche :

Tableau 14 :la méthode HAZOP au niveau de la Chaudière-circuit d`eau bâche vers la chaudière.

Date :04 /04/2022 **Ligne ou équipement** :Chaudière-circuit d` eau bâche vers la chaudière								
N°	**Mot Clé**	**Paramètre**	**Déviation**	**Causes**	**Conséquences**	**Barrières Sécurités**	**Actions Correctives**	**Observations**
1	Pas de	Niveau d'eau	- Absence d'eau	- sonde Défaillantes -Régulateur défaillant -fuite dans la conduit -vanne en panne -pompe en panne -pressostat défaillant	-cavitation de la pompe -arrêt de chaudière	-teste d'étanchéité -soupape casse vide -alarme niveau bas	-prévoir alarme de température pour la condenseur-opérateur -maintenance -alarme niveau bas -sonde de niveau Inspection visuelle périodique Interlock arrêt de la chaudière	- Maintenance Corrective - afficher un panneau

2	Trop de	Niveau d`eau	Niveau trop haut	- Défaillance de la sonde - Défaillance de la boucle de Régulation de niveau -pompe en panne	-augmentation de la pression -débordement de la bâche -risque d'endommagement	-garde hydraulique	-Limiteur de niveau avec alarme -alarme haut niveau	- Maintenance Corrective - afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
3	Trop de	Pression	Haute pression	-défaillance dans la désurchauffe -excès d'eau -vanne fermée	- endommagement de la chaudière	-soupape de sécurité -ouverture	-Limiteur de pression avec alarme -soupape de sécurité	- Maintenance Corrective - afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
4	Pas d'électricité	Utilité	Perte d'électricité	- Défaillance de système électricité	-Perte de contrôle de système de régulation	-groupe alternateur -double alimentation électrique	-double alimentation électrique -groupe alternateur	- Maintenance Corrective - afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien

								de panne)
5	Pas d'air com prim e	Utilité	Pas d'air comprim e	-défaillance de système de compressio n d'air -mauvaise qualité d'air comprime	-Perte de contrôle de système de r égulation	Sécheur d'air comprime	-prévoir générateur d'air comprime	- Maint enanc e Corre ctive - Analy se de fumée s - affich er un panne au

4-Générateur de vapeur :

Tableau 15 :la méthode HAZOP au niveau de Générateur de vapeur.

Date :04 /04/2022 **Ligne ou équipement** : générateur de vapeur								
N°	**Mot clé**	**Paramètre**	**Déviation**	**Causes**	**Conséquences**	**Barrières Sécurités**	**Actions Correctives**	**Observations**
1	Inverse	Débit	Retour de fluide	Arrêt de la pompe	Haute pression dans la bâche a eau	Aucune	Clapet anti-retour	-maintenance corrective -Criticité négligeable -afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
2	Trop de	Pression	Pression trop haute	- Défaillance dans la boucle de régulation - Arrêt brusque d'un équipement consommateur	Rupture des tubes	-soupape de securité	Alarme HP	-maintenance corrective -Criticité négligeable -afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
3	Pas assez de		Pression très bas	Perte dans la chaudière Augmentation brusque d'un équipement consommateur	Perte de production Gonflement de ballon	Boucle de régulation air/gaz	Alarme BP	-maintenance corrective -Criticité négligeable -afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
4	Pas assez de	Température	Température très basse	Défaillance dans la boucle de régulation de	-Sur consommation du combustible -impact sur les équipements	-Analyse régulière de l'eau	-Alarme basse température -Thermostat	-maintenance corrective -Criticité négligeable -afficher un panneau (que faire en cas de problème ou

				température - Mauvais échange dû à l'entartage des tubes	consommateur			bien de panne)
5			Trop de	Température trop haute	Défaillance dans la boucle de régulation de température - Pression haute de réseau de vapeur	- Endommagement des équipements consommateurs -Alarme HT	- Alarme HT pour la chaudière	-maintenance corrective -Criticité négligeable -afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)
	Trop de	niveau	Niveau trop haut	Défaillance de la boucle de contrôle de niveau	Risque d'endommagement des tubes	Aucune	Alarme haut niveau	maintenance corrective -Criticité négligeable
	Pas assez de	niveau	Niveau très bas	Défaillance de la boucle de contrôle de niveau -Arrêt de la pompe - Niveau très bas	-Cavitation de la pompe Endommagement de la chaudière	-Alarme niveau bas -Interlock arrêt de la chaudière - Alarme BP pour l'eau alimentaire - Inspection visuelle périodique		-maintenance corrective -Criticité négligeable -afficher un panneau (que faire en cas de problème ou bien de panne)

Conclusion :

La section de chaudière joue un rôle majeur dans le complexe de production de Fértial Annaba, qui n'est pas disponible dans une situation non désirée, posant des risques importants, nous devons donc améliorer cette étude et en faire une étude complète afin d'assurer la sécurité sur le lieu de travail [72] .

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons appliqué la méthode HAZOP pour étudier les risques liés à l'exploitation de la chaudière de vapeur de l'entreprise Fertial, ANNABA.

En utilisant La méthode HAZOP, nous avons identifié les principales déviations des paramètres de fonctionnement relatives au système étudié ainsi que leurs causes, conséquences, barrier de sécurité et observations.

Les resultats d'analyse de risque ont montré que le risqué est tolérable mais le système néccéssite toujours une surveillance, et que certains barrières supplémentaires de sécurité doivent d'être installés.

Références bibliographiques

[1] :https://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/hazard_risk.html#:~:text=Un%20danger%20est%20toute%20source,%2C%20pour%20les%20organisations%20(p.

[2] : NICHAN.M, Risques et accidents industriels majeurs caractéristiques • réglementation prévention. 2006.

[3] : ISO, "Aspects liés à la sécurité principe directeur pour les inclure dans les normes, ISO/CEI/96/82." 1999.

[4] : INERIS, Outils d'analyse des risques générés par l'installation industrielle, direction des risques accidentels (DRA). 2003.

[5] : A. Desroches, « Concepts et méthodes probabilistes de base de la sécurité », Lavoisier, France, 1995.

[6] : IEC 61508, « Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic (E/E/PE) safety related systems », International Electro-technical Commission (IEC), 1998.

[7] : OHSAS 18001, "Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail spécification, AFNOR," 1999.

[8] : PERILHON .P, La gestion des risques, méthodes MADS MOSAR II. 2007.

[9] : GRIOT.C and AYRAL.P, "Terminologie en science du risque," 2002.

[10] : https://www.dictionnaire-juridique.com/definition/risque.php

[11] : Nouhed AChouri , "Apport de la logique floue a l'analyse de criticité des risques industriels " 2009.

[12] : ISO, "Management du risque – vocabulaire – principes directeurs pour les inclure dans les normes, ISO/CEI /73," 2002.

[13] : INERIS, "Principes généreux pour l'élaboration et la lecture des études de danger," 2003.

[14] : AFNOR, "Application ferroviaires : Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FMDS)," 2000.

[15] : A. Villemeur, « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels », Eyrolles, 1998.

[16] : VILLEMEUR. A, "Sureté de fonctionnement des systèmes industriels. Eyrolles," 1988.

[17] : BOURARECHE.M, "Apport des techniques floues et possibilistes à l'analyse semi-quantitative des risques industriels," Université EL Hadj Lakhdar Batna, 2009.

Références Bibliographique

[18] : R. Gouri veau, « Analyse de risques, formalisation des connaissances et structuration des données pour l'intégration des outils d'étude et de décision », Ph Dthesis, InstitutNational Polytechnique de Toulouse, 2003.

[19] : Le risque industriel: https://www.legarrec.com/entreprise/le-risque-industriel-définition-et-gestion-des-risques-industriels/

[20] : KERKOUR.S, "Essai d'analyse de l'ampleur de l'impact des risques industriels du secteur pétrolier sur la santé et l'environnement en Algérie : cas de la wilaya de Bejaia," Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2011.

[21] : CHAGUETMI.F, "Urbanisation autour des sites industriels à haut risque- cas de Skikda," Université M'entourai Constantine, 2011.

[22] : AITAHMED.O, "hygiène, sécurité et d'environnement," Université des sciences et de la technologie d'Oran MB, 2018.

[23] : SAHKI. MED R, "Amélioration de la prévention contre les risques électriques et choix des appareils de protection," Université Badji Mokhtar- Annaba, 2017.

[24] : DUPONT.R, THEODORE.L, and REYNOLDS.J, "Sécurité industrielle de la prévention des accidents à l'organisation des secours," 1993.

[25] : INRS, Évaluation du risque incendie dans l'entreprise Guide méthodologique. 2019.

[26] : INRS, Santé et sécurité au travail, Risques biologiques. 2020.

[27] : FOURATI.N, "Prévention des risques mécaniques," 2012.

[28] : GHARIANI.N, "Mise en place d'un dispositif de management de risques au sein du Projet Recouvrement à la STEG," Université Virtuelle de Tunis, 2015.

[29] : CEI, Gestion de la sûreté de fonctionnement, CEI 300-3-9. 1995.

[30] : BARBET.J, "Maîtriser les risques, Préventique Sécurité," 1996.

[31] :DEBRAY.B, CHAUMETTE.S, DESCOURIERE.S, TROMMETER.V, Méthode d'analyse des risques générés par une installation industrielle

[32] : PERILHON.P, Développement d'une méthode MOSAR, méthode organisée et systémique d`analyse de risques, document de travail. 1998.

[33] : BROWN, "Risk analysis : an investment in engineering, Process Safety Progress," 1999.

[34] : BERRAR.A, "Gestion des risques par l'analyse préliminaire au sein de complexe GL1/K-Sonatrach- Wilaya de SKIKDA," Université Badji Mokhtar- Annaba, 2017.

[35] :https://docplayer.fr/171407587-Wzr@-lt%60lym-l%60ly-wlbhth-l%60lmy-faculte-sciences-de-l-ingeniorat-departement-electromecanique-memoire.html

Références Bibliographique

[36] : KAKAI.H, "Contribution à la recherche qualitative, cadre méthodologie de rédaction de mémoire," Université de Franche -Comté, 2008.

[37] : Boukhrissi.M, AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) appliquée à la STEP dAin El Houtz, 2014-2015.

[38] : THERRIEN.S, "Développement d'une méthodologie pour déterminer les objectifs de fiabilité des systèmes importants pour la sûreté d'une centrale nucléaire de type candi," Université du Québec à Trois-Rivières, 2006.

[39] : http://gpp.oiq.qc.ca/analyse_par_arbre_d_evenements.htm adeade

[40] : LEDOUX.C, "Analyse de risques appliquée à la validation du nettoyage des équipements de fabrication de médicaments aérosols," Université de RouenUFR de médecine et de pharmacie, 2014.

[41] : COLLOMP.R, "Pilotage de la performance du circuit du médicament au travers du management des risques iatrogènes," l'Ecole des Mines de Paris, 2008.

[42] : http://qeri-box.over-blog.com/2016/04/l-arbre-des-causes.html

[43] : Formation SF6 la méthode HAZOP Les principes et la mise en œuvre

[44] : GARDES.L, "Méthodologie d'analyse des dysfonctionnements des systèmes pour une meilleure maîtrise des risques industriels dans les PME : application au secteur du traitement de surface," 2001

[45] : KHELOUFI.DJ and MEDJDOUB.J, "Analyse de la Sureté de Fonctionnement pour la Maitrise des Risques de la Chaudière de Tuchin-Lait," Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2013.

[46] : Formation SF6 la Méthode HAZOP

[47] : CEI, études de danger et d'exploitabilité (étude HAZOP) _guide d'application. 2001.

[48] :HAMIOUD NOUREDDINE et MESSIAD MOHAMED , "Analyse des risques par l'application de la méthode HAZOP sur la section de dégazage et stockage de condensat MODULE II A HASSI R'MEL," Université Kasdi Merbah de ouargla, 2017.

[49] :AKINTOYE.A, BECK.M, and HARDCASTLE.C, "Public-Private Partnerships Managing risk and opportunities," Glasgow Caledonian University, 2003.

[50] :https://www.researchgate.net/profile/HouriaRezala/publication/311721910/figure/fig1/AS:440998154248192@1482153561649/Les-etapes-de-levaluation-des-risques-9.png

[51] :MAZOUNI.M, "Pour une Meilleure Approche du Management des Risques : De la Modélisation Ontologique du Processus Accidentel au Système Interactif d'Aide à la Décision," l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 2008.

Références Bibliographique

[52] : HASSINI.B, "Etude qualitative et quantitative des scenarios de défaillances de la pompe 2000 d de l'entreprise certif," Université Aboubekr Belkaid -Tlemcen, 2014.

[53] : MILWAUKEE.D, KLEETLAAN.C, and BOMBARDIER.B, "Sécurité fonctionnelle dans l'industrie des procédés Principes, normes et mise en oeuvre," 2013.

[54] :R.BOU NADER, Modélisation du management des risques industriels et de la responsabilité sociale des entreprises: Cas des entreprises libanaises, Thèse de doctorat, Gestion et management, Université de Toulon; Université Saint-Joseph (Beyrouth), France, 2017.

[55] : Massaoud BENZOUAI "mise en place d'un système de gestion pour l'amelioration de la qualité ,par la maitrise des procedes,dans l'industrie agroalimentaire ." universite el hadj lakhdar batna2006

[56] : ISO 31010 :2019, Management du risque – Techniques d'appréciation du risque, 2ème édition, 06-2019.

[57] : BOILLIN F Mise en place de la méthode HAZOP au sein d'un atelier de fabrication Master 2 PIF2P, université de pharmacie de Grenoble, 2014

[58] : FLAUS J-M Analyse des risques des systèmes de production industriels et de services Lavoisier, 2013.

[59] : ROYER.M, "HAZOP : une méthode d'analyse des risques," Tech. l'ingénieur Systèmes d'information Commun.," 2009.

[60] : BENIKHLEF Hadjer et BELGHERISSI Salah Eddinne "Gestion des risques par l'application de la méthode HAZOP/SIL aux processus de production d'acide nitrique site FERTIAL /Arzew». université d'oran 2 mohamed ben ahmed 2021.

[61] : sécurité fonctionnelle dans l'industrie des procédés

[62] : DESINDE.M, "Contribution à la mise au point d ' une approche intégrée analyse diagnostique," Université Joseph Fourier Grenoble, 2006.

[63] : ENSPM, Sécurité Des Systèmes-Analyse Des Risques. 2005.

[64] : ROYER.M, "Méthodes d'analyse des risques," Tech. l'ingénieur, 2016.

[65] : BERDOUZI.F, "Simulation dynamique de dérives de procédés chimiques. Application à l'analyse quantitative des risques," Institut National Polytechnique de Toulouse, 2017.

[66] :B.DEBRAY, S.CHAUMETTE, S.DESCOURIERE, V.TROMMETER, Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle, INERIS-DRA, France, 2006

[67] :LABILLE C et al Gestion des risques qualité dans les industries de la santé STP Pharma Pratiques, volume 19, N°5, 369-397. 2009

Références Bibliographique

[68] :FROQUET.L, "Contribution à l'analyse des risques : Proposition d'une méthode par scénarios et capitalisation de la connaissance," Institut National Polytechnique de Grenoble, 2005.

[**69**] : J. P. Ylén, M. Paljakka, T. Karhela, J. Savolainen& K. Juslin, "Experienences on Utilising Plant Scale Dynamic Simulation in Process Industry", Proceedings 19th European Conference on Modelling and Simulation, 2005

[**70**] : BELBEZZOUH MOHAMMED et CHOUBEH MOHAMED IHAB (Analyse des modes de défaillances d'une chaudière a vapeur industrielle FCB au sein du complexe Fértial-Annaba) université Oum EL Bouaghi 2021

[71]: Rahmani A. et Bouchali T., Modélisation et Simulation Thermo-hydraulique d'un Générateur Vapeur Industriel en Régime Transitoire par le Code RELAP5/Mod3.2, thèse de Doctotat, 2007, Université d'Annaba

[72] : Chaima Anbi "ANALYSE DE RISQUE PAR LA METHODE HAZOP: Etude de cas de TCHIN-LAIT "UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA 2020