

# ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Filière QHSE-GRI



## Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en QHSE-GRI

Intitulé

### **Maitrise des risques d'incendie et d'explosion par l'application de la méthode *Dow's Fire and Explosion Index***

*Cas de l'unité de traitement de gaz MPP4. SONATRACH Hassi R'mel*

Etudié par : BOUBERAK Wissame  
DJEMAI Zahra

Proposé par : BOUDA Mohamed El Abbas (SH/DP/HR)

Encadré par : ZEBOUDJ Saliha (ENP)

KERTOUS Abou Bakr (ENP)

BOUDA Mohamed El Abbas (SH/DP/HR)

Promotion octobre 2015

## DÉDICACES

À

*Mes chers parents et Mamati, qui ont tant souffert pour me voir réussir  
dans la vie*

*Particulièrement Mes tantes, que Dieu les préserve, longue vie pleine de  
santé et de joie*

*Ma sœur Et Mon frère pour lesquels je souhaite un avenir plein de succès*

*Mon binôme de travail qui n'a pas cessé de m'encourager pour accomplir  
ce travail*

*Tous les membres de ma famille*

*Enfin, tous mes collègues, avec qui j'ai passé d'inoubliables moments.*

قال الله تعالى

﴿ وَاللَّهُ أَخْرَجَكُمْ مِنْ بُطُونِ أُمَّهَاتِكُمْ لَا تَعْلَمُونَ شَيْئًا وَجَعَلَ لَكُمُ السَّمْعَ وَالْأَبْصَارَ وَالْأَفْئِدَةَ لَعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ ﴾  
نعم يا رب اتى علي زمان لم أكن شيئا مذكورا وبدأت قصتي معك بأنك احببت ان أكون فأبدعتني  
فحمدا لك يا الله

**Zahra DJEMAI**

*À ma mère*

*À mon père*

*À ma grande mère*

*À mes sœurs*

*À ma famille*

*À mon binôme*

*Et tous ceux qui me sont chères*

*Je dédie ce modeste travail*

*BOUBERAK Wissame*

## REMERCIEMENTS

Si ce mémoire a vu le jour, c'est grâce à Madame S.ZEBOUDJ, Maitre de Conférences A à l'École Nationale Polytechnique d'Alger, notre directrice. A cet effet, nous aimerions vivement la remercier pour nous avoir patiemment dirigées tout au long de ces années pour son aide, son attention et l'intérêt qu'elle a accordé à ce travail.

Nous sommes très reconnaissantes à Monsieur OUADJAOUT qui nous a aidés dans ce travail. Il n'a ménagé aucun effort avec ses conseils.

Nous remercions également Monsieur A.KERTOUS Maitre-Assistant à l'École Nationale Polytechnique, notre co-directeur, qui a suivi ce travail avec beaucoup d'intérêt et ses nombreuses orientations et explications enrichissantes.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur M.E.A.BOUDA, notre promoteur d'entreprise, pour avoir accepté de diriger ce travail, son aide très précieuse, sa patience, sa compréhension, ainsi que ses conseils, recommandations et remarques constructives qui ont permis le bon déroulement des travaux et l'aboutissement de ce mémoire.

En particulier, nos remerciements s'adressent aussi à Monsieur I.ANNOU, Chef de Division sécurité de SONTRACH Hassi R'mel pour son aide, sa gentillesse et ses encouragements, tant sur le plan scientifique que moral.

Nous adressons nos remerciements à l'ensemble des membres de notre jury présidé par Monsieur OUADJAOUT, et composé de Monsieur BENMOKHTAR et Monsieur CHENENOU qui ont bien voulu examiné le contenu du mémoire et évalué sa qualité.

Nous tenons ici à remercier toutes les personnes qui ont participé, d'une manière ou d'une autre, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, particulièrement Monsieur A.SAHTEL.

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم خطر الحرائق والانفجار على معدات وحدة معالجة الغاز (MPP4) لشركة سونا طراك حاسي الرمل، وذلك باستعمال طريقة مؤشر داو للحريق والانفجار (Dow's Fire & Explosion Index). أظهرت نتائج المحاكاة بالبرنامج PHAST الذي تم تطبيقه على المخاطر المرتبطة بجميع معدات الوحدة أن خزان الغاز المكثف له ضررا اكبر على المنطقة. لتطبيق F&EI استعملنا برنامج MATLAB، الذي سمح لنا بحساب مساحة المنطقة المتضررة (نصف قطر = 83.91 متر)، و ذلك بالأخذ بعين الاعتبار التدابير الوقائية للسلامة. بالإضافة إلى ذلك سمح لنا عامل مراقبة الخسارة بتخفيض تكاليف الخسارة بنسبة 55.7٪ و ذلك بفضل تدابير الحماية المقترحة. وتلخص هذه الدراسة أن التقييم باستعمال F&EI يأخذ بعين الاعتبار كلا من الجانب الأمني و الأقتصادي وهذا ما يساعد المسيرين على الفهم و اتخاذ القرارات الصائبة.

**المصطلحات:** مؤشر الحريق والانفجار، تكاليف الخسارة، تدابير الوقاية، تدابير الحماية، الحريق، الانفجار.

## RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est d'évaluer le risque d'incendie et d'explosion des équipements de l'unité de traitement de gaz MPP4 au niveau de l'entreprise SONATRACH Hassi R'mel, et cela par l'application de la méthode Dow Fire and Explosion Index (F&EI).

Les résultats de la simulation par le logiciel PHAST des phénomènes dangereux associés aux équipements ont montré que le bac de stockage du condensât présente la plus grande zone d'atteinte. Par la suite, un programme MATLAB de la méthode F&EI a été développé, ce qui nous a permis d'estimer le rayon d'exposition (83.91m.) en prenant en compte les mesures de sécurité intrinsèque de cet équipement. En outre, le facteur de crédit de contrôle des pertes nous a permis de réduire les coûts de perte à 55.7% grâce aux mesures de protections existantes.

L'évaluation menée traite à la fois l'aspect sécuritaire et économique, et constitue un outil d'aide à la prise de décision pour les managers.

**Mots-clés :** L'indice d'incendie et d'explosion, coût de perte, mesures de prévention, mesures de protection, incendie, explosion.

## ABSTRACT

This study aims to evaluate the fire and explosion risk in gas processing unit (MPP4) of SONATRACH -Hassi R'mel, using the Dow Fire and Explosion Index Method (F&EI). The results of PHAST simulation of hazards for all the equipments showed that the condensate storage tank has reached the largest area of damages. Then, we developed a MATLAB program for the F & EI method, which allowed us to estimate the exposure beam (83.91m.) Taking into account the inherent safety measures of this equipment. In addition, we calculated the loss control credit factor that allowed us to reduce loss costs to 55.7% through existing protective measures. It is concluded that the assessment of this study has two aspect: safety and economic, which enables managers to have a clear understanding for the decision-making.

**Keywords:** Fire and Explosion Index, loss costs, preventive measures, protective measures, fire, explosion.

# TABLE DES MATIERES

|   |          |
|---|----------|
| <b>INTRODUCTION .....</b>                                     | <b>1</b> |
| <b>CHAPITRE I : ANALYSE DES RISQUES.....</b>                  | <b>3</b> |
| I-1. Concepts et définitions.....                             | 4        |
| I-1.1. Notion de danger.....                                  | 4        |
| I-1.2. Notion de risque.....                                  | 4        |
| I-1.3. Notion de risque majeur.....                           | 5        |
| I-1.4. Notion de risque industriel majeur.....                | 5        |
| I-2. Phénomènes dangereux.....                                | 6        |
| I-2.1. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion),..... | 6        |
| I-2.2. UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion), .....         | 6        |
| I-2.3. Incendie d'un stock de produits, .....                 | 7        |
| I-2.4. Émission et dispersion de produits toxiques.....       | 7        |
| I-2.5. Feu de nappe .....                                     | 8        |
| I-2.6. BOIL-OVER, classique ou en couche mince .....          | 8        |
| I-2.7. L'explosion de poussières,.....                        | 9        |
| I-2.8. L'explosion de produits explosibles, .....             | 9        |
| I-3. Analyse de risque industriel.....                        | 10       |
| I-3.1 Notion d'analyse de risque.....                         | 10       |
| I-3.2. Les méthodes d'analyses de risques .....               | 11       |
| I-4. L'apport de l'analyse des risques industriels .....      | 11       |
| I-4.1. Par rapport à l'entreprise.....                        | 11       |
| I-4.2. Par rapport aux tierces parties.....                   | 12       |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CHAPITRE II : MÉTHODE DOW’S FIRE AND EXPLOSION INDEX.....</b>                           | <b>14</b> |
| II-1. Historique et évolution .....  | 15        |
| II-2. Place de <i>F&amp;EI</i> par rapport aux autres méthodes d’analyse des risques ..... | 15        |
| II-3. Objectif de <i>F&amp;EI</i> .....  | 16        |
| II-4. Utilisation .....  | 17        |
| II-5. Méthodologie de calcul de <i>F&amp;EI</i> .....                                      | 17        |
| II-5.1. Procédure de calcul <i>F&amp;EI</i> .....  | 17        |
| <b>CHAPITRE III : APPLICATION DE LA MÉTHODE F&amp;E I.....</b>                             | <b>51</b> |
| III-1. Présentation de l’entreprise d’accueil.....   | 52        |
| III-1.1. SONATRACH .....   | 52        |
| III-1.2. La Direction Régionale Hassi R’Mel .....  | 52        |
| III-1.3. Description du procédé de traitement MPP4 .....                                   | 53        |
| III-2. Choix de l’unité de traitement .....  | 56        |
| III-2.1. Présentation de l’outil de simulation .....                                       | 56        |
| III-2.2 Modélisation du phénomène .....  | 57        |
| III-3. Application de la méthode Dow’s Fire and Explosion Index .....                      | 68        |
| III-3.1. Choix de l’unité de traitement .....  | 68        |
| III-3.2. Facteur de risque du bac de stockage de condensat .....                           | 68        |
| III-3.3. Le Facteur matière du condensat.....  | 72        |
| III-3.4. L’indice d’incendie et d’explosion du bac .....                                   | 72        |
| III-3.5. Le rayon d’exposition de l’incident du bac .....                                  | 72        |
| III-3.6. La zone d’exposition .....  | 72        |
| III-3.7. Valeur de la zone d’exposition.....   | 73        |
| III-3.8. Facteur de dommage .....  | 74        |
| III-3.9. Dommages matériels maximaux probables de Base.....                                | 74        |

|  |           |
|--|-----------|
| III-3.10. Facteur de crédit de contrôle des pertes .....   | 75        |
| III-3.11. Dommage matériel maximal probable réel .....   | 788       |
| III-3.12. Jours probables maximum d'interruption d'activité .....  | 79        |
| III-3.13. Interruption des activités .....   | 79        |
| III-3.14 Résultats obtenus par le programme MATLAB .....   | 79        |
| III-4. Analyse des résultats et discussion.....  | 81        |
| III-5. Résultat de calcul de l'indice d'explosion et d'incendie et le rayon d'exposition par le programme MATLAB pour tous les équipements ..... | 83        |
| III-6. Recommandations .....   | <b>84</b> |
| <b>CONCLUSION</b> .....  | <b>86</b> |
| <b>RÉFÉRENCES</b> .....  | <b>87</b> |
| <b>ANNEXES</b> .....   | <b>90</b> |
| <b>Annexe A : Propriété et facteur matière MF</b> .....  | <b>91</b> |
| <b>Annexe B : F &amp; EI des équipements</b> .....   | <b>92</b> |



## LISTE DES ABRÉVIATIONS

|       |   |
|-------|---|
| ADF   | Anti Déflagrant                                 |
| AIChE | <i>American Institute of Chemical Engineers</i> |
| ARC   | Calorimètre adiabatique de réaction             |
| ATEX  | Atmosphère EXplosibles                          |
| BI    | <i>Business Interruption</i>                    |
| BLEVE | <i>Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion</i> |
| BP    | <i>Boiling Point</i>                            |
| BTU   | <i>British Thermal Unit</i>                     |
| CNDG  | <i>Centre National de Discpatching de Gaz</i>   |
| CE    | <i>Chemical Engineering</i>                     |
| CPI   | <i>Chemical process industries</i>              |
| CSTF  | Centre de Stockage et de Transfert              |
| CTH   | Centre de Traitement des Huiles                 |
| DP    | Division Production                             |
| ETA   | <i>Event Tree Analysis</i>                      |
| FDS   | Fiche de données de sécurité                    |
| FMEA  | <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>         |
| F&EI  | <i>Fire and Explosion Index</i>                 |
| FTA   | <i>Fault Tree Analysis</i>                      |
| FP    | <i>Flash Point</i>                              |
| GPL   | Gaz de pétrole liquéfié                         |

|              |   |
|--------------|---|
| <i>HAZOP</i> | <i>HAzard and OPerability Study</i>             |
| <i>ISD</i>   | <i>Inherently Safer Design</i>                  |
| <i>LOPA</i>  | <i>Layers of Protection Analysis</i>            |
| <i>MPDO</i>  | <i>Maximum Probable Days Outage</i>             |
| <i>MPPD</i>  | <i>Maximum Probable Propeny Damage</i>          |
| <i>MPP</i>   | <i>Module Processing Plant</i>                  |
| <i>NFPA</i>  | <i>National Fire Protection Association</i>     |
| <i>MF</i>    | <i>Material Factor</i>                          |
| <i>PHAST</i> | <i>Process Hazard Analysis Software Tool</i>    |
| <i>PreHA</i> | <i>Preliminary Hazard</i>                       |
| <i>QRA</i>   | <i>Quantitative Risk Assessment</i>             |
| <i>RTE</i>   | <i>Région de Transport Est</i>                  |
| <i>SBC</i>   | <i>Station de Boosting et Compression</i>       |
| <i>SBN</i>   | <i>Station de Boosting Nord</i>                 |
| <i>SCS</i>   | <i>Station de Compression Sud</i>               |
| <i>SRGA</i>  | <i>Station de Récupération des Gaz Associés</i> |
| <i>SH</i>    | <i>Sonatrach</i>                                |
| <i>UVCE</i>  | <i>Unconfined Vapor Cloud Explosion</i>         |
| <i>VPM</i>   | <i>Value of Production for the Month</i>        |

## LIST DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau II-1 : Guide de détermination du facteur de matière (MF) et les classifications NF                 | 22 |
| Tableau II-2 : Description qualitative des valeurs de réactivité ( $N_R$ )                                 | 23 |
| Tableau II-3 : Température d'ajustement du facteur matière   | 24 |
| Tableau II-4 : Score des réactions chimiques exothermique  | 25 |
| Tableau II-5 : Description qualitative pour déterminer le facteur de la santé $N_H$                        | 28 |
| Tableau II-6: Scores d'explosion des poussières  | 30 |
| Tableau II-7 : Attribution des scores aux pressions élevées pour les liquides inflammables et combustibles | 31 |
| Tableau II-8 : Scores pour les systèmes d'échange de chaleur par l'huile chaud                             | 37 |
| Tableau II-9: Score des systèmes de déluge   | 43 |
| Tableau II-10 : Degré de danger pour F&EI  | 45 |
| Tableau III-1: différents séparateurs du train de MPP4   | 57 |
| Tableau III-2 : Caractéristiques du séparateur D101A/B   | 58 |
| Tableau III-3 : distances d'effet du VCE au niveau du séparateur   | 61 |
| Tableau III-4: Distances d'effet de la boule de feu au niveau du séparateur                                | 62 |
| Tableau III-5: distances d'effet du feu de flaque au niveau du séparateur                                  | 62 |
| Tableau III-6: distances d'effet du feu de chalumeau au niveau du séparateur                               | 62 |
| Tableau III-7 : Résultats de la simulation par PHAST des différents équipements du MPP4                    | 64 |
| Tableau III-8 : Zone d'atteinte maximale de chaque équipement de MPP4                                      | 67 |
| Tableau III-9 : Caractéristiques du bac de bac de stockage   | 68 |
| Tableau III-10 : Prix d'achat du bac en fonction de ses dimensions   | 73 |
| Tableau III-11 : Niveau de gravité du risque de procédé général  | 81 |
| Tableau III-12 : Niveau de probabilité du risque de procédé spécial  | 81 |
| Tableau III-13 : Résultats de F&EI et le rayon d'exposition obtenus par MATLAB                             | 83 |

## LIST DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure I- 1: Les différentes phases de développement d'un BLEVE.....  | 6  |
| Figure I-2 : Les différentes phases de développement d'un UVCE.....   | 7  |
| Figure I-3 : Les différentes phases de développement d'un incendie dans un stock de produits .....              | 7  |
| Figure I-4 : les différentes phases de développement de l'émission et la dispersion des produits chimique ..... | 8  |
| Figure I-5: Les différentes phases de développement d'un feu de nappe .....                                     | 8  |
| Figure I-6 : Les différentes phases de développement d'un BOIL-OVER.....  | 9  |
| Figure I-7 : Les différentes phases de développement d'une explosion de poussière .....                         | 9  |
| Figure I-8 : Les différentes phases de développement d'une explosion de produits explosibles ..                 | 10 |
| Figure I-9 : Processus de la gestion des risques .....  | 10 |
| Figure II-1 : Procédure de calcul F&EI et d'autres informations d'analyse des risques .....                     | 19 |
| Figure II-2 : Attribution de scores des liquides ou gaz en cour de traitement.....                              | 32 |
| Figure II-3 : Quantité de matière inflammable/instable pour les liquides ou les gaz dans le stockage .....      | 33 |
| Figure II-4 : Les combustibles solides dans le stockage/ Poussière dans le procédé .....                        | 34 |
| Figure II-5 : Score pour les équipements à combustion .....   | 37 |
| Figure II-6 : Rayon d'exposition.....   | 46 |
| Figure II-7 : Facteur du dommage.....   | 47 |
| Figure II-8: Détermination des jours probables maximum d'interruption d'activité .....                          | 49 |
| Figure II-9 : Formulaire F&EI.....  | 50 |
| Figure III-1 : Situation géographique Hassi R'mel.....  | 52 |
| Figure III-2: Vue aérienne des installations du module 4 .....  | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Figure III-3: procédé de traitement du MPP4.....  | 55 |
| Figure III-4 : Cartographie des effets de la surpression du VCE au niveau du séparateur .....   | 61 |
| Figure III-5 : Facteur d'indexation du bac de stockage.....                                     | 74 |
| Figure III-6 : Interface MATLAB des résultats de F&EI pour le bac de stockage .....             | 80 |
| Figure III-7 : Grille de criticité .....  | 82 |
| Figure III-8 : Vue aérienne de la zone de stockage (bac de condensat), et le rayon d'exposition | 84 |

# INTRODUCTION

Depuis sa naissance, l'industrie est une source, à la fois, d'activité économique et de risques. Si, pendant longtemps, c'est surtout comme activité économique qu'elle a été considérée, désormais la face risquée de l'industrie est devenue un thème majeur de débat public. Dès lors, l'acceptation et le développement des industries à risques passent nécessairement par la prise en considération des deux aspects.

En Algérie, le Groupe SONATRACH (Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures) opère dans un secteur à haut risque, elle n'est pas donc à l'abri d'un risque majeur. Il a connu des accidents technologiques majeurs dans les dix dernières années les plus importants sont: l'explosion de gaz dans l'unité de liquéfaction du complexe GL1K, SH/Aval, Skikda le 19/01/2004 et l'incendie dans les deux bacs de stockage de brut au Terminal Arrivée RTE, SH/TRC, Skikda le 04/10/2005.

Les cas d'accidents majeurs enregistrés ont contraint et conduit les pays à mettre en place des mesures de maîtrise des risques dont le but est d'assurer une prévention efficace, le cas échéant, de limiter les effets de ces accidents à l'extérieur du site.

En effet, les exploitants de sites industriels mettent en place des processus d'analyse de risques pour caractériser, évaluer et réduire les risques de leurs installations. Ces études concernent les dangers et risques intrinsèques aux produits utilisés, aux procédés et technologies mis en œuvre, ou dus à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Plusieurs méthodes sont développées pour l'analyse et la maîtrise de risque. Parmi ces méthodes on trouve les indices de sécurité telle que la méthode Dow F&EI. Celle-ci est caractérisée par la détermination de niveau de risque d'un équipement en tenant en compte de toutes les mesures de sécurités existantes.

L'objectif de notre travail est de réévaluer les risques d'incendie et d'explosion de l'unité de traitement de gaz (MPP4), de l'entreprise SONATRACH Hassi R'mel Algérie, en prenant en compte les mesures de sécurité organisationnelles et techniques mises en place pour la prévention et la protection. Dans ce contexte s'inscrit notre travail, dont l'intitulé est la maîtrise des risques d'incendie et d'explosion par l'application de la méthode *Dow's Fire and Explosion Index*, qui nous permettra à la fois de maîtriser la sécurité de ces installations et de réduire les coûts de perte.

La démarche adoptée pour le traitement de ce sujet s'organise, en trois parties :

- Chapitre I : il résume les concepts de bases en relation avec le sujet passant par les types de phénomènes dangereux et le principe d'analyse des risques ;
- Chapitre II : permet de comprendre la méthode, son historique, ses objectifs, son utilisation et sa démarche ;
- Chapitre III : est une application de la méthode sur une unité de traitement sélectionnée à l'aide de logiciel PHAST. Il inclut le calcul des rayons d'exposition et les indices d'incendie et d'explosion des équipements de traitement de l'unité MPP4 par le programme MATLAB. Il est conclu par une analyse et l'interprétation des résultats.

Enfin, ce mémoire se termine par une conclusion générale décrivant le travail réalisé, les résultats obtenus, les recommandations et les perspectives envisagées.

# **CHAPITRE I**

## **ANALYSE DES RISQUES**



Actuellement, la plupart des produits de grande consommation sont issus des industries chimiques ou pétrolières, qui sont génératrices de risques : les substances dangereuses utilisées par ces industries, les processus de fabrication, de manipulation ou de transport et les conditions de stockage de ces substances peuvent être à l'origine de phénomènes dangereux. Par conséquent, il est nécessaire de maîtriser ces risques et ce par de la mise en place des outils d'analyse et les barrières de sécurité les plus adaptées. Les concepts essentiels et définitions liés au risque doivent être précisés, ainsi que le processus de gestion des risques en mettant l'accent sur le concept d'analyse des risques comme composante essentielle de celui-ci.

## **I-1. Concepts et définitions**

### **I-1.1. Notion de danger**

Le référentiel *OHSAS 18001* définit un danger comme « 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 » [2].

C'est « Une propriété intrinsèque d'une substance, d'un agent, d'une source d'énergie ou d'une situation qui peut provoquer des dommages pour les personnes, les biens et l'environnement » [3].

### **I-1.2. Notion de risque**

Le risque est la possibilité qu'un danger se réalise. Le terme possibilité est généralement formalisé sous forme de probabilité ou de fréquence. Le risque peut donc être considéré comme une certaine quantification du danger associant une mesure de l'occurrence (probabilité ou fréquence) d'un événement redouté à une estimation de la gravité de ses conséquences. Ainsi, bien qu'il existe de nombreuses définitions pour caractériser le sens du mot risque, la définition suivante est celle que l'on rencontre souvent : « la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un dommage et la gravité de ce dernier » [4].

Le terme combinaison est généralement matérialisé par une opération de multiplication (équation I-1), ce qui permet la formulation suivante :

$$\text{Risque}(R) = \text{Probabilité}(P) \times \text{Gravité}(G) \quad (\text{I-1})$$

### **I-1.3. Notion de risque majeur**

Le risque majeur est la possibilité d'un événement d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets peuvent mettre en péril un grand nombre de personnes, occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société [5].

Le risque majeur est lié à :

- La présence d'un événement, qui est la manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique ;
- L'existence d'enjeux, qui représentent l'ensemble des personnes et des biens pouvant être affectés par ce phénomène.

Deux critères qualifient le risque majeur, à savoir [6] :

- Une faible fréquence ;
- Une énorme gravité.

### **I-1.4. Notion de risque industriel majeur**

Le risque industriel peut se manifester par un accident se produisant sur un site industriel et pouvant entraîner des conséquences graves pour le personnel, les populations, les biens, l'environnement ou le milieu naturel. Il est lié à l'utilisation, au stockage ou à la fabrication de substances dangereuses [5].

Les différents types d'industries à risque recensés sont [5]:

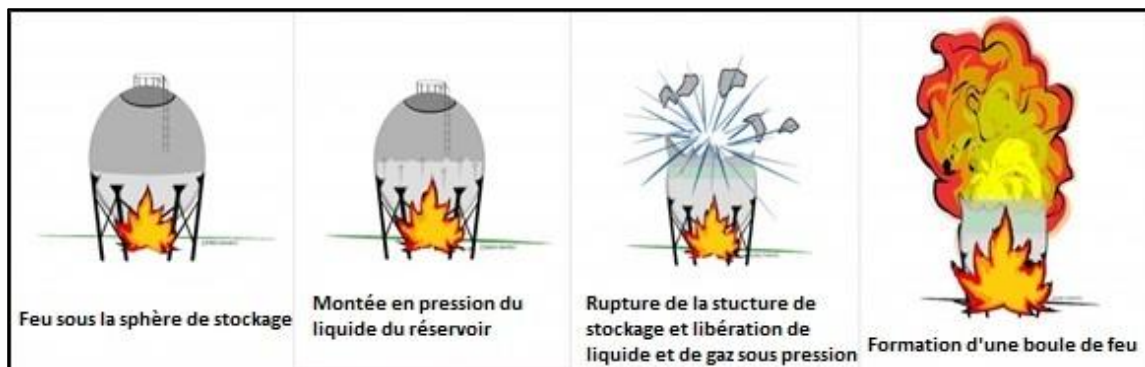
- Les industries chimiques, qui produisent ou utilisent des produits chimiques en grande quantité ;
- L'ensemble des industries travaillant les produits pétroliers, depuis la production jusqu'à la distribution, en passant par le raffinage et le stockage ;
- Les sites pyrotechniques de fabrication et de stockage d'explosifs ;
- Les silos et installations de stockage de céréales, grains, produits alimentaires ou autre produit organique dégageant des poussières inflammables ;
- Les autres établissements utilisant des substances dangereuses, tels que les sites pharmaceutiques et sites agroalimentaires utilisant de l'ammoniac en quantités importantes dans le cadre des systèmes de refroidissement, ou encore les sites de traitements des déchets dangereux.

## I-2. Phénomènes dangereux

Les types d'industries cités ci-dessus peuvent générer des phénomènes dangereux et aboutir à des accidents majeurs [7]. En particulier :

### I-2.1. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion),

C'est l'explosion de gaz en expansion provenant d'un liquide en ébullition (cas de l'accident de Feyzin, en 1966, 18 morts).



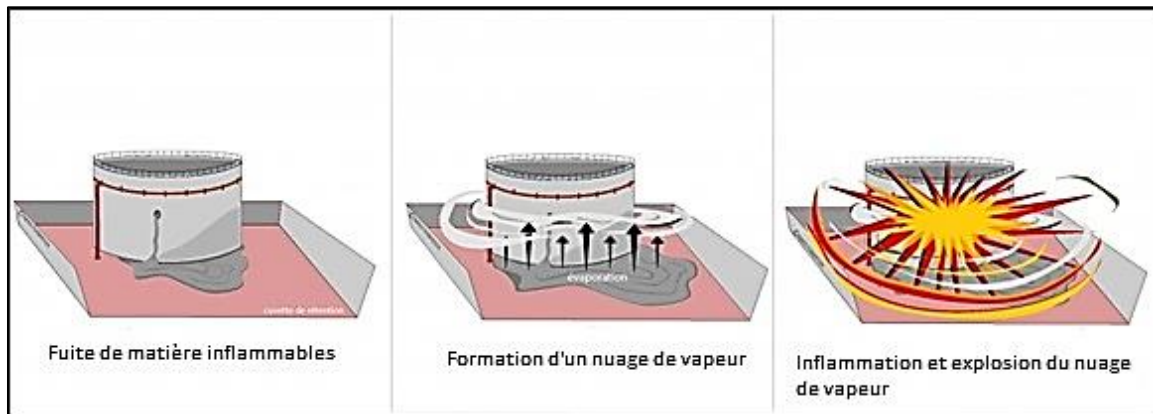
**Figure I- 1: Les différentes phases de développement d'un BLEVE [7]**

Les stockages de gaz liquéfiés sous pression sont susceptibles d'être le siège d'un BLEVE. Il s'agit d'une vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température très supérieure à sa température d'ébullition à pression atmosphérique. Une des causes peut être l'échauffement d'une sphère de stockage prise dans un incendie. Celle-ci peut éclater sous l'effet de la pression interne : il y a alors projection de fragments et libération de gaz liquéfié instantanément vaporisé. Si le gaz en question est inflammable, il y a formation d'une boule de feu avec un rayonnement thermique intense. (Figure I-1)

### I-2.2. UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion)

C'est l'explosion d'un nuage de gaz en milieu non confiné (cas de l'accident de Flixborough, en 1947, 28 morts).

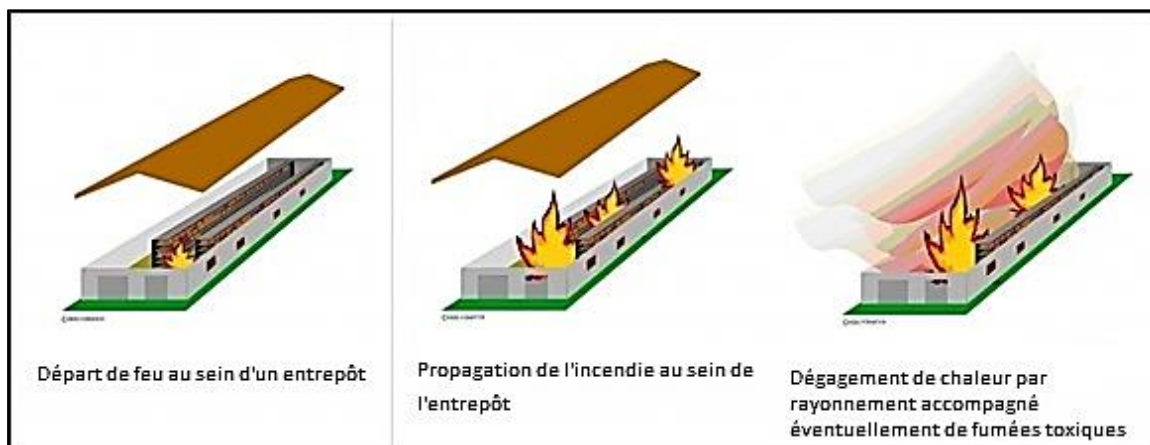
Suite à une fuite de gaz inflammable, le mélange du gaz et de l'air forme un nuage qui, en rencontrant une source d'inflammation, peut exploser. Les effets sont essentiellement des effets de pression. (Figure I-2)



**Figure I-2 : Les différentes phases de développement d'un UVCE [7]**

### **I-2.3. Incendie d'un stock de produits,**

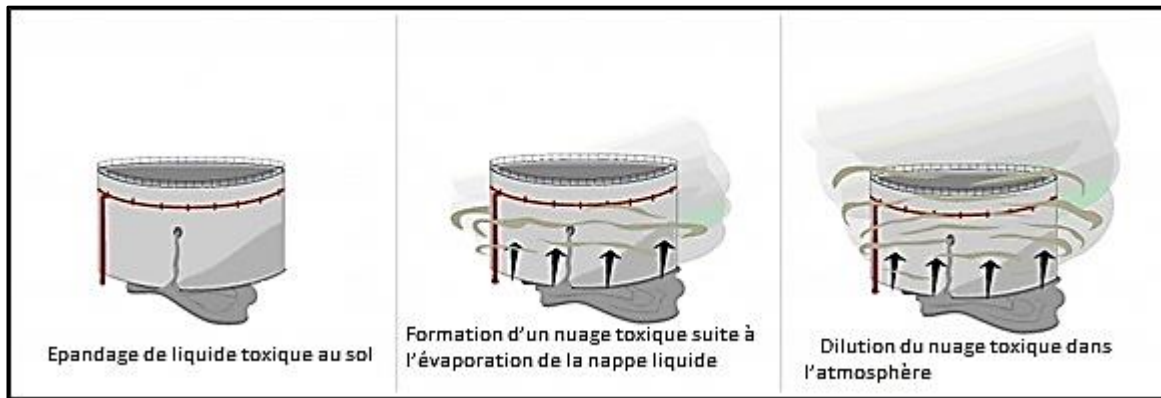
En entrepôts par exemple : en plus des effets thermiques d'un incendie peuvent s'ajouter, suivant la nature des produits stockés, des risques d'explosion et des risques toxiques. (Figure I-3)



**Figure I-3 : Les différentes phases de développement d'un incendie dans un stock de produits [7]**

### **I-2.4. Émission et dispersion de produits toxiques**

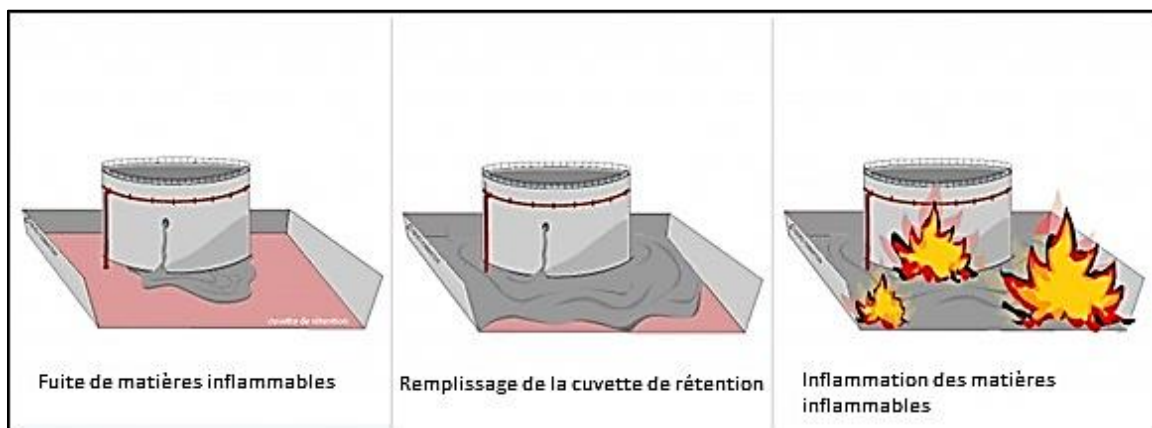
Elles se manifestent lors d'un accident majeur, due à une explosion, un incendie ou une fuite importante (figure I-4), conduisant à une pollution de l'air, de l'eau, du sol, et entraînant des conséquences mortelles (accident de Bhopal en 1984) ou des contaminations durables des sols, et des conséquences possibles pour la santé (accident de Seveso en 1976).



**Figure I-4 : les différentes phases de développement de l'émission et la dispersion des produits chimique [7]**

### I-2.5. Feu de nappe

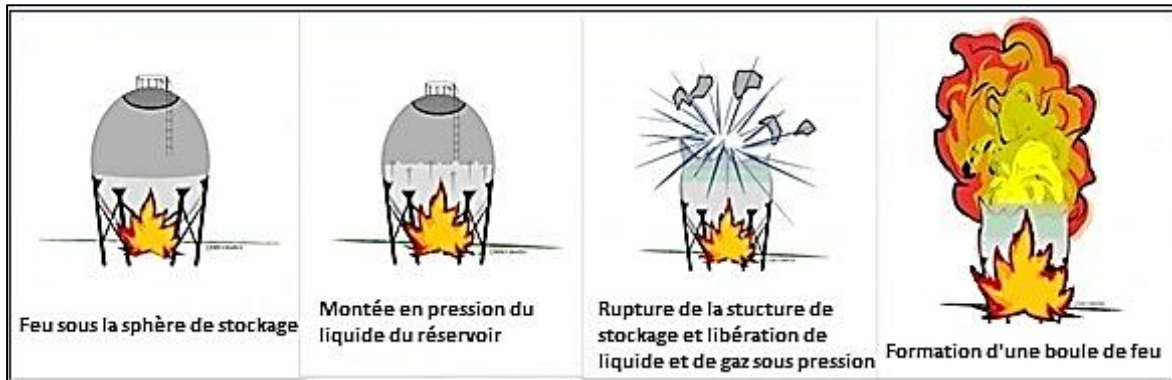
Lorsqu'une nappe de liquide inflammable, produite suite à une perte de confinement d'un réservoir, prend feu. Celui-ci peut générer des effets thermiques importants. (Figure I-5)



**Figure I-5: Les différentes phases de développement d'un feu de nappe [7]**

### I-2.6. BOIL-OVER, classique ou en couche mince

Ce phénomène peut être rencontré en cas d'incendie de bacs d'hydrocarbures relativement visqueux (fioul lourd, gazole, fioul domestique), en présence d'eau au fond du bac.



**Figure I-6 : Les différentes phases de développement d'un BOIL-OVER [7]**

Lors d'un d'incendie, l'hydrocarbure est progressivement consommé et une onde de chaleur se forme dans le reste du bac. Ensuite, l'onde de chaleur entre en contact avec la couche d'eau présente au fond du réservoir, celle-ci se vaporise instantanément, formant un effet piston qui projette violemment l'hydrocarbure à l'extérieur. D'où, la formation d'une boule de feu, et épandage d'hydrocarbure enflammé tout autour du bac (figure I-6). Ce phénomène donne lieu à des effets thermiques. Selon la nature de l'hydrocarbure impliqué, il peut être plus ou moins violent (cas de l'accident Port Edouard Herriot en 1987).

### **I-2.7. L'explosion de poussières,**

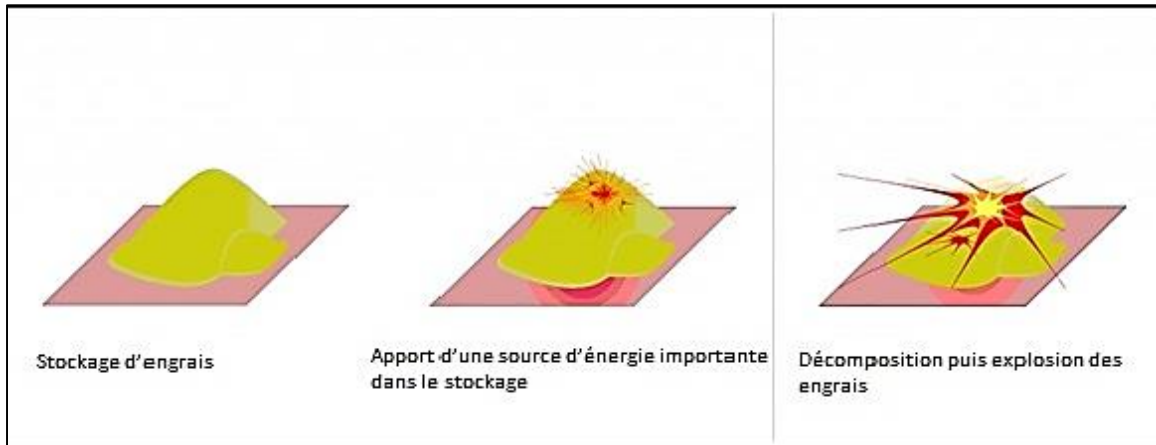
Phénomène entraînant des effets de surpression et de projection. (Figure I-7)



**Figure I-7 : Les différentes phases de développement d'une explosion de poussière [7]**

### **I-2.8. L'explosion de produits explosibles,**

Les produits explosibles tels que les produits pyrotechniques ou, dans certaines conditions, certains engrais (cas de l'accident d'AZF en Toulouse en 2001, 30 morts) peuvent mener ç une explosion. (Figure I-8)

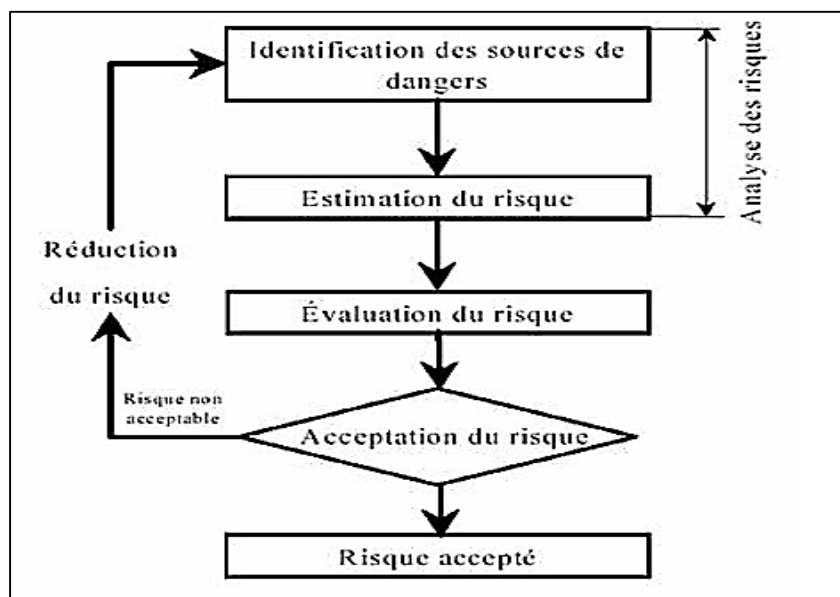


**Figure I-8 : Les différentes phases de développement d'une explosion de produits explosibles [7]**

### I-3. Analyse de risque industriel

Tout système industriel est susceptible de générer des risques de nature variée [8]. La gestion des risques est un processus itératif qui a pour objectif d'identifier, d'analyser et de réduire au maximum le risque ou de le maintenir dans des limites acceptables. C'est une des composantes fondamentales de la gestion d'un système.

L'analyse de risques est une étape clé du processus de gestion des risques, illustré dans la figure I-9.



**Figure I-9 : Processus de la gestion des risques [9]**

#### I- 3.1 Notion d'analyse de risque

L'analyse de risques constitue une démarche d'identification et de réduction des risques réalisée sous la responsabilité de l'exploitant. Elle décrit les scénarios qui conduisent aux phénomènes dangereux et accidents potentiels [11].

Cette démarche d'analyse de risques vise principalement à qualifier ou à quantifier le niveau de maîtrise des risques, en évaluant les mesures de sécurité mises en place par l'exploitant, ainsi que l'importance des dispositifs et dispositions d'exploitation, techniques, humains ou organisationnels, qui concourent à cette maîtrise [11].

Elle porte sur l'ensemble des modes de fonctionnement envisageables pour les installations, y compris les phases transitoires, les interventions ou modifications prévisibles susceptibles d'affecter la sécurité, les marches dégradées prévisibles, de manière d'autant plus approfondie que les risques ou les dangers sont importants. Elle conduit l'exploitant des installations à identifier et hiérarchiser les points critiques en termes de sécurité, en référence aux bonnes pratiques ainsi qu'au retour d'expérience de toute nature [11].

### **I-3.2. Les méthodes d'analyses de risques**

Les méthodes d'analyse de risques sont des outils d'aide à la réflexion, ainsi, leur qualité est fortement liée à leurs contexte et conditions de mise en œuvre. Ces méthodes prises individuellement ou de façon combinée permettent le plus souvent de répondre aux objectifs d'une analyse de risques portant sur un procédé ou une installation [8].

## **I- 4. L'apport de l'analyse des risques industriels**

L'installation industrielle est supposée fonctionner 300 jours par an. Il s'agit d'une moyenne sur laquelle le prix de revient est calculé. Mais cette disponibilité peut être affectée par des pannes, des difficultés de maintenance, une interruption des fournitures (matières premières, énergies), un sinistre incendie sur l'installation elle-même ou son environnement, etc [13].

Si chacun de ces événements est identifié, estimé et correctement traité, les chances d'atteindre les objectifs seront améliorées. Il ne peut y avoir à terme de création de valeur pour l'entreprise sans une analyse précise de ses risques.

### **I-4.1. Par rapport à l'entreprise**

L'analyse des risques est une des composantes fondamentales de la réussite d'une entreprise, que ce soit en termes économique, sociétal, ou environnemental.

A cet effet un certain nombre de facteurs d'influence ont conduit les dirigeants d'une part de prendre en compte les risques, et d'autre part d'intégrer leur gestion dans la stratégie de l'entreprise. [14]



#### **I-4.1.1. La législation**

Les pouvoirs publics ont pris conscience que la vulnérabilité des grands groupes industriels pouvait avoir de graves conséquences d'un risque avéré sur les économies nationales. C'est pourquoi, la législation impose aux entreprises de prendre certaines mesures relatives à la gestion de leurs risques industriels.

Les dispositifs réglementaires en Algérie ont commencé par la loi 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Puis a été votée la loi 04-20 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

Le décret exécutif 06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement a exigé aux industriels de mettre en place les mesures nécessaires pour la maîtrise des risques majeurs générés par leurs installations, comme condition préalable pour l'obtention de l'autorisation d'exploitation de ces dernières [5].

#### **I-4.1.2. L'image de marque**

Toute entreprise crée une image de marque percutante. Une image qui lui confère un réel pouvoir d'attraction et qui correspond à l'identité qu'elle projette sur ses employés, néanmoins les dommages sur l'apparence de l'entreprise sont souvent un souci majeur des dirigeants lors d'un accident ou incident.

A cet effet, la démarche de l'analyse des risques présente l'intérêt d'être transversale favorisant la conduite de projet en toute sécurité, le partenariat, l'interdisciplinarité, l'arbitrage entre des rationalités différentes ou encore le management interculturel au sein de l'entreprise.

#### **I-4.2. Par rapport aux tierces parties**

La nature des risques pouvant affecter les ressources de l'entreprise, ses produits et ses prestations est très variable. Les moyens mis en place pour contrôler (tant en prévention qu'en protection) les risques sont fonction de cette nature, de même que les moyens d'en gérer les conséquences économiques.

Pour pouvoir approcher l'assurabilité ainsi que la tarification des risques de dommages aux biens, les compagnies d'assurance sont dotées d'équipes d'inspecteurs et/ou d'ingénieurs spécialisés qui « visitent » les installations industrielles assurées ou à assurer. Ils examinent la qualité du risque et, notamment, le potentiel de réalisation d'un sinistre majeur par les paramètres suivants [15] :

- La nature des activités : ateliers de production, stockages, moyens généraux (chauffage, installations électriques, autres utilités) ;
- La prévention et la protection des risques (organisation humaine et moyens de protection);
- Les risques d'origine externe (risques industriels, risque d'intrusion, exposition à un risque technologique majeur,).

Après avoir passé en revue l'ensemble des concepts et définitions, le chapitre suivant sera consacré à l'explication de la procédure *F&EI* et ses concepts de base.

## **CHAPITRE II**

### **MÉTHODE DOW'S FIRE AND EXPLOSION INDEX**

Le risque d'incendie et d'explosion dépend de la réactivité potentielle réaliste des équipements de procédé et de leur contenu [16]. Les mesures quantitatives utilisées dans l'analyse de ce risque sont basées sur les données historiques de perte, le potentiel énergétique de la matière étudié, et la mesure dans laquelle les pratiques de prévention des pertes sont appliquées assurant les bonnes pratiques de sécurité [17].

## **II-1. Historique et évolution**

Depuis la première édition du guide de la méthode *Dow's Fire and Explosion Index* qui a été publié en 1964, l'indice d'incendie & d'explosion (*F & EI*) a évolué à travers les 29 dernières années en un indice global qui donne une valeur relative au risque de pertes individuelles d'une unité de traitement en raison des incendies et des explosions potentielles [16].

Le but principal de la méthode *F & EI* est de servir comme guide pour le choix des méthodes de protection contre les incendies. Son objectif plus large était d'avoir une méthode pour le classement relatif des unités de traitement individuelles axées sur les éléments clés de l'équipement.

Cet indice a été largement utilisé dans la compagnie *Dow Chemical* et dans d'autres entreprises. Il est le principal indice de risque reconnu par l'industrie chimique [17]. Le guide *F&EI* fournit des informations clés pour aider à évaluer le risque global d'incendie et d'explosion. Il peut être utilisé en conjonction avec l'exposition aux produits chimiques et d'autres informations de procédé pour aboutir à une analyse des risques, afin de mieux comprendre les risques potentiels pour une unité de production. Cette analyse de risque est une partie importante du processus d'audit consolidé.

*F&EI* est l'un des outils utilisés pour l'évaluation du risque d'incendie, d'explosion et de réactivité de l'équipement d'un procédé et de son contenu [16]. Le guide de classification des risques *F&EI* a été rendu disponible par *l'American Institute of Chemical Engineers (AIChE)*, ainsi plusieurs pays ont référencé celui-ci dans leurs réglementations gouvernementales respectives.

## **II-2. Place de *F&EI* par rapport aux autres méthodes d'analyse des risques**

Avec l'amélioration continue du niveau de productivité, plus d'attention a été accordée à la sécurité des installations. Dans l'industrie chimique, les principes d'une conception intrinsèquement sûre appelée *Inherently Safer Design (ISD)* sont mis en œuvre pour prévenir et limiter les risques des procédés de l'industrie chimique ou *Chemical process industries (CPI)* [18]. L'intégration de l'*ISD* dans la conception des procédés chimiques et l'optimisation des procédés fournit un outil pour évaluer la sécurité des installations chimiques [19]. En conséquence, cet outil peut à la fois assurer

la santé et la sécurité de toutes les personnes impliquées dans les usines, ainsi que la protection de l'environnement [20].

Pour parvenir à une conception intrinsèque sûre (*ISD*) et l'optimisation des procédés, l'évaluation de la sécurité est indispensable. Il existe différentes méthodes d'évaluation des risques. En général, ces méthodes peuvent être classées en deux catégories [21,22] :

- (a) Les techniques d'évaluation qualitative de sécurité, tels que l'analyse préliminaire des risques (*PreHA*), *Checklist*, l'analyse *What-If*, l'analyse *Hazard and Operability (HAZOP)*, etc ;
- (b) Les techniques d'évaluation quantitative de la sécurité, tels que l'analyse des couches de protection (*LOPA*), *Dow Fire and explosion Index (F & EI)*, analyse de l'arbre de défaillances (*FTA*), analyse de l'arbre des événements (*ETA*), etc.

Chaque méthode a son application spéciale. Parmi toutes les techniques d'évaluation, *Dow fire and explosion Index (F & EI)* est la plus largement utilisée dans les unités de traitement chimiques.

### **II-3. Objectif de F&EI**

L'objectif de la méthode F & EI est de :

1. Quantifier les dommages attendus des potentiels d'incendie, d'explosion et de réactivité en termes réalistes ;
2. Identifier les équipements qui seraient susceptibles de contribuer à la création et la progressivité d'un incident ;
3. Communiquer le potentiel de risque F & EI à la direction (les dirigeants et les managers).

L'objectif du système *F&EI* est basé sur le calcul d'un indice en fonction du facteur de risque et l'inventaire de la matière, pour estimer le degré du risque d'incendie et d'explosion. Il s'agit de rendre l'ingénieur conscient du potentiel des pertes de chaque unité de traitement, l'aider à identifier les moyens de réduction de la gravité, et les pertes résultant de potentiels incidents d'une manière efficace et rentable [16,17].

L'évaluation des compagnies d'assurance est généralement basée sur l'exposition potentielle du pire incident imaginable. Elles pourraient prévoir, par exemple, l'évaporation instantanée et l'inflammation totale d'une décharge de réacteur; et l'estimation des coûts d'assurance, déterminés par le biais de cette analyse peut être extrêmement élevée. D'un point de vue réaliste, ce genre de situation est rare [16].

La méthode *Dow F & EI* vise à déterminer la perte maximale réaliste qui peut se produire dans une installation de traitement (ou unité de traitement) ou une installation connexe, ainsi que les pertes qui pourraient effectivement apparaître dans des conditions d'exploitation les plus défavorables. Le calcul est basé sur des données quantifiables. Le taux de déversement fini, la température du procédé par rapport aux points d'éclair, le point d'ébullition et la réactivité des matières sont quelques-unes des nombreuses contributions à un incident probable [16].

Les risques des procédés qui contribuent à l'ampleur et la probabilité des éventuelles pertes ont été qualifiés de «scores» et affectés de valeurs variant de 0 à 2, pour fournir ensuite des facteurs de calcul. Un score peut ne pas être appliqué à une situation spécifique, comme il peut être ajusté [16].

## **II-4. Utilisation**

Bien que la méthode *F & EI* est principalement conçu pour toute opération dans laquelle une matière inflammable, combustible ou réactive est stockée, manipulée ou traitée, il peut également être utilisé dans l'analyse du potentiel de perte des eaux usées, les installations de traitement, les systèmes de distribution, les pipelines, les redresseurs, les transformateurs, les chaudières, les oxydants thermiques et certains éléments des centrales électriques [16].

Le système peut également être utilisé dans l'évaluation des risques de petits procédés avec un inventaire modeste des matières potentiellement dangereuses. De plus, son application aux usines pilotes est fortement recommandée [16].

## **II-5. Méthodologie de calcul de *F&EI***

### **II-5.1. Procédure de calcul *F&EI***

Le calcul des indices *Dow's F&EI* est composé des étapes représentées en figure II-1. Pour calculer *F&EI*, les documents suivants sont requis [16] :

1. Les plans de l'installation et/ ou diagrammes de flux du procédé ;
2. Les données sur les coûts de remplacement de l'équipement étudié ;
3. Le Guide de classification des risques de l'indice d'incendie et d'explosion ;
4. Le résumé du formulaire de l'indice d'incendie et d'explosion.

L'indice *F&EI* a deux composantes : le facteur de risque de l'unité de traitement ( $F_3$ ) et le Facteur matière (*MF*), exprimé par l'équation (II-1).

$F_3$  se compose du risque de procédé général ( $F_1$ ) et le risque de procédé spécial ( $F_2$ ), (équation II-2). [23]

$F_3$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  et MF sont abordés ci-après.

$$F\&EI = F_3 \times MF \quad (\text{II -1})$$

$$F_3 = F_2 \times F_1 \quad (\text{II -2})$$

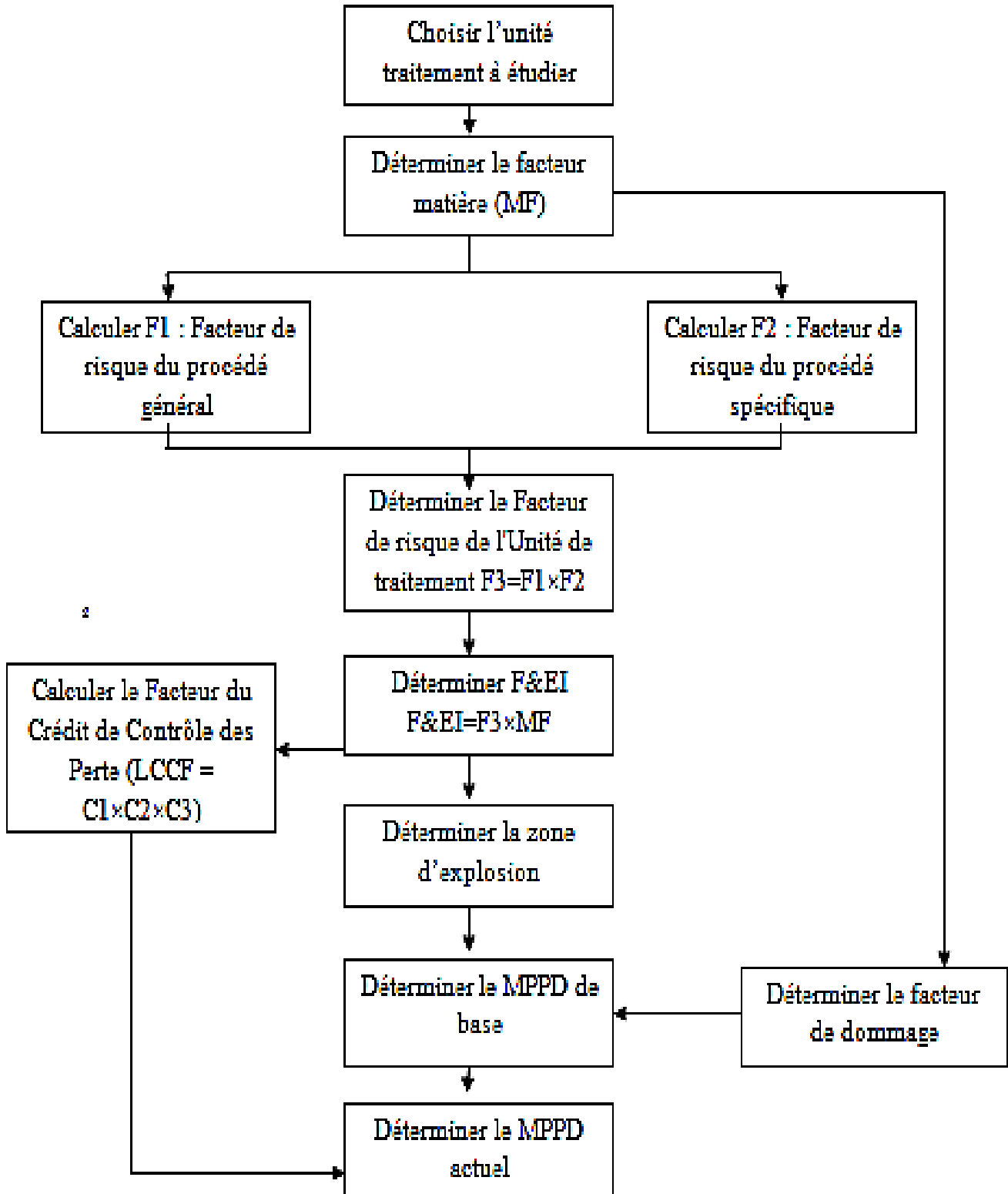


Figure II-1 : Procédure de calcul F&EI et d'autres informations d'analyse des risques [24]



### II-5.1.1. L'unité de traitement pertinente

L'indice  $F & EI$  est un outil qui permet de déterminer la zone des dommages matériels. Il permet également de prédire les dommages physiques impliquant l'interruption des activités qui pourraient se produire dans le cas d'un incident [16].

La première étape pour faire le calcul du  $F & EI$  exige l'aide d'une procédure efficace et logique pour déterminer quelle unité de traitement devrait être étudiée. Une unité de traitement est définie comme tout élément majeur de l'équipement d'un procédé [17].

Une unité de traitement consiste en l'installation de production, y compris les procédés chimiques, les processus mécaniques, les entrepôts, les lignes d'emballage, etc.

La zone de traitement d'une usine de latex par exemple pourrait être composée des unités de traitement suivantes : les réservoirs de stockage des matières premières, les pompes d'alimentation d'un réacteur, les décapants, les réservoirs de récupération et les réservoirs de stockage de latex [16].

Un entrepôt peut aussi être considéré comme une unité de traitement. Les matières stockées dans une zone à parois non résistantes au feu, ou dans la zone de stockage totale, où les murs coupe-feu ne sont pas armés, constituerait une unité de traitement [16].

Il est bien clair que la plupart des unités industrielles ont de nombreuses unités de traitement. Toutefois, pour calculer l'indice d'incendie et d'explosion, seules les unités de traitement qui pourraient avoir un impact d'un point de vue de prévention de perte devraient être évaluées. Par conséquent, ces facteurs importants doivent être pris en considération lors de la sélection des unités de traitement en cours d'évaluation [16]. Il s'agit de :

- Réactivité et l'inflammabilité de la matière ;
- Quantité de matière dangereuse ;
- Interruption de l'activité ;
- Pression et température d'exploitation ;
- L'historique des incidents d'incendie et d'explosion liés au même type d'unité de traitement.

La destruction d'un équipement critique ou peu disponible dans le marché, dans ou près d'une zone de traitement, pourrait engendrer de nombreux jours d'arrêt. Quelle que soit les dommages

causés par l'incendie et/ou l'explosion, cela pourrait créer de grandes pertes dues à l'interruption des activités. La perte de tel équipement critique justifie sa sélection, comme unité de traitement pertinente [16].

Il n'y a pas de règles strictes et rapides concernant le choix des unités de traitement pour l'évaluation. Pour déterminer quelle pièce d'un équipement, au plus grand potentiel d'incendie et d'explosion, il est recommandé de consulter les ingénieurs expérimentés de l'installation, les spécialistes de la sécurité des procédés et de la prévention des pertes ou autres ayant une expérience dans le procédé.

### **II-5.1.2. Facteur matière (MF)**

Le facteur matière représente le taux intrinsèque de libération de l'énergie potentielle causée par un incendie ou une explosion produite par la combustion et/ou réaction chimique des produits chimiques présents. Il est le point de départ fondamental du calcul du *F & EI* et joue un rôle essentiel dans sa valeur. Ce facteur est obtenu à partir des paramètres  $N_R$  qui caractérise la réactivité et  $N_F$  qui caractérise l'inflammabilité des produits chimiques [17].

L'annexe -A- fourni une liste des produits chimiques principalement utilisés dans les procédés chimiques (*Chemical Process Industries (CPI)*) et de leur MF. Pour les produits chimiques non listés, les données peuvent être obtenues à partir de la fiche de données de sécurité (*FDS*) [17].

Si les produits chimiques ne sont pas répertoriés dans les *FDS* ou dans l'Annexe -A-, le facteur MF peut être déterminé à partir des valeurs des paramètres  $N_F$  et  $N_R$ , applicables pour des températures allant jusqu'à 60°C. Le facteur MF pour les produits chimiques / matières exposés à des températures supérieures à 60°C doit être ajusté par la procédure appelée « température d'ajustement du facteur matière ». Les valeurs d'inflammabilité ( $N_F$ ), et de réactivité ( $N_R$ ) et leurs descriptions qualitatives sont présentées dans le Tableau II-1 et le Tableau II-2, respectivement [17].

**Tableau II-1 : Guide de détermination du facteur de matière (MF) et les classifications NF [16]**

| Liquids & Gases<br>Flammability or<br>Combustibility <sup>1</sup> | NFPA<br>325 M<br>or 49 | Reactivity or Instability |                    |                    |                    |                    |
|---|------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   |                        | N <sub>R</sub> = 0        | N <sub>R</sub> = 1 | N <sub>R</sub> = 2 | N <sub>R</sub> = 3 | N <sub>R</sub> = 4 |
| Non-combustible <sup>2</sup>                                      | N <sub>F</sub> = 0     | 1                         | 14                 | 24                 | 29                 | 40                 |
| F.P > 200°F   | N <sub>F</sub> = 1     | 4                         | 14                 | 24                 | 29                 | 40                 |
| 100 °F < F.P < 200 °F   | N <sub>F</sub> = 2     | 10                        | 14                 | 24                 | 29                 | 40                 |
| 73 °F < F.P > 100°F or<br>F.P < 73 °F and BP ≥<br>100 °F          | N <sub>F</sub> = 3     | 16                        | 16                 | 24                 | 29                 | 40                 |
| F.P < 73 °F & BP <<br>100 °F                                      | N <sub>F</sub> = 4     | 21                        | 21                 | 24                 | 29                 | 40                 |
| <b>Combustible Dust or Mist<sup>3</sup></b>                       |                        |                           |                    | 24                 | 29                 | 40                 |
| St-1 (K <sub>st</sub> ≤ 200 bar m/sec)                            |                        | 16                        | 16                 | 24                 | 29                 | 40                 |
| St-2 (K <sub>st</sub> = 201-300 bar m/sec)                        |                        | 21                        | 21                 | 24                 | 29                 | 40                 |
| St-3 (K <sub>st</sub> > 300 bar m/sec)                            |                        | 24                        | 24                 | 24                 | 29                 | 40                 |
| <b>Combustible Solids</b>   |                        |                           |                    | 24                 | 29                 | 40                 |
| Dense > 40 mm thick <sup>4</sup>                                  | N <sub>F</sub> = 0     | 4                         | 14                 | 24                 | 29                 | 40                 |
| Open < 40 mm thick <sup>5</sup>                                   | N <sub>F</sub> = 1     | 10                        | 14                 | 24                 | 29                 | 40                 |
| Foam, Fiber, Powder,<br>etc <sup>6</sup>                          | N <sub>F</sub> = 2     | 16                        | 16                 | 24                 | 29                 | 40                 |

- FP= *Flash Point* (point d'éclair) ;
- BP= *Boiling Point* (point d'ébullition).

Légende :

- <sup>1</sup> : Comprend les matières volatiles ;
- <sup>2</sup> : Ne brûlera pas à l'air lorsqu'il est exposé à une température de 1500 ° F (816 ° C) pendant une période de cinq minutes ;
- <sup>3</sup> : Les valeurs de K<sub>st</sub> pour 16 L ou plus dans un récipient expérimental fermé avec une grande source d'inflammation. Voir la norme *NFPA 68*, Guide pour la décharge des déflagrations ;
- <sup>4</sup> : Comprend le bois à 2 pouces d'épaisseur nominale, les lingots de magnésium, les piles étanches des solides et les rouleaux de papier étanches ou d'un film plastique ;
- <sup>5</sup> : Comprend les matières granulaires épaisses tels que les granules de plastique ;
- <sup>6</sup> : Comprend les produits en caoutchouc.

**Tableau II-2 : Description qualitative des valeurs de réactivité (N<sub>R</sub>) [16]**

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>N<sub>R</sub> = 0</b> | <p>Les matières généralement stables, même en cas d'incendie qui comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les matières qui ne réagissent pas avec l'eau ;</li> <li>• Les matières qui présentent une réaction exothermique à <math>300^{\circ}\text{C} &lt; T &lt; 500^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>  |
| <b>N<sub>R</sub> = 1</b> | <p>Les matières qui sont normalement stables, mais instables à des pressions (P) et températures(T) élevées, comprennent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les matières qui changent ou qui se décomposent lors de l'exposition à l'air, à la lumière ou à l'humidité ;</li> <li>• Les matières qui présentent une réaction exothermique à <math>150^{\circ}\text{C} &lt; T &lt; 300^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>  |
| <b>N<sub>R</sub> = 2</b> | <p>Les matières qui subissent une transformation chimique violente à P et T élevées, qui comprennent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des matières qui présentent une réaction exothermique à <math>T &lt; 150^{\circ}\text{C}</math> ;</li> <li>• Les matières qui peuvent réagir violemment avec l'eau ou former un mélange explosible avec de l'eau.</li> </ul>  |
| <b>N<sub>R</sub> = 3</b> | <p>Les matières susceptibles de provoquer une détonation, une décomposition ou une réaction explosive en présence d'une grande source initiale ou chauffé en ambiance confinée avant l'initiation. Qui comprend généralement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les matières qui sont sensibles aux chocs thermiques ou mécaniques à P et T élevés,</li> <li>• Les matières qui réagissent de manière explosive avec de l'eau, même en absence de chaleur ou de confinement.</li> </ul> |
| <b>N<sub>R</sub> = 4</b> | <p>Les matières susceptibles de provoquer une détonation, une décomposition explosive ou une réaction explosive à P et T normale, y compris les matières sensibles au choc thermique ou mécanique localisé.</p>   |

L'ajustement de la température est effectué lorsque la température de l'unité de traitement étudiée est supérieure à 60°C. Aucun ajustement n'est requis pour la matière qui présente une réactivité à une température inférieure à 60°C [16].

L'ajustement de la température du MF est obtenu en utilisant le tableau II-3. "Le démarrage exothermique" est la température à laquelle la chaleur générant la température de réaction chimique est détectée dans un calorimètre adiabatique de réaction (ARC) ou calorimètre similaire [16].

**Tableau II-3 : Température d'ajustement du facteur matière [1]**

| Température d'ajustement du facteur matière  | N <sub>F</sub> | S <sub>t</sub> | N <sub>R</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|
| a. Entrez N <sub>F</sub> (S <sub>t</sub> pour les poussières) et N <sub>R</sub>  |                |                |                |
| b. Si la température < 60 °F, aller à "e"  |                |                |                |
| c. Si la température est au-dessus démarrage exothermique et du point d'éclair ou si la température > 60 °F, tapez "1" sous N <sub>F</sub> |                |                |                |
| d. Si la température est supérieure à son auto-inflammation, entrez "1" sous N <sub>R</sub> .  |                |                |                |
| e. Additionner chaque colonne, mais entrez 4 lorsque la somme est 5.   |                |                |                |
| Utilisation de "e" et le tableau 3-1, pour déterminer MF   |                |                |                |

### II-5.1.3. Facteur de risque de l'unité de traitement (F3)

Le facteur de risque de l'unité de traitement intègre tous les facteurs qui sont susceptibles de contribuer à l'apparition d'un incident d'incendie et d'explosion. La valeur numérique du facteur de risque de l'unité de traitement est déterminée par le risque du procédé général et le risque du procédé spécial qui sont décrits ci-après.

#### II-5.1.4. Risque du procédé général (F1)

Le risque du procédé général est l'ensemble des éléments qui ont historiquement joué un rôle important dans la détermination de l'ampleur des incidents potentiels, et sont applicables à la plupart des conditions du procédé. Le risque du procédé général comprend six éléments, à savoir, les réactions chimiques exothermiques, les procédés endothermiques, manipulation et transfert de la matière, unités de traitement ouvertes ou fermés, l'accès, le drainage et le contrôle des déversements, bien qu'il puisse ne pas être nécessaire d'appliquer chacun d'eux [16].

A cet effet, le risque du procédé général est la somme des scores attribués à chaque élément.

#### II-5.1.4.1. Cas des réactions chimiques exothermiques

Les scores attribués aux réactions chimiques exothermiques ne concernent que les réacteurs où les réactions chimiques ont lieu. Ces réactions sont classées en plusieurs catégories et chacune reçoit un score différent (Tableau II-4). Les réactions chimiques considérées comprennent [17] :

**Tableau II-4 : Score des réactions chimiques exothermique [16]**

| Réaction exothermique  | Score |
|--|-------|
| Réaction exothermique légère (y compris l'hydrogénation, l'hydrolyse, l'isomérisation, la sulfonation et la neutralisation)                            | 0,30  |
| Réaction exothermique modérée (y compris l'alkylation, l'estérification, les réactions d'addition, l'oxydation, la polymérisation, et la condensation) | 0,5   |
| Réaction exothermique critique-au contrôle (tel que l'halogénéation)   | 1     |
| Réaction exothermique particulièrement sensible (tel que la nitration)   | 1,25  |

#### II-5.1.4.2. Cas des procédés endothermiques

Tous les procédés endothermiques dans un réacteur requièrent un score de 0,2, et lorsque l'énergie est fournie par la combustion d'un combustible solide, liquide ou gazeux, le score attribué est 0,4 [17].

#### II-5.1.4.3. Cas de la manutention et du transfert de la matière

Ce score considère le risque d'incendie dans l'unité de traitement au cours de la manutention, le transfert et le stockage de la matière. Le processus de chargement ou de déchargement des produits inflammables de classe I ou de type GPL avec les lignes qui peuvent être connectées ou déconnectées requiert un score de 0,50.

L'air présent dans les centrifugeuses, les réacteurs discontinus, ou les mélangeurs (inertes ou non inertes) qui pourraient initier une inflammabilité ou de réactivité requiert un score de 0,50.

Les entrepôts de stockage ou les parcs de stockage (à l'exception des réservoirs de stockage) impliquant des produits chimiques avec un risque d'incendie requièrent un score de 0,85, 0,65, 0,40 et 0,25 et dépendent de l'inflammabilité des produits chimiques manipulés.

L'utilisation des supports sans arrosage en rack ajoutera 0,20 au score [16].

#### **II-5.1.4.4. Unités de traitement couvertes / fermées**

Une zone fermée est définie comme toute zone couverte avec au moins trois côtés ou une zone délimitée par une structure à ciel ouvert avec des parois sur tous les côtés. Une construction à ciel ouvert est généralement plus efficace que toute ventilation mécanique dans un espace clos, à moins que la ventilation ne soit conçue de sorte que tous les produits inflammables peuvent être recueillis et dispersés. Dans ce cas, le score sera réduit. Les catégories sont les suivantes [16] :

- Les collecteurs de poussière situés à l'intérieur d'une zone fermée requièrent un score de 0,50 ;
- La manipulation de fluides inflammables à une température supérieure à leur point d'éclair dans un espace clos requiert un score de 0,30. Si plus de 4,54609 m<sup>3</sup> sont traités, le score sera de 0,45 ;
- Le Gaz de pétrole liquéfié (GPL) ou les liquides inflammables traités à des températures supérieures à leur point d'ébullition dans un espace clos requièrent un score de 0,60. Toutefois, si plus de 4535 Kg sont traités, le score sera de 0,90 ;
- Tous les scores ci-dessus seront réduits de 50% si la ventilation mécanique est bien conçue pour le risque d'incendie.

#### **II-5.1.4.5. L'accès**

L'unité de traitement pertinente doit avoir un accès adéquat et prêt à l'emploi. Les exigences minimales cherchent l'accès à partir de deux côtés, à partir d'une route et l'accès à une buse de moniteur pendant le fonctionnement. Les zones de traitement de plus de 929 m<sup>2</sup> ou les entrepôts de plus de 2322.6 m<sup>2</sup> avec des accès inappropriés ont un score de 0,35 [16].

#### **II-5.1.4.6. Drainage et contrôle des déversements**

Les incidents impliquant le déversement de liquides inflammables et combustibles autour ou à proximité des équipements d'un procédé ont été principalement causés par une mauvaise conception du drainage et de contrôle de déversement. Ce score est accordé seulement pour les matières dont le point d'éclair est inférieur à 60°C ou les matières traitées au-dessus de leur point d'éclair. Les principaux facteurs de ce score sont le volume total des matières combustibles ou inflammables et l'eau d'extinction d'incendie, qui sont suffisamment sûr pour

gérer de telles quantités de matières. Le drainage est calculé comme le volume combiné des opérations suivantes [17] :

- Pour des installations de procédé et de stockage, le volume total ( $V_{total}$ ) utilisé est donné par l'équation (II-3) [16] :

$$V_{total} = 100\% \text{ capacité du réservoir étudié} + 10\% \text{ réservoir voisin} \quad (\text{II-3})$$

- Le débit d'eau de lutte contre l'incendie est supposé tenir une durée de 30 minutes pour les produits chimiques courants, et 60 minutes pour les produits chimiques agricoles ou nuisibles à l'environnement.

La pénalité est attribuée selon les directives suivantes :

- L'endiguement qui empêche le déversement vers d'autres zones mais expose tout l'équipement dans la digue ou autour d'une zone plate de l'unité de traitement est affecté d'un score de 0,50 ;
- Si une cuvette ou une tranchée traverse des lignes de services publics ou ne répond pas à la distance requise, le score sera de 0,50.
- Aucun score n'est appliqué, si les exigences de conception de digues, ci-dessous sont remplies :
  - ✓ L'endiguement enveloppe trois côtés d'une zone, et les déversements piégés dans une cuvette de rétention ou non exposés aux tranchées de drainage ;
  - ✓ La surface en terre requiert 2% (au minimum) de la pente pour une cuvette ou une tranchée, tandis que la surface dure requiert 1% ;
  - ✓ Le bord le plus proche de la tranchée ou la cuvette doit être séparé d'au moins 50 pieds de l'équipement. Toutefois, si un pare-feu a été installé, la distance peut être réduite ;
  - ✓ La cuvette de rétention doit avoir au moins une capacité égale au volume total de l'eau de lutte contre l'incendie.

#### **II-5.1.5 Risque du procédé spécial (F<sub>2</sub>)**

Le risque du procédé spécial est l'ensemble des facteurs qui jouent un rôle important dans l'augmentation de la probabilité qu'un accident potentiel se produit. Ils comprennent les conditions du procédé spécifique qui, historiquement, ont contribué aux causes majeures des incidents d'incendie et d'explosion. Ces facteurs sont constitués de 12 éléments, décrits ci-dessous [16] :



### II-5.1.5.1. Matière (s) Toxique

La substance toxique suscitera des difficultés et limite la capacité des interventions d'urgence du personnel pour réduire l'ampleur d'incident. L'attribution de ce score dépend du facteur de santé ( $N_H$ ) de la matière. Pour un mélange, il suffit de prendre la plus grande valeur  $N_H$  des constituants de cette matière. L'attribution de score est donnée par l'équation (II-4) [16] :

$$\text{Score} = 0.20 \times N_H \quad (\text{II-4})$$

Le facteur  $N_H$  est défini dans la norme *NFPA 704* ou *NFPA 325 M* et joint dans l'annexe -A-. Le tableau II-5 ci-dessous résume les valeurs de  $N_H$  selon sa description qualitative.

**Tableau II-5 : Description qualitative pour déterminer le facteur de la santé  $N_H$  [16]**

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b><math>N_H = 0</math></b> | Les matières qui à courte exposition, dans des conditions d'incendie ne provoqueraient aucun risque, au-delà de certaines matières combustibles ordinaires.   |
| <b><math>N_H = 1</math></b> | Les matières qui a courte exposition pourraient causer une irritation, mais seulement des blessures résiduelles mineures, y compris celles nécessitant l'utilisation d'un appareil respiratoire filtrant approuvé.  |
| <b><math>N_H = 2</math></b> | Les matières qui à courte exposition ou une exposition intense pourraient provoquer une incapacité temporaire ou des blessures résiduelles, y compris celles nécessitant l'utilisation d'équipements de protection respiratoire ayant une alimentation indépendante en air. |
| <b><math>N_H = 3</math></b> | Les matières qui à courte exposition pourraient causer des blessures temporaires ou résiduelles graves, y compris celles nécessitant une protection de tout contact corporel.   |
| <b><math>N_H = 4</math></b> | Les matières qui a très courte exposition pourraient causer des blessures résiduelles importantes ou une fatalité.  |

### **II-5.1.5.2. Basse Pression**

Cette section est appliquée lorsque l'introduction de l'air dans un équipement (i.e. : décapants, compresseurs, etc.) pourrait créer ou augmenter le risque d'incendie ou d'explosion, autrement dit, si la pression interne de l'équipement est inférieure à la pression ambiante. Le score est attribué, si la pression absolue de l'équipement en cours d'évaluation est inférieure à 500 mm Hg et recevra 0,50. Si ce score a déjà été appliqué, il ne faut pas utiliser le score spécifié donné dans la section C : « fonctionnement dans ou près de l'intervalle d'inflammabilité », ni le score donné dans la section E : « pression de soulagement » [16].

### **II-5.1.5.3. Fonctionnement à ou près de l'intervalle d'inflammabilité**

L'introduction de l'air dans un équipement pourrait créer des risques d'incendie et / ou d'explosion en fonction des matières et les conditions de fonctionnement de l'équipement [23]. Les matières et / ou les conditions de procédé les plus dangereuses recevrons le plus grand score. Toutefois, aucun score n'est appliqué si le score donné dans la section B a été appliqué. Cette section comprend les conditions suivantes [16] :

- La manutention d'un liquide inflammable dans un réservoir de stockage avec  $N_F = 3$  ou 4, ayant une possibilité que l'air peut pénétrer dans le réservoir lors du pompage ou du refroidissement brutal de la cuve, reçoit un score de 0,50. Le soulagement de pression-dépression, par l'ouverture d'un événement ou les gaz non inertes matelassés, reçoit un score de 0,50. Quant au stockage non inerte et la manutention de liquides combustibles à des températures supérieures à leur point d'éclair, reçoit un score de 0,50.
- L'équipement qui est proche de l'intervalle d'inflammabilité de certaines matières, en cas de défaillance de l'instrumentation, reçoit un score de 0,30. Tout procédé muni d'une purge inerte pour limiter l'intervalle d'inflammabilité reçoit un score de 0,30. Les chalands ou les wagons-citernes reçoivent une pénalité de 0,30.
- Le procédé ou l'opération qui sera continuellement ou près de l'intervalle d'inflammabilité, en fonctionnement normal, recevra une pénalité de 0,80.
- d'inflammabilité, en fonctionnement normal, recevra une pénalité de 0,80.

#### II-5.1.5.4. Explosion de poussières

Ce score est appliqué à tout processus de manipulation des poussières (pulvérulentes) tel que le transfert, le mélange, le broyage, le conditionnement... Etc. Le risque provient de la variation de la pression et la pression maximale générée qui sont influencés par la taille des particules. Plus la poussière est fine, plus la variation de la pression maximale est élevée, ainsi la pression maximale générée est plus élevée, d'où le risque est plus élevé. Le score est basé sur la taille de la plage de particules de 90% de la plus grosse poussière qui est évalué à l'aide de la taille de maillage de Tyler [16]. Le tableau II-6 ci-dessous présente le score des différentes plages de taille des particules.

Tableau II-6: Scores d'explosion des poussières [16]

| Taille des particules (Micron) | Taille Tyler maillage | Score (réduire de 50% en présence d'un gaz inerte) |
|--------------------------------|-----------------------|--|
| + 175                          | 60 à 80               | 0.25   |
| 150 à 175                      | 80 à 100              | 0.50   |
| 100 à 150                      | 10 à 150              | 0.75   |
| 75 à 100                       | 150 à 200             | 1.25   |
| < 75                           | > 200                 | 2.00   |

#### II-5.1.5.5. Pression de soulagement

L'augmentation de la pression de service par rapport à la pression atmosphérique pourrait provoquer la libération de matières inflammables en cas de fuite. En outre, le taux de libération augmentera avec l'augmentation de la pression de fonctionnement. Par conséquent, le score concerne la probabilité de déversement de matières inflammables causées par défaillance de certains composants dans l'unité de traitement. Il est déterminé par la procédure suivante [16] :

- Le score pour des pressions de fonctionnement de l'ordre de 0 à 1000 psi est donné par l'équation (II-5) [16] :

$$\text{Score} = 0.16109 + \frac{1.61503}{1000} P - 1.42879 \left(\frac{P}{1000}\right)^2 + 0.5172 \left(\frac{P}{1000}\right)^3 \quad (\text{II-5})$$

Où :

- P est la pression de fonctionnement.
- Pour une pression de fonctionnement supérieure à 1000 psi, le score est donné dans le tableau II-7 ci-dessus.

**Tableau II-7 : Attribution des scores aux pressions élevées pour les liquides inflammables et combustibles [16]**

|                       |      |       |       |       |               |        |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|---------------|--------|
| <b>Pression (psi)</b> | 1000 | 1500  | 2000  | 2500  | 3000 à 10000  | >10000 |
| <b>Pression(KPa)</b>  | 6895 | 10343 | 13790 | 17238 | 20685 à 69950 | >68950 |
| <b>Score</b>          | 0.86 | 0.9   | 0.96  | 0.98  | 1.00          | 1.50   |

#### **II-5.1.5.6. Basse température**

Cette section est basée sur le fait que l’alliage d’acier au carbone ou d’un autre métal peut être fragile lorsqu’il est exposé à des températures supérieures à sa température de transition fragile-ductile [23]. Aucun score ne doit être appliqué s’il n’y a pas de possibilité de telles températures. Si le procédé utilise une construction en acier au carbone et fonctionne à ou en dessous de sa température de transition déformable / fragile, le score attribué est de 0,30. Les autres matières reçoivent un score de 0,20.

#### **II-5.1.5.7. Quantité de matière inflammable / instable**

La présente section porte sur l’effet des quantités de matière inflammable et instable qui peut provoquer un risque. Il existe trois catégories, calculées séparément en considérant seulement une catégorie applicable en fonction de la matière choisie comme le MF, et discuté ci-après.

- Liquides ou gaz dans le procédé

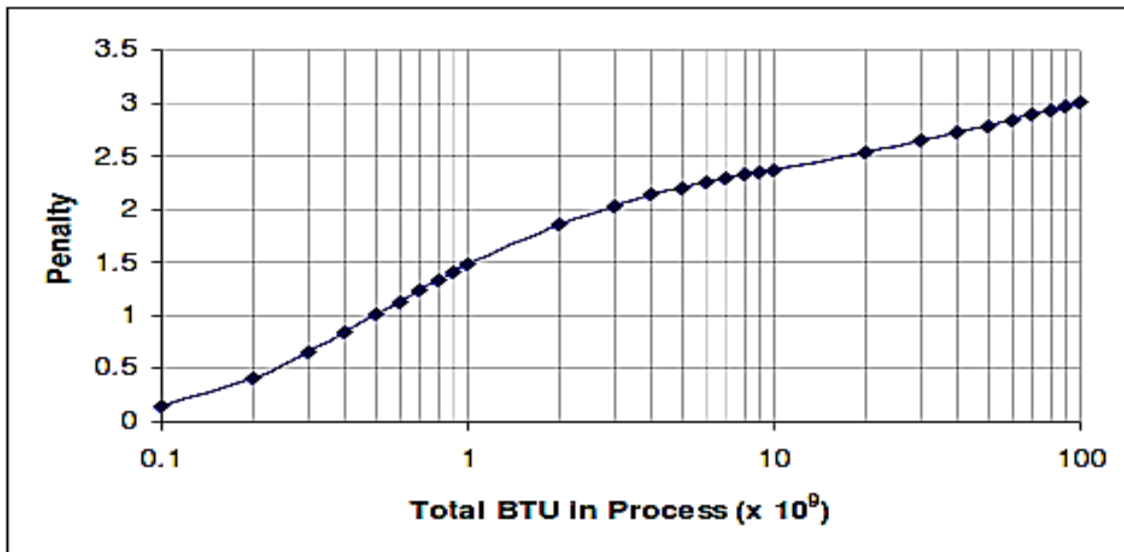


Figure II-2 : Attribution de scores des liquides ou gaz en cours de traitement (plot de l'équation II-6) [17]

La présente section considère la quantité de matière qui peut être déversée et crée un incendie, une explosion ou un événement chimique réactif [23]. L'attribution de score est basée sur le débit d'écoulement de la matière pendant 10 minutes, où la plus grande valeur entre la quantité de matière dans l'unité de traitement et la quantité de matière dans la plus grande unité connectée est appliquée. Ce score est déterminé en utilisant la figure ci-dessus ou donnée par l'équation (II-6), [16] :

$$\text{Log}(Y) = 0.17179 + 0.42988(\text{Log } X) - 0.37244(\text{Log } X)^2 + 0.17712(\text{Log } X)^3 - 0.029984(\text{Log } X)^4 \quad (\text{II-6})$$

Où :

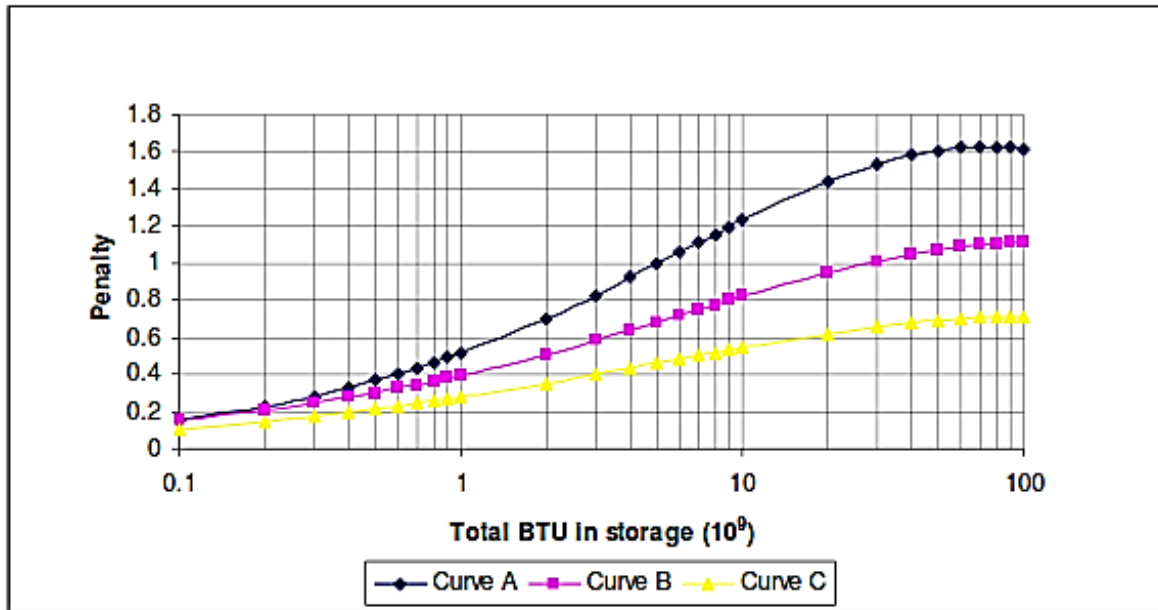
- Y est le score attribué ;
- X est l'énergie totale dans le procédé (BTU x 10<sup>9</sup>) équivalent à (1055,06 J x 10<sup>9</sup>)

Cette pénalité s'applique aux :

- Liquides inflammables et combustibles avec un point d'éclair <60 °C ;
- Gaz inflammables et les gaz liquéfiés inflammables ;
- Liquides combustibles avec F.P> 60 °C ;
- Produits chimiques réactifs.

- **Stockage des Liquides ou gaz (en dehors de la zone de traitement)**

Ce score est attribué aux liquides inflammables et combustibles dans le stockage (par exemple, fûts, réservoirs, matières dans les parcs de stockage, récipients portatifs, conteneurs, etc.), où aucun procédé n'est impliqué. Il existe trois catégories qui dépendent de : la quantité de matière, du type de liquide/gaz et la chaleur de combustion ( $H_C$ ) [8]. L'attribution du score est déterminée en utilisant la figure ci-dessus ou donnée par l'équation (II-7), (II-8) et (II-9) [16]:



**Figure II-3 : Quantité de matière inflammable/instable pour les liquides ou les gaz dans le stockage [17] (plot des équations (II-7), (II-8), (II-9))**

- **Courbe A** : Gaz liquéfiés

$$\text{Log}(Y) = 0.289069 + 0.472171(\text{Log } X) - 0.074585(\text{Log } X)^2 + 0.01864(\text{Log } X)^3 \quad (\text{II-7})$$

- **Courbe B** : liquides inflammables de classe I (F.P < 38°C)

$$\text{Log}(Y) = 0.403115 + 0.378703(\text{Log } X) - 0.046402(\text{Log } X)^2 - 0.015379(\text{Log } X)^3 \quad (\text{II-8})$$

- **Courbe C** : Liquides combustibles (38°C < F.P < 60°C)

$$\text{Log}(Y) = 0.558394 + 0.363321(\text{Log } X) - 0.057296(\text{Log } X)^2 - 0.057296(\text{Log } X)^3 \quad (\text{II-9})$$

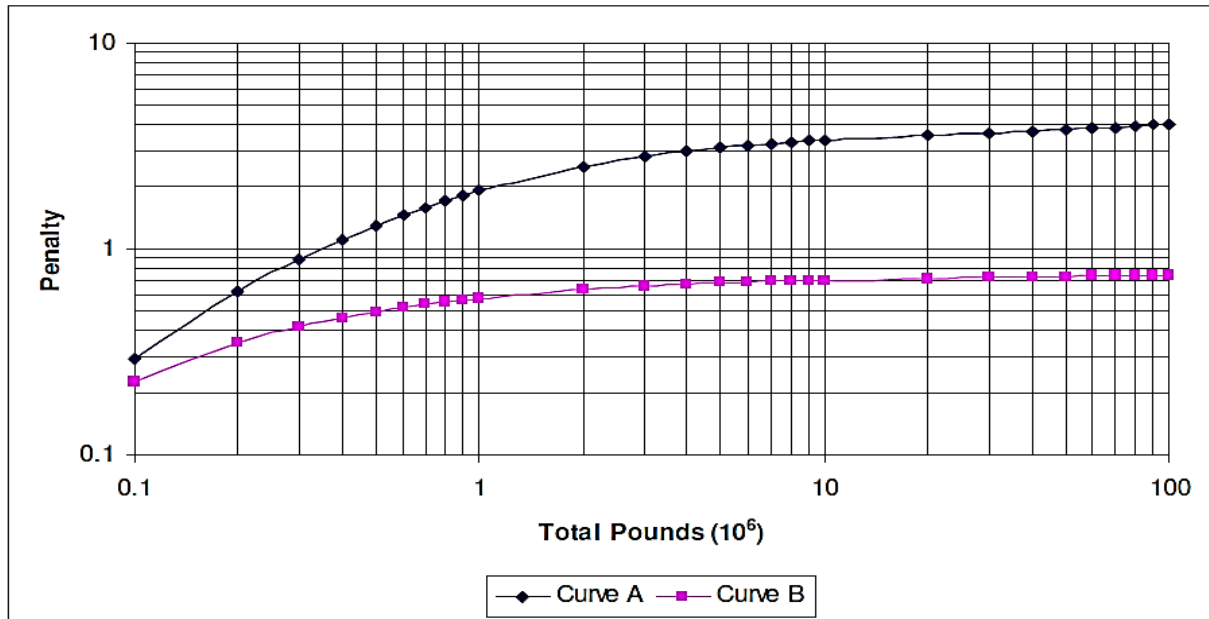
Où :

- Y est le score attribué ;
- X est l'énergie totale dans le procédé (BTU x  $10^9$ ).

- **Stockage des combustibles solides / Poussière dans le procédé**

Cette catégorie couvre les quantités de matières combustibles solides et les poussières stockées, lorsqu'elles sont classées en tant que matières de base pour le MF [17].

Le score dans cette évaluation est basé sur : la densité de la matière, sa facilité d'ignition, et sa capacité de maintenir une flamme. Il est déterminé par la figure II-4 ou les équations (II-10) et (II-11) [16].



**Figure II-4 : Les combustibles solides dans le stockage/ Poussière dans le procédé [17] (plot des équations (II-10) et (II-11))**

Les équations de la courbe A et B de la figure II-4, pour la détermination du score en fonction de la quantité du produit combustibles sont :

- **Courbe A** : matériaux avec une densité < 10 lb/ ft<sup>3</sup>

$$\log Y = 0.280423 + 0.464559(\log X) - 0.28291(\log X)^2 + 0.066218(\log X)^3 \quad (\text{II-10})$$

- **Courbe B** : matériaux avec une densité > 10 lb/ ft<sup>3</sup>

$$\log Y = -0.358311 + 0.459926(\log X) - 0.141022(\log X)^2 + 0.02276(\log X)^3 \quad (\text{II-11})$$

Où :

- Y présente le score ;
- X le poids total en livres de matières combustibles solides ou de poussières stockées.

#### **II.5.1.5.8. Corrosion et érosion :**

Certains problèmes de corrosion/érosion peuvent se manifester dans les installations. Le taux de corrosion est considéré comme étant la somme des taux de corrosion internes et externes [23]. Les scores suivants doivent être appliqués [16] :

- Pour un taux de corrosion inférieur à 0,127 mm/an, avec un risque de piqûres ou d'érosion locale, le score attribué est de 0,10 ;
- Pour un taux de corrosion supérieur à de 0,127 mm/an et inférieur à 0,254 mm/an, le score attribué est de 0,20 ;
- Pour un taux de corrosion supérieur à 0,254 mm/an, le score attribué est de 0,50 ;
- Si le risque de fissuration par corrosion sous tension pourrait se développer, le score appliqué est de 0,75. Cela se produit dans les zones de traitement contaminé par la vapeur de chlore pendant des périodes prolongées ;
- Si le revêtement est nécessaire pour empêcher la corrosion, le score attribué est de 0,20. Cependant, si le revêtement a pour but de protéger le produit et de garder ces caractéristiques comme la couleur, aucun score n'est appliqué.

#### **II.5.1.5.9. Fuite des joints / conditionnement**

La fuite des liquides inflammables ou combustibles peut être trouvée dans les joints, les joints des articulations, les arbres ou le conditionnement, en particulier lorsqu'un cycle thermique et de pression se produit. Le score doit être sélectionné en fonction de la conception de l'unité étudiée et la matière utilisée dans le procédé. Les scores suivants doivent être appliqués [16] :

- Lorsque les pompes et les joints de cartouche sont susceptibles de causer des fuites de nature mineure, le score attribué est de 0,10 ;
- Si la fuite se manifeste régulièrement dans les pompes, les compresseurs, et les joints de bride, le score attribué est de 0,30 ;
- Pour les procédés dans lesquels un cycle thermique et de pression se produit, le score attribué est de 0,30 ;
- Si la matière dans l'unité de traitement pénètre dans sa nature ou elle se présente sous forme d'une pâte abrasive qui peut provoquer des problèmes d'étanchéité et si l'unité de traitement utilise un joint d'arbre rotatif, le score attribué est de 0,40 ;
- Pour toute unité de traitement munie de fenêtres vitrées, des soufflets assemblés ou des joints de dilatation, le score attribué est de 1,50.



### II.5.1.5.10. L'utilisation des équipements à combustion

La présence d'appareils alimentés dans un procédé augmente la probabilité d'inflammation lorsque des liquides inflammables, des vapeurs ou des poussières combustibles sont libérés. Le score considère les risques supplémentaires produits par ces équipements, il est basé sur la distance en pieds d'un point de fuite probable dans l'unité de traitement en cours d'évaluation de l'équipement alimentés, et il est déterminé à l'aide de la figure II-5, ou donné par l'équation (II-12) et (II-13) [16]

○ **Courbe Above Flache Point** : lorsque le produit libéré est en-dessus de son point d'éclair et pour les poussières combustibles.

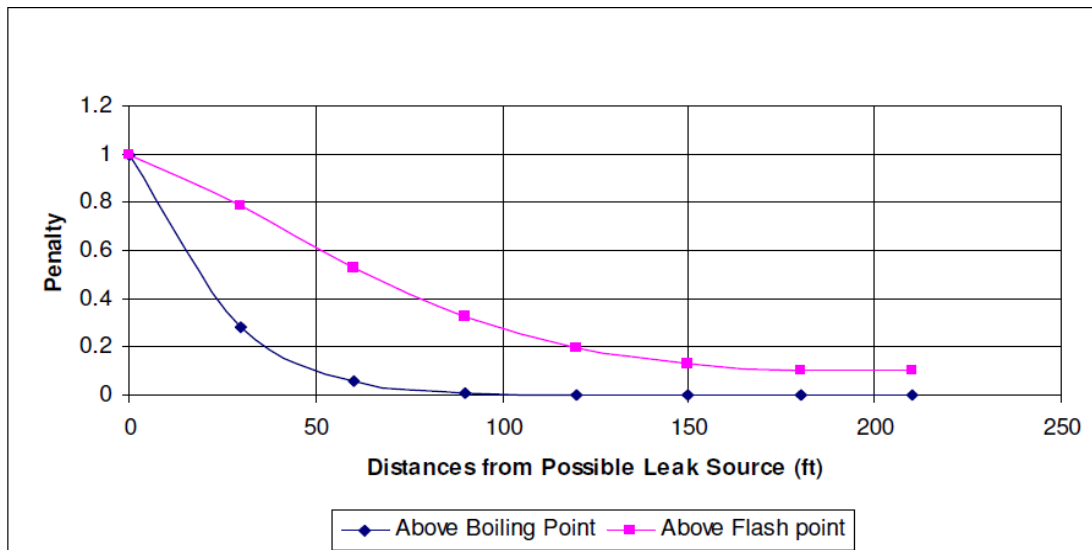
$$\log Y = -3.3243 \left(\frac{X}{210}\right) + 3.75127 \left(\frac{X}{210}\right)^2 - 1.42523 \left(\frac{X}{210}\right)^3 \quad (\text{II-12})$$

○ **Courbe Above Boiling Point** : Lorsque le produit libéré est en-dessus de son point d'ébullition.

$$\log Y = -0.3745 \left(\frac{X}{210}\right) - 2.70212 \left(\frac{X}{210}\right)^2 + 2.09171 \left(\frac{X}{210}\right)^3 \quad (\text{II-13})$$

Où :

- Y représente le score ;
- X la distance en pied (équivalent à 0,3048 m).



**Figure II-5 : Score pour les équipements à combustion [17]**

#### II.5.1.5.11. Système d'échange de chaleur par l'huile chaude

La plupart des fluides d'échange de chaleur sont utilisés au-dessus de leurs points d'éclair ou leurs points d'ébullition, ils représentent un danger supplémentaire dans toute unité de traitement. Les scores dans cette section sont basés sur la quantité et la température de ces fluides. Aucun score n'est attribué si l'huile chaude est non-combustible ou, si un fluide combustible est toujours utilisé en dessous de son point d'éclair [23]. La quantité de fluide utilisé dans le calcul du score correspond à la valeur minimale d'un déversement de 15 minutes d'une rupture de la ligne de service ou, l'inventaire de l'huile chaude dans le système de circulation d'huile chaude active. Le tableau II-8 résume le score pour différentes quantités de fluide d'échange de chaleur.

**Tableau II-8 : Scores pour les systèmes d'échange de chaleur par l'huile chaud [17]**

| Quantité (m <sup>3</sup> ) | Score du fluide au-dessus de leurs points d'éclair | Score du fluide au-dessus de leurs points d'ébullition |
|----------------------------|--|--|
| < 18.9                     | 0.15   | 0.25   |
| de 18.9 à 37.9             | 0.30   | 0.45   |
| de 37.9 à 94.6             | 0.50   | 0.75   |
| > 94.6                     | 0.75   | 1.15   |

#### II.5.1.5.12. Les équipements rotatifs

Cette section présente l'exposition des unités de traitement aux risques intégrant les grandes pièces d'équipement rotatif. Statistiquement, il est indiqué que les pompes et les compresseurs, au-delà

d'un certain seuil, sont susceptibles de contribuer à un incident. Un score de 0,50 est attribué aux unités de traitement qui utilisent [16]:

- Un compresseur de plus de 600 hp (hecto pascal) ;
- Une pompe de plus de 75 hp ;
- Les agitateurs et les pompes de circulation dans lesquelles une défaillance pourrait créer un procédé exothermique en raison de l'absence de refroidissement ;
- D'autres grands équipements rotatifs à grande vitesse avec un historique de perte significative ; par exemple, les centrifugeuses.

Une fois que tous les risques du procédé spécial ont été évalués, une somme des scores appliqués doit être effectuée pour obtenir « le facteur de risque du procédé spécial (F<sub>2</sub>) ».

#### **II-5.1.6. Facteurs de crédit de contrôle des pertes**

Ces facteurs représentent les caractéristiques de contrôle des pertes qui ont été historiquement et statistiquement avérées bénéfiques, à la fois dans la prévention des incidents graves et dans la réduction de la probabilité et de l'ampleur d'un incident particulier. Il existe trois catégories de facteurs de crédit de contrôle des pertes, à savoir, le Contrôle du procédé (C<sub>1</sub>), l'isolation de la matière (C<sub>2</sub>), et la protection contre les incendies (C<sub>3</sub>) [24]. Si aucun de ces facteurs n'est appliqué à un élément particulier, le score attribué est de 1,0.

Le facteur de crédit total est donné par l'équation (II-14) [25] :

$$C (total) = C_1 \times C_2 \times C_3 \quad (II-14)$$

Les caractéristiques de contrôle des pertes et leurs facteurs de crédit respectives sont énumérés et expliqués par la suite :

#### **II-5.1.7. Le facteur de crédit de contrôle du procédé (C<sub>1</sub>)**

Le facteur de crédit de contrôle du procédé est composé de :

##### **II-5.1.7.1. Alimentation de secours**

Ce facteur de crédit est applicable si l'alimentation de secours (l'air instrument, les instruments de contrôle...) est disponible pour contrôler un incident, avec passage automatique du fonctionnement normal à l'urgence, dans ce cas un facteur de crédit de 0,98 est attribué, sinon un facteur de 1,00 doit être attribué indiquant aucun crédit [16].

#### **II-5.1.7.2. Refroidissement**

Si les systèmes de refroidissement du procédé sont conçus, avec la capacité de maintenir le refroidissement pendant au moins 10 minutes au cours d'une condition anormale, le facteur de crédit attribué est de 0,99. Et s'ils sont conçus pour fournir 150% des besoins de refroidissement pendant au moins 10 minutes, le facteur de crédit attribué est 0,97 [16].

#### **II-5.1.7.3. Contrôle d'explosion**

Si des systèmes de sécurité sont installés pour le confinement des effets de la surpression d'explosion sur des équipements qui contiennent des matières en suspension, des poussières ou des vapeurs, le facteur de crédit attribué est de 0,84.

Si des disques de rupture et / ou des événements d'explosion, qui protègent l'unité de traitement en cas de conditions anormales, le facteur de crédit attribué est de 0,98 [16].

#### **II-5.1.7.4. L'arrêt d'urgence**

Pour les systèmes de redondance (fonctionnement simultané d'un ensemble de deux composants mis en parallèle remplissant les mêmes fonctions ou missions, un seul de ceux-ci suffisant pour les réaliser.) peut s'activer et déclenchent la séquence d'arrêt en cas d'incident, le facteur de crédit attribué est de 0,98.

Si un équipement rotatif (ex : les compresseurs, les turbines et les ventilateurs) est conçu avec détection de vibrations, le facteur de crédit attribué est de 0,99 si l'équipement actionne seulement une alarme, et il est de 0,96 si elle initie un arrêt [16].

#### **II-5.1.7.5. Le contrôle informatique du procédé**

Lorsque l'installation est fréquemment utilisée sans contrôle par ordinateur, le facteur de crédit est attribué de 0,99. Et lorsqu'un logiciel avec la logique «échec- sûr » est en contrôle direct du procédé, un facteur de crédit de 0,97 est attribué. Enfin si l'une des options suivantes est utilisée [1], le facteur de crédit sera de 0,93 :

- Des entrées de champs critiques redondants ;
- Des fonctions d'annulations sur les entrées critiques ;
- Des fonctions de sauvegarde du système de contrôle.

### II-5.1.7.6. Gaz inerte

Lorsque les équipements contenant des vapeurs inflammables sont continuellement remplis avec un gaz inerte, un facteur de crédit de 0,96 est attribué. Si le système de gaz inerte a une capacité suffisante pour purger le volume total de l'unité automatiquement, le facteur de crédit attribué est de 0,94. Ce crédit n'est pas applicable si la connexion au gaz inerte est activée ou contrôlée manuellement [16].

### II-5.1.7.7. Procédures/instructions d'exploitation

L'adéquation des procédures constitue une partie importante pour le maintien du contrôle de l'installation [16]. Les instructions d'exploitation et les procédures suivantes, énumérées avec l'attribution des scores, sont considérées comme étant les plus importantes :

- Démarrage - 0,5 ;
- Arrêt programmé - 0,5 ;
- Conditions de fonctionnement normales - 0,5 ;
- Conditions de refus de fonctionnement - 0,5 ;
- Conditions de fonctionnement d'attente - 0,5 ;
- Conditions de fonctionnement revalorisés - 1.0 ;
- Redémarrage juste après un arrêt - 1.0 ;
- Conditions de redémarrage de l'usine après l'entretien -1.0 ;
- Procédures de maintenance - 1,5 ;
- L'arrêt d'urgence -1.5 ;
- Modification et extension de l'unité - 2.0 ;
- Situations de défaut anormal prévisible - 3,0.

Le calcul du facteur de crédit, est effectué en utilisant l'équation (3-14) suivante :

$$Y = 1.00 - \frac{X}{150} \quad \text{(III-15)}$$

Où :

- Y représente le facteur de crédit ;
- X représente la somme des scores.

#### **II-5.1.7.8. Inventaire des produits chimiques réactive**

L'utilisation documentée d'un programme de révision des produits chimiques réactifs, y compris les nouveaux produits relatifs au changement du procédés, leur stockage et leur manutention, est une fonction importante de contrôle des pertes.

Lorsque ce programme est un élément permanent des opérations, un facteur de crédit de 0,91 est attribué. Et si la révision se fait uniquement de façon occasionnelle, un facteur de crédit de 0,98 est attribué [16].

#### **II-5.1.7.9. Autres Analyses de risque du procédé**

Les scores a attribué aux différentes méthodes d'analyses des risques sont [16] :

- Évaluation quantitative des risques (*QRA*) – 0.91 ;
- Analyse des conséquences détaillée – 0.93 ;
- L'analyse par arbre de défaillances – 0.93 ;
- Etude *Hazard and Operability (HAZOP)* – 0.94;
- L'analyse des modes de défaillances et leurs effets (*FMEA*) – 0.94 ;
- L'environnement, la santé, la sécurité et revue de prévention de perte – 0.96 ;
- Etude *what-if* - 0.96 ;
- *Check list* d'évaluations - 0.98 ;
- Management du changement – 0.98.

#### **II-5.1.8. Le facteur de crédit de l'isolation de la matière (C<sub>2</sub>)**

Le facteur de crédit de l'isolation de la matière est composé des éléments suivants :

##### **II-5.1.8.1. Les vannes de contrôle à distance**

Si l'unité évaluée dispose des vannes d'isolement actionnées à distance un score de 0,98 est attribué. Et s'ils sont entretenus annuellement, le facteur de crédit attribué est de 0,96 [17].

##### **II-5.1.8.2. Vidange / purges**

Lorsqu'un réservoir de vidange d'urgence peut être utilisé directement pour recevoir le contenu de l'unité de traitement en toute sécurité, le score attribué est de 0,98. Et si le réservoir de vidange est situé en dehors de la zone de traitement le score est de 0,96. Enfin si la matière à l'état gazeux

/vapeur est acheminée vers un système de torche ou à un récepteur fermée de l'évent, attribuer score de 0,96. Un événement lié à un système de torche recevrait un crédit de 0,98 [16].

### **II-5.1.8.3. Drainage**

Pour éliminer un déversement important, dans les entrepôts de stockage ou l'unité de traitement, il est jugé nécessaire de prévoir une pente conduisant à une fosse d'évacuation.

Si 100% du contenu du plus grand réservoir, avec 10% du réservoir voisin pourrait être libéré, et une heure de bon fonctionnement du système de déluge / sprinkler sont satisfaisants, un score de 0,91 est attribué. Si la conception de drainage permettra une mise en commun d'un déversement important, mais peut gérer les déversements mineurs, un score de 0,97 est attribué. Les réservoirs de stockage qui contiennent une cuvette de rétention sur les quatre côtés pour retenir les déversements ne reçoivent pas de crédit [16].

### **II-5.1.8.4. Verrouillage**

Si un procédé est muni d'un système de verrouillage qui empêche le flux de matières de produire des réactions indésirables, un score 0,98 est accordé [16].

## **II-5.1.9. Le facteur de crédit de protection contre l'incendie (C3)**

Le facteur de crédit de protection contre l'incendie est composé de :

### **II-5.1.9.1. Détection des fuites**

Si les détecteurs de gaz sont installés avec une seule alarme permettant d'identifier la zone, le score est de 0,98. Et lorsqu'un détecteur de gaz est muni de deux alarmes et actionne un système de protection avant que la limite inférieure d'inflammabilité soit atteinte, le score est de 0,94[16].

### **II-5.1.9.2. Charpentes d'acier**

Lorsque l'ignifugation est appliquée à tout support de charge en acier d'une hauteur minimale de 5 mètre, un score de 0,98 est utilisé. Si elle s'étend au-dessus de 5 mètre et moins de 10 mètre, le score est de 0,97. Et pour une ignifugation supérieure à 10 mètre, le score est 0,95[16].

### **II-5.1.9.3. Approvisionnement en eau d'extinction**

Lorsque la pression d'alimentation est supérieure ou égale à 690 KPa, le score attribué est 0,94. Et si la pression d'alimentation est inférieure à 690 KPa, le score est 0,97 [16].

Un score de 0.97 est accordé si l’approvisionnement en eau d’extinction est capable de fonctionner pour une période de quatre heures. Pour moins de quatre heures, l'eau d'incendie doit être appropriée aux opérations à faible risque [16].

#### II-5.1.9.4. Systèmes particuliers

Les systèmes particuliers comprennent le CO<sub>2</sub>, halons, les détecteurs de fumées et de flammes et les murs anti-explosion pour les compartiments. Un score de 0,91 est attribué pour ces systèmes [16]. Il est à noter que les halons ont un impact négatif très fort sur la couche d’ozone. Ainsi, ils ne sont plus utilisés.

#### II-5.1.9.5. Les systèmes sprinkler

Le score attribué aux systèmes déluge est de 0,97. Le système de déluge (à tête ouverte) reçoit le crédit minimal, car de tels systèmes comportent de nombreux composants, chacun d’entre eux pourrait être partiellement ou complètement défaillant, produisant ainsi, un effet négatif sur le fonctionnement et l'efficacité du système. De plus, le système déluge est utilisé en combinaison avec d'autres fonctions de contrôle des pertes sur les interventions opérationnelles relativement dangereuses, d’où son bénéfice individuel est moins.

Les score pour les tuyaux vides / remplis à l'intérieur des zones de production et les entrepôts sont calculés comme suit :

**Tableau II-9: Score des systèmes de déluge [21]**

| Taux d’occupation     | Conception          |                    | Score        |            |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------|------------|
|                       | gmp/ft <sup>2</sup> | lpm/m <sup>2</sup> | Tuyau rempli | Tuyau vide |
| <b>Léger</b>          | 0.15 - 0.20         | 6.11 - 8.15        | 0.87         | 0.87       |
| <b>ordinaire</b>      | 0.21 - 0.34         | 8.56 - 13.8        | 0.81         | 0.84       |
| <b>Très dangereux</b> | ≥ 0.35              | ≥14.3              | 0.74         | 0.81       |

Les tuyaux vides/ remplis des systèmes sprinklers (à tête fermée) sont à 99,9% plus fiables, avec une très faible probabilité de refus de sollicitation des vannes de déluge.

Il suffit de multiplier les facteurs ci-dessus par les scores suivants, qui sont basés sur la superficie confiné avec pare-feu :



- Surface > 10,000 ft<sup>2</sup> (929 m<sup>2</sup>) = 1,06 ;
- Surface > 20 000 ft<sup>2</sup> (1858 m<sup>2</sup>) = 1,09 ;
- Surface > 30,000 ft<sup>2</sup> (2 787 m<sup>2</sup>) = 1,12.

Il est à noter que, tant que la surface d'un incendie est importante (dans un entrepôt par exemple), le score sera attribué d'un score de 1.06 à 01.12, ce qui accroîtra le facteur de crédit de contrôle des pertes et le MPPD.

#### **II-5.1.9.6. Les rideaux d'eau**

L'utilisation de rideaux automatiques de pulvérisation d'eau entre une source d'inflammation et une fuite de vapeur potentielle peut être efficace pour réduire le potentiel d'inflammation du nuage de vapeur.

Un score de 0.98 est accordé pour un seul niveau de gicleurs à une altitude maximale de 5 mètre. Pour un deuxième niveau de gicleurs, qui ne dépassant pas 2 mètre au-dessus du premier niveau, recevra un score de 0,97 [23].

#### **II-5.1.9.7. Les mousses**

Si le système de protection de la zone comprend la capacité d'injection de la mousse dans un système d'extincteurs à partir d'une station de contrôle manuelle à distance, un score de 0,94 est attribué. Et lorsqu'il est totalement automatique, le score attribué est de 0,92.

Les systèmes manuels d'application de la mousse sur les réservoirs ouverts/ à toit flottant reçoivent un score de 0,97. Un score de 0,94 est accordé, lorsque les dispositifs de détection d'incendie sont utilisés pour l'actionnement du système de mousse. Les systèmes de mousses souterrains et les chambres à mousses installés sur les citernes à toit conique reçoivent un score de 0,95.

L'application de la mousse autour de l'enveloppe extérieure d'un réservoir de liquide inflammable reçoit un score de 0,97 si elle est appliquée manuellement, et 0,94 s'il est automatique [23].

#### **II-5.1.9.8. Les extincteurs à main**

S'il existe un approvisionnement adéquat des extincteurs à main et portatifs, en cas de risque d'incendie, un score de 0,98 est attribué. Le score accordé aux extincteurs à main ne convient pas pour les zones de traitement, où de grandes quantités de matières liquides inflammables ou combustibles peuvent être déversées.

Si des canons ont également été installés, un score de 0,97 est attribué. Et si ces derniers peuvent être commandés à distance, le score sera 0,95. Et enfin les canons équipés d'une capacité d'injection de mousse reçoivent un score de 0,93 [16].

#### II-5.1.9.9. Protection des câbles

Les chemins de câbles électriques sont très vulnérables aux dommages causés par l'exposition au feu lorsqu'ils sont installés dans les conduites et les structures d'exploitation.

L'utilisation de 14 à 16 tôles de jauge avec un jet d'eau dirigé sur la face supérieure fournira une protection raisonnable qui justifie un score de 0,98. L'utilisation d'un matériau ignifuge sur la feuille de métal, reçoit également un score de 0,98. Si le chemin de câbles est enterré dans une tranchée, un facteur de score de 0,94 est utilisé [16].

#### II-5.1.10. L'indice d'incendie et d'explosion (F & EI)

Le calcul de l'indice d'incendie et d'explosion est utilisé pour estimer les dommages qui seraient probablement résulté d'un incident dans une usine de traitement [24]. Il est le produit du facteur de risque de l'unité de traitement ( $F_3$ ) et le facteur matière (MF), (équation II-1).

$$F\&EI = F_3 \times MF \quad (\text{II-1})$$

Le tableau II-10, présente la liste des valeurs de l'indice  $F \& EI$  avec le degré de danger.

**Tableau II-10 : Degré de danger pour F&EI [16]**

| <b>DEGRÉ DE DANGER POUR F&amp;EI</b> |                        |
|--------------------------------------|------------------------|
| <b>Indice F&amp;EI</b>               | <b>Degré du danger</b> |
| 1-60                                 | Léger                  |
| 61-96                                | Modéré                 |
| 97-127                               | Intermédiaire          |
| 128-158                              | Fort                   |
| >159                                 | Grave                  |

#### II-5.1.11. Le rayon d'exposition

Il est défini par le rayon dans lequel tous les équipements qui seront exposés à un incident potentiel. Pour les grands équipements, le rayon commence à partir de la surface de l'équipement, alors que pour les petits équipements le rayon commence au centre de l'élément considéré [7]. Pour l'obtenir, l'indice  $F & EI$  est converti en rayon d'exposition en utilisant l'équation (II-16) ou la figure II-6 [26]:

$$Y = 0.84 \times X \quad (\text{II-16})$$

Où :

- Y présente le rayon d'exposition ;
- X l'indice  $F&EI$

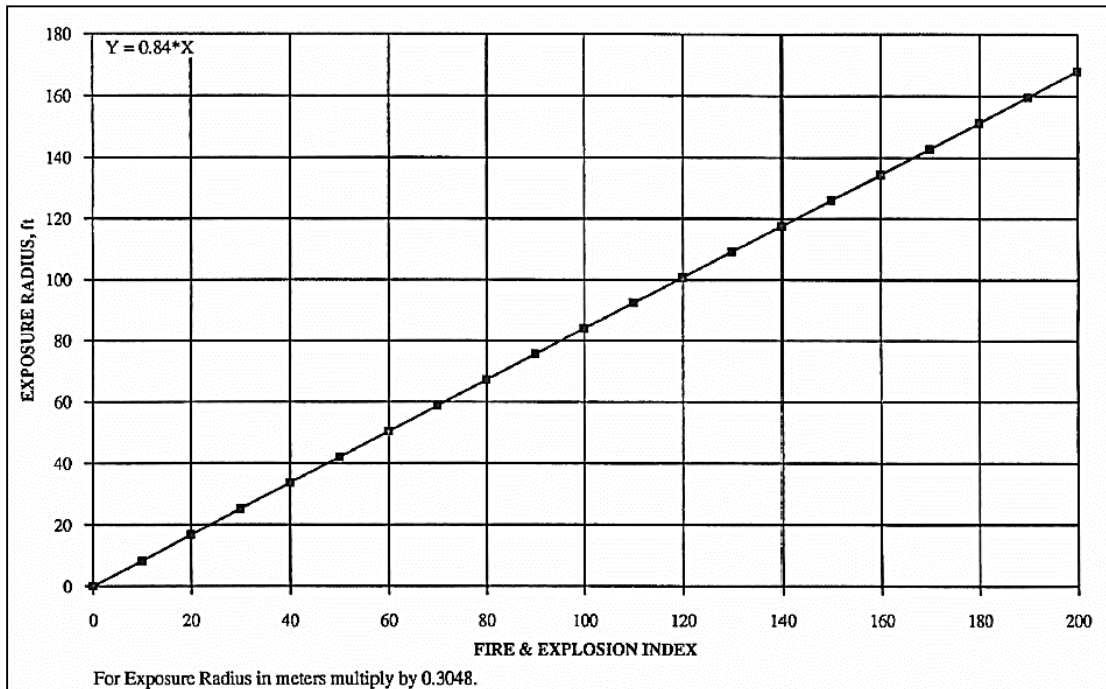


Figure II-6 : Rayon d'exposition [16]

### II-5.1.12. La zone d'exposition

La zone d'exposition est déterminée à partir du rayon d'exposition, formulé par la surface d'un cercle [16].

Tous les équipements situés dans la zone d'exposition seront exposé au danger. Une meilleure hypothèse peut également être faite en prenant un volume cylindrique au-dessus de l'équipement en cours d'évaluation avec une hauteur égale au rayon de l'exposition.

### II-5.1.13. Valeur de la zone d'exposition :

La valeur de la zone d'exposition est obtenue à partir de la valeur de remplacement de la propriété, y compris l'inventaire du matériel [16], équation (II-17).

$$\text{Valeur du remplacement} = \text{Coût d'origine} \times 0.82 \times \text{Le facteur d'indexation} \quad (\text{II-17})$$

Le facteur 0,82 est alloué aux éléments de coût qui ne sont pas soumis à la perte ou au remplacement, tels que les routes, et les lignes de métro. En outre, le facteur d'indexation est déterminé à partir d'une estimation d'ingénierie.

### II-5.1.14. Facteur de dommage

Le facteur de dommages correspond aux effets résultant d'une libération de l'énergie contenue dans une unité de traitement [27]. Il est déterminé à partir du facteur de risque de l'unité de traitement ( $F_3$ ) et le facteur matière (MF) en utilisant la figure II-7.

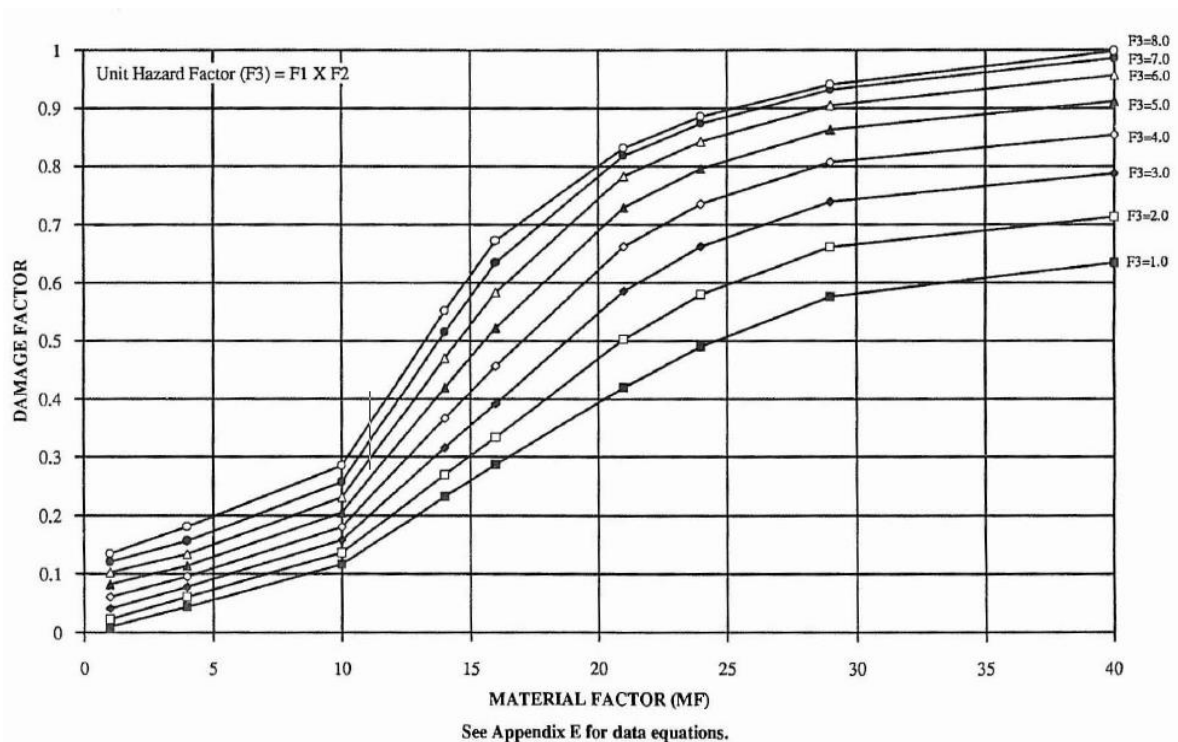


Figure II-7 : Facteur du dommage [21]

### II-5.1.15. Le dommage matériel maximal probable de Base (*Base MPPD*)

Le MPPD de base est le *coût* (en dollars US) de perte de l'équipement évalué ou la perte des biens au sein de la zone d'exposition. Il est basé sur la valeur de la zone d'exposition et le facteur de dommages, comme représenté dans l'équation (II-18) [28].

$$\text{MPPD de Base} = \text{valeur de la zone d'exposition} \times \text{facteur du dommage} \quad (\text{II-18})$$

Le MPPD de base est calculé sur la base qu'aucun des facteurs de contrôle des pertes ne réduit le dommage.

### II-5.1.16. Le dommage matériel maximal probable réel (*actuel MPPD*)

Le contrôle de perte des caractéristiques d'un équipement permettra de réduire l'ampleur d'un incident, et donc les dommages. A cet effet, pour estimer le MPPD réel, le MPPD de base doit être modifié en fonction des caractéristiques de contrôle des pertes comme le montre l'équation (II-19) [16].

$$\text{MPPD réel} = \text{MPPD de base} \times \text{Facteur de crédit de contrôle des pertes} \quad (\text{II-19})$$

### II-5.1.17. Jours probables maximum d'interruption d'activité (*MPDO*)

L'interruption des activités ne comprend pas seulement les dommages matériels, mais aussi la perte des produits et des stocks qui vont déterminer la valeur de MPDO. Par exemple, les pertes dépendent de la capacité à constituer le produit, ainsi, la perte des profits en raison de la fermeture de l'usine [17].

Pour obtenir la valeur de MPDO, il est nécessaire d'avoir déterminé le MPPD réel de la zone d'exposition et se référer ensuite à la figure II-8.

Les équations des courbes de la figure II-8 pour le MPPD (X) en fonction des jours d'interruption des activités (Y) sont les suivantes [17] :

Pour une limite de probabilité supérieure à 70%

$$\log Y = 1.550233 + 0.598416(\log X) \quad (\text{II-20})$$

Normale

$$\log Y = 1.325132 + 0.592471(\log X) \quad (\text{II-21})$$

Pour une limite de probabilité inférieure à 70%

$$\log Y = 1.045515 + 0.160426(\log X) \quad (\text{II-22})$$

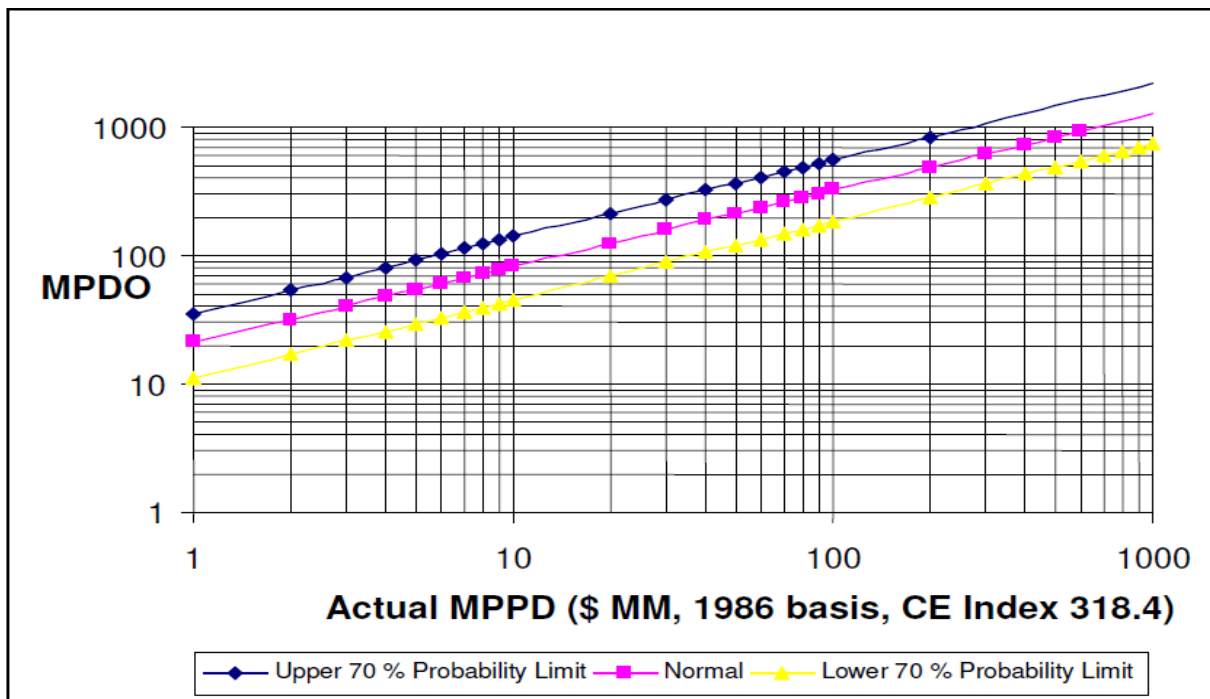


Figure II-8: Détermination des jours probables maximum d'interruption d'activité [2]

#### II-5.1.18. Interruption des activités (BI)

Le calcul de l'interruption des activités (BI) en dollars américains se fait comme suit (équation II-23).

$$BI = \frac{MPDO}{30} \times VPM \times 0.70 \quad (\text{II-23})$$

VPM est la Valeur de la Production par Mois, et 0,70 représente les coûts fixes et les profits [27].

#### II-5.1.19. Formulaire de l'indice d'incendie et d'explosion

*Dow Fire and Explosion Index* est la méthode d'analyse des risques utilisée dans cette recherche. Tous les résultats obtenus dans cette section seront introduites dans un formulaire présenté dans la figure II-9 [21].



## **CHAPITRE III**

### **APPLICATION DE LA MÉTHODE *F&EI***



La mise en pratique de notre méthodologie consiste en premier lieu, à présenter l'entreprise d'accueil SONATRACH et l'unité d'étude : module de traitement de gaz naturel MPP4. Nous exposerons ensuite la sélection des équipements critique par le logiciel PHAST et en troisième lieu l'application de la démarche F&EI pour chaque équipement en utilisant un programme MATLAB.

### III-1. Présentation de l'entreprise d'accueil

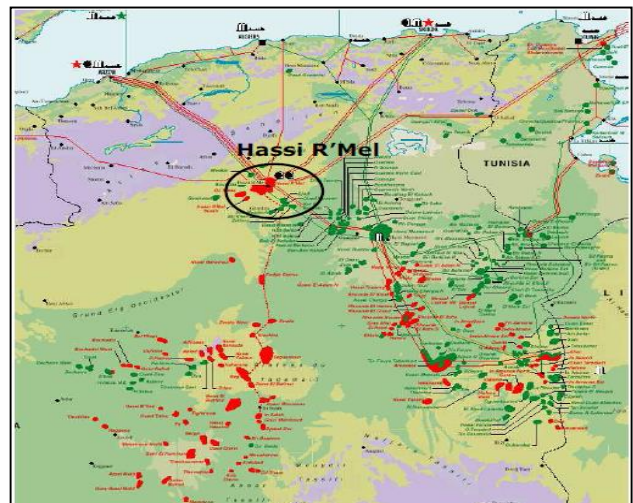
#### III-1.1. SONATRACH

SONATRACH est la compagnie nationale algérienne pour la recherche, la production, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures dérivés. Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement des eaux de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent. Elle est la première entreprise du continent africain et occupe une place de premier plan au niveau mondial.

SONATRACH est divisé en quatre Activités : Amont, Aval, Transport par canalisation et Commercialisation. La Division Production (DP) fait partie intégrante de l'Activité Amont. Les sites de production de la DP sont répartis selon neufs Directions Régionales. [29]

#### III-1.2. La Direction Régionale Hassi R'Mel

La Direction Régionale Hassi R'Mel se situe à 550 km au Sud d'Alger et à 100 km au Sud de la ville de Laghouat (figure III-1). Le champ ayant été découvert en 1956 s'étale sur plus de 3500 km<sup>2</sup>.



**Figure III-1 : Situation géographique Hassi R'mel [1]**

Il est l'un des plus grands gisements de gaz à l'échelle mondiale. Ces produits seront traités dans des unités industrielles pour obtenir en fin les produits finaux : GPL, Condensât, gaz sec, et huile. [30]

La Direction Régionale Hassi R'Mel englobe vingt unités réparties sur les trois périmètres suivants [1]:

- **Hassi R'Mel Nord** : MPP3, SBN, SCN, CTH2, CTH4 ;

- **Hassi R'Mel Centre** : MMP0, MPP1, MPP4, Communs, SBC, SRGA, CSTF, CTH1, CTH3 ;
- **Hassi R'Mel Sud** : MPP2, SBS, SCS, HR Sud, CTH Sud.

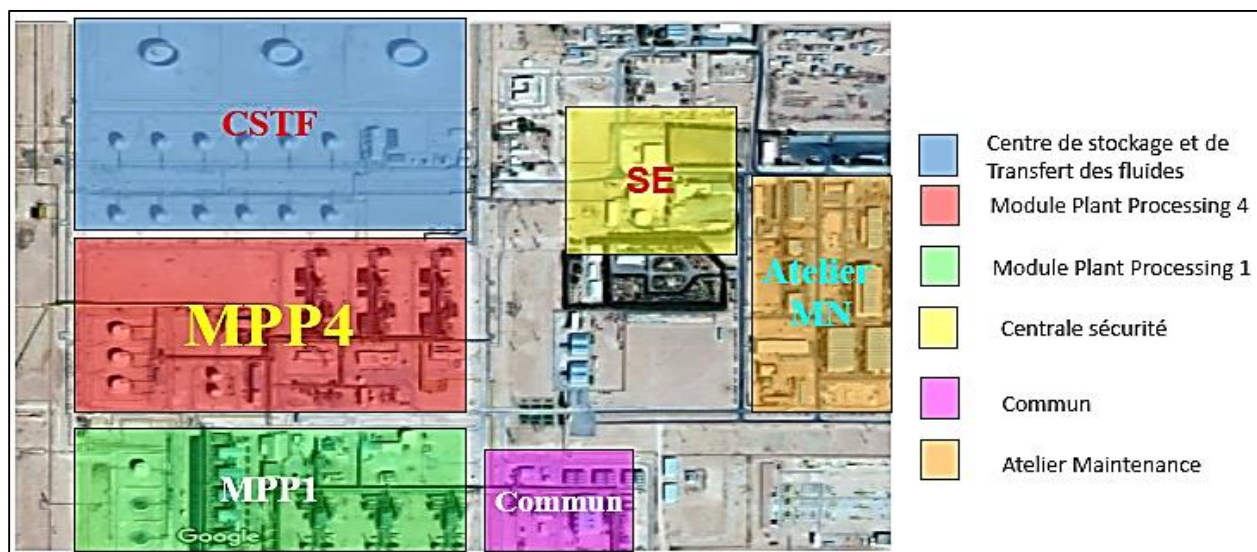
### III.1.3. Description du procédé de traitement MPP4

L'usine de traitement de gaz naturel MPP4 permet de traiter 60 millions de Sm<sup>3</sup>/jour de gaz brut afin de produire du gaz sec (de vente ou de réinjection), du condensat et du GPL. Le centre de dispatching national (CNDG) reçoit le gaz produit et le centre de stockage et de transfert (CSTF) reçoit le condensat et le GPL [30].

Le module 4 comprend les unités suivantes :

- 3 Trains identiques qui assurent le traitement du gaz brut et la récupération du condensat et GPL ;
- Une section de re-compression du gaz à moyenne pression qui provient des trains ;
- Une section de Gaz combustible ;
- Une section de dégazage, d'expédition et de stockage des condensats produits ;
- Une section d'expédition, de stockage et de vaporisation du GPL produit ;
- 2 unités de régénération du glycol hydraté. [30]

La localisation des installations du Module 4 (MPP4) est présentée sur la vue aérienne du site ci-dessous (Figure III-2).



**Figure III-2: Vue aérienne des installations du module 4 (MPP4)**

Le gaz brut en provenance des puits producteurs est un mélange d'hydrocarbures (gaz et hydrocarbures liquides) contenant une faible proportion d'eau de gisement. A l'entrée de l'usine de traitement MPP4, il a une pression d'environ 140 bars et une température de 65°C.

Le traitement se déroule en quatre phases principales (Figure III-3) [29]:

- **Déshydratation**

Absorption de l'eau de saturation des hydrocarbures par injection de glycol et régénération de ce dernier avant son recyclage à nouveau dans le système de déshydratation.

- **Séparation du gaz des hydrocarbures liquides**

C'est le refroidissement du gaz brut par aéro-réfrigérant et récupération d'hydrocarbures liquide par gravité dans le premier ballon de séparation. Le gaz saturé du premier séparateur subit une série de détentes et passe par différentes phases de refroidissement, qui permettent la condensation de tous les hydrocarbures liquides et obtenir du gaz sec au dernier ballon de séparation.

- **Stabilisation et fractionnement**

Les hydrocarbures liquides sont stabilisés dans la première colonne de distillation pour éliminer les gaz légers (éthane et méthane) en tête de colonne et récupérer la phase liquide au fond de la colonne pour son fractionnement. Les hydrocarbures liquides stabilisés sont fractionnés en condensat et GPL dans la deuxième colonne de distillation. Les deux produits sont refroidis puis expédiés vers CSTF (Centre de stockage et de Transfer).

- **Compression des gaz à moyenne pression**

Les gaz récupérés des ballons de séparation à moyenne pression et ceux provenant de la colonne de stabilisation, sont comprimés à nouveau par un turbocompresseur et mélangés au gaz sec produit.

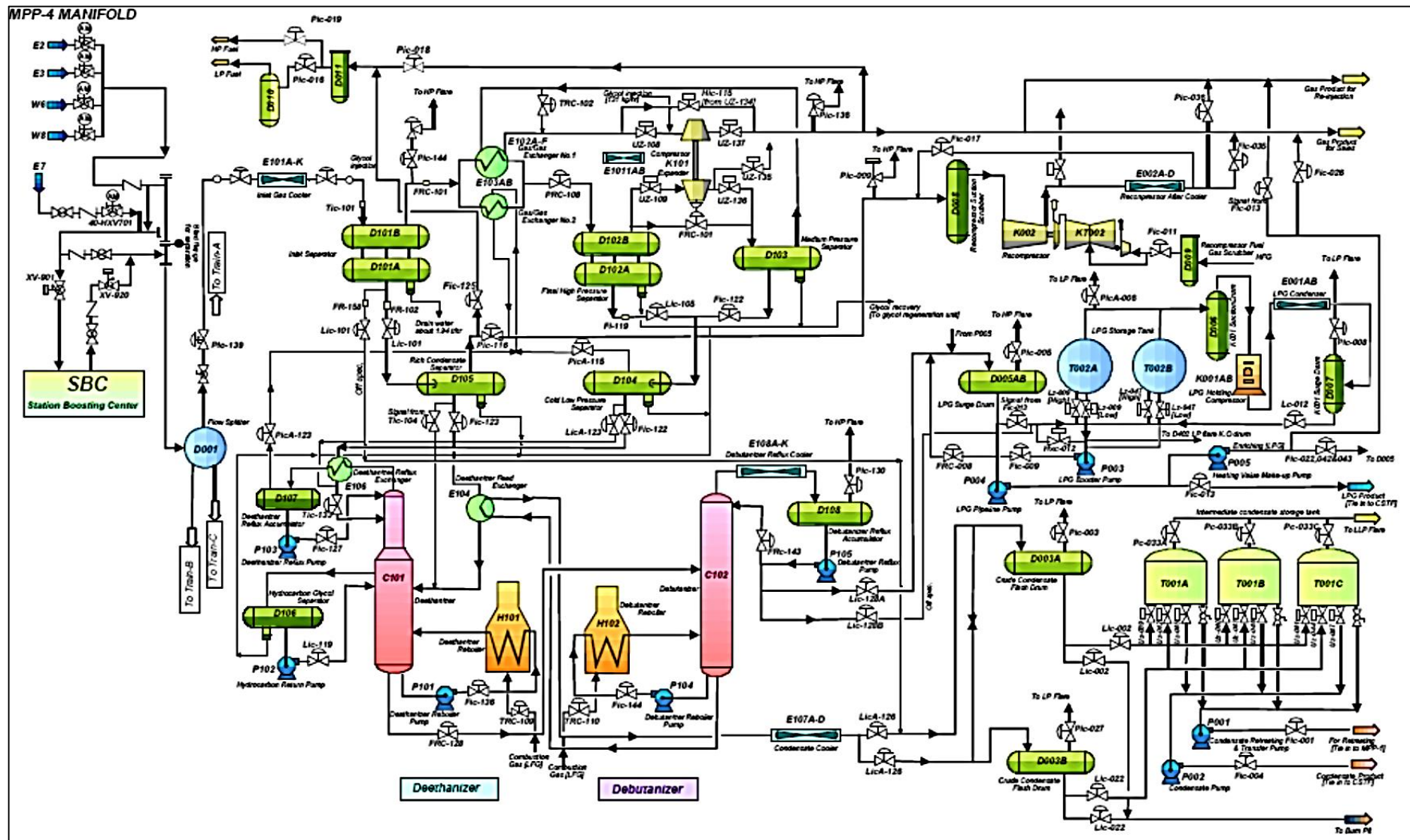


Figure III-3: procédé de traitement du MPP4

## **III-2. Choix de l'unité de traitement**

Pour le choix de l'unité de traitement pertinente, la méthode Dow's Fire & Explosion Index recommande de consulter les experts dans le domaine de la sécurité et de l'exploitation, ce qui n'est pas évident dans certaines situations. Dans notre cas, nous avons utilisé le logiciel PHAST pour simuler les rayons d'exposition en fonction des effets de surpression et de radiation thermique. Par la suite, nous prendrons l'équipement ayant le plus grand rayon d'exposition.

### **III-2.1. Présentation de l'outil de simulation**

Le logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool), est un outil d'analyse des risques d'une installation industrielle. Il simule l'évolution d'un rejet accidentel d'un produit toxique et/ou inflammable, depuis la fuite initiale jusqu'à la dispersion atmosphérique en champ lointain, et évalue les conséquences des fuites de gaz, des incendies, des explosions, de la toxicité et des autres dangers technologiques reliés à diverses industries. [31]

La démarche consiste, pour chaque phénomène, à déterminer les zones d'atteinte, en prenant toujours la situation la plus pénalisante :

- Le terme source de l'accident : type et conditions thermodynamiques du rejet, masse mise en jeu, durée et débit du rejet.
- Le phénomène mis en jeu : dispersion atmosphérique d'une phase vapeur, gaz et/ou aérosol, écoulement de liquide en flaque sur le sol.
- Les effets des phénomènes accidentels.

#### **III-2.1.1. Estimation des effets de surpression**

Le modèle utilisé pour estimer les effets de surpression, est le TNT. Il consiste à assimiler les surpressions produites par l'inflammation d'un nuage de produit inflammable, à celles produites par un explosif condensé (en l'occurrence le TNT). Les effets de surpression sont assimilés à ceux d'une explosion de type détonation.

- 160 mbar : Premiers dégâts aux structures
- 300 mbar : Dégâts graves aux structures

### III-2.1.2. Estimation des effets de radiation thermique

Les calculs de flux thermiques sont réalisés à partir d'un module spécifique du logiciel PHAST, et cela en fonction du phénomène simulé.

Les seuils thermiques suivants seront utilisés pour quantifier et mesurer les effets dominos possibles sur les structures:

- 8 Kw/m<sup>2</sup> : Dégâts aux installations non protégées,
- 32 Kw/m<sup>2</sup> : Dégâts aux installations protégées.

### III-2.2 Modélisation du phénomène

Dans cette partie, nous allons présenter un exemple de simulation du scénario de défaillance d'un séparateur gaz/liquide sur le logiciel PHAST. Le site comporte une multitude de séparateurs gaz/liquide ou même tri-phasiques (Tableau III-1). Afin de les représenter, le séparateur du gaz d'admission D101 A/B sera étudié en raison des volumes et pression élevés dont il est le siège.

**Tableau III-1: différents séparateurs du train de MPP4**

| Type                               | Équipement |
|------------------------------------|------------|
| Séparateur du gaz d'admission      | D101 A/B   |
| Séparateur final de haute pression | D102 A/B   |
| Séparateur de moyenne pression     | D103       |
| Séparateur de basse pression       | D104       |
| Séparateur de condensat riche      | D105       |
| Diffuseur d'admission              | D001       |
| Ballon de torche haute pression    | D401       |
| Ballon de torche basse pression    | D402       |
| Ballon de torche basse pression    | D403       |

### III-2.2.1. Description de l'équipement D101A/B

Les caractéristiques du séparateur sont reprises dans le tableau III-2 suivant :

**Tableau III-2 : Caractéristiques du séparateur D101A/B**

| Caractéristiques               | Valeurs                                    |
|--------------------------------|--|
| Type d'installation Séparateur | D101A (phase gaz) et D101B (phase liquide) |
| Substance                      | Gaz/Condensat                              |
| T service (°C)                 | 48.9                                       |
| P service (bar)                | 102  |
| P maximal (bar)                | 253.5                                      |
| Volume (m <sup>3</sup> )       | D101A : 32,1 / D101B : 48,66               |

Le séparateur D101A/B horizontal est alimenté par un ballon de distribution de gaz brut, en séparant les composants par différence de densité, le mélange d'hydrocarbures arrive à une extrémité et est projeté sur un déflecteur brisant l'émulsion. Par différence de densité, l'huile tombe au fond du cylindre, le gaz s'accumule dans la partie supérieure et l'eau étant plus lourde que l'huile, un système interne de séparation permet d'éliminer une partie importante de l'eau présente dans le brut arrivant des puits.

Le séparateur D101A/B est muni notamment de :

- Indicateurs de niveau haut;
- Alarmes de niveau;
- Alarmes de pression haute (suite à une montée en niveau);
- Sécurité de pression haute ;

D'autres mesures de prévention/protection sont présentes dans la zone de l'équipement :

- Programme d'inspection ;
- Moyens d'interventions mobiles (camion mixte, lances-canons, motopompes) ;
- Permis de travail et de circulation ;
- Zone ATEX.

### **III-2.2.2. Description des événements redoutés**

D'après l'étude de danger, l'événement redouté est une rupture complète et instantanée du séparateur [29]. Les fuites seront donc la perte de confinement d'une quantité importante d'hydrocarbures liquides (C5+) et gazeux. Les scénarios redoutés qui seront étudiés sont [29] :

- Un feu de flaque ;
- Une explosion retardée (VCE) ;
- Un feu chalumeau ;
- une boule de feu.

### **III-2.2.3. Démarche de modélisation**

La modélisation d'un séparateur se décompose en trois parties. Les conditions opératoires considérées pour le modèle sont 48.9°C et 102 bars. La pression de rupture (253.5 bar) est la pression maximale donnée par le constructeur à laquelle le séparateur subit une perte de confinement, elle est utilisée pour les calculs de boule de feu.

#### **III-2.2.3.1. Rupture du séparateur**

Nous considérons d'abord les séparateurs D101A et B remplis de gaz (méthane), de volume de 80.76 m<sup>3</sup>, avec une densité de 80.7 kg/m<sup>3</sup>. En utilisant l'équation ci-dessous, nous obtenons une masse de 6517 kg.

$$\text{Masse (kg)} = \text{Volume (m}^3\text{)} \times \text{densité (kg/m}^3\text{)} \quad (\text{III-1})$$

Les séparateurs sont ensuite considérés remplis de liquide (pentane), de volume de 80.76 m<sup>3</sup>, avec une densité de 631.2 kg/m<sup>3</sup>, nous obtenons une masse de 50975 kg.

#### **III-2.2.3.2. Grande fuite gazeuse**

La plus grande fuite peut avoir lieu au niveau de la ligne de connexion sur le séparateur. Le débit d'alimentation est de 860390 kg/h (240 kg/s). Le temps de fuite envisagé est de 10 minutes. La masse associée au débit est de 144000 kg ajouté à la masse contenue dans les équipements (D101A et B) soit un total de 150517 kg.

#### **III-2.2.3.3. Grande fuite liquide**



La plus grande fuite peut avoir lieu au niveau de la ligne de connexion sur le séparateur. Le débit d'alimentation est de 42.47 kg/s. Le temps de fuite envisagé est de 10 minutes. La masse utilisée dans le modèle est donc de 25482 kg ajouté à la masse contenue dans les équipements (D101A et B) soit un total de 76457 kg.

#### **III-2.2.4. Données de modélisation**

Nous avons collecté les données suivantes pour le logiciel :

Phénomène dangereux : Rupture du séparateur (les séparateurs D101A et B remplis de gaz)

- Données climatiques (source : étude d'impact SONATRACH Hassi R'mel) :

vitesse moyenne du vent = 16 m/s

Stabilité = D

- Données sur la substance dangereuse (gaz brut) :

Substance : Méthane

Masse : 6517 kg

- Données pour la carte des effets :

Le pas = 1 m

La distance max de l'étude : 210 m (car la longueur de l'unité =210 m)

- Données nécessaire au model :

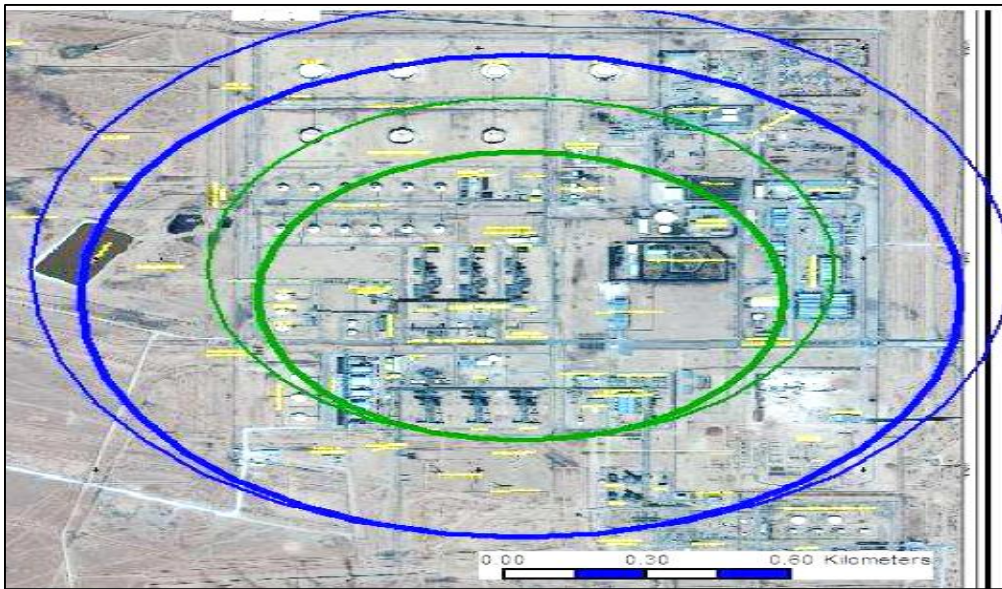
Le rendement TNT : nous avons pris 10%, valeur attribuée aux hydrocarbures (gaz naturel);

Durée de la fuite proposée par le logiciel : 10 minutes

#### **III-2.2.5. Analyse des conséquences**

Les résultats des simulations des effets de surpression et de radiation thermique pour chaque phénomène obtenues par le logiciel PHAST sont décrits ci-dessous

### III-2.2.5.1. VCE



**Figure III-4 : Cartographie des effets de la surpression du VCE au niveau du séparateur**

Le tableau N° III-3 reprend les distances d'effets de surpression associées au phénomène de VCE pour une rupture catastrophique de la partie gaz du séparateur. Les cercles d'effets sont illustrés sur la carte satellite.

**Tableau III-3 : distances d'effet du VCE au niveau du séparateur**

|                                     |      |     |     |     |
|-------------------------------------|------|-----|-----|-----|
| <b>Niveau de surpression (mbar)</b> | 25   | 50  | 160 | 300 |
| <b>Distance d'effet (m)</b>         | 1020 | 651 | 354 | 273 |

### III-2.2.5.2. Boule de feu

Les distances d'effets thermiques et les caractéristiques associées au phénomène de boule de feu suite à une rupture catastrophique du séparateur sont reprises dans le tableau suivant.

**Tableau III-4: Distances d'effet de la boule de feu au niveau du séparateur**

|   |    | <b>Distance d'effet (m)</b> |
|---|----|-----------------------------|
| <b>Niveau de radiation thermique (KW/m<sup>2</sup>)</b> | 8  | 308                         |
|   | 32 | 129                         |
| <b>Rayon (m)</b>  |    | 56                          |
| <b>Durée (s)</b>  |    | 8.36                        |
| <b>Hauteur max (m)</b>                                  |    | 113                         |

### III-2.2.5.3. Feu de flaque

Le tableau suivant reprend les distances d'effets thermiques et les caractéristiques associées au phénomène de feu de flaque suite à une grande fuite liquide.

**Tableau III-5: distances d'effet du feu de flaque au niveau du séparateur**

|   |    | <b>Distance d'effet (m)</b> |
|---|----|-----------------------------|
| <b>Niveau de radiation thermique (KW/m<sup>2</sup>)</b> | 8  | 340                         |
|   | 32 | NA                          |
| <b>Diamètre (m)</b>                                     |    | 56                          |
| <b>Durée (s)</b>  |    | 86                          |

### III-2.2.5.4. Feu de chalumeau

Le tableau suivant reprend les distances d'effets thermiques et les caractéristiques associées au phénomène de feu de chalumeau pour une grande fuite d'un séparateur.

**Tableau III-6: distances d'effet du feu de chalumeau au niveau du séparateur**

|   |    | <b>Distance d'effet (m)</b> |
|---|----|-----------------------------|
| <b>Niveau de radiation thermique (KW/m<sup>2</sup>)</b> | 8  | 207                         |
|   | 32 | 142                         |
| <b>Longueur de la flamme (m)</b>                        |    | 117                         |
| <b>Durée de la flamme (s)</b>                           |    | 600                         |

### III-2.2.6. Discussion des résultats

Pour un **VCE**, les seuils d'effets (160 mbar et 300 mbar) atteignent respectivement 354 m et 273 m. Ce type d'explosion peut causer des dommages graves à la plupart des équipements qui se caractérisent par un endommagement mécanique des installations touchées.

Pour une **boule de feu**, la zone d'effet pour les seuils de 8 kW/m<sup>2</sup> et de 32 kW/m<sup>2</sup> atteint respectivement 308 m et 129 m. Seuls les équipements inclus dans la boule de feu (56 m de rayon) sont considérés comme potentiellement endommagés.

La zone d'effet liée à un **feu de flaque** dépend de l'emplacement de la flaque. Le seuil d'effets de 32 kW/m<sup>2</sup> n'est pas atteint, mais le seuil d'effets de 8 kW/m<sup>2</sup> atteint 335 m.

Les effets de radiation thermique liés au **feu de chalumeau** dépendent de la direction du chalumeau. Les seuils de dégâts aux structures (32 kW/m<sup>2</sup> et 8 kW/m<sup>2</sup>) atteignent respectivement 148 m et 207 m.

### III-2.2.7. Zone d'effet de tous les équipements

Le tableau suivant reprend les zones d'effets associés aux phénomènes dangereux pour chaque équipement de l'unité étudiée.

**Tableau III-7 : Résultats de la simulation par PHAST des différents équipements du MPP4**

| <b>Équipement</b>     | <b>Phénomène</b>  | <b>Seuils des effets dominos</b> | <b>Zone atteinte (m)</b> |
|-----------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Séparateur D101       | VCE               | 160 mbar                         | 354                      |
|                       |                   | 300 mbar                         | 273                      |
|                       | Boule de feu      | 8 kw/m <sup>2</sup>              | 308                      |
|                       |                   | 32 kw/m <sup>2</sup>             | 126                      |
|                       | Feu de flaque     | 32 kw/m <sup>2</sup>             | NA                       |
|                       |                   | 8 kw/m <sup>2</sup>              | 335                      |
|                       | Feu de chalumeau  | 32 kw/m <sup>2</sup>             | 148                      |
|                       |                   | 8Kw/m <sup>2</sup>               | 207                      |
| Four                  | Explosion interne | 160 mbar                         | 17                       |
|                       |                   | 300 mbar                         | 11                       |
| Colonne Dé-éthaniseur | VCE               | 160 mbar                         | 570                      |
|                       |                   | 300 mbar                         | 506                      |
|                       | BLEVE             | 300 mbar                         | 106                      |
|                       |                   | 160 mbar                         | 157                      |
|                       | Boule de feu      | 8 kw/m <sup>2</sup>              | 324                      |
|                       |                   | 32 kw/m <sup>2</sup>             | 136                      |
|                       | Feu de chalumeau  | 32 kw/m <sup>2</sup>             | 36                       |
|                       |                   | 8 kw/m <sup>2</sup>              | 59                       |
| Colonne Dé-butaniseur | VCE               | 160 mbar                         | 336                      |
|                       |                   | 300 mbar                         | 233                      |
|                       | BLEVE             | 300 mbar                         | 75                       |
|                       |                   | 160 mbar                         | 111                      |
|                       | Boule de feu      | 8 kw/m <sup>2</sup>              | 293                      |
|                       |                   | 32 kw/m <sup>2</sup>             | 118                      |

| Équipement                               | Phénomène                       | Seuils des effets dominos       | Zone atteinte (m) |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  | Feu de flaque                   | 32 kw/m <sup>2</sup>            | NA                |
|  |                                 | 8 kw/m <sup>2</sup>             | 57                |
|  | Feu de chalumeau                | 32 kw/m <sup>2</sup>            | 87                |
|  |                                 | 8 kw/m <sup>2</sup>             | 115               |
| Ligne d'hydrocarbure liquide (condensat) | VCE                             | 160 mbar                        | 254               |
|  |                                 | 300 mbar                        | 243               |
|  | Feu de flaque                   | 8 kw/m <sup>2</sup>             | 211               |
|  |                                 | 32 kw/m <sup>2</sup>            | Seuil non atteint |
| Ligne de GPL                             | VCE                             | 160 mbar                        | 258               |
|  |                                 | 300 mbar                        | 216               |
|  | Feu de flaque                   | 8 kw/m <sup>2</sup>             | 161               |
|  |                                 | 32 kw/m <sup>2</sup>            | 80                |
|  | Feu de chalumeau                | 8 kw/m <sup>2</sup>             | 132               |
|  |                                 | 32 kw/m <sup>2</sup>            | 103               |
| Feu de flash                             | Effet thermique de courte durée | Pas d'effets dominos à craindre |                   |
| Ligne de gaz                             | VCE                             | 160 mbar                        | 276               |
|  |                                 | 300 mbar                        | 238               |
|  | Feu de chalumeau                | 8 kw/m <sup>2</sup>             | 315               |
|  |                                 | 32 kw/m <sup>2</sup>            | 218               |
| Bac de stockage de condensat             | VCE                             | 160 mbar                        | 413               |
|  |                                 | 300 mbar                        | 333               |
|  | Feu de flaque                   | 8 kw/m <sup>2</sup>             | 808               |
|  |                                 | 32 kw/m <sup>2</sup>            | Seuil non atteint |
| Sphère de stockage GPL                   | BLEVE                           | 300 mbar                        | 153               |
|  |                                 | 160 mbar                        | 222               |
|  | Feu de flaque                   | 8 kw/m <sup>2</sup>             | 769               |
|  |                                 | 32 kw/m <sup>2</sup>            | 392               |

| Équipement               | Phénomène        | Seuils des effets dominos | Zone atteinte (m) |
|--------------------------|------------------|---------------------------|-------------------|
|                          | Feu de chalumeau | 8 kw/ m <sup>2</sup>      | 404               |
|                          |                  | 32 kw/ m <sup>2</sup>     | 310               |
|                          | VCE              | 160 mbar                  | 263               |
|                          |                  | 300 mbar                  | 205               |
| Ballon de GPL D005       | BLEVE            | 160 mbar                  | 132               |
|                          |                  | 300 mbar                  | 89                |
|                          | Boule de feu     | 8 kw/m <sup>2</sup>       | 554               |
|                          |                  | 32 kw/m <sup>2</sup>      | 230               |
|                          | Feu de flaque    | 8 kw/m <sup>2</sup>       | 337               |
|                          |                  | 32 kw/m <sup>2</sup>      | 184               |
|                          | Feu de chalumeau | 8 kw/m <sup>2</sup>       | 388               |
|                          |                  | 32 kw/m <sup>2</sup>      | 238               |
|                          | BLEVE            | 160 mbar                  | 100               |
|                          |                  | 300 mbar                  | 67                |
| Ballon de condensat D003 | Feu de flaque    | 8 kw/m <sup>2</sup>       | 150               |
|                          |                  | 32 kw/m <sup>2</sup>      | NA                |
|                          | VCE              | 160 mbar                  | 42                |
|                          |                  | 300 mbar                  | 35                |
| Ballon de gaz D008       | Feu de chalumeau | 8 kw/m <sup>2</sup>       | 91                |
|                          |                  | 32 kw/m <sup>2</sup>      | 69                |

### III-2.2.8. Choix de l'équipement critique

Après avoir simulé tous les phénomènes dangereux qui peuvent survenir, nous avons hiérarchisé les équipements selon leur zone d'atteinte dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III-8 : Zone d'atteinte maximale de chaque équipement de MPP4**

| <b>Équipement</b>                        | <b>Zone atteinte</b> |
|--|----------------------|
| Bac de stockage de condensat             | 808 m                |
| Sphère de stockage de GPL                | 769 m                |
| Colonne Dé-éthaniseur                    | 570 m                |
| Ballon de GPL D005                       | 554 m                |
| Séparateur D101                          | 354 m                |
| Colonne Dé-butaniseur                    | 336 m                |
| Ligne de gaz                             | 315 m                |
| Ligne de GPL                             | 258 m                |
| Ligne d'hydrocarbure liquide (condensat) | 254 m                |
| Ballon de condensat D003                 | 150 m                |
| Ballon de gaz D008                       | 91 m                 |
| Four                                     | 17 m                 |

En conclusion, l'équipement critique ayant la plus grande zone d'atteinte est le bac de stockage de condensat liquide, dont les caractéristiques sont données dans le tableau III-10.



**Tableau III-9 : Caractéristiques du bac de bac de stockage**

| Type d'installation          | Bac de stockage |
|------------------------------|-----------------|
| Substance                    | Condensat       |
| Type de toit                 | Fixe            |
| T service (°C)               | 40              |
| P service (bar)              | 0.002           |
| Volume (m <sup>3</sup> )     | 7990            |
| Hauteur (m)                  | 12.8            |
| Diamètre (m)                 | 28.2            |
| Densité (kg/m <sup>3</sup> ) | 710             |

### **III-3. Application de la méthode Dow's Fire and Explosion Index**

Après avoir déterminé la hiérarchisation des équipements d'un train de l'unité de traitement de gaz naturel, dans la partie suivante nous aborderons la mise en application de la méthode *F&EI* sur le bac de stockage du condensat, et pour faciliter l'application celle-ci nous avons développé un programme MATLAB.

#### **III-3.1. Choix de l'unité de traitement**

L'unité de traitement pertinente est le bac de stockage de condensat (liquide)

#### **III-3.2. Facteur de risque du bac de stockage de condensat**

Pour obtenir le facteur de risque du bac, il faut d'abord calculer le risque du procédé général et le risque du procédé spécial.

### III-3.2.1. Risque du procédé général

- **Réaction chimique exothermique** : L'unité de traitement étudiée est un bac de stockage, il n'y a pas de réaction chimique. D'où, le score attribué est 0.
- **Réaction chimique endothermique** : La réaction chimique endothermique n'a pas lieu. Alors, le score attribué est 0.
- **Manutention et transfert de la matière** : L'unité de traitement est un entrepôt de stockage de liquide inflammable ayant  $N_F = 4$ . Nous attribuons un score de 0,85. De plus, le bac n'est pas muni de supports de construction, d'où le score ne sera pas ajusté.
- **Unité de traitement couverte/ fermée** : Le volume de condensat stocké est supérieur à  $3,785 \text{ m}^3$ . Alors, le score attribué est 0,45. D'autre part, la ventilation mécanique n'est pas utilisée dans le cas du bac, d'où le score ne sera pas ajusté.
- **Adéquation de l'accès à l'unité de traitement** : Le bac est contenu à l'intérieur d'une cuvette de rétention, d'une surface de  $4800 \text{ m}^2$ , avec des accès adéquats (rapidité d'intervention en cas d'incendie ou d'explosion). Alors, le score attribué est 0,20.
- **Drainage et contrôle des déversements** : Le bac est muni d'une cuvette de rétention qui empêche le déversement d'atteindre d'autres zones, mais expose tout l'équipement à l'intérieur de la cuvette. Ainsi, le score attribué est 0,5.

D'où

Le facteur de risque général «  $F_1$  » du bac est la somme de tous les scores des risques qui ont été évalués :

$$F_1 = 1 + \sum F_1(i) \quad (\text{III-2})$$

Ce qui donne :

$$F_1 = 3$$

### III-3.2.2. Risque lié au procédé spécial

- **Matière toxique** : Le facteur de santé  $N_H$  associé au pentane (car le condensat est riche en pentane) et donné par la norme NFPA est 1. Alors, le score attribué à cette section est obtenu par :  $0,2 \times N_H$  et donc 0,2.

- **Capacités sous vide :** Comme la pression interne du bac est inférieure à 0,67 bar, le score attribué est de 0,5.

- **Fonctionnement près de l'intervalle d'inflammabilité :** Le fonctionnement près de l'intervalle d'inflammabilité n'est pas applicable dans le cas du bac de stockage de condensat.

- **Explosion des poussières :** Pour toutes les unités de traitement, aucun score n'est appliqué à l'explosion des poussières. Car, il s'agit d'un site gazier où les hydrocarbures sont traités.

- **Système de dépression :** Aucun score n'est attribué dans cette section, car il a été pris en considération dans le point b.

- **Score attribué à la basse température :** La construction du bac est en acier au carbone et fonctionne à un intervalle de température de (-4 à 93.6 °C). Le produit condensat est stocké à une température de 40°C. A cet effet, il est approprié pour la température de calcul, donc aucun score n'est appliqué.

- **Score attribué à la quantité de matière inflammable/instable :** L'unité en cours d'évaluation (bac de stockage du condensat) est située dans une zone de procédé de traitement de gaz naturel, un simple déversement du condensat est fortement capable de provoquer un incendie ou une explosion, à cet effet la zone choisie pour notre étude est une zone de procédé.

Comme le condensat (Pentane en grand proportion) a un point d'éclair < - 40, le score (Y) du liquide combustible avec un point d'éclair < 60 °C, est en fonction de la chaleur spécifique (X) du condensat présent dans le bac H<sub>C</sub>.

Calcul de la chaleur spécifique du condensat :

- Volume total du bac (m<sup>3</sup>) = 7990;
- Le bac est rempli à 80 %, donc le volume de condensat V (m<sup>3</sup>) = 6392, correspond à m (LB) = 9310009;
- H<sub>C</sub> (BTU/LB\*10<sup>3</sup>) = 19.4 ;
- H<sub>C</sub> (BTU\*10<sup>9</sup>) = 180,61 \* 10<sup>9</sup>

$$\text{Log}(Y) = 0.17179 + 0.42988(\text{Log } X) - 0.37244(\text{Log } X)^2 + 0.17712(\text{Log } X)^3 - 0.029984(\text{Log } X)^4 \quad (\text{III-3})$$

$$Y = 10^{(0.17179+0.42988(\text{Log } H_C)-0.37244(\text{Log } H_C)^2+0.17712(\text{Log } H_C)^3 - 0.029984(\text{Log } H_C)^4)}$$

➤  $Y = 3.185$

- **La corrosion et l'érosion :** La corrosion et l'érosion sont des phénomènes qui peuvent se manifester dans les bacs de stockage, ce qui accélère la fragilité mécanique de ses parois. Selon les rapports d'inspection des bacs de stockage du condensat de Hassi R'mel, un taux de corrosion de 0,127 mm/an avec un risque de piqûres ou d'érosion locale sont relevés, à cet effet le score est de 0,10.

- **Fuites de joints et de conditionnement :** Les Fuites de nature mineure du condensat peuvent se manifester dans la ligne de connexion, les brides d'isolement, et les vannes. Le score attribué dans ce cas est de 0,10 ;

- **L'utilisation des équipements à combustion :** La probabilité d'inflammation du condensat lorsqu'il est libéré augmente en fonction de la présence d'équipements à combustion dans les zones voisines. Le score est basé sur la distance X entre la fuite et l'équipement à combustion le plus proche et la température du liquide lors de la fuite.

Dans notre cas la source d'inflammation (compresseurs) est située à X=264 m du bac, et la température du condensat en cas de la fuite est de 40°C (supérieure au point d'éclair qui est de - 40°C). Pour cela, le calcul du score est donné par l'équation suivante :

$$Y = 10^{(-3.3243 \left(\frac{X}{64.024}\right) + 3.75127 \left(\frac{X}{64.024}\right)^2 - 1.42523 \left(\frac{X}{64.024}\right)^3)} \quad \text{(III-4)}$$

D'où  $Y = 1.4161 * 10^{-5}$

- **Système d'échange de chaleur par l'huile chaude :** La section du stockage du condensat n'est pas concernée par ce type de traitement, donc aucun score n'est attribué.

- **Les équipements rotatifs :** L'unité évaluée ne possède pas d'équipement rotatif, pour cela le score dans cette section est nul.

D'où :

Le facteur de risque spécial « F<sub>2</sub> » du bac est la somme est tous les scores des risques qui ont été évalué

$$F_2 = 1 + \sum F_2(i) \quad \text{(III-5)}$$

Ce qui donne :

$$F_2 = 5.08$$

### ➤ **Facteur de risque du bac de stockage du condensat**

Le facteur de risque du bac « F<sub>3</sub> » est décrits ci-après

$$F_3 = F_1 * F_2 \quad (\text{III-6})$$

Ce qui donne :

$$F_3 = 15.24$$

### **III-3.3. Le Facteur matière du condensat**

Le facteur MF est obtenu à partir de l'inflammabilité et la réactivité de la matière, données par la norme NFPA.

Le produit contenu dans le bac est le condensat (mélange d'hydrocarbures de type C5 à C8) riche en pentane, d'où :

- N<sub>F</sub> = 4
  - N<sub>R</sub> = 0
- } Nous obtenons M<sub>F</sub> = 21

### **III-3.4. L'indice d'incendie et d'explosion du bac**

Les dommages qui résultent lors d'un incident dans un bac de stockage du condensat sont estimés par un indice calculé ci-après

$$F\&EI = F_3 \times MF \quad (\text{III-7})$$

Donc

$$F\&EI = 320.04$$

D'où le degré du danger pour l'indice F&EI est grave.

### **III-3.5. Le rayon d'exposition de l'incident du bac**

Le rayon d'incendie ou d'explosion du bac dans lequel tous les équipements seront exposés est de :

$$Rayon = 0.256 * F\&EI \quad (\text{III-8})$$

D'où

$$Rayon = 81.93 \text{ m}$$

### **III-3.6. La zone d'exposition**

La surface de la zone d'exposition est :

$$Surface = 21\,077.39 \text{ m}^2$$

### III-3.7. Valeur de la zone d'exposition

La valeur de la zone d'exposition est définie par la valeur du remplacement de l'équipement endommagé (bac), qui est donnée par l'équation suivante :

$$Valeur\ du\ remplacement = Coût\ d'origine \times 0.82 \times Facteur\ d'indexation \quad (III-9)$$

#### III-3.7.1. Coût d'origine de l'équipement

Les dimensions du bac étudié sont 92.52 pied de diamètre et une hauteur de 42 pied, ce qui correspond à un prix d'achat de 1 054 000 \$. Nous supposons que 1\$ est équivalent à 100DA.

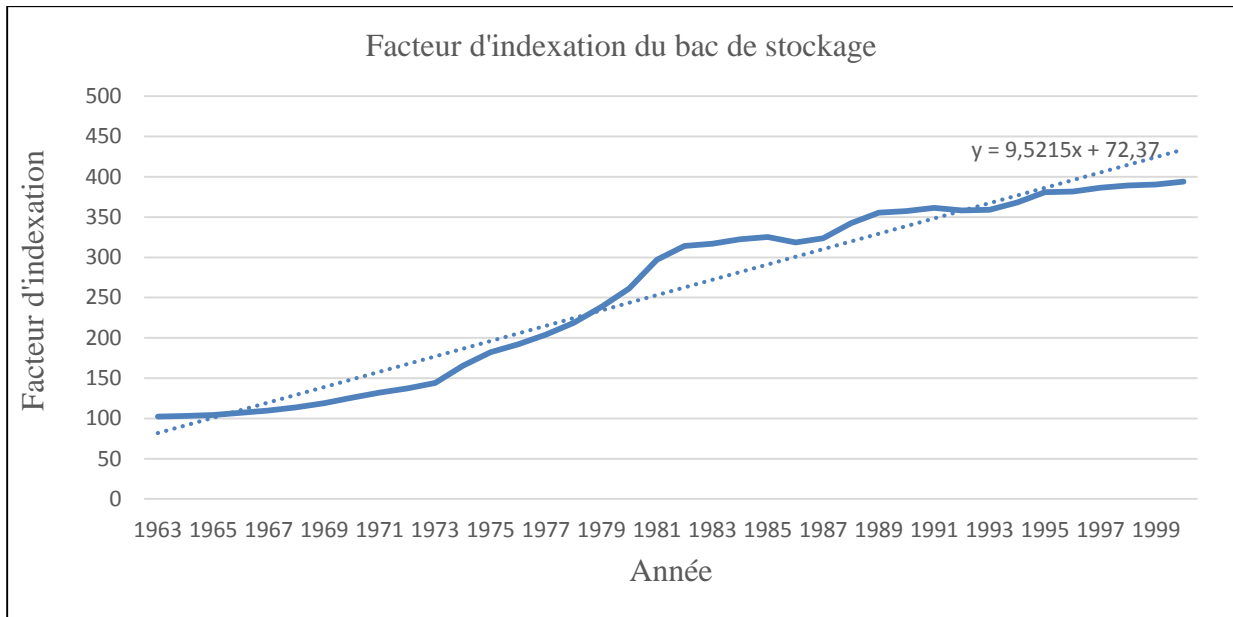
Tableau III-10 : Prix d'achat du bac en fonction de ses dimensions [32]

| Diamètre (pied) | Hauteur (pied) | Poids total (pounds) | Capacité (gallon) | Prix d'achat (\$) |
|-----------------|----------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| 47              | 40             | 123 100              | 500 000           | 157 800           |
| 57              | 40             | 176 400              | 750 000           | 214 800           |
| 66              | 40             | 228 000              | 1 000 000         | 266 100           |
| 131             | 48             | 853 600              | 5 000 000         | 1 054 000         |
| 157             | 56             | 2 226 100            | 10 000 000        | 2 040 700         |

#### III-3.7.2. Facteur d'indexation

L'estimation des coûts des équipements porte essentiellement sur la variation des coûts par inflation (correspond à une baisse durable de la valeur de la monnaie). De ce fait, ces coûts sont mis à jour au moyen d'un facteur d'indexation proposé par *The CE Plant Cost Index*.

Pour le bac de stockage, le facteur d'indexation de l'année 2015 est 586,531 qui est obtenu par la courbe de tendance qui s'étend depuis l'année 1963 jusqu'à l'année 2000.



**Figure III-5 : Facteur d'indexation du bac de stockage**

D'où, la valeur de la zone d'exposition est :

$$\text{Valeur du remplacement} = \text{Cout du bac} \times 0.82 \times \text{Facteur d'indexation} \quad (\text{III-10})$$

$$\text{Valeur du remplacement} = 1\,054\,000 \times 0.82 \times 586.531$$

Ce qui donne  $\text{Valeur du remplacement} = 506.93 \times 10^6 \text{ \$} = 50693 \times 10^6 \text{ DA}$

### III-3.8. Facteur de dommage

Le facteur de dommage est calculé à partir du facteur de risque du bac  $F_3$  et le facteur de matière MF. Comme  $F_3 = 16,02$  nous prendrons la courbe qui correspond à la valeur maximale de ce facteur ( $F_3 = 8$ ).

En remplaçant dans l'équation donnée par la courbe ayant MF= 21 :

$$\text{Facteur de dommage} = 0.340314 + 0.0765531 (X) + 0.003912 (X)^2 - 0.00073 (X)^3 \quad (\text{III-11})$$

Nous obtenons :

$$\text{Facteur de dommage} = 0.83$$

### III-3.9. Dommage matériel maximal probable de Base

La perte des biens au sein de la zone d'exposition est :

$$\text{MPPD de base} = \text{Valeur de la zone d'exposition} \times \text{Facteur de dommage} \quad (\text{III-12})$$

$$\text{MPPD de base} = 420.75 \cdot 10^6 \text{ \$} = 42075 \cdot 10^6 \text{ DA}$$

### III-3.10. Facteur de crédit de contrôle des pertes

#### III-3.10.1. Le facteur de crédit de contrôle de procédé

- **Alimentation d'urgence** : Un score de 1,00 est attribué dans notre cas, indiquant que le bac ne possède pas une alimentation de secours.
- **Système de refroidissement**: Aucun système de refroidissement n'est installé sur le bac, ce qui justifie le choix du score 1,00.
- **Contrôle de l'explosion** : Les systèmes de secours à surpression utilisés sur le bac sont : les disques de rupture et le système de torche, dans ce cas le score attribué est de 0,98.
- **L'arrêt d'urgence** : En cas de haut niveau du condensat dans le bac, le système d'arrêt d'urgence s'active et lance la séquence de fermeture des vannes de remplissage. Le facteur de crédit attribué dans ce cas est de 0,98.
- **Système de commande informatisé** : Un système redondant des indicateurs de niveau (en double), de pression et de température est installé sur le bac, ce qui justifie le choix de 0.93 comme un facteur de crédit.
- **Gaz inerte** : Le bac de stockage du condensat n'est pas muni d'un système de purge avec un gaz inerte. Alors, aucun facteur de crédit n'est attribué.
- **Procédures d'exploitation** : Les programmes de suivi du bac, lors de ces phases de cycle de vie, à savoir : en exploitation, et en maintenance est assuré par un ensemble des procédures énumérées dans ce qui suit avec leur score.

Pour les procédures de démarrage, d'arrêt programmé, les conditions de fonctionnement normales, les conditions de refus de fonctionnement, et les conditions de fonctionnement d'attente un facteur de crédit de 0.50 est attribué. Les procédures de fonctionnement revalorisé, de redémarrage juste après un arrêt et, de redémarrage du bac après l'entretien reçoivent un score de 1.00 chacune. Et enfin, le crédit pour la procédure de maintenance et d'arrêt d'urgence est de 1.50 et celui pour la procédure de modification du bac et de situation de défaut anormal prévisible de 2.00 et 3.00 respectivement.

Le facteur de crédit total de cette section, est calculé en utilisant l'équation suivante :



$$Y = 1.00 - \frac{X}{150} \quad (\text{III-13})$$

$$X = \sum X(i) = 13.5 \quad (\text{III-14})$$

D'où

$$Y = 0.91$$

• **Inventaire des produits chimiques réactifs** : Aucun produit chimique réactif n'est utilisé dans la section du stockage du condensat, donc un crédit de 1.00 est utilisé.

• **Autres Analyses de risque du procédé** : Plusieurs outils d'analyse de risque sont utilisés pour évaluer les risques du bac de stockage :

- Evaluation quantitative des risques (QRA) avec un score de 0.91,
- Analyse par arbre d'événement avec un score de 0.93,
- Analyse par arbre de défaillance avec un score de 0.93,
- Etude Hazard and Operability (HAZOP) avec un score de 0.94,
- Audit environnemental, santé, sécurité et Etude what-if avec un facteur de 0.96 chacune,
- Enfin la check list d'évaluations et le management du changement avec un facteur de 0.98 chacun.

Comme ces méthodes sont utilisées occasionnellement, nous prendrons le plus grand facteur, soit 0.98.

D'où :

Le facteur de crédit de contrôle du procédé «  $C_1$  » du bac est le produit de tous les crédits qui ont été évalué

$$C_1 = \prod C_1(i) \quad (\text{III-15})$$

Ce qui donne :

$$C_1 = 0,797$$

### III-3.10.2 Le facteur de crédit d'isolation de la matière

- **Les vannes de contrôle à distance** : Le bac de stockage est muni de vannes d'isolements actionnées à distance, qui sont inspectées annuellement. Donc, le score attribué est 0,96.
- **Vidange/ Purge** : Le bac de stockage est situé à l'intérieur d'une zone rétention (sans pente) avec des caniveaux pour recueillir le condensat, en cas de déversement, qui mènent vers une fosse de brûlage éloignée de la zone de traitement. Le score attribué est 0,96.
- **Drainage** : Le bac de stockage est à l'intérieur d'une cuvette de rétention sur quatre côtés, pour retenir les déversements, alors il ne reçoit pas de crédit.
- **Système de verrouillage** : Le système de verrouillage n'est pas applicable pour le cas du bac de stockage. Aucun score n'est attribué.

D'où

Le facteur de crédit d'isolation de la matière «  $C_2$  » du bac est le produit de tous les crédits qui ont été évalué

$$C_2 = \prod C_2(i) \quad (\text{III-16})$$

Ce qui donne :

$$C_2 = 0,922$$

### III-3.10.3 Le facteur de crédit de protection contre l'incendie

- **Système de détection des fuites de gaz** : Il n'y a pas de détecteurs de gaz dans la zone de stockage de condensat. D'où le score attribué est 1.
- **Structures en acier** : Le matériau de construction du bac est en acier ignifuge et de 12,8 m hauteur. Ainsi, le score attribué est 0,95.
- **Approvisionnement en eau d'extinction** : La pression d'alimentation en eau d'extinction est 10 bars, alors le score attribué est 0,94.
- **Les systèmes particuliers d'extinction** : La zone de stockage de condensat ne dispose pas de systèmes particuliers d'extinction telle que le CO<sub>2</sub>, le halon, les détecteurs de fumées et de flammes et les murs anti-explosion. A cet effet, le crédit attribué est 1.

- **Système sprinkler** : Les systèmes sprinkler ne sont pas applicables dans cette zone. D'où, le crédit attribué est 1.

- **Les rideaux d'eau** : La couronne de refroidissement ayant même rôle que les rideaux d'eau permet d'isoler le bac en cas d'incendie extérieur, et donc éviter les effets dominos. Avec deux niveaux de buses, le crédit attribué est 0,97.

- **Les mousses** : Le bac stockage de condensat est muni de déversoirs à mousse dans la cuvette, son application autour de l'enveloppe extérieure du condensat inflammable est automatique. Le crédit attribué est 0,94.

- **Les extincteurs à main** : L'unité de stockage de condensat est munie d'un extincteur de type Canon fixe à commande manuelle, éloigné du bac (pour ne pas être endommagé en cas d'incendie). Le crédit attribué est 0,95.

- **Protection des câbles** : Le système de protection des câbles est muni de tôles de jauges situées à une hauteur donnée. Ainsi, le crédit attribué est 0,98.

D'où

Le facteur de crédit de protection contre l'incendie «  $C_3$  » du bac est le produit de tous les crédits qui ont été évalué

$$C_3 = \prod C_3(i) \quad (\text{III-17})$$

Ce qui donne :

$$C_3 = 0,758$$

➤ Le facteur de crédit de contrôle des pertes est obtenu par :

$$C = C_1 \times C_2 \times C_3$$

D'où : 
$$C = 0.557$$

### III-3.11. Dommage matériel maximal probable réel

Le MPPD de base sera réduit en fonction du facteur de crédit de contrôle des pertes  $C$  pour donner le MPPD réel, ce qui donne :

$$\text{MPPD réel} = \text{MPPD de base} \times \text{Facteur de crédit de contrôle des pertes} \quad (\text{III-18})$$

$$\text{MPPD réel} = 234.36 \cdot 10^6 \$ = 23436 \cdot 10^6 \text{ DA}$$

### III-3.12. Jours probables maximum d'interruption d'activité

Le nombre de jours d'interruption de l'activité lié à la destruction totale du bac est 548 jours. Pour le cas du bac de stockage, nous considérons qu'il n'y a pas de surestimation ni de sous-estimation, car le bac de stockage est indépendant de l'alimentation du procédé de traitement, nous prendrons alors le cas normale.

$$\text{MPPD réel} = 234.36 \cdot 10^6 \$ = 234.36 \$\text{MM}$$

$$\text{D'où} \quad Y = 10^{(1.325132 + 0.592471(\log \text{MPPD réel}))} \quad (\text{III-19})$$

$$Y = 548 \text{ jours}$$

### III-3.13. Interruption des activités

Rappelons que VPM la valeur de production par mois, de plus la capacité de production est estimée à 1 682 T/j. On suppose que le prix du condensât est de 350 \$/T. Alors, la VPM équivalente en dollars est  $17.661 \cdot 10^6 \$$ . Donc, l'interruption de l'activité coûtera  $225.83 \cdot 10^6 \$$

$$\text{VPM} = 1\,682 \text{ T/j} = 50\,460 \text{ T/mois} ;$$

$$17.661 \cdot 10^6 \$$$

$$\text{BI} = \frac{\text{MPDO}}{30} \times \text{VPM} \times 0.70 \quad (\text{III-20})$$

$$\text{BI} = 225.83 \cdot 10^6 \$ = 22583 \cdot 10^6 \text{ DA}$$

### III-3.14 Résultats obtenus par le programme MATLAB

Le programme F&EI sur MATLAB fournit les descriptions détaillées pour chaque facteur en fonction des scores. Cela nous a permis d'automatiser le calcul de la méthode.

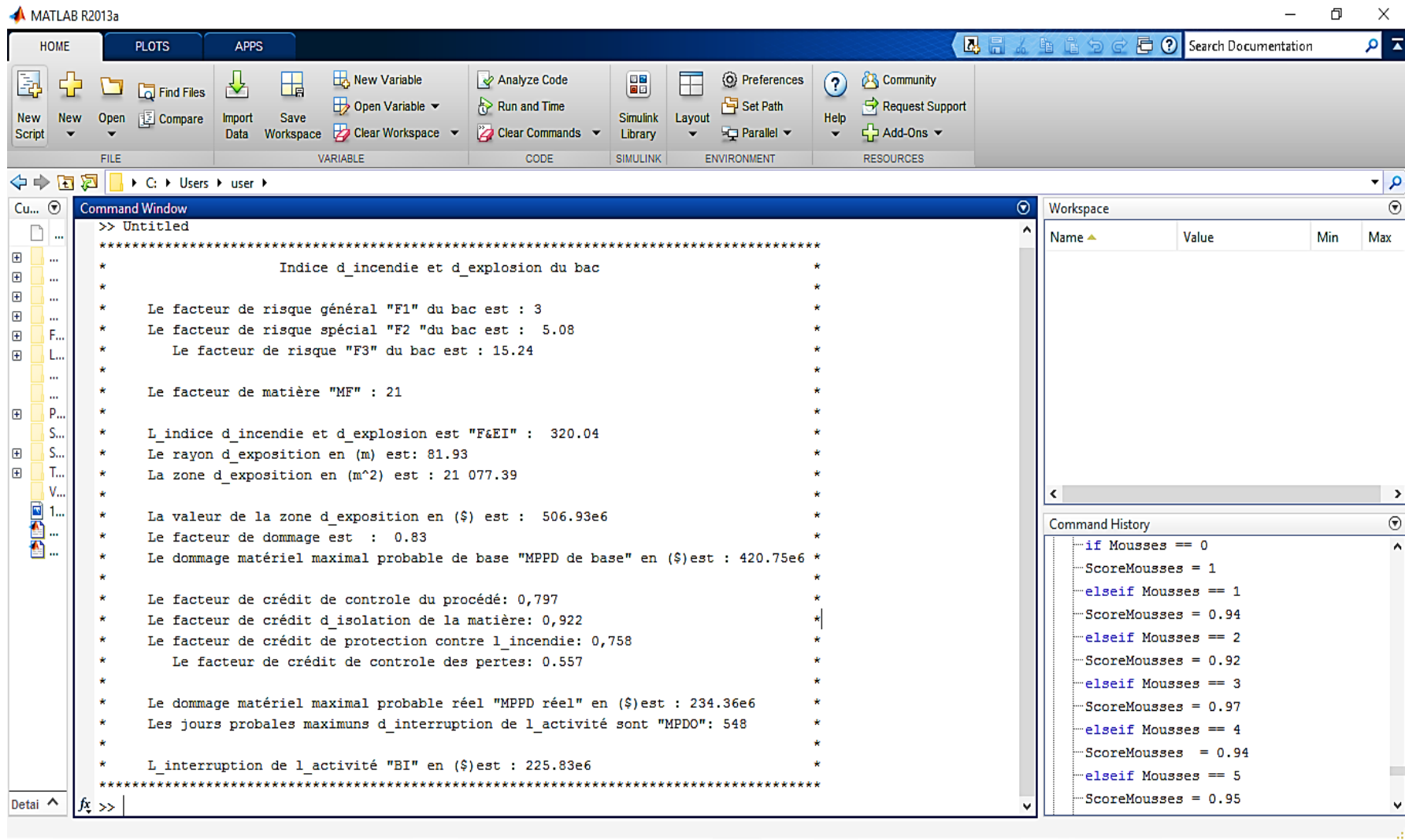


Figure III-6 : Interface MATLAB des résultats de F&EI pour le bac de stockage

### III-4. Analyse des résultats et discussion

La valeur obtenue pour  $F_1$  (3) représente 38 % du score maximal total du risque de procédé général, ce qui signifie que le niveau de gravité dans le cas de la survenance d'un incendie ou d'une explosion dans le bac est modéré. (Tableau III-11)

**Tableau III-11 : Niveau de gravité du risque de procédé général**

| Échelle $F_1$ | Niveau de Gravité |
|---------------|-------------------|
| 2.45          | G1 : mineur       |
| 3.95          | G2 : Modéré       |
| 5.45          | G3 : grave        |

La valeur obtenue pour  $F_2$  (5.08) représente 33.4 % du score maximal total du risque du procédé spécial, cela explique que la probabilité d'occurrence d'un incendie ou d'explosion est peu probable. (Tableau III-12)

**Tableau III-12 : Niveau de probabilité du risque de procédé spécial**

| Échelle $F_2$ | Niveau de Probabilité |
|---------------|-----------------------|
| 2.1           | P1 : improbable       |
| 7.6           | P2 : Peu probable     |
| 13.1          | P3 : Très probable    |

D'où, le facteur de risque du bac est 15.24, qui est situé dans la zone tolérable. (Figure III-5)

|         |            |           |              |             |
|---------|------------|-----------|--------------|-------------|
| Gravité |            |           |              |             |
| G3      |            |           | Inacceptable |             |
| G2      |            | tolérable |              |             |
| G1      | Acceptable |           |              |             |
|         | P1         | P2        | P3           | Probabilité |

**Figure III-7 : Grille de criticité**

Le facteur de matière MF (21) obtenu, présente le degré de danger du produit condensât à la température et la pression ambiante.

L'indice d'explosion et d'incendie du bac obtenu est 320.04, d'où leur degré est grave selon la classification des indices *F&EI*. A cet effet, la destruction totale des équipements est au voisinage d'une zone de 21 077.39 m<sup>2</sup>.

La valeur du facteur de dommage 0.83, est relativement élevée par rapport à la valeur maximale, ce qui signifie que l'effet de la libération d'énergie d'incendie et d'explosion du bac est importante.

Par conséquent, le coût de perte du bac en tenant compte les mesures de prévention est de 420.75 10<sup>6</sup> \$. Et lorsque les mesures de protections sont considérées avec un facteur de 55.7%, le cout sera réduit à 234.36 10<sup>6</sup> \$.

Le nombre de jours probables maximum d'interruption de l'activité en cas de perte de confinement du bac est estimé à 548 jours. Quant au coût de l'interruption des activités, il est estimé à 225.83 10<sup>6</sup>\$.

### III-5. Résultat du calcul de l'indice d'explosion et d'incendie et calcul du rayon d'exposition par le programme MATLAB pour tous les équipements

D'après les résultats du tableau (III-13), nous constatons que les rayons obtenus par la méthode *F&EI* sont inférieurs à ceux calculés par le PHAST, cela est expliqué par la prise en considération des mesures de préventions et de protection pour chaque équipement. L'équipement ayant le plus grand indice est celui du bac de stockage, ce qui explique l'importance de l'ampleur d'incendie ou d'une explosion de cet équipement. Mais, pour le cas du four les résultats sont divergents, car la méthode n'est pas applicable pour des faibles quantités (condensat dans le cas du four).

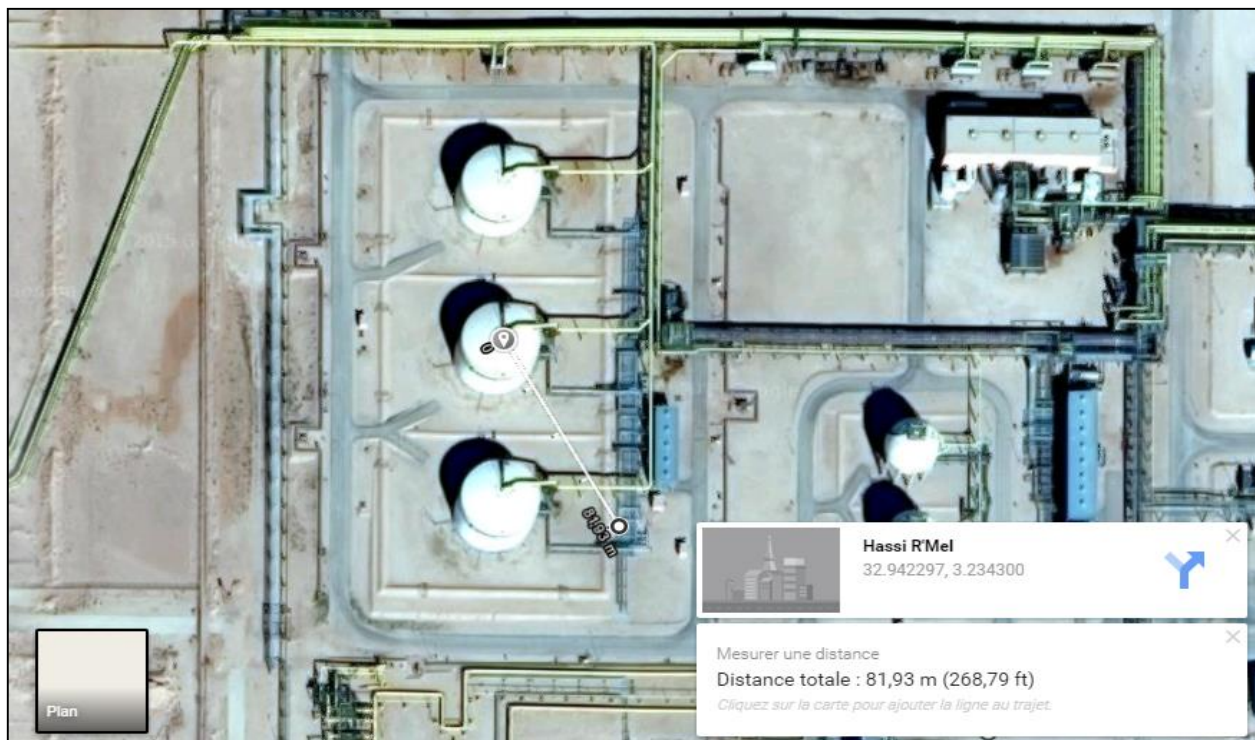
**Tableau III-13 : Résultats de F&EI et le rayon d'exposition obtenus par la méthode en utilisant le programme MATLAB**

| Équipement                                      | F&EI   | Rayon d'exposition F&EI (m) | Rayon d'exposition PHAST (m) |
|---|--------|-----------------------------|------------------------------|
| Bac de stockage de condensat                    | 320.04 | 81.93                       | 808 m                        |
| Sphère de stockage de GPL                       | 146,73 | 37,57                       | 769 m                        |
| Colonne Dé-éthaniseur                           | 208.59 | 53.40                       | 570 m                        |
| Ballon de GPL D005                              | 199.06 | 50.96                       | 554 m                        |
| Séparateur D101                                 | 193.27 | 49.48                       | 354 m                        |
| Colonne Dé-butaniseur                           | 139.32 | 35.66                       | 336 m                        |
| Ligne de gaz                                    | 66.38  | 16.99                       | 315 m                        |
| Ligne de GPL                                    | 126    | 32.26                       | 258 m                        |
| Ligne d'hydrocarbure liquide (condensat)        | 108.78 | 27.85                       | 254 m                        |
| Ballon de condensat D003                        | 189    | 48.38                       | 150 m                        |
| Ballon de gaz D008                              | 120.74 | 30.91                       | 91 m                         |
| Four (Rebouilleur Dé-éthaniseur/ dé-butaniseur) | 179.55 | 45.96                       | 17 m                         |



### III-6. Recommandations

Après le calcul du rayon d'exposition, nous constatons que l'équipement évalué (bac de stockage de condensât) et les équipements situés dans une zone de 21 077,33 m<sup>2</sup> subiront une destruction totale. (Figure III-6)



**Figure III-8 : Vue aérienne de la zone de stockage (bac de condensât), et le rayon d'exposition**

Les résultats de cette partie, nous aideront à proposer à l'entreprise les recommandations suivante :

- Agir de manière préventive afin d'éviter toute fuite de produit inflammable en mettant en place un planning d'inspection pour garantir l'intégrité des instruments, vannes, et systèmes de sécurité intrinsèque.
- Placer un système anti-incendie qui se déclenche automatiquement par des détecteurs de flamme, pour maîtriser l'extinction en peu de temps.
- Renforcer les mesures d'isolation des équipements situés à un rayon de 81.93 mètre (tel que les rideaux d'eau et l'ignifugage)
- Pour éviter toute source d'ignition utiliser du matériel anti déflagrant ADF en respectant les zones ATEX.

-Vérification périodique des systèmes d'intervention, autour des équipements à protéger pour s'assurer qu'ils seront exploitables en cas d'accident.

- Assurer l'alimentation continue en eau d'extinction.

## CONCLUSION

L'objectif de ce mémoire est de réévaluer les risques d'incendie et d'explosion par l'application de la méthode Dow's Fire and Explosion Index.

Pour cela, notre étude a été consacrée à l'analyse approfondie par l'entremise de celle-ci, au niveau de l'unité MPP4, de l'entreprise SONATRACH Division Production de Hassi R'mel.

Dans la première partie, à l'aide de l'étude de danger effectuée par l'entreprise, nous avons recensé tous les phénomènes dangereux qui peuvent se produire dans les équipements de l'unité MPP4. Nous avons ensuite simulé les effets de ces phénomènes par le logiciel PHAST. Notre analyse fait ressortir une hiérarchisation des équipements selon leurs effets de surpression et radiation thermique. Il se trouve que le **bac de stockage** du condensat est celui qui représente un risque majeur avec un effet de surpression de **8 kw/m<sup>2</sup>** et d'une zone d'atteinte de **808 m**.

La seconde partie de notre étude a été dédiée à l'application de la méthode *F&EI* sur le bac, en utilisant un programme MATLAB, pour faciliter le calcul. Les résultats obtenus montrent que le rayon d'exposition a été réduit à **83.91 m**, ce qui révèle que la méthode prend en considération les mesures de sécurité intrinsèques du bac.

De plus, l'indice d'incendie et d'explosion obtenu est **320.04** de degré **grave**. Par la suite, un dommage matériel de base de **420.75 10<sup>6</sup> \$** est obtenu et ce chiffre a été réduit une fois que les mesures de protection ont été prises en compte par un facteur de contrôle des pertes.

Par ailleurs, 548 jours d'interruption d'activité de stockage, et une perte économique de 225.83 10<sup>6</sup> \$ ont été estimés. Les résultats obtenus par cette étude sont importants, aussi, il serait souhaitable d'une part, de prendre en compte les recommandations mentionnées pour une mise en pratique dans le cadre de la prévention des risques au niveau de l'unité MPP4.

Comme perspective, nous proposons l'application de cette démarche et sa généralisation à d'autres unités, ce qui permettra aux managers d'estimer le risque en termes de perte économique :

- Utilisation de cette méthode pour estimer l'indemnisation pour les entreprises d'assurances ;
- Mettre en place des barrières de protections proposées par la méthode ;
- Utilisation de la méthode dans la phase conception.

## RÉFÉRENCES

- [1] ABERKANE A, BOUDIAF M, 2013, Maitrise des risques industriels par l'approche barrières « Application du Noeud de Papillon Sur un système Four Rebouilleur », Master professionnel, Algérie
- [2] OHSAS 18001, 1999, Système de management de la santé et de la sécurité au travail - Spécification. BSI, AFNOR.
- [3] ABERKANE, BOUDIAF, 2013, Maitrise des risques industriels Par l'approche barrières « Application du Noeud de Papillon Sur un système Four Rebouilleur CPF-Ourhoud », Thèse de Master Professionnelle p (10), Algérie.
- [4] ISO/CEI Guide 5, 1999, *Aspects liés à la sécurité : Principes directeurs pour les inclure dans les normes*, Organisation internationale de normalisation (ISO).
- [5] BOURAI k, 2010, Maîtrise des risques d'accidents majeurs dans le secteur des Hydrocarbures « Apport du Système de Gestion Sécurité SGS », Thèse Professionnelle Mastère Spécialisé en Management de la Qualité, Sécurité et Environnement, p (11-12), Algérie.
- [6] DEDEYAN J M, 2013, Prévention des risques majeurs - la démarche française, Ministère de l'écologie, du Développement durable et de l'énergie, P(1).
- [7] Site consulté en ligne : <http://www.mementodumaire.net/risques-technologiques/rt-1- risque-industriel/>
- [8] DEBRAY B, RODRIGUES N, GASTON D, 2006, « Méthodes d'analyse des risques génères par une installation industrielle – oméga 7 », Rapport d'étude INERIS, DRA-35, pages 38-41.
- [9] Guide ISO/CEI 73, 2002.
- [10] DESCOURRIERE S, DEBRAY B, FARRET R, JOLY C, 2006, «Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs, L'étude de dangers d'une Installation Classée - oméga 9», Rapport d'étude INERIS, DRA-35, pages 42.
- [11] Article L. 512-1 du code de l'environnement

- [12] DNV ENERGY, 2010, Etudes Analyse de Risque Quantitative (QRA) des unités industrielles de la Division Production « Analyse de risque quantitative ».
- [13] BARTHÉLÉMY B, QUIBEL J, 2000, Gestion des risques de l'entreprise, technique d'ingénieur.
- [14] Sghaier W, Hergon E, Desroches A, 2015, Gestion globale des risques, Elsevier Masson, France.
- [15] DUROT F, LEROY A, 2004, Risques et assurances, Technique de l'ingénieur, SE3600.
- [16] SCHEFFLER N, HEITZIG W, 1994, DOW's Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide, the American Institute of Chemical Engineers, 7<sup>ème</sup> édition, p (1-59)
- [17] SUARDIN J, 2005, The integration of DOW's Fire and Explosion Index into Process Design and Optimization to Achieve an Inherently Safer Design, Master en Science à Texas A & M University, p (18-54).
- [18] MESZARO S, BROADRIBB M, CLARK D, CONGER B, 2009, Inherently Safer Chemical Processes: A Life Cycle Approach, American Institute of Chemical Engineers, New York, p25.
- [19] TAKRIFF S, BAHNUDDIN N, 2010, Integration of Inherent Safety Assessment into Process Simulation, Chemical Engineering Transactions 19, p397.
- [20] HENDERSHOT C, 1997, Inherently Safer Chemical Process, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 10, p 151.
- [21] BRIDGES W, 2008, Selection of Hazard Evaluation Techniques, Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, 3<sup>ème</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p. 175-209.
- [22] GUPTA P, 1997, Application of DOW's Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide to Process Plants in the Developing Countries, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 10, p 7.
- [23] SINNOTT K, 2005, Chemical Engineering Design, Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Volume 6, 4<sup>ème</sup> édition, p (370-377).

- [24] WANG F, WANG Y, 2012, Safety assessment of production process of styrene, Journal Elsevier science-direct.
- [25] Gupta P, Khemani G, Mannan S, 2003, Calculation of Fire and Explosion Index (F&EI) Value for the Dow Guide Taking Credit for the Loss Control Measures, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 16, p 235.
- [26] American institute of chemical engineers (*AICHE*), 1987. Dow's fire and explosion index hazard classification guide, The American Institute of Chemical Engineers, 6<sup>ème</sup> édition.
- [27] AIChE, 1994, Dow's Chemical Exposure Index Guide, American Institute of Chemical Engineers, 1<sup>ère</sup> édition.
- [28] Jensen N, Jorgensen S, 2007, Taking credit for loss control measures in the plant with the likely loss fire and explosion index (LL-F&EI), journal de Process Safety and Environmental Protection.
- [29] DNV ENERGY, SONATRACH, 2010, Etude De Danger SONATRACH Activité Amont Division Production Direction Régionale de Hassi R'Mel Centre, p (12-14).
- [30] DNV ENERGY, SONATRACH, Etudes Analyse de Risque Quantitative (QRA) des unités industrielles de la Division Production« Analyse de risque quantitative », p(14).
- [31] Site consulté en ligne : <http://www.dnv.com/software>
- [32] LYONS J, 2002, Process Equipment Cost Estimation, National Energy Technology Center
- [33] WILLIAM M, 2002, Updating the CE Plant Cost Inex

## **ANNEXES**

## Annexe A : Propriété et facteur matière MF

| Produit | MF | H <sub>c</sub><br>(BTU/LB x10 <sup>3</sup> ) | Classification NFPA |                |                | FP (° F) | BP (°F) |
|---------|----|--|---------------------|----------------|----------------|----------|---------|
|         |    |  | N <sub>H</sub>      | N <sub>F</sub> | N <sub>R</sub> |          |         |
| Butane  | 21 | 19.7   | 1                   | 4              | 0              | -76      | 31      |
| Méthane | 21 | 21.5   | 1                   | 4              | 0              | Gaz      | -258    |
| Propane | 21 | 19.9   | 1                   | 4              | 0              | Gaz      | -44     |
| pentane | 21 | 19.4   | 1                   | 4              | 0              | <-40     | 97      |



## Annexe B : F & EI des équipements « Colonne dé-éthaniseur »

|   |                                      |  |                             |
|---|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Région/Pays   | Division                             | Location   | Date                        |
| Site  | Unité de fabrication                 | Unité de process                                   |                             |
| Préparé par :   | Approuvé par :                       | Bâtiment   |                             |
| Révisé par : (management)   | Révisé par : (centre de technologie) | Révisé par : (prévention des pertes)               |                             |
| Matériaux en unité de process   |                                      |  |                             |
| Etat de fonctionnement<br>---Conception --- Commencez --- Opération normale ---Shutdown |                                      | Matériau (x) de base pour le facteur des matériaux |                             |
| Facteur des matériaux   |                                      |  |                             |
| <b>1. Risque du procédé général</b>   |                                      | Gamme de facteur de pénalité                       | Facteur de pénalité utilisé |
| Facteur de base.....  |                                      | 1  | 0                           |
| A. Réaction chimique exothermique   |                                      | 0.30 à 1.25  | 0                           |
| B. Réaction endothermique   |                                      | 0.20 à 0.40  | 0                           |
| C. Manutention et transfert de la matière   |                                      | 0.25 à 1.05  | 0                           |
| D. Unité de traitement couverte/ fermée   |                                      | 0.25 à 0.90  | 0.30                        |
| E. Adéquation de l'accès  |                                      | 0.20 à 0.35  | 0                           |
| F. Drainage et contrôle des déversements  |                                      | 0.25 à 0.50  | 0                           |
| <b>Facteur de risque du procédé général (F1)</b>  |                                      |  | 1.3                         |
| <b>2. Risque du procédé spécial</b>   |                                      |  |                             |
| Facteur de base.....  |                                      | 1  |                             |
| A. Matière toxique (N <sub>H</sub> =1)  |                                      | 0.20 à 0.80  | 0.20                        |
| B. Capacités sous pressions   |                                      | 0.50   | 0                           |
| C. Opérations prés/dans l'intervalle d'inflammabilité                                   |                                      | 0.50 à 0.80  | 0.80                        |
| D. Explosion des poussières   |                                      | 0.25 à 2   | 0                           |
| E. Pression   |                                      | 0.20 à 0.30  | 1.68                        |
| F. Basse température  |                                      | 0.20 à 0.30  | 0                           |
| G. Quantité de matière inflammable/ instable  |                                      |  | 2.23                        |
| 1. Liquide ou gaz dans la zone de procédé   |                                      |  |                             |
| 2. Liquide ou gaz dans la zone de stockage  |                                      |  |                             |
| H. Corrosion et érosion   |                                      | 0.10 à 0.75  | 0.1                         |
| I. Fuite dans les joints/ conditionnement   |                                      | 0.10 to 1.50                                       | 0.3                         |
| J. Utilisation des équipements à combustion   |                                      |  | 0.029                       |
| K. Système d'échange de chaleur par l'huile chaude                                      |                                      | 0.15 à 1.15  | 0                           |
| L. Equipements rotatifs   |                                      | 0.50   | 0                           |
| <b>Facteur de risque de procédé spécial F2</b>  |                                      |  | 7.64                        |
| Facteur de risque de l'unité de traitement (F1 x F2 = F3)                               |                                      |  | 9.93                        |
| Fire and explosion Index (F3 x MF = F&EI) MF= 21  |                                      |  | 208.60                      |
| Rayon d'exposition (m)  |                                      |  | 53.40                       |

## Annexe B : F & EI des équipements « Séparateur de gaz brut (D101) »

|   |                                      |                                      |  |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Région/Pays   | Division                             | Location                             | Date   |
| Site  | Unité de fabrication                 | Unité de process                     |  |
| Préparé par :   | Approuvé par :                       |                                      | Bâtiment   |
| Révisé par : (management)   | Révisé par : (centre de technologie) | Révisé par : (prévention des pertes) |  |
| Matériaux en unité de process   |                                      |                                      |  |
| Etat de fonctionnement<br>---Conception --- Commencez --- Opération normale -Shutdown |                                      |                                      | Matériau (x) de base pour le facteur des matériaux |
| Facteur des matériaux   |                                      |                                      |  |
| Risque du procédé général   | Gamme de facteur de pénalité         |                                      | Facteur de pénalité utilisé                        |
| Facteur de base.....  | 1                                    |                                      | 0  |
| Réaction chimique exothermique  | 0.30 à 1.25                          |                                      | 0  |
| Réaction endothermique  | 0.20 à 0.40                          |                                      | 0  |
| Manutention et transfert de la matière  | 0.25 à 1.05                          |                                      | 0  |
| Unité de traitement couverte/ fermée  | 0.25 à 0.90                          |                                      | 0  |
| Adéquation de l'accès   | 0.20 à 0.35                          |                                      | 0.30   |
| Drainage et contrôle des déversements   | 0.25 à 0.50                          |                                      | 0  |
| Facteur de risque du procédé général (F1)   |                                      |                                      | 1.5  |
| Risque du procédé spécial   |                                      |                                      |  |
| Facteur de base.....  | 1                                    |                                      |  |
| Matière toxique (NH=1)  | 0.20 à 0.80                          |                                      | 0.2  |
| Capacités sous pressions  | 0.50                                 |                                      | 0  |
| Opérations près/dans l'intervalle d'inflammabilité                                    | 0.50 à 0.80                          |                                      | 0.8  |
| Explosion des poussières  | 0.25 à 2                             |                                      | 0  |
| Pression  | 0.20 à 0.30                          |                                      | 1.57   |
| Basse température   | 0.20 à 0.30                          |                                      | 0  |
| Quantité de matière inflammable/ instable   |                                      |                                      | 3.06   |
| Liquide ou gaz dans la zone de procédé  |                                      |                                      |  |
| Liquide ou gaz dans la zone de stockage   |                                      |                                      |  |
| Corrosion et érosion  | 0.10 à 0.75                          |                                      | 0.1  |
| Fuite dans les joints/ conditionnement  | 0.10 to 1.50                         |                                      | 0.3  |
| Utilisation des équipements à combustion  |                                      |                                      | 0.1  |
| Système d'échange de chaleur par l'huile chaude                                       | 0.15 à 1.15                          |                                      | 0  |
| Equipements rotatifs  | 0.50                                 |                                      | 0  |
| Facteur de risque de procédé spécial F2   |                                      |                                      | 6.13   |
| Facteur de risque de l'unité de traitement (F1 x F21 =F3)                             |                                      |                                      | 9.20   |
| Fire and explosion Index (F3 x MF =F&EI) MF= 21                                       |                                      |                                      | 193.3  |
| Rayon d'exposition (m)  |                                      |                                      | 49.48  |

## Annexe B : F & EI des équipements « Ballon de GPL »

|   |                                      |  |                             |
|---|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Région/Pays   | Division                             | Location   | Date                        |
| Site  | Unité de fabrication                 | Unité de process                                   |                             |
| Préparé par :   | Approuvé par :                       | Bâtiment   |                             |
| Révisé par : (management)   | Révisé par : (centre de technologie) | Révisé par : (prévention des pertes)               |                             |
| Matériaux en unité de process   |                                      |  |                             |
| Etat de fonctionnement<br>---Conception -- Commencez --- Opération normale-Shutdown |                                      | Matériau (x) de base pour le facteur des matériaux |                             |
| Facteur des matériaux   |                                      |  |                             |
| Risque du procédé général   |                                      | Gamme de facteur de pénalité                       | Facteur de pénalité utilisé |
| Facteur de base.....  |                                      | 1  |                             |
| Réaction chimique exothermique  |                                      | 0.30 à 1.25  | 0                           |
| Réaction endothermique  |                                      | 0.20 à 0.40  | 0                           |
| Manutention et transfert de la matière  |                                      | 0.25 à 1.05  | 0                           |
| Unité de traitement couverte/ fermée  |                                      | 0.25 à 0.90  | 0.6                         |
| Adéquation de l'accès   |                                      | 0.20 à 0.35  | 0.2                         |
| Drainage et contrôle des déversements   |                                      | 0.25 à 0.50  | 0.5                         |
| Facteur de risque du procédé général (F1)   |                                      |  | 2.3                         |
| Risque du procédé spécial   |                                      |  |                             |
| Facteur de base.....  |                                      | 1  |                             |
| Matière toxique (NH=1)  |                                      | 0.20 à 0.80  | 0.2                         |
| Capacités sous pressions  |                                      | 0.50   | 0                           |
| Opérations prés/dans l'intervalle d'inflammabilité                                  |                                      | 0.50 à 0.80  | 0.5                         |
| Explosion des poussières  |                                      | 0.25 à 2   | 0                           |
| Pression  |                                      | 0.20 à 0.30  | 0.54                        |
| Basse température   |                                      | 0.20 à 0.30  | 0                           |
| Quantité de matière inflammable/ instable   |                                      |  | 1.65                        |
| Liquide ou gaz dans la zone de procédé  |                                      |  |                             |
| Liquide ou gaz dans la zone de stockage   |                                      |  |                             |
| Corrosion et érosion  |                                      | 0.10 à 0.75  | 0.1                         |
| Fuite dans les joints/ conditionnement  |                                      | 0.10 to 1.50                                       | 0.1                         |
| Utilisation des équipements à combustion  |                                      |  | 0.034                       |
| Système d'échange de chaleur par l'huile chaude                                     |                                      | 0.15 à 1.15  | 0                           |
| Equipements rotatifs  |                                      | 0.50   | 0                           |
| Facteur de risque de procédé spécial F2   |                                      |  | 4.12                        |
| Facteur de risque de l'unité de traitement (F1 x F2l =F3)                           |                                      |  | 9.48                        |
| Fire and explosion Index (F3 x MF =F&EI) MF= 21                                     |                                      |  | 199                         |
| Rayon d'exposition (m)  |                                      |  | 50.96                       |

## Annexe B : F & EI des équipements « Four rebouilleur »

|   |                                      |  |      |
|---|--------------------------------------|--|------|
| Région/Pays   | Division                             | Location0  | Date |
| Site  | Unité de fabrication                 | Unité de process                                   |      |
| Préparé par :   | Approuvé par :                       | Bâtiment   |      |
| Révisé par : (management)   | Révisé par : (centre de technologie) | Révisé par : (prévention des pertes)               |      |
| Matériaux en unité de process   |                                      |  |      |
| Etat de fonctionnement<br>---Conception --- Commencez --- Opération normale |                                      | Matériau (x) de base pour le facteur des matériaux |      |
| Facteur des matériaux   |                                      |  |      |
| Risque du procédé général   | Gamme de facteur de pénalité         | Facteur de pénalité utilisé                        |      |
| Facteur de base.....  | 1                                    |  |      |
| Réaction chimique exothermique  | 0.30 à 1.25                          | 0  |      |
| Réaction endothermique  | 0.20 à 0.40                          | 0  |      |
| Manutention et transfert de la matière                                      | 0.25 à 1.05                          | 0.5  |      |
| Unité de traitement couverte/ fermée  | 0.25 à 0.90                          | 0.3  |      |
| Adéquation de l'accès   | 0.20 à 0.35                          | 0  |      |
| Drainage et contrôle des déversements                                       | 0.25 à 0.50                          | 0.5  |      |
| Facteur de risque du procédé général (F1)                                   |                                      | 1.8  |      |
| Risque du procédé spécial   |                                      |  |      |
| Facteur de base.....  | 1                                    |  |      |
| Matière toxique (NH=1)  | 0.20 à 0.80                          | 0.2  |      |
| Capacités sous pressions  | 0.50                                 | 0  |      |
| Opérations prés/dans l'intervalle d'inflammabilité                          | 0.50 à 0.80                          | 0.8  |      |
| Explosion des poussières  | 0.25 à 2                             | 0  |      |
| Pression  | 0.20 à 0.30                          | 0.057  |      |
| Basse température   | 0.20 à 0.30                          | 0  |      |
| Quantité de matière inflammable/ instable                                   |                                      | 1.29   |      |
| Liquide ou gaz dans la zone de procédé                                      |                                      |  |      |
| Liquide ou gaz dans la zone de stockage                                     |                                      |  |      |
| Corrosion et érosion  | 0.10 à 0.75                          | 0.1  |      |
| Fuite dans les joints/ conditionnement                                      | 0.10 to 1.50                         | 0.3  |      |
| Utilisation des équipements à combustion                                    |                                      | 1  |      |
| Système d'échange de chaleur par l'huile chaude                             | 0.15 à 1.15                          | 0  |      |
| Equipements rotatifs  | 0.50                                 | 0  |      |
| Facteur de risque de procédé spécial F2                                     |                                      | 4.75   |      |
| Facteur de risque de l'unité de traitement (F1 x F2l =F3)                   |                                      | 8.55   |      |
| Fire and explosion Index (F3 x MF =F&EI) MF= 21                             |                                      | 179.55   |      |
| Rayon d'exposition (m)  |                                      | 45.96  |      |

## Annexe B : F & EI des équipements « Ballon de condensat »

|   |                                      |  |                             |
|---|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Région/Pays   | Division                             | Location0  | Date                        |
| Site  | Unité de fabrication                 | Unité de process                                   |                             |
| Préparé par :   | Approuvé par :                       | Bâtiment   |                             |
| Révisé par : (management)   | Révisé par : (centre de technologie) | Révisé par : (prévention des pertes)               |                             |
| Matériaux en unité de process                                       |                                      |  |                             |
| Etat de fonctionnement<br>---Conception --- Commencez --- Opération |                                      | Matériau (x) de base pour le facteur des matériaux |                             |
| Facteur des matériaux   |                                      |  |                             |
| Risque du procédé général   |                                      | Gamme de facteur de pénalité                       | Facteur de pénalité utilisé |
| Facteur de base.....  |                                      | 1  |                             |
| Réaction chimique exothermique                                      |                                      | 0.30 à 1.25  | 0                           |
| Réaction endothermique  |                                      | 0.20 à 0.40  | 0                           |
| Manutention et transfert de la matière                              |                                      | 0.25 à 1.05  | 0.85                        |
| Unité de traitement couverte/ fermée                                |                                      | 0.25 à 0.90  | 0.3                         |
| Adéquation de l'accès   |                                      | 0.20 à 0.35  | 0                           |
| Drainage et contrôle des déversements                               |                                      | 0.25 à 0.50  | 0.5                         |
| Facteur de risque du procédé général (F1)                           |                                      |  | 2.65                        |
| Risque du procédé spécial   |                                      |  |                             |
| Facteur de base.....  |                                      | 1  |                             |
| Matière toxique (NH=1)  |                                      | 0.20 à 0.80  | 0.2                         |
| Capacités sous pressions  |                                      | 0.50   | 0                           |
| Opérations prés/dans l'intervalle d'inflammabilité                  |                                      | 0.50 à 0.80  | 0.5                         |
| Explosion des poussières  |                                      | 0.25 à 2   | 0                           |
| Pression  |                                      | 0.20 à 0.30  | 0.16                        |
| Basse température   |                                      | 0.20 à 0.30  | 0                           |
| Quantité de matière inflammable/ instable                           |                                      |  | 1.07                        |
| Liquide ou gaz dans la zone de procédé                              |                                      |  |                             |
| Liquide ou gaz dans la zone de stockage                             |                                      |  |                             |
| Corrosion et érosion  |                                      | 0.10 à 0.75  | 0.1                         |
| Fuite dans les joints/ conditionnement                              |                                      | 0.10 to 1.50                                       | 0.3                         |
| Utilisation des équipements à combustion                            |                                      |  | 0.1                         |
| Système d'échange de chaleur par l'huile chaude                     |                                      | 0.15 à 1.15  | 0                           |
| Equipements rotatifs  |                                      | 0.50   | 0                           |
| Facteur de risque de procédé spécial F2                             |                                      |  | 3.43                        |
| Facteur de risque de l'unité de traitement (F1 x F2l =F3)           |                                      |  | 9                           |
| Fire and explosion Index (F3 x MF =F&EI) MF= 21                     |                                      |  | 189                         |
| Rayon d'exposition (m)  |                                      |  | 48.38                       |

## Annexe B : F & EI des équipements « Ligne d'hydrocarbure liquide »

|   |                                      |  |      |
|---|--------------------------------------|--|------|
| Région/Pays   | Division                             | Location0  | Date |
| Site  | Unité de fabrication                 | Unité de process                                   |      |
| Préparé par :   | Approuvé par :                       | Bâtiment   |      |
| Révisé par : (management)   | Révisé par : (centre de technologie) | Révisé par : (prévention des pertes)               |      |
| Matériaux en unité de process                                       |                                      |  |      |
| Etat de fonctionnement<br>---Conception --- Commencez --- Opération |                                      | Matériau (x) de base pour le facteur des matériaux |      |
| Facteur des matériaux   |                                      |  |      |
| Risque du procédé général   | Gamme de facteur de pénalité         | Facteur de pénalité utilisé                        |      |
| Facteur de base.....  | 1                                    |  |      |
| Réaction chimique exothermique                                      | 0.30 à 1.25                          | 0  |      |
| Réaction endothermique  | 0.20 à 0.40                          | 0  |      |
| Manutention et transfert de la matière                              | 0.25 à 1.05                          | 0  |      |
| Unité de traitement couverte/ fermée                                | 0.25 à 0.90                          | 0  |      |
| Adéquation de l'accès   | 0.20 à 0.35                          | 0  |      |
| Drainage et contrôle des déversements                               | 0.25 à 0.50                          | 0.5  |      |
| Facteur de risque du procédé général (F1)                           |                                      | 1.5  |      |
| Risque du procédé spécial   |                                      |  |      |
| Facteur de base.....  | 1                                    |  |      |
| Matière toxique (NH=1)  | 0.20 à 0.80                          | 0.2  |      |
| Capacités sous pressions  | 0.50                                 | 0  |      |
| Opérations prés/dans l'intervalle d'inflammabilité                  | 0.50 à 0.80                          | 0.8  |      |
| Explosion des poussières  | 0.25 à 2                             | 0  |      |
| Pression  | 0.20 à 0.30                          | 0.38   |      |
| Basse température   | 0.20 à 0.30                          | 0  |      |
| Quantité de matière inflammable/ instable                           |                                      | 0.86   |      |
| Liquide ou gaz dans la zone de procédé                              |                                      |  |      |
| Liquide ou gaz dans la zone de stockage                             |                                      |  |      |
| Corrosion et érosion  | 0.10 à 0.75                          | 0.1  |      |
| Fuite dans les joints/ conditionnement                              | 0.10 to 1.50                         | 0  |      |
| Utilisation des équipements à combustion                            |                                      | 0.1  |      |
| Système d'échange de chaleur par l'huile chaude                     | 0.15 à 1.15                          | 0  |      |
| Equipements rotatifs  | 0.50                                 | 0  |      |
| Facteur de risque de procédé spécial F2                             |                                      | 3.45   |      |
| Facteur de risque de l'unité de traitement (F1 x F2 = F3)           |                                      | 5.18   |      |
| Fire and explosion Index (F3 x MF = F&EI) MF= 21                    |                                      | 108.78   |      |
| Rayon d'exposition (m)  |                                      | 27.85  |      |

## Annexe B : F & EI des équipements « Ligne de GPL »

|   |                                      |  |                             |
|---|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Région/Pays   | Division                             | Location0  | Date                        |
| Site  | Unité de fabrication                 | Unité de process                                   |                             |
| Préparé par :   | Approuvé par :                       | Bâtiment   |                             |
| Révisé par : (management)   | Révisé par : (centre de technologie) | Révisé par : (prévention des pertes)               |                             |
| Matériaux en unité de process                                       |                                      |  |                             |
| Etat de fonctionnement<br>---Conception --- Commencez --- Opération |                                      | Matériau (x) de base pour le facteur des matériaux |                             |
| Facteur des matériaux   |                                      |  |                             |
| Risque du procédé général   |                                      | Gamme de facteur de pénalité                       | Facteur de pénalité utilisé |
| Facteur de base.....  |                                      | 1  |                             |
| Réaction chimique exothermique                                      |                                      | 0.30 à 1.25  | 0                           |
| Réaction endothermique  |                                      | 0.20 à 0.40  | 0                           |
| Manutention et transfert de la matière                              |                                      | 0.25 à 1.05  | 0                           |
| Unité de traitement couverte/ fermée                                |                                      | 0.25 à 0.90  | 0.3                         |
| Adéquation de l'accès   |                                      | 0.20 à 0.35  | 0                           |
| Drainage et contrôle des déversements                               |                                      | 0.25 à 0.50  | 0                           |
| Facteur de risque du procédé général (F1)                           |                                      |  | 1.3                         |
| Risque du procédé spécial   |                                      |  |                             |
| Facteur de base.....  |                                      | 1  |                             |
| Matière toxique (NH=1)  |                                      | 0.20 à 0.80  | 0.2                         |
| Capacités sous pressions  |                                      | 0.50   | 0                           |
| Opérations prés/dans l'intervalle d'inflammabilité                  |                                      | 0.50 à 0.80  | 0.8                         |
| Explosion des poussières  |                                      | 0.25 à 2   | 0                           |
| Pression  |                                      | 0.20 à 0.30  | 0.46                        |
| Basse température   |                                      | 0.20 à 0.30  | 0                           |
| Quantité de matière inflammable/ instable                           |                                      |  | 1.98                        |
| Liquide ou gaz dans la zone de procédé                              |                                      |  |                             |
| Liquide ou gaz dans la zone de stockage                             |                                      |  |                             |
| Corrosion et érosion  |                                      | 0.10 à 0.75  | 0.1                         |
| Fuite dans les joints/ conditionnement                              |                                      | 0.10 to 1.50                                       | 0                           |
| Utilisation des équipements à combustion                            |                                      |  | 0.1                         |
| Système d'échange de chaleur par l'huile chaude                     |                                      | 0.15 à 1.15  | 0                           |
| Equipements rotatifs  |                                      | 0.50   | 0                           |
| Facteur de risque de procédé spécial F2                             |                                      |  | 4.64                        |
| Facteur de risque de l'unité de traitement (F1 x F2l =F3)           |                                      |  | 6                           |
| Fire and explosion Index (F3 x MF =F&EI) MF= 21                     |                                      |  | 126                         |
| Rayon d'exposition (m)  |                                      |  | 32.27                       |

## Annexe B : F & EI des équipements « Colonne dé- butaniseur »

|   |                                      |  |      |
|---|--------------------------------------|--|------|
| Région/Pays   | Division                             | Location0  | Date |
| Site  | Unité de fabrication                 | Unité de process                                   |      |
| Préparé par :   | Approuvé par :                       | Bâtiment   |      |
| Révisé par : (management)   | Révisé par : (centre de technologie) | Révisé par : (prévention des pertes)               |      |
| Matériaux en unité de process   |                                      |  |      |
| Etat de fonctionnement<br>---Conception --- Commencez --- Opération normale - |                                      | Matériau (x) de base pour le facteur des matériaux |      |
| Facteur des matériaux   |                                      |  |      |
| Risque du procédé général   | Gamme de facteur de pénalité         | Facteur de pénalité utilisé                        |      |
| Facteur de base.....  | 1                                    | 0  |      |
| Réaction chimique exothermique  | 0.30 à 1.25                          | 0  |      |
| Réaction endothermique  | 0.20 à 0.40                          | 0  |      |
| Manutention et transfert de la matière  | 0.25 à 1.05                          | 0  |      |
| Unité de traitement couverte/ fermée  | 0.25 à 0.90                          | 0.3  |      |
| Adéquation de l'accès   | 0.20 à 0.35                          | 0  |      |
| Drainage et contrôle des déversements   | 0.25 à 0.50                          | 0  |      |
| Facteur de risque du procédé général (F1)                                     |                                      | 1.3  |      |
| Risque du procédé spécial   |                                      |  |      |
| Facteur de base.....  | 1                                    |  |      |
| Matière toxique (NH=1)  | 0.20 à 0.80                          | 0.2  |      |
| Capacités sous pressions  | 0.50                                 | 0  |      |
| Opérations prés/dans l'intervalle d'inflammabilité                            | 0.50 à 0.80                          | 0.8  |      |
| Explosion des poussières  | 0.25 à 2                             | 0  |      |
| Pression  | 0.20 à 0.30                          | 0.37   |      |
| Basse température   | 0.20 à 0.30                          | 0  |      |
| Quantité de matière inflammable/ instable                                     |                                      | 2.31   |      |
| Liquide ou gaz dans la zone de procédé  |                                      |  |      |
| Liquide ou gaz dans la zone de stockage                                       |                                      |  |      |
| Corrosion et érosion  | 0.10 à 0.75                          | 0.1  |      |
| Fuite dans les joints/ conditionnement  | 0.10 to 1.50                         | 0.3  |      |
| Utilisation des équipements à combustion                                      |                                      | 0.02   |      |
| Système d'échange de chaleur par l'huile chaude                               | 0.15 à 1.15                          | 0  |      |
| Equipements rotatifs  | 0.50                                 | 0  |      |
| Facteur de risque de procédé spécial F2                                       |                                      | 5.10   |      |
| Facteur de risque de l'unité de traitement (F1 x F2l =F3)                     |                                      | 6.63   |      |
| Fire and explosion Index (F3 x MF =F&EI) MF= 21                               |                                      | 139.32   |      |
| Rayon d'exposition (m)  |                                      | 35.66  |      |



## Annexe B : F & EI des équipements « Ligne de gaz »

|   |                                      |  |                             |
|---|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Région/Pays   | Division                             | Location0  | Date                        |
| Site  | Unité de fabrication                 | Unité de process                                   |                             |
| Préparé par :   | Approuvé par :                       | Bâtiment   |                             |
| Révisé par : (management)   | Révisé par : (centre de technologie) | Révisé par : (prévention des pertes)               |                             |
| Matériaux en unité de process                                       |                                      |  |                             |
| Etat de fonctionnement<br>---Conception --- Commencez --- Opération |                                      | Matériau (x) de base pour le facteur des matériaux |                             |
| Facteur des matériaux   |                                      |  |                             |
| Risque du procédé général   |                                      | Gamme de facteur de pénalité                       | Facteur de pénalité utilisé |
| Facteur de base.....  |                                      | 1  |                             |
| Réaction chimique exothermique                                      |                                      | 0.30 à 1.25  | 0                           |
| Réaction endothermique  |                                      | 0.20 à 0.40  | 0                           |
| Manutention et transfert de la matière                              |                                      | 0.25 à 1.05  | 0                           |
| Unité de traitement couverte/ fermée                                |                                      | 0.25 à 0.90  | 0                           |
| Adéquation de l'accès   |                                      | 0.20 à 0.35  | 0                           |
| Drainage et contrôle des déversements                               |                                      | 0.25 à 0.50  | 0                           |
| Facteur de risque du procédé général (F1)                           |                                      |  | 1                           |
| Risque du procédé spécial   |                                      |  |                             |
| Facteur de base.....  |                                      | 1  |                             |
| Matière toxique (NH=1)  |                                      | 0.20 à 0.80  | 0.2                         |
| Capacités sous pressions  |                                      | 0.50   | 0                           |
| Opérations prés/dans l'intervalle d'inflammabilité                  |                                      | 0.50 à 0.80  | 0.8                         |
| Explosion des poussières  |                                      | 0.25 à 2   | 0                           |
| Pression  |                                      | 0.20 à 0.30  | 0.96                        |
| Basse température   |                                      | 0.20 à 0.30  | 0                           |
| Quantité de matière inflammable/ instable                           |                                      |  | 0.0012                      |
| Liquide ou gaz dans la zone de procédé                              |                                      |  |                             |
| Liquide ou gaz dans la zone de stockage                             |                                      |  |                             |
| Corrosion et érosion  |                                      | 0.10 à 0.75  | 0.10                        |
| Fuite dans les joints/ conditionnement                              |                                      | 0.10 to 1.50                                       | 0                           |
| Utilisation des équipements à combustion                            |                                      |  | 0.1                         |
| Système d'échange de chaleur par l'huile chaude                     |                                      | 0.15 à 1.15  | 0                           |
| Equipements rotatifs  |                                      | 0.50   | 0                           |
| Facteur de risque de procédé spécial F2                             |                                      |  | 3.16                        |
| Facteur de risque de l'unité de traitement (F1 x F2l =F3)           |                                      |  | 3.16                        |
| Fire and explosion Index (F3 x MF =F&EI) MF= 21                     |                                      |  | 66.38                       |
| Rayon d'exposition (m)  |                                      |  | 17                          |