



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE 20 AOÛT 1955 - SKIKDA

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS

## Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de :

## Master

**Filière** : Hygiène et sécurité industrielle

**Spécialité** : Hygiène et sécurité industrielle

### **Evaluation des risques professionnels : Application des méthodes AF.O.C.E.P Vs MADS et Simulation des effets par le logiciel PHAST 8.2 au niveau du complexe GNL Skikda.**

Réalisé par : - Mouats chaima  
- Hedhoud kaoutar  
- Kerkoub nadji

Soutenu le **24/06/2026**, devant le jury suivant :

N°	Nom et Prénom	Grade	Établissement d'affiliation	Qualité
1	Hallassi manel	MCB	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Encadrante
2	Bouragubi lakhdar	MCB	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Co-encadrant
3	Benaissa amina	MCA	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Présidente
4	Lamraoui sabrina	MAA	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Examinatrice
5	Mehri karima	MAA	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Examinatrice

Année Universitaire **2025- 2026**.

# DÉDICACES

## À mon regretté père...

Au premier homme qui m'a appris à marcher, à rêver et à persévérer. À mon cher père **Salah**, rappelle à Dieu avant de voir l'aboutissement de ce chemin. Tu n'es plus là où tu étais, mais tu es partout là où je suis. Ce travail est le fruit de tes sacrifices, de tes prières silencieuses et des valeurs que tu as ancrées en moi. J'espère que, de là-haut, tu es fier de ta fille. Que ton âme repose en paix.

## À ma précieuse famille...

À ma tendre mère, le pilier infailible de ma vie, qui m'a couverte de son affection et de ses douces prières tout au long de mes études. À mes frères et sœurs **Lamia** et **Ibtissem**, pour leur soutien inconditionnel, leur présence rassurante et leurs encouragements constants dans les moments de doute. À ma petite nièce **Razan**, une source pure de joie et de fraîcheur, dont le sourire innocent a illuminé mes journées de travail les plus denses. À ma chère cousine **Aya**, pour son affection, sa présence bienveillante et les moments de complicité partagés qui m'ont tant ressourcée

## À mes fidèles amies...

À mes compagnes de route, mes amies de cœur, **Lyna**, **Meriem**, **Ghaida**, **Sara**, **Rayyan**, **Amani**, **Nour**, pour les rires partagés, les nuits blanches de révision et la solidarité dont nous avons fait preuve. Ce diplôme est aussi le symbole de notre belle amitié.

À ma collègue **Kaoutar**, pour sa précieuse collaboration, son écoute, sa complicité au quotidien et son soutien constant tout au long de ce projet partagé

## À moi-même...

En reconnaissance de ma propre résilience, de ma persévérance face aux obstacles, de chaque nuit de travail et de ma détermination à aller jusqu'au bout de mes ambitions.

*Chaïma*

بسم الله الرحمن الرحيم  
﴿وآخر دعوانهم أن الحمد لله رب العالمين﴾

الحمد لله الذي ما نجحنا ولا علونا إلا برضاه، والحمد لله الذي ما اجتزنا دربًا ولا تخطينا جهدًا إلا بفضلته، وإليه يُنسب الفضل كله. الحمد لله الذي أكرمنا بنعمة الوصول، وما توفيقني إلا بالله، الحمد لله الذي أعانني ووقفني حتى بلغت هذه اللحظة التي طال انتظارها

لم تكن الرحلة قصيرة، ولم يكن الطريق سهلًا، لكن بفضل الله ثم بالصبر والعزيمة تجاوزت كل الصعوبات، واليوم أقف على عتبة حلم أصبح حقيقة

...أهدي ثمرة هذا النجاح إلى

إلى سندي الأول وضلعي الثابت، أبي العزيز؛  
يا من أحمل اسمه فخراً كأنه وسام لا يُنزع، وأحمل على خطاه اعتزازاً ومعنى الثبات والسند الحقيقي. كنت دائماً قدوتي التي أفخر بها، ودافعي لتحقيق أحلامي، وما وصلت إليه اليوم هو ثمرة تعبك ودعمك. كنت أول من يستحق أن يُهدى إليه هذا النجاح. أسأل الله أن يطيل في عمرك ويحفظك لي

وإلى ظل الجنة في الدنيا وداعمي الأول، أمي؛  
كل كلمات الدنيا لا تكفي لأعبر عن امتناني لك، كنت لي نوراً أضاء طريقي وسط ظلمات الحياة، ودعاؤك كان مفتاح كل بابٍ مغلق، فما خاب دربٌ كانت أمي تمهده بالدعاء. كل نجاح أحمله اليوم يحمل بصمتك، وكل خطوة فيه أثر من صبرك وتضحياتك. أهديك هذا الإنجاز يا جنتي ونعمة الله في حياتي، وأسأل الله أن يحفظك لي، ويجزيك عني خير الجزاء، ويجعل السعادة لا تفارق قلبك كما لم يفارقني حبك ودعاؤك يوماً

وإلى إخوتي؛  
سندي ورفاق دربي، كانوا لي عوناً في لحظات التعب وسبباً في لحظات الفرح

وإلى نفسي؛  
التي صبرت حين تعبت، وقاومت حين ضعفت، ولم تستسلم رغم كل الظروف. أهديك هذا الإنجاز فخراً بما تحملت، وبما وصلت إليه بعد كل جهدٍ وصبر

kaoutar

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir donné la force, la patience et la volonté d'accomplir ce travail.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent à mon encadrante de mémoire, **Dr Hallaci Manel**, pour sa précieuse orientation, sa rigueur scientifique, sa disponibilité constante et la confiance qu'elle m'a accordée tout au long de la réalisation de ce projet. Ses conseils judicieux et son encadrement bienveillant ont été le moteur de la réussite de ce travail.

Je remercie chaleureusement les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail et de l'honorer de leur critique constructive.

Un grand merci à l'ensemble du personnel et des ingénieurs du complexe GLIK de SONATRACH à Skikda pour leur accueil chaleureux, leur coopération exemplaire et leur soutien technique précieux durant la période de mon stage de fin d'études.

Enfin, je témoigne ma reconnaissance absolue à ma famille, mes amies, ainsi qu'à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à faire de ce parcours universitaire une réussite. À vous tous, merci.

**Résumé :** Cette étude est consacrée à l'évaluation globale de la sécurité en milieu industriel et professionnel au sein du complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1K (SONATRACH, Skikda), en se focalisant sur le Train de fractionnement. La méthode scientifique se base sur une double comparaison. En premier lieu, on compare les méthodes utilisées : le diagnostic qualitatif sur le terrain AF.OCEP, qui se concentre sur l'activité des personnes dans l'atelier, et l'analyse systémique macroscopique MADS, qui porte sur les flux de risques. Ce mélange d'informations a permis de repérer le Train de fractionnement comme la partie la plus importante et la plus en danger de l'usine, c'est là que des petits problèmes de maintenance peuvent causer des fuites graves. Ensuite, une étude comparée phénoménologique est menée sur une canalisation de transport de 16 pouces de cette unité centrale. Deux accidents différents ont été simulés avec le logiciel DNV PHAST 8.2 (modèle UDM de dispersion) sous les conditions météorologiques les plus difficiles plus locales (stabilité 1.5/F, vent de 1,5 m/s), un cas de fuite continue et un cas de rupture brusque. Les résultats numériques montrent une influence thermique et mécanique importante (onde de surpression atteignant 871,57 m), ce qui confirme une menace directe d'effet en chaîne sur les grands réservoirs de gaz naturel liquéfié voisins. Face à ces risques d'accidents, un plan de sécurité basé sur trois éléments clés : Technique, Organisationnel et Humain (THO) a été mis en place. Ce plan a montré que réduire le temps nécessaire pour fermer les vannes d'urgence (ESD) sous 60 secondes permet de réduire suffisamment le risque industriel pour qu'il devienne acceptable.

**Mots-clés :** GNL, Train de Fractionnement, AF.O.C.E.P., M.A.D.S., DNV PHAST 8.2, Effet Domino, Barrières T.H.O., Skikda.

**Abstract:** This study is devoted to the overall assessment of safety in industrial and professional environments within the GLIK natural gas liquefaction complex (SONATRACH, Skikda), focusing on the fractionation train. The scientific method is based on a double comparison. First, we compare the methods used: the qualitative field diagnosis AF.OCEP, which focuses on the activity of people in the workshop, and the MADS macroscopic systemic analysis, which focuses on risk flows. This mix of information has made it possible to identify the fractionation train as the most important and most at-risk part of the plant, this is where small maintenance problems can cause serious leaks. Next, a phenomenological comparative study is conducted on a 16-inch transport pipeline of this central unit. Two different accidents were simulated with the DNV PHAST 8.2 software. (UDM dispersion model) under the most difficult, more local weather conditions (stability 1.5/F, wind of 1.5 m/s), one case of continuous leakage and one case of abrupt rupture. The numerical results show a significant thermal and mechanical influence (overpressure wave reaching 871.57 m), which confirms a direct threat of chain effect on the nearby large liquefied natural gas tanks. In response to these accident risks, a safety plan based on three key elements: Technical, Organizational, and Human (THO) has been implemented. This plan showed that reducing the time required to close emergency valves (ESD) within 60 seconds makes it possible to reduce the industrial risk sufficiently for it to become acceptable.

**Keywords:** LNG, Fractionation Train, AF.O.C.E.P., M.A.D.S., DNV PHAST 8.2, Domino effect, T.H.O. barriers, Skikda.

**ملخص:** تتناول هذه الدراسة التقييم الشامل للسلامة في البيئات الصناعية والمهنية داخل مجمع تسهيل الغاز الطبيعي (GLIK SONATRACH)، Skikda ، مع التركيز على قطار التجزئة. يعتمد المنهج العلمي على المقارنة المزدوجة.

أولاً، قمنا بمقارنة الأساليب المستخدمة: التشخيص الميداني النوعي AF.OCEP ، والذي يركز على نشاط الأشخاص في ورشة العمل، والتحليل النظامي العياني MADS ، والذي يركز على تدفقات المخاطر. لقد أتاح هذا المزيج من المعلومات تحديد قطار التجزئة باعتباره الجزء الأكثر أهمية والأكثر عرضة للخطر في المصنع، وهنا يمكن أن تتسبب مشاكل الصيانة الصغيرة في حدوث تسربات خطيرة. بعد ذلك، يتم إجراء دراسة مقارنة ظاهرانية على خط أنابيب نقل مقاس 16 بوصة لهذه الوحدة المركزية. تمت محاكاة حادثين مختلفين باستخدام برنامج (DNV PHAST 8.2 نموذج تشتت (UDM) في ظل أصعب الظروف الجوية المحلية (استقرار 1.5/فهرنهايت، رياح 1.5 متر/ثانية) ، وحالة واحدة من التسرب المستمر وحالة واحدة من التمزق المفاجئ. وتظهر النتائج العددية تأثيراً حرارياً وميكانيكياً كبيراً (موجة ضغط زائد تصل إلى 871.57 متراً)، مما يؤكد وجود تهديد مباشر بتأثير السلسلة على خزانات الغاز الطبيعي المسال الكبيرة القريبة. واستجابة لمخاطر الحوادث هذه، تم تنفيذ خطة سلامة تعتمد على ثلاثة عناصر رئيسية: التقنية والتنظيمية والبشرية (THO). وأظهرت هذه الخطة أن تقليل الوقت اللازم لإغلاق صمامات الطوارئ (ESD) خلال 60 ثانية يجعل من الممكن تقليل المخاطر الصناعية بشكل كافٍ لتصبح مقبولة.

**الكلمات المفتاحية:** الغاز الطبيعي المسال، قطار التجزئة، AF.OCEP ، MADS ، DNV PHAST 8.2، تأثير الدومينو، حواجز THO ، Skikda.

## Table des matières

---

### Remerciment

Dedicace

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

Introduction générale.....1

### Chapitre I : Généralité sur les risques professionnels

Introduction.....4

I.1. Notion de risque professionnel.....4

I.1.1. Les risques professionnels .....4

I.1.2. Risques industriels .....4

I.1.3. Maladies professionnelles.....4

I.1.4. Classification des accidents du travail.....5

I.1.4.1. Les accidents du travail sans arrêt .....5

I.1.4.2. Les accidents de travail avec arrêt .....5

I.1.4.3. Les accidents du travail avec incapacité permanente .....6

I.1.4.4. Les accidents du travail mortels .....6

I.1.5. La pyramide de Bird .....6

I.2. Inventaire des risques professionnels .....7

I.2. 1. Le risque mécanique.....7

I.2. 2. Le risque physique.....8

I.2.3. Les risques liés aux vibrations.....8

I.2.4. Le risque de surdité.....10

I.2.5. Le risque électrique .....10

I.2.6. Les risques liés aux rayonnements .....11

I.2.7. Le risque chimique .....11

I.2.9. Le risque biologique .....12

## Table des matières

---

I.2.10. Risques psychosociaux .....	12
I.3. Evaluation des risques professionnels .....	<b>12</b>
I.3.1. C'est quoi l'évaluation des risques professionnels ? .....	12
I.3.2. Pourquoi évaluer les risques professionnels ? .....	13
I.3.3. Sous quelle forme évaluer les risques professionnels ?.....	13
I.3.4. La démarche évaluation des risques professionnels (EVRP) .....	13
I.3.4.1. Préparer l'évaluation des risques .....	14
I.3.4.2. Identifier les risques.....	14
I.3.4.3. Evaluer les risques .....	15
I.3.4.4. Déterminer et adopter les préventives et les mettre en œuvre .....	17
I.3.4.5. Examen, contrôle et réexamen.....	19
I.3.5. Documents nécessaires pour l'EVRP .....	20
I.3.6. Conseils pour l'expertise EVRP .....	21
I.3.7. Les conditions de réussite d'évaluation des risques professionnels .....	21
I.3.8. Avantages de l'EVRP .....	22
I.3.8.1. Protéger la santé et la sécurité des travailleurs .....	22
I.3.8.2. Répondre aux obligations de prévention .....	22
I.3.8.3. Favoriser le dialogue social .....	22
I.3.8.4. Créer un emploi de qualité.....	22
I.4. La législation algérienne des accidents de travail .....	<b>23</b>
Conclusion .....	<b>23</b>

### **Chapitre II: présentation du complexe GL1K**

Introduction.....	<b>24</b>
II.1. Présentation du complexe GL1/K .....	<b>24</b>
II.1.1. Localisation et accès.....	24
II.1.2. Historique du complexe .....	26
II.1.3. Organisation du complexe GL1/K .....	27

## Table des matières

---

II.1.4. Description des installations du complexe GL1K.....	27
II.2. Distribution du gaz naturel.....	<b>28</b>
II.2. 1. Nouveau Train de GNL.....	28
II.2. 2. Unités existantes (GL-1/K) .....	28
II.2. 3. Capacité de production.....	28
II.3. Processus de traitement et liquéfaction du GN .....	<b>29</b>
II.4. Description des unités .....	<b>29</b>
II.4.1. Unité de comptage.....	29
II.4.2. Unité de compression.....	30
II.4.3. Unités de traitement .....	30
II.4.3.1. L'unité de décarbonatation.....	30
II.4.3.2. L'unité de déshydratation.....	30
II.4.3.3. L'unité de démercurisation.....	30
II.4.3.4. L'unité de liquéfaction .....	31
II.4.3.5. L'unité de fractionnement .....	31
II.4.3.6. L'unité de stockage .....	31
II.4.4. Méga train .....	31
II.5. Les utilités .....	<b>33</b>
II.5.1. L'énergie électrique .....	33
II.5.2. Unité de production d'air de service et d'air d'instrumentation .....	33
II.5.2.1. Réseau commun .....	33
II.5.2.2. La salle de contrôle principale comprend .....	34
II.5.2.3. Le système de contrôle et de sécurité.....	34
Conclusion .....	<b>34</b>
<b>Chapitre III: présentation des méthodes d'analyse des risques AF.O.C.E.P et MADS</b>	
Introduction.....	<b>35</b>

## Table des matières

---

III.1. La Méthode A.F.O.C.E.P (Analyse Fonctionnelle / Observation / Composantes du Risque / Évaluation / Prévention) .....	35
III.1.1. Principe général de la méthode .....	35
III.1.2. Déroulement et progression de l'analyse .....	35
III.1.3. La progression de l'analyse AF.O.C.E.P .....	37
III.1.3.1. L'Analyse Fonctionnelle du système et l'Observation du poste (AF. O) .....	37
III.1.3.2. L'Évaluation du risque (E).....	37
III.1.3.3. La Prévention du risque (P) et le suivi des mesures .....	37
III.1.4. La méthodologie AF.O.C.E.P d'analyse du risque [31]. .....	38
III.1.5. Définition des paramètres .....	39
III.1.6. Objectifs de la méthode AF. O.C.E.P .....	39
III.2. La Méthode M.A.D.S (Méthodologie d'Analyse des dysfonctionnements dans les Systèmes).....	39
III.2.1. Principe général et approche systémique .....	39
III.2.2. Déroulement de la méthode MADS.....	40
III.2.3. Définition des paramètres de cotation.....	41
III.2.3.1. La dose d'exposition.....	41
III.2.3.2. La fréquence d'exposition .....	41
III.2.3.3. Le Niveau d'Exposition (NE).....	42
III.2.3.4. Le niveau de gravité.....	43
III.2.3.4. Le niveau de risque final : (NR ou codifié de P1 à P5) .....	43
III.2.4. La structuration des actions de prévention : La démarche T.H.O .....	44
III.2.5. Objectifs de la méthode MADS .....	44
Conclusion .....	45
<b>Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques ( AF.O.C.E.P et MADS)</b>	
Introduction.....	46
IV.1. Analyse opérationnelle par la méthode AF.O.C.E. P.....	46
IV.1.1. Fondements, Objectifs et Etapes de la méthode AF.O.C.E. P.....	46

## Table des matières

---

IV.1.2. Décomposition structurelle et fonctionnelle du champ de travail .....	47
IV.1.3. Application de la méthode .....	47
IV.1.2. Discussion des résultats .....	66
IV.2. Modélisation Systémique par la Méthode M.A.D.S.....	<b>67</b>
IV.2.1. Application de la méthode M.A.D.S aux 3 zones les plus critiques du complexe GL1K .....	68
IV.2.2.1. Discussion.....	71
IV.2.3. Synthèse du Contrôle et Plan d'Action de Prévention .....	72
IV.2.3.1. Élaboration du plan d'action.....	72
IV.3. Etude Comparative des Méthodes AF.O.C.E.P et M.A.D.S .....	<b>75</b>
IV.3.1. Analyse comparatif des critères de performance.....	76
IV.3.1.2. Comparaison des résultats de cotation.....	77
Conclusion .....	<b>78</b>

### **Chapitre V: Modélisation et simulation ( logiciel PHAST)**

Introduction.....	<b>79</b>
V.1. Présentation du logiciel de simulation PHAST.....	<b>79</b>
V.1.1. Avantages .....	80
V.1.2. Objectif d'un logiciel PHAST .....	80
V.1.3. Résultats de modélisation par PHAST .....	80
V.2. Application du logiciel PHAST .....	<b>81</b>
V.2.1 Propriétés thermodynamiques du fluide et paramètres du système.....	81
V.2.2 Conditions météo-climatiques locales (Site de Skikda) .....	82
V.2.3 Scénarios retenus .....	82
V.2.4 Modélisation des scénarios d'accidents par le PHAST .....	83
V.2.4.1. Résultats de simulation pour le Scénario A : Fuite.....	83
V.2.4.2. Résultats de simulation pour le Scénario B : Rupture catastrophique .....	90
V.2.5. Synthèse comparative des résultats des deux scénarios .....	96

## Table des matières

---

V.2.5.1. Points clés de l'analyse comparative.....	97
V.3. Plan de Recommandations et Implémentation des Barrières de Sécurité T.H.O.....	<b>98</b>
V.3.1. Barrières techniques (T) .....	98
V.3.2. Barrières organisationnelle (O).....	98
V.3.3. Barrières humaines (H).....	99
Conclusion .....	<b>99</b>
<b>conclusion generale.....</b>	<b>100</b>
<b>bibliographie.....</b>	<b>102</b>

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau I. 1:</b> Les valeurs seuils d'exposition aux vibrations sur une période de 8h. ....	9
<b>Tableau I. 2:</b> Valeur d'exposition et les mesures à prendre. ....	10
<b>Tableau II. 1:</b> Tableau représente les différents produits du méga train. ....	32
<b>Tableau III. 1:</b> Exemple du tableau de synthèse.....	36
<b>Tableau III. 2:</b> Cadre de suivi des mesures de prévention AF.O.C.E. P . ....	37
<b>Tableau III. 3:</b> La méthodologie AF.O.C.E.P d'analyse du risque. ....	38
<b>Tableau III. 4:</b> Niveaux de cotation pour l'évaluation du risque AF.O.C.E. P.....	39
<b>Tableau III. 5:</b> Grille de cotation de la Dose d'Exposition (DE). ....	41
<b>Tableau III. 6:</b> Grille de cotation de la Fréquence d'Exposition (FE).....	41
<b>Tableau III. 7:</b> Matrice du Niveau d'Exposition (NE).....	42
<b>Tableau III. 8:</b> Grille de cotation du Niveau de Gravité (NG). ....	43
<b>Tableau III. 9:</b> Matrice de Criticité Finale — Niveau de Risque (NR / Priorité P).....	43
<b>Tableau III. 10:</b> Structure du tableau d'analyse M.A.D.S. ....	44
<b>Tableau IV. 1:</b> Décomposition structurelle et fonctionnelle du champ de travail. ....	47
<b>Tableau IV. 2:</b> Département Maintenance. ....	49
<b>Tableau IV. 3:</b> Les ateliers de maintenance :(Atelier Mécanique) ....	51
<b>Tableau IV. 4:</b> Les ateliers de maintenance (Atelier Chaudronnerie). ....	56
<b>Tableau IV. 5:</b> Les ateliers de maintenance :(Atelier Électricité et sous-station électrique)....	61
<b>Tableau IV. 6:</b> Maintenance des installations :(Atelier Instrumentation).....	64
<b>Tableau IV. 7:</b> Matrice de cotation brute AF.O.C.E.P pour les ateliers de maintenance .....	67
<b>Tableau IV. 8:</b> Tableau d'évaluation des risques professionnels par la méthode M.A.D.S.....	70
<b>Tableau IV. 9:</b> Matrice de criticité M.A.D.S pour les unités de production.....	71
<b>Tableau IV. 10:</b> Plan d'action et moyens de prévention — Famille Technique.....	73
<b>Tableau IV. 11:</b> Plan d'action et moyens de prévention — Famille Humaine.....	75
<b>Tableau IV. 12:</b> Plan d'action et moyens de prévention — Famille Organisationnelle .....	76
<b>Tableau IV. 13:</b> Tableau comparatif des caractéristiques et performances des deux méthodes	77
<b>Tableau V. 1:</b> caractéristiques physiques et opératoires .....	80
<b>Tableau V. 2:</b> Conditions météo-climatiques locales .....	81
<b>Tableau V. 3:</b> Scénarios choisis .....	82
<b>Tableau V. 4:</b> Résultats numériques de la dispersion atmosphérique.....	82
<b>Tableau V. 5:</b> Résultats relatifs au feu éclair (Flash Fire).....	84
<b>Tableau V. 6 :</b> Rayons d'intensité du rayonnement thermique pour le feu de jet .....	86
<b>Tableau V. 7:</b> Résultats des effets mécaniques de surpression d'explosion.....	87

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau V. 8:</b> Flux de rayonnement thermique des incendies instantanés (Pool Fire).....	89
<b>Tableau V. 9:</b> Flux de rayonnement thermique (fire ball) .....	91
<b>Tableau V. 10:</b> Résultats de la dispersion atmosphérique en cas d'ignition différée .....	92
<b>Tableau V. 11:</b> Tableau comparatif des distances d'impact des Scénarios A et B.....	95

## Liste des figures

---

<b>Figure I. 1:</b> Le triangle de Byrd .....	6
<b>Figure I. 2:</b> Risques liés à la manutention mécanique .....	7
<b>Figure I. 3:</b> Signaux d'interdiction liés aux risques mécaniques .....	8
<b>Figure I. 4:</b> Risques dus aux vibrations .....	9
<b>Figure I. 5:</b> Les dangers du courant électrique .....	11
<b>Figure I. 6:</b> Risques chimiques .....	12
<b>Figure I. 7:</b> Les étapes d'évaluation des risques professionnels(EVRP) .....	14
<b>Figure I. 8:</b> Les différents niveaux de fréquence d'Exposition au risque . .....	16
<b>Figure I. 9:</b> L'échelle de gravité .....	16
<b>Figure I. 10:</b> Matrice de criticité d'un risque . .....	17
<b>Figure I. 11:</b> La hiérarchie des contrôles de sécurité .....	18
<b>Figure II. 1:</b> Zone industrielle de SKIKDA .....	24
<b>Figure II. 2:</b> Vue aérienne du complexe GL1/K de Skikda. ....	25
<b>Figure II. 3:</b> Position géographique du complexe GNL1K .....	26
<b>Figure II. 4:</b> Organisation du complexe GL1/K de Skikda .....	27
<b>Figure II. 5:</b> Organisation du complexe GL1/K de Skikda .....	29
<b>Figure II. 6:</b> Procédé Méga Train .....	32
<b>Figure II. 7:</b> Les utilités .....	33
<b>Figure V. 1:</b> Enveloppe maximale de dispersion atmosphérique du nuage de GNL.....	83
<b>Figure V. 2:</b> Image des distances de dispersion du GNL. ....	83
<b>Figure V. 3:</b> Graphique de la courbe de l'enveloppe inflammable .....	84
<b>Figure V. 4:</b> Profil bidimensionnel de l'enveloppe thermique du feu éclair (Flash Fire) induit par la fuite continue .....	84
<b>Figure V. 5:</b> La cartographie des rayons de rayonnement thermique du Jet Fire .....	86
<b>Figure V. 6:</b> Graphique de la courbe de l'enveloppe inflammable .....	86
<b>Figure V. 7:</b> La cartographie en cercles des zones d'ondes de choc de la fuite .....	88
<b>Figure V. 8:</b> Courbe de décroissance de l'onde de surpression du VCE en fonction de la distance .....	88
<b>Figure V. 9:</b> Graphique de la courbe de l'enveloppe inflammable .....	90

## Liste des figures

---

<b>Figure V. 10:</b> Évolution des flux de rayonnement thermique en fonction de la distance pour les phénomènes d'incendie instantanés.....	90
<b>Figure V. 11:</b> Cartographie des zones d'impact thermique de la boule de feu (Fireball). .....	91
<b>Figure V. 12:</b> Évolution des flux de rayonnement thermique de la boule de feu (Fireball)...	91
<b>Figure V. 13:</b> Enveloppe bidimensionnelle maximale de dispersion atmosphérique du nuage de gaz lourd cryogénique induit par la libération instantanée du GNL .....	93
<b>Figure V. 14:</b> Empreinte cartographique au sol et franges de concentration du nuage inflammable avant ignition.....	93
<b>Figure V. 15:</b> Profil géométrique d'évolution et de décroissance des ondes de surpression mécanique d'une VCE. ....	94
<b>Figure V. 16:</b> Cartographie finale de l'explosion maximale (Worst-Case VCE) .....	94

## Liste des abréviations

---

**A.F.O.C.E.P** : Analyse Fonctionnelle / Observation / Composantes du Risque / Évaluation / Prévention

**M.A.D.S** : Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements dans les Systèmes

**PHAST** : Process Hazard Analysis Software Tool (Logiciel de modélisation DNV)

**DNV** : Det Norske Veritas

**UDM** : Unified Dispersion Model (Modèle de dispersion atmosphérique unifié)

**DCS** : Distributed Control System (Système de contrôle distribué)

**ICS** : Instrument Control System (Système de contrôle des instruments)

**EPKS** : Experion Process Knowledge System (Système Honeywell)

**OTS** : Operator Training Simulator (Simulateur de formation)

**HSE** : Hygiène, Sécurité, Environnement

**EVRP / EvRP** : Évaluation des Risques Professionnels

**THO / T.H.O** : Technique, Organisationnel et Humain (Barrières de sécurité)

**ESD** : Emergency Shutdown (Système / Vanne d'arrêt d'urgence)

**AT** : Accident du Travail

**MP** : Maladie Professionnelle

**CHS** : Commission d'Hygiène et de Sécurité

**LOTO** : Lock-Out / Tag-Out (Procédure de consignation)

**PII** : Plan d'Intervention Interne

**VLEP** : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

**VCE** : Vapor Cloud Explosion (Explosion de nuage de vapeur)

**EPI** : Équipement de Protection Individuelle

**SDD** : Source de Danger

**DE** : Dose d'Exposition

**FE** : Fréquence d'Exposition

## Liste des abréviations

---

**NE** : Niveau d'Exposition ( $NE = DE \times FE$ )

**NG** : Niveau de Gravité

**NR** : Niveau de Risque

**PE** : Prévention Existante / Efficacité de la prévention

**GNL** : Gaz Naturel Liquéfié

**GN** : Gaz Naturel

**GPL** : Gaz de Pétrole Liquéfié (Propane / Butane)

**SONATRACH** : Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures

**GL1/K / GL1K** : Complexe de Liquéfaction de Gaz Naturel de Skikda

**CPIK** : Complexe de Matières Plastiques de Skikda

**SOMIK** : Société de Maintenance Industrielle de Skikda

**DRIK** : Direction Régionale Industrielle de Skikda

**STH** : Société de Transport d'Hydrocarbures

**MDEA / AMDEA** : Méthyle Diéthanolamine (Solution pour la décarbonatation du GN)

**BASF** : Badische Anilin- & Soda-Fabrik (Développeur du procédé AMDEA)

**APCI** : Air Products and Chemicals Incorporation (Procédé de liquéfaction)

**HRM** : Hassi R'mel (Gisement de provenance du gaz)

**MTPA** : Million Tons Per Annum (Millions de tonnes par an)

**dB** : Décibel (Unité de mesure du niveau sonore)

**ppm** : Partie par million (Unité de mesure de concentration)

**MW** : Mégawatt (Unité de puissance électrique)

## Introduction générale

---

Dans le paysage industriel d'aujourd'hui, les usines qui traitent les hydrocarbures et liquéfient le gaz naturel sont des éléments essentiels à l'économie, mais elles sont aussi des sites présentant des risques technologiques importants, réglementés par des lois très strictes, telles que le règlement Seveso. Le complexe GL1K de SONATRACH, installé dans la zone industrielle de Skikda, illustre bien cette dualité. Il fonctionne dans des conditions très difficiles, avec des pressions très élevées et des contraintes très froides, et le fluide est stocké et transporté à des températures qui varient entre -162 °C et -165 °C. Ce contexte opératoire nécessite une surveillance et une anticipation parfaites. Une petite fissure ou un défaut physique peut entraîner une grande fuite de confinement, provoquant des phénomènes dangereux comme des incendies étendus, des flammes soudaines ou des explosions de vapeur, qui peuvent causer des dommages graves aux installations voisines.

Devant ces défis, il est essentiel de placer l'humain au centre de la sécurité du site. La gestion des risques professionnels ne peut plus se contenter d'une approche passive.

L'environnement de travail dans un complexe de GNL expose les opérateurs de maintenance à des risques professionnels variés et complexes au quotidien : ils doivent manipuler des objets lourds, ce qui entraîne des contraintes ergonomiques importantes, adopter des positions inconfortables et être exposés à des agents physiques agressifs, tels que le bruit, des températures très basses et des fumées de soudage. Il y a également des risques d'accidents directs tels que les brûlures, les électrocutions ou encore les écrasements. Une sécurité industrielle efficace et complète doit donc relier ces risques professionnels « micro » subis par l'opérateur dans l'atelier aux risques industriels « macro » importants causés par les problèmes dans les processus de production.

Cette étude se fonde sur la question principale suivante : Comment l'utilisation conjointe et comparative de méthodes d'analyse des risques peut-elle nous permettre d'identifier la zone la plus vulnérable d'un complexe gazier et d'évaluer de manière prévisionnelle les impacts d'un accident ? Ce travail de recherche vise principalement à effectuer une analyse comparative, dans un premier temps, entre une méthode axée sur la performance humaine et une approche systémique des processus, pour déterminer précisément l'élément le plus crucial du site. Par la suite, l'intention est de réaliser une simulation comparative de deux scénarios de défaillance distincts dans cette région ciblée afin de mesurer leurs distances d'impact effectives et d'établir un plan optimal de barrières de sécurité.

## Introduction générale

---

La stratégie méthodologique mise en œuvre pour parvenir à ces buts repose sur une double comparaison. La phase initiale implique la confrontation entre les résultats issus de la méthode qualitative de terrain AF.O.C.E.P. (qui se focalise sur l'Indice Prioritaire Brut des risques professionnels) et ceux de la méthode systémique M.A.D.S. (measuring and displaying systemic danger flows). Cette intersection a facilité l'identification scientifique du Train de fractionnement en tant que la zone présentant le plus de risques au sein du complexe.

La deuxième étape consiste à réaliser une analyse comparative de deux scénarios d'accidents majeurs sur une conduite de transfert de 16 pouces de ce système : un scénario avec fuite continue (produisant un feu de torche et une dispersion) et un scénario avec rupture catastrophique instantanée (produisant un feu de surface, une boule de feu et une explosion de type VCE). Ces modélisations sont effectuées à l'aide du programme DNV PHAST 8.2, en se servant du modèle de diffusion UDM, dans le contexte des conditions climatiques locales (stabilité 1.5/F, vent de 1.5 m/s).

Pour présenter logiquement le cheminement de cette recherche, le présent manuscrit est structuré en cinq chapitres distincts :

- **Le premier chapitre** : établit les bases théoriques en déterminant les risques professionnels, en précisant ce qu'est un danger, une situation dangereuse et les responsabilités légales liées à l'Évaluation des Risques Professionnels (EvRP).
- **Le deuxième chapitre** : présente le site complexe GL1K de SONATRACH, en décrivant son organisation opérationnelle, ses méthodes de liquéfaction et l'environnement technique sur lequel se base notre étude.
- **Le chapitre III** : présente les bases théoriques des deux méthodes d'évaluation utilisées : la méthode participative et ergonomique AF.O.C.E.P, qui s'axe sur le terrain, et la méthode systémique MADS, qui s'axe sur les processus.
- **Le chapitre IV** : met en pratique ces deux méthodes pour identifier les points critiques des ateliers de maintenance et des grandes unités de production, tout en présentant un plan d'action qui repose sur les trois barrières : Techniques, Humaines et Organisationnelles (THO).
- **le chapitre V** : apporte une dimension quantitative essentielle en utilisant une simulation numérique réalisée avec le logiciel PHAST (développé par DNV), pour reproduire les effets physiques des différents scénarios d'accidents graves comme le

## **Introduction générale**

---

jet de feu, le feu flash et l'explosion, qui ont été identifiés pour le train de fractionnement.

L'objectif final de ce document est de donner aux ingénieurs HSE du complexe GL1K un outil de prise de décision standardisé, basé sur des données scientifiquement vérifiées et facile à utiliser, afin de renforcer le sens de la sécurité sur le site.

# **Chapitre I : Généralité sur les risques professionnels**

### Introduction

La majorité des risques professionnels ont une origine industrielle, On les rencontre principalement dans les différents secteurs d'activité des usines : fabrication, stockage, transport, recherche, etc.

Les risques professionnels d'origine industrielle peuvent être définis comme des situations dangereuses liées aux activités industrielles et aux installations annexes, telles que les locaux de stockage des matières premières et des produits finis, les laboratoires de recherche, de mise au point et de contrôle, ainsi que les opérations de transport, tant à l'intérieur des usines qu'entre les sites de fabrication et les lieux d'utilisation [1].

### I.1. Notion de risque professionnel

#### I.1.1. Les risques professionnels

Le risque professionnel est une éventualité constante dans toutes les situations de travail, variant en termes de probabilité et de gravité en fonction du type de travail et des conditions dans lesquelles l'activité professionnelle est exercée. Les conséquences éventuelles du risque professionnel peuvent revêtir deux formes : l'accident du travail (AT) ou la maladie professionnelle (MP) [2].

#### I.1.2. Risques industriels

Le risque industriel se caractérise par un accident se produisant sur un site industriel et susceptible d'avoir des conséquences graves pour les personnels, les communautés, les propriétés, l'écosystème ou l'environnement naturel.

Les actions de prévention des risques industriels majeurs s'appuient sur la compréhension des phénomènes redoutés, notamment par le biais d'une analyse des dangers. Cette prévention repose sur quatre axes principaux :

- La maîtrise du risque à la source ;
- La maîtrise de l'urbanisation ;
- L'organisation des secours ;
- L'information préventive et la concertation [3].

#### I.1.3. Maladies professionnelles

Une maladie professionnelle (MP) est le résultat d'une exposition, plus ou moins prolongée, à un risque inhérent à l'exercice ordinaire de la profession. Il est presque toujours difficile de déterminer précisément le moment où la maladie a commencé, surtout que certaines maladies professionnelles peuvent ne se révéler que des années après le début de

l'exposition au risque et même parfois très longtemps après que le travailleur a cessé d'exercer le travail incriminé.

La cause professionnelle de la maladie est rarement évidente et il est parfois très difficile de retrouver, parmi l'ensemble des nuisances auquel est exposé le travailleur, celle ou celles qui peuvent être à l'origine des troubles constatés. Sous ces circonstances, il est souvent ardu de déterminer précisément l'emplacement, la date et le lien de causalité, et la « matérialité » d'une MP ne peut généralement pas être prouvée à partir des éléments de preuve qui sont constamment difficiles, voire impossibles, à fournir. Dans de nombreux cas, le droit à réparation doit être basé sur des normes médicales et techniques de probabilité ainsi que sur des standards administratifs de présomption.

En application de l'article L.461-1 du code de la Sécurité Sociale, pour être reconnue comme professionnelle et donner lieu à réparation, une maladie doit :

- ✓ soit figurer dans l'un des tableaux de maladies professionnelles ;
- ✓ soit être identifiée comme ayant un lien direct avec l'activité professionnelle par le système complémentaire de reconnaissance des maladies professionnelles [4].

### **I.1.4. Classification des accidents du travail**

L'accident du travail est un événement de caractère soudain survenu par le fait ou à l'occasion du travail à un salarié d'une entreprise qui lui cause un dommage corporel. Sous réserve que soient établies ou reconnues par l'employeur et par l'organisme social qui prend en charge la réparation, les circonstances matérielles de l'accident, le salarié bénéficie d'une présomption d'imputabilité qui le dispense de prouver la causalité du dommage.

#### **I.1.4.1. Les accidents du travail sans arrêt**

Ce sont des arrêts généralement bénins qui peuvent être traités sur place, idéalement à l'infirmerie de l'entreprise, et qui requièrent seulement quelques heures de repos ou de soins. Il n'est pas impératif de signaler ces accidents, mais il faut les enregistrer dans des registres particuliers. Il s'agit de petites blessures (coupure, égratignures, chocs et traumatismes bénins) [5].

#### **I.1.4.2. Les accidents de travail avec arrêt**

Quelques jours à plusieurs mois. C'est une incapacité temporaire, compensée en fonction de la durée de l'absence du travail, jusqu'à un retour total ou partiel au travail. Ce sont des accidents plus graves, nécessitant des soins médicaux ou hospitaliers prolongés et intensifs, suivis d'une période de repos d'une durée variable [5].

### I.1.4.3. Les accidents du travail avec incapacité permanente

Correspondant à des lésions définitives et des séquelles qui peuvent diminuer la capacité de travail. Selon la gravité des dommages physiques, divers taux d'incapacité permanente sont déterminés, se traduisant par des indemnisations (rentes) suivant un barème défini par des textes réglementaires. Un doigt coupé, un œil crevé, une jambe déformée, un poumon partiellement abîmé font l'objet d'indemnisations dont les montants sont variables [5].

### I.1.4.4. Les accidents du travail mortels

Avec décès immédiat ou différé, suite à des complications issues d'accidents. Dans ce contexte, ce sont les bénéficiaires qui perçoivent les rentes viagères, conformément à des règles spécifiques établies par des textes de réglementation [5].

### I.1.5. La pyramide de Bird

Le concept de la pyramide de Bird est le fruit d'une étude réalisée par Frank Bird sur les accidents du travail rapportés par 297 entreprises. Cette recherche, effectuée en 1969, a examiné les différentes typologies d'accidents repérées par ces entreprises sur un total de plus de trois millions d'heures de travail accumulées. Ces entreprises comptaient 1,7 million d'employés et avaient déclaré plus de 1,7 million d'accidents et d'incidents de travail.

Le concept de Bird établit une relation entre les différents niveaux de gravité des accidents : plus le niveau d'incidents ou de presque accidents n'est élevé, plus le risque ou la probabilité d'un accident grave est élevée [6].

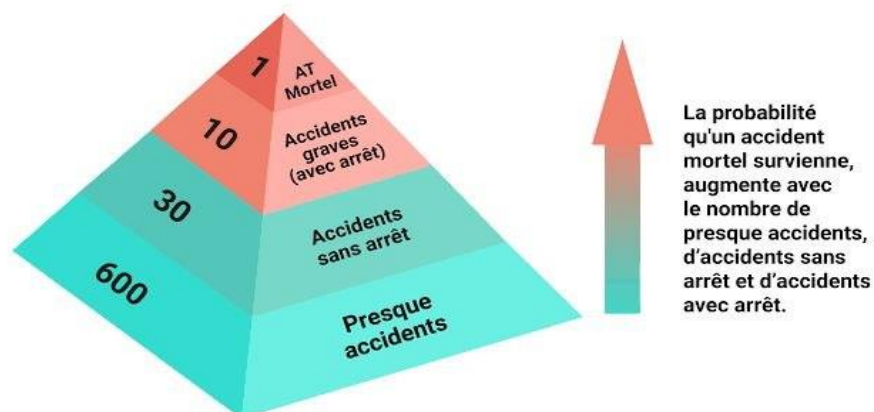


Figure I. 1: Le triangle de Byrd [7].

L'étude de Bird établit cette relation en catégorisant, selon une échelle de gravité croissante.

1. Les actions dangereuses ;
2. Les presque-accidents ;
3. Les accidents sans gravité ;
4. Les accidents graves ;
5. Les accidents mortels.

### I.2. Inventaire des risques professionnels

#### I.2.1. Le risque mécanique

Le risque mécanique se définit comme la situation dans laquelle un élément en mouvement entre en contact avec une partie du corps humain et provoque une lésion. Inversement, une partie du corps humain en mouvement peut aussi entrer en contact avec un objet matériel, comme lors d'une chute.

Ces éléments sont souvent liés à des équipements ou à des machines, mais ils peuvent également concerner des outils, des pièces, des charges, ou des projections de matériaux ou de fluides. On peut donc identifier un risque mécanique par la combinaison de trois facteurs : un opérateur, un élément matériel et l'énergie d'un mouvement.

1. Les risques mécaniques peuvent être :
2. des risques liés à l'utilisation de machines ;
3. des risques liés à la manutention mécanique ;
4. des risques liés à la manutention manuelle,
5. à la posture ou à des gestes répétitifs ;
6. des risques liés à la conduite ;
7. des risques liés à la chute d'objets ;
8. des risques liés à la chute de hauteur ou de plain-pied [8].



**Figure I. 2:** Risques liés à la manutention mécanique [9].



Figure I. 3: Signaux d'interdiction liés aux risques mécaniques [10].

### I.2. 2. Le risque physique

Il s'agit de risques qui proviennent de divers phénomènes physiques, souvent très variés, et qui nécessitent des mesures préventives spécifiques. Les différents types de risques physiques sont les suivants :

1. Les risques dus aux vibrations mécaniques ;
2. Les risques de surdité dus aux bruits à des niveaux élevés produits par les installations industrielles notamment ;
3. Les risques électriques accidentels ;
4. Les risques dus aux rayonnements, les rayons X qui conduisent à des atteintes graves de la santé, les infrarouges ou les rayons lasers qui peuvent conduire à des brûlures.

Les autres risques physiques dus à des pressions atmosphériques élevées ou faibles, ou encore aux travaux dans les mines [11].

### I.2.3. Les risques liés aux vibrations

L'exposition des travailleurs aux vibrations nocives comprend essentiellement :

1. Les vibrations transmises à l'ensemble du corps,( lorsque celui-ci est en contact avec une surface vibrante, comme dans les véhicules ou lors du travail à proximité de machines industrielles vibrantes );
2. Les vibrations main-bras,( qui se propagent au corps par les mains et résultent de diverses activités au cours desquelles des outils ou des pièces vibrantes sont saisis ou actionnés à l'aide des mains ou des doigts).

Une exposition de courte durée aux vibrations transmises à l'ensemble du corps ou aux vibrations main-bras peut provoquer une incapacité temporaire, tandis qu'une exposition prolongée ou répétée est susceptible d'entraîner des lésions permanentes [12].



**Figure I. 4:** Risques dus aux vibrations [9].

Pour calculer l'exposition vibratoire quotidienne  $A(8)$ , l'article R. 4444-1 du Code du travail permet à l'employeur d'opter soit pour la mesure du niveau vibratoire transmis par les machines, soit pour une estimation de ces accélérations, avant d'appliquer les formules de détermination de  $A(8)$  [4].

**Tableau I. 1:** Les valeurs seuils d'exposition aux vibrations sur une période de 8h [13].

Vibrations transmises aux mains et aux bras	Vibrations transmises à l'ensemble du corps	Le chef d'entreprise doit :
Valeur d'Action : à partir de <b>2,5 m/s<sup>2</sup></b>	Valeur d'Action : à partir de <b>0,5 m/s<sup>2</sup></b>	Mettre en place des actions de prévention pour réduire l'exposition.  Ne pas dépasser ce niveau d'exposition pour les jeunes travailleurs.
VLEP : à partir de <b>5 m/s<sup>2</sup></b>	VLEP : à partir de <b>1,15 m/s<sup>2</sup></b>	Ce seuil ne doit jamais être dépassé.  En cas de dépassement, prendre des mesures de réduction immédiates.

- **VLEP** : Valeur Limite d'exposition professionnelle ;
- **m/s<sup>2</sup>** : Mètre par seconde carrée.

### I.2.4. Le risque de surdité

Les travailleurs peuvent subir des dommages auditifs en raison des bruits intenses sur leur lieu de travail. Cela arrive souvent sur des durées prolongées en raison d'une exposition continue à des niveaux de bruit élevés. L'audition peut se détériorer de façon temporaire après de brèves expositions au bruit ; cependant, si les travailleurs persistent à être soumis à des niveaux sonores importants, ils risquent d'endommager leur audition de manière irréversible ou de développer d'autres pathologies telles que les bourdonnements d'oreilles. Des bruits soudains et d'une intensité extrême peuvent également provoquer des atteintes durables instantanément. Des niveaux de bruit élevés peuvent nuire à la communication et compliquer l'audibilité des alertes. Ils peuvent aussi augmenter la fatigue des employés, provoquer du stress, de l'agitation et des problèmes de sommeil, ce qui diminue par conséquent leurs performances [12].

**Tableau I. 2:** Valeur d'exposition et les mesures à prendre [13].

<b>Valeur d'exposition</b>	<b>Mesures à prendre</b>
<b>87 dB</b>	L'employeur prend des mesures immédiates pour réduire le niveau d'exposition.
<b>85 dB</b>	Le lieu de travail doit faire l'objet d'une signalisation et d'une limite d'accès.
<b>Supérieur à 80 dB</b>	Des protections auditives sont à disposition des salariés. Le salarié a le droit à un contrôle de son ouïe.
<b>Inférieur à 80 dB</b>	Noter les risques dans le document unique et penser à des actions correctives.

### I.2.5. Le risque électrique

Le risque électrique englobe le risque de contact, direct ou indirect, avec une pièce sous tension, le risque de court-circuit et le risque d'arc électrique. Les conséquences peuvent être l'électrisation, l'électrocution, l'incendie et l'explosion.

La prévention du risque électrique repose, d'une part, sur la sécurisation des équipements et matériels électriques et, d'autre part, sur le respect des consignes de sécurité lors de leur utilisation ou lors d'interventions sur ou à proximité des installations électriques,

y compris les véhicules et engins à motorisation thermique, électrique ou hybride dotés d'une source d'énergie électrique embarquée [4] .

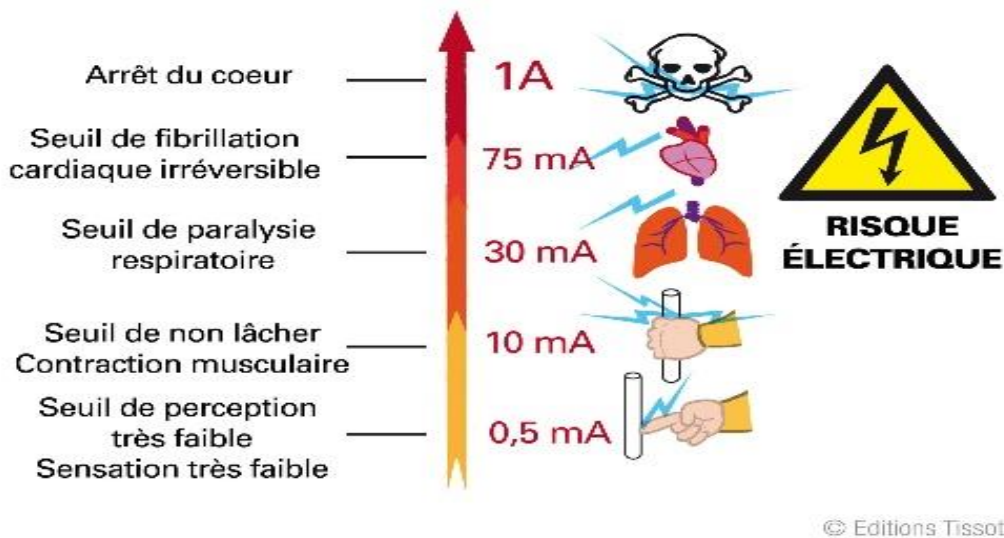


Figure I. 5: Les dangers du courant électrique [13].

### I.2.6. Les risques liés aux rayonnements

Il s'agit de risques d'accidents et d'atteintes à la santé, dont la gravité varie selon les rayonnements émis par certains appareils ou provenant naturellement de certains matériaux.

Ils comprennent :

1. Rayonnements ionisants : dispositifs contenant des matières radioactives, générateurs de rayons X, etc ;
2. Rayonnements optiques : lampes UV, laser, halogènes, LED... ;
3. Rayonnements électromagnétiques : réseaux électriques, radiocommunication, machines utilisant des fréquences basses ou hautes, comme les micro-ondes ou les postes à souder... ;
4. Rayonnements d'origine naturelle : rayonnements solaires, comme les UV, et matières radioactives, comme le radon [9].

### I.2.7. Le risque chimique

Ils s'expliquent par la présence de produits chimiques plus ou moins dangereux, toxiques ou inflammables, dont l'absorption par le corps humain se traduit par des intoxications accidentelles ou chroniques ainsi que par des incendies et explosions.

Les risques chimiques sont fréquents et on les rencontre pratiquement dans toutes les activités humaines, tant en milieu professionnel que chez soi [14] .



Figure I. 6: Risques chimiques [10].

### I.2.9. Le risque biologique

Ces risques sont causés par des micro-organismes vivants qui peuvent entrer dans le corps humain et provoquer des maladies, parfois graves, comme les hépatites virales. Ils demandent donc des mesures de prévention particulières. On trouve aussi les risques biologiques dans plusieurs activités, parfois inattendues, comme les blanchisseries industrielles et les laboratoires toxicologiques [15].

### I.2.10. Risques psychosociaux

Il s'agit de risques qui peuvent résulter de l'activité elle-même ou de l'organisation du travail. Les risques psychosociaux peuvent avoir des effets sur la santé physique, comme les maladies cardiovasculaires, les troubles musculo squelettiques et les maladies infectieuses, ou sur la santé psychologique, comme les troubles anxieux, la dépression, les suicides ... [9].

## I.3. Evaluation des risques professionnels

### I.3.1. C'est quoi l'évaluation des risques professionnels ?

L'évaluation des risques professionnels (EVRP) représente une étape essentielle dans la démarche de prévention au sein des entreprises. Elle consiste à analyser de manière méthodique les activités, les dangers et les moyens de contrôle afin de vérifier si les mesures de sécurité mises en place sont suffisantes ou si d'autres actions doivent être adoptées. Cette évaluation permet d'identifier les risques auxquels les travailleurs peuvent être exposés et de définir des mesures de prévention adaptées pour assurer leur santé, leur sécurité et améliorer leurs conditions de travail [4].

### **I.3.2. Pourquoi évaluer les risques professionnels ?**

L'évaluation des risques professionnels est de la responsabilité de l'employeur et fait partie de son obligation d'assurer la sécurité et de protéger la santé des salariés. Elle constitue également un principe fondamental de prévention prévu par le Code du travail (articles L.4121-2 et L.4121-3). Elle comprend l'identification et le classement des risques ainsi que la mise en place d'actions de prévention, sans oublier les mesures correctives immédiates lorsque cela est nécessaire.

L'EVRP est un outil important de progrès pour l'entreprise, car elle permet d'améliorer son fonctionnement en continu. Elle aide à mieux maîtriser les risques existants et à détecter les nouveaux risques liés aux changements d'organisation ou aux nouvelles méthodes de travail et de production.

Ainsi, la santé et la sécurité des travailleurs sont directement liées au fonctionnement de l'entreprise. La mise en place d'une démarche de prévention contribue à améliorer à la fois les conditions de travail et la performance globale de l'entreprise, sur les plans humain et économique [4].

### **I.3.3. Sous quelle forme évaluer les risques professionnels ?**

Pour la mémorisation de l'information ainsi que pour la traçabilité, L'employeur doit transcrire les résultats de l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité de travailleurs dans un document tel que le document unique.

### **I.3.4. La démarche évaluation des risques professionnels (EVRP)**

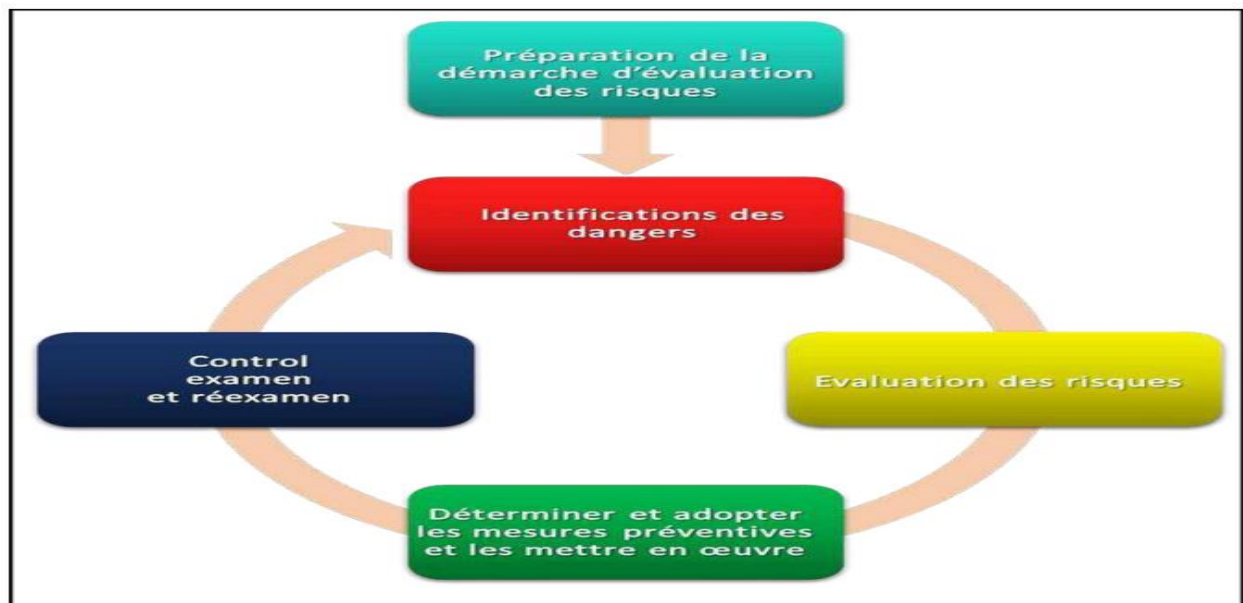
L'évaluation a priori des risques professionnels (EVRP) consiste à identifier et classer les risques auxquels sont soumis les salariés d'un établissement, en vue de mettre en place des actions de prévention pertinentes. Elle constitue l'étape initiale d'une politique de santé et de sécurité au travail.

L'EVRP est une démarche structurée dont les résultats sont formalisés dans un document [16].

L'évaluation des risques professionnels est la première étape de toute démarche préventive en santé et sécurité au travail. Le processus commence par la préparation et la collecte des informations nécessaires pour identifier les risques. Il s'agit d'évaluer les risques afin de les hiérarchiser et de les comparer à des niveaux acceptables. Cette évaluation revient à estimer chaque situation dangereuse identifiée, y compris la gravité et la fréquence de ses conséquences (voir figure I.6).

L'EVRP est une démarche structurée avec des résultats formalisés dans un « dossier unique », qui peut effectuer les démarches suivantes :

1. Préparer l'évaluation des risques ;
2. Identification des dangers ;
3. Évaluation des risques ;
4. Déterminer et prendre des mesures préventives et les mettre en œuvre ;
5. Contrôle et révision [17].



**Figure I. 7:** Les étapes d'évaluation des risques professionnels(EVRP) [18].

### I.3.4.1. Préparer l'évaluation des risques

Il s'agit de constituer et de désigner un groupe de travail chargé de définir la méthode d'évaluation adaptée à l'entreprise ainsi que le champ d'application. Ce découpage peut être réalisé soit de manière géographique (atelier, poste de travail...), soit selon le type d'activité et les produits utilisés [19].

### I.3.4.2. Identifier les risques

L'inventaire des risques dans les entreprises doit se baser sur le travail réel, c'est-à-dire sur les situations effectivement vécues par les salariés. Les observations des travailleurs sont ensuite transmises à la hiérarchie avec l'appui des instances représentatives du personnel.

Cette approche participative permet d'établir un inventaire des risques à la fois réaliste et complet, conduisant ainsi à une évaluation et à une amélioration pertinente [20].

Identifier les risques signifie repérer les dangers et se prononcer sur l'exposition à ces dangers. L'identification s'appuie sur :

- La documentation disponible (statistique des accidents du travail et des maladies professionnelles, fiche produit, fiche de données de sécurité, fiche d'entreprise ;
- L'observation des situations de travail ;
- L'écoute des opérateurs.

Cette identification aussi nécessite de s'appuyer sur les compétences internes et si nécessaire sur des compétences externes [16].

### I.3.4.3. Evaluer les risques

Cette étape consiste à estimer les risques identifiés lors de la phase précédente en le comparant à des critères d'évaluation définis. Elle permet de classer les risques et de déterminer ceux qui sont inacceptables et nécessitent une priorité de traitement. Pour cela, le groupe de travail définit principalement la probabilité d'occurrence (fréquence) et la gravité du dommage, afin d'analyser la possibilité qu'un danger entraîne un accident ou une maladie professionnelle, ainsi que l'importance de ses conséquences et la fréquence d'exposition des travailleurs. Selon les résultats obtenus, une méthode d'évaluation adaptée est choisie (qualitative, semi-quantitative ou quantitative).

Parmi les méthodes les plus utilisées pour évaluer les risques, on trouve la matrice de criticité, qui permet de déterminer le niveau de risque en croisant la probabilité et la gravité. Elle est largement utilisée dans les projets d'évaluation des risques professionnels afin de classer les risques et faciliter leur maîtrise.

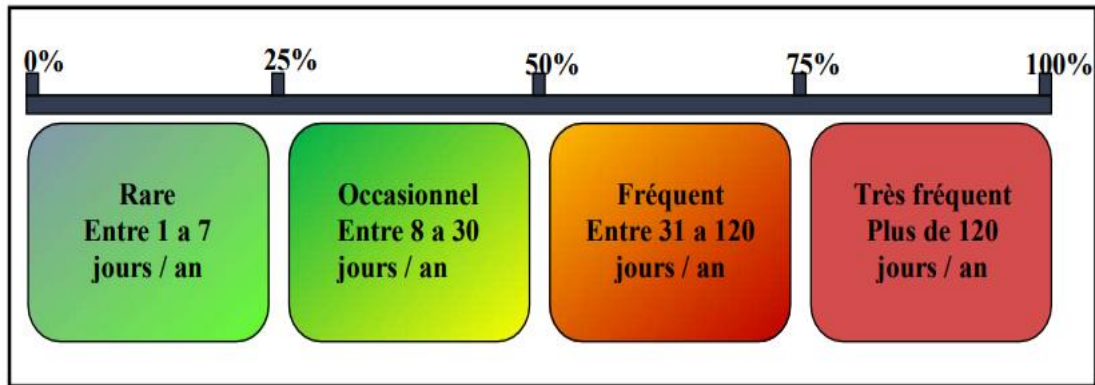
Pour évaluer les risques professionnels doit :

1. Déterminer les critères de probabilité et de gravité à l'aide d'échelles de cotation ;
2. Estimer la fréquence d'occurrence de risque et évaluer la gravité de dommage ;
3. Définir les critères d'acceptabilité du risque ;
4. Classer et hiérarchiser les risques potentiels, évaluer leur criticité et les représenter graphiquement sur la matrice de criticité [4], [21].

#### ❖ Estimation de la probabilité d'occurrence ou de la fréquence d'exposition

Le risque est caractérisé par sa probabilité d'occurrence, c'est-à-dire sa fréquence d'occurrence. Regroupez les probabilités dans des plages prédéfinies en appliquant une correspondance quantitative/qualitative. Cependant, le terme probabilité est généralement réservé. La norme ISO 14971 (2000) précise qu'une bonne description qualitative vaut mieux qu'une inexactitude quantitative". Cela tient notamment à la difficulté d'estimer ces fréquences (retour d'expérience, techniques d'analyse ou de simulation, avis d'expert, etc.). La

figure ci-dessous présente les quatre (04) niveaux de fréquence pouvant être utilisés pour l'estimation qualitative (Voire le Tableau I.3) [4].



**Figure I. 8:** Les différents niveaux de fréquence d'Exposition au risque [17].

Après avoir identifié les critères de fréquence d'exposition au risque, mettez-les dans un tableau afin qu'ils puissent être combinés avec des niveaux de gravité dans une matrice de criticité.

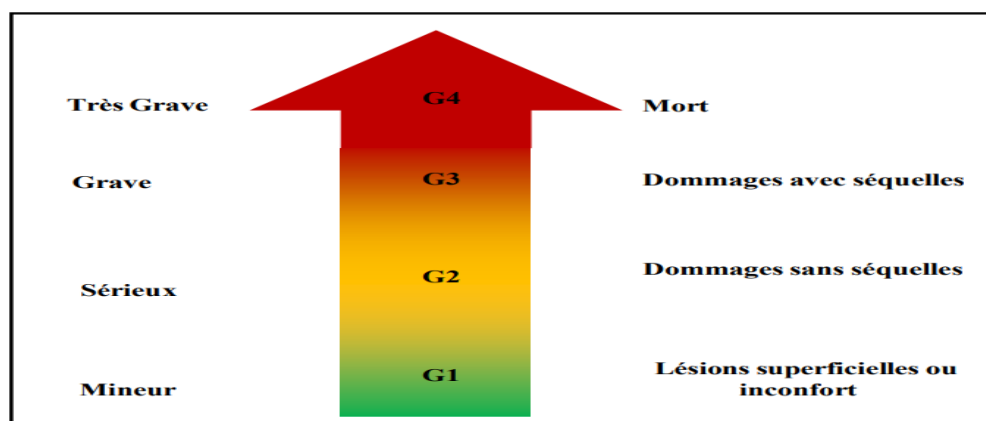
### ❖ Evaluation de la gravité de dommage

La gravité se définit comme la conséquence probable, en cas de survenue d'un risque.

Il existe 4 niveaux de gravité:

1. Niveau 1 : Mineur ;
2. Niveau 2 : Sérieux ;
3. Niveau 3 : Grave ;
4. Niveau 4 : Très grave.

La gravité peut être définie sur une échelle telle que celle illustrée a la figure (Figure I.8)



**Figure I. 9:** L'échelle de gravité [17].

Les échelles choisies peuvent être modifiées par les structures afin de s'adapter à leur réalité. La gravité du risque est déterminée en fonction du type d'accidents et de maladies professionnelles pouvant survenir chez la personne.

### ❖ Evaluation de la Criticité du risque:

La criticité est une combine entre la fréquence et la gravité. Le croisement des niveaux de fréquence d'exposition et de gravité des dommages préalablement estimés permet alors d'obtenir une cotation qui doit contribuer à la détermination des niveaux critiques, comme la montre la matrice ci- dessous (Voir Figure I. 9).

Gravité	1 Improbable	2 Peu probable	3 Probable	4 Très probable
Mortelle 4	4	8	12	16
Grave 3	3	6	9	12
Moyenne 2	2	4	6	8
Faible 1	1	2	3	4

Figure I. 10: Matrice de criticité d'un risque [17].

Une matrice de criticité n'est pas complète sans séparation des risques jugés acceptables de ceux jugés inacceptables. Chaque entreprise définit et adopte ses propres scénarios clés. Les actions seront hiérarchisées en fonction de la criticité de l'acquisition, en tenant compte des mesures de protection existantes [17].

#### I.3.4.4. Déterminer et adopter les préventives et les mettre en œuvre

La quatrième étape consiste à définir et à mettre en place des actions correctives et préventives visant à réduire les risques professionnels. Étant donné que toutes les mesures ne peuvent pas être appliquées simultanément, il est nécessaire de les classer par ordre de priorité selon la gravité des risques et l'importance de leurs conséquences potentielles. Cette étape comprend également la désignation des responsables chargés de la mise en œuvre, l'estimation du temps nécessaire ainsi que la fixation des délais d'exécution.

Le traitement des risques a pour objectif d'instaurer des barrières permettant de diminuer la fréquence d'apparition du risque ou d'en réduire la gravité afin d'atteindre un niveau acceptable. Le risque subsistant après l'application des mesures de prévention est appelé « risque résiduel », lequel doit être maintenu au niveau le plus faible possible. On distingue alors plusieurs types de barrières utilisées dans la gestion des risques :

1. Les barrières préventives qui empêchent les défaillances de se produire ;
2. Les barrières de récupération permettent de détecter les défaillances après qu'elles se produisent mais avant que les événements indésirables ne se produisent ;
3. Les barrières de prévention et de récupération visent à réduire la fréquence du risque mais n'avaient pas d'effet sur la gravité ;
4. Les barrières d'atténuation ou de protection ont pour but de réduire les conséquences des risques lorsqu'ils ne peuvent être évités. Les barrières de protection réduisent la gravité sans affecter la fréquence du risque [21].

### ❖ hiérarchisation des contrôles de sécurité

La hiérarchie des mesures de sécurité représente les étapes à suivre, dans un ordre précis, afin de réduire ou d'éliminer les risques. Cet outil se caractérise par sa simplicité et son efficacité, car il permet de déterminer et de mettre en œuvre des solutions de contrôle adaptées et efficaces.

Le principe de cette hiérarchie repose sur le fait que les mesures situées au sommet sont généralement plus efficaces et plus protectrices que celles placées aux niveaux inférieurs. Le respect de cette hiérarchie permet ainsi de mettre en place un système de travail plus sûr et de réduire considérablement le risque de maladie ou de blessure. (Voir Figure II.10) [21].

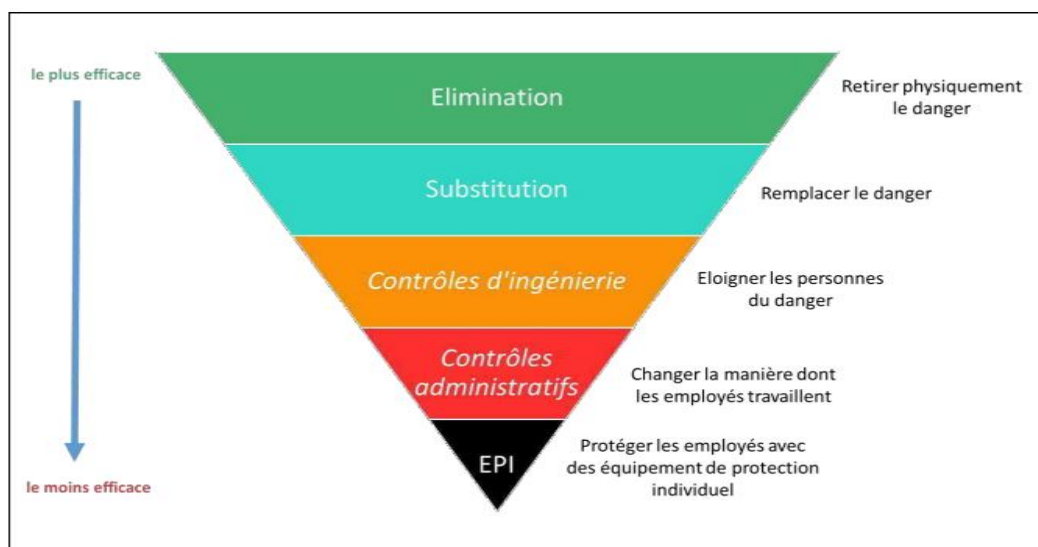


Figure I. 11: La hiérarchie des contrôles de sécurité [18].

### ❖ Principes généraux de la prévention

Toute personne impliquée dans la prévention des risques professionnels, pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs, doit suivre les 9 principes généraux de prévention édictés dans le code du travail à l'article L.4121-2 :

1. Éviter les risques ;
2. Évaluer les risques qui ne peuvent pas être évités ;
3. Combattre les risques à la source ;
4. Adapter le travail à l'homme ;
5. Tenir compte de l'état d'évolution de la technique ;
6. Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux ;
7. Planifier la prévention ;
8. Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle :
9. Donner les instructions appropriées aux travailleurs [18].

#### I.3.4.5. Examen, contrôle et réexamen

Après la mise en place des mesures préventives, il est nécessaire de vérifier leur application ainsi que le respect des délais fixés. Cette étape permet de s'assurer que les risques ont été supprimés ou réduits de manière efficace, tout en vérifiant que les mesures adoptées n'ont pas généré de nouveaux risques. Les inspections, les audits et les enquêtes permettent également d'améliorer l'évaluation des risques et de mettre à jour les plans de prévention

[21].

### ❖ L'inspection

Les inspections du lieu de travail jouent un rôle important dans la prévention des accidents, des blessures et des maladies professionnelles. Elles permettent d'identifier les dangers présents dans l'environnement de travail et de les signaler afin de mettre en place des actions correctives adaptées.

Les inspections de routine sont réalisées régulièrement par les superviseurs et les travailleurs dans le cadre de leurs activités quotidiennes. Elles permettent de détecter rapidement les situations dangereuses et de les corriger ou de les signaler pour éviter tout risque.

Les inspections périodiques, quant à elles, concernent les équipements ou les systèmes présentant un risque élevé d'accident ou de maladie grave. Elles sont effectuées de manière régulière et s'intègrent généralement dans un programme de maintenance préventive ou de prévention des risques [18].

### ❖ Investigation

Surveiller et revoir toutes les mesures préventives existantes pour aider à contrôler les risques et prévenir les accidents et les incidents. Les résultats peuvent servir de base à des mesures visant à prévenir les accidents et à améliorer la gestion globale des risques. Il identifie également les domaines d'évaluation des risques qui nécessitent un examen et une correction [18].

### ❖ Audit

L'audit est une démarche systématique, indépendante et bien documentée qui consiste à recueillir des informations objectives afin de vérifier si les éléments observés respectent les exigences et les normes applicables. Réaliser un audit au sein d'une entreprise ou d'un service permet également de comprendre le fonctionnement des systèmes existants et d'identifier les améliorations possibles.

L'audit réglementaire HSE vise à évaluer le niveau de conformité de l'entreprise aux exigences réglementaires en matière d'hygiène, de sécurité et d'environnement. Quant à l'audit de sécurité, il constitue une méthode d'analyse et d'évaluation des risques permettant de vérifier les conditions de mise en œuvre d'une politique de sécurité efficace.

Cette démarche permet d'obtenir, à un moment donné, une vision globale du niveau de conformité d'un ou de plusieurs sites et de détecter les possibilités d'amélioration. Pour les responsables HSE, la maîtrise du niveau de conformité de l'entreprise représente un élément essentiel dans la gestion des risques [18].

### **I.3.5. Documents nécessaires pour l'EVRP**

Les différents documents concernant la santé/sécurité doivent être rassemblés :

1. Données statistiques internes sur les accidents de travail ou maladies professionnelles ;
2. Registre de sécurité contenant les rapports des différents organismes de contrôle ;
3. Rapport annuel du C.H.S ;
4. Fiche d'entreprise de la médecine du travail ;
5. Fiches de sécurité des produits utilisés [22].

### I.3.6. Conseils pour l'expertise EVRP

Pour faciliter la mise en œuvre, il convient de définir quelques principes qui permettront le recueil d'événements.

1. Identifier les impacts au niveau Technique, Humain, Environnemental et Organisationnel Procéder à une analyse factuelle ;
2. Procéder aux analyses par des personnes extérieures à l'intervention ;
3. Associer des experts pour l'analyse des problématiques d'envergures (bureau opération, autre...) ;
4. Ne jamais réaliser seul une analyse ;
5. Respecter l'anonymat des analyses [22].

### I.3.7. Les conditions de réussite d'évaluation des risques professionnels

1. **Informer** l'ensemble du personnel qu'une évaluation des risques va être réalisée aux différents postes de travail;
2. **Expliquer** les finalités de l'évaluation Au-delà de la satisfaction de l'obligation réglementaire (rédaction du document unique), l'évaluation des risques doit déboucher sur un plan négocié d'amélioration de la sécurité et des conditions de travail;
3. **Missionner** clairement la ou les personnes qui vont conduire l'évaluation des risques Cette action impliquant l'ensemble de l'entreprise, cette personne aura besoin de l'appui du chef d'entreprise pour lui ouvrir toutes les portes. Un climat de confiance est nécessaire pour recueillir les informations auprès du personnel. Le choix de la personne n'est donc pas anodin;
4. **Planifier** l'évaluation : temps à consacrer, échéancier;
5. **Impliquer** tous les salariés (opérateurs, hiérarchie, fonctionnels) en recueillant leurs avis : problèmes rencontrés, suggestions (profiter des idées de chacun) ;
6. **Rendre compte** des résultats de l'évaluation à la personne : L'évaluation des risques est une action qui va engager tous les acteurs de l'entreprise, du chef d'entreprise à l'opérateur. Cet engagement va susciter une légitime curiosité, peut-être même une inquiétude de chacun sur l'exploitation des informations qu'il aura transmises dans le cadre des entretiens et des observations d'activité. Il sera donc indispensable d'organiser des retours d'information, une concertation sur les problèmes identifiés et les actions correctrices à envisager;

7. **Faire valider** les solutions envisagées par les opérateurs et l'encadrement concerné, la décision finale relevant du chef d'entreprise [11].

### **I.3.8. Avantages de l'EVRP**

#### **I.3.8.1. Protéger la santé et la sécurité des travailleurs**

L'évaluation des risques professionnels suppose qu'un travail d'anticipation soit réalisé au sein de l'Entreprise afin de comprendre et d'analyser tous les phénomènes susceptibles de faire naître un risque pour la santé et la sécurité au travail. L'évaluation des risques professionnels vise à tenir compte aussi bien des aspects humains que des aspects techniques et organisationnels du travail [23].

#### **I.3.8.2. Répondre aux obligations de prévention**

L'employeur doit respecter ses obligations en matière de santé et de sécurité au travail, la loi 88-07 du 26 Janvier 1988 et ses décrets d'application ne prévoient notamment que tout employeur est responsable de l'évaluation des risques professionnels et des actions de prévention qui en découlent. Il revient à l'employeur de mettre en place les moyens les plus adaptés pour répondre à son obligation de résultat dans ce domaine [23].

#### **I.3.8.3. Favoriser le dialogue social**

La prévention et l'évaluation des risques professionnels s'appuient sur un dialogue constant et constructif entre l'employeur, les représentants du personnel et les salariés. Ce dialogue est la garantie d'une meilleure compréhension et d'un traitement efficace des risques professionnels [Décret exécutif n°05-09 du 8 janvier 2005, relatif aux commissions paritaires et aux préposés à l'hygiène et à la sécurité] [23].

#### **I.3.8.4. Créer un emploi de qualité**

Cet enjeu, a pour composante essentielle un environnement de travail sûr et sain. Il s'agit d'assurer de bonnes conditions de travail par une démarche de prévention ambitieuse. L'image de l'Entreprise et de la profession en sont valorisées [23].

#### **I.3.8.5. Contribuer à la performance de l'Entreprise**

Les accidents du travail et les maladies professionnelles se traduisent par la perte de certaines journées de travail, c'est un coût humain et économique très important pour les entreprises :

1. Le temps et production perdus ;
2. Les dégâts causés aux matériels, équipements et produits ;
3. L'augmentation des primes d'assurance et des frais de justice ;
4. La baisse du moral et de la motivation des salariés ;

### 5. La dégradation du climat social [23].

#### I.4. La législation algérienne des accidents de travail

- La loi n° 83-13 du 2 juillet 1983 relative aux accidents du travail et aux maladies professionnelles ;
- Loi n°88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, la sécurité et la médecine du travail ;
- Loi n°90/11 du 21/04/1990 complétée et modifiée relative aux relations de travail.
- Loi n°90/03 du 26/02/1990 complétée relative à l'inspection du travail ;
- Le décret exécutif n°91-05 du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail ;
- Le décret exécutif n° 97-424 du 11 novembre 1997 fixant les conditions d'application du titre V de la loi n° 83-13 du 2 juillet 1983, modifiée et complétée, relatif à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ;
- Décret présidentiel n° 06-59 du 11 février 2006 portant ratification de la convention 155 concernant la sécurité, la santé des travailleurs adoptée à Genève le 22 juin 1981 ;
- Décret présidentiel n° 06-60 du 11 février 2006 portant ratification de la convention 167 concernant la sécurité et la santé dans la construction adoptée à Genève le 20 juin 1988 [24].

#### Conclusion

Pour assurer la sécurité des travailleurs sur le lieu de travail, il est nécessaire d'évaluer et de maîtriser les risques pouvant être éliminés. Cela implique l'utilisation de différentes méthodes d'analyse des risques professionnels, notamment la méthode Analyse Fonctionnelle/Observations/Composantes du risque Évaluation/Prévention (AF.O.C.E.P) et MADS.

# **Chapitre II: présentation du complexe GL1K**

### Introduction

Dans le cadre de l'objectif stratégique de valorisation des ressources en gaz naturel, principalement du gisement de Hassi R'mel, des usines de GNL ont été construites dans le nord du pays afin d'assurer l'exportation du gaz naturel liquéfié vers l'Europe et les États-Unis par méthaniers.

Parmi ces usines figure le complexe GL1/K de Skikda, dont les travaux ont débuté en mars 1969 et la mise en production en novembre 1972. Ce complexe s'étend sur une superficie de 90 hectares et reçoit le gaz naturel du gisement de Hassi R'mel à travers un gazoduc de 40 pouces de diamètre et de 580 km de longueur.

La capacité annuelle de production du complexe est de 13,2 millions de m<sup>3</sup> de GNL, avec une capacité de stockage de 308 000 m<sup>3</sup>. Le complexe emploie également 1019 travailleurs permanents [25].

### II.1. Présentation du complexe GL1/K

#### II.1.1. Localisation et accès

Le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1/K appartient à la branche LQS de l'entreprise Sonatrach. Il est situé à environ 4 km à l'est de la ville de Skikda, dans la zone industrielle du Golfe de Stora, au nord-est de l'Algérie.

Le complexe possède une capacité annuelle de production de 13,2 millions de m<sup>3</sup> de GNL ainsi qu'une capacité de stockage de 340 000 m<sup>3</sup>. Il emploie environ 1200 travailleurs permanents. (Figure II.1) [26].



**Figure 1:** Zone industrielle de SKIKDA[25] .

## Chapitre II : Présentation du complexe GL1/K

Le complexe GL1/K s'étend sur une superficie d'environ 73 hectares. Il reçoit le gaz naturel du gisement de Hassi R'Mel à travers le pipe GK1 HRM/Skikda, d'un diamètre de 40 pouces et d'une longueur de 580 km.

Les établissements situés à proximité du complexe GL1/K sont :

- A l'est, le complexe de matières plastiques CP1K (Entreprise Nationale Industries Pétrochimiques de SONATRACH) ;
- Au sud, la Société de Maintenance Industrielle de Skikda (SOMIK) et la Direction Régionale Industrielle de Skikda (DRIK) ;
- A l'ouest, la centrale thermique branche commerciale de SONATRACH ;

Au nord, le nouveau port et la Société de Transport d'Hydrocarbures (STH) [27] .



**Figure 2:** Vue aérienne du complexe GL1/K de Skikda [27].

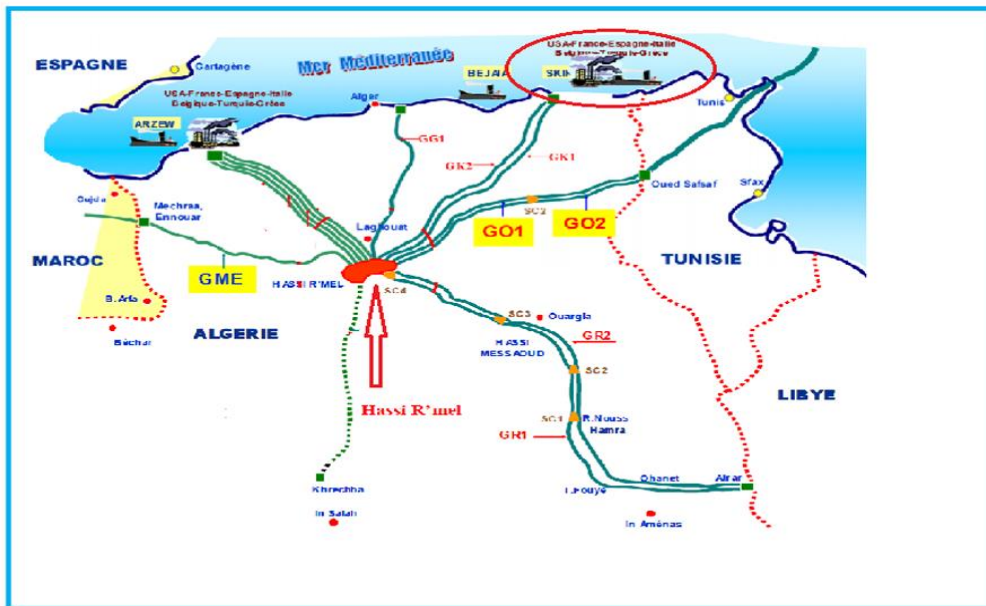


Figure 3: Position géographique du complexe GNL1K [28].

### II.1.2. Historique du complexe

Le chantier du complexe GL1/K a débuté en mars 1969 et la date en mise en service de la production du premier train du complexe GL1/K a eu lieu en novembre 1972.

Les trois premières unités du GNL (10 – 20 – 30) ont été construites par la société française TECHNIP selon le procédé TEAL. Ces unités dont la capacité totale est de 19 500 m<sup>3</sup> /j de GNL ont commencé à produire à partir de novembre 1972.

L'unité 40 a été construite à 85% par PRITCHARD RHODES et reprise par PULMAN KELLOGG (PK) en mars 1979. Sa capacité est de 6 000 m<sup>3</sup> /j de GNL. Les unités 5P et 6P ont été également construites par PRITCHARD RHODES à 57% et reprises par PK en avril 1977.

Ces unités dont la capacité totale est de 16 000 m<sup>3</sup> /j de GNL ont commencé à produire respectivement à partir de 1980 et 1981. L'unité de GPL a été construite par la société japonaise IHI, son démarrage initial fut en septembre 1973.

La rénovation du complexe s'est déroulée entre 1991 et 1999 [26].

### II.1.3. Organisation du complexe GL1/K

L'organisation du complexe GL1K est représentée dans l'organigramme suivant:

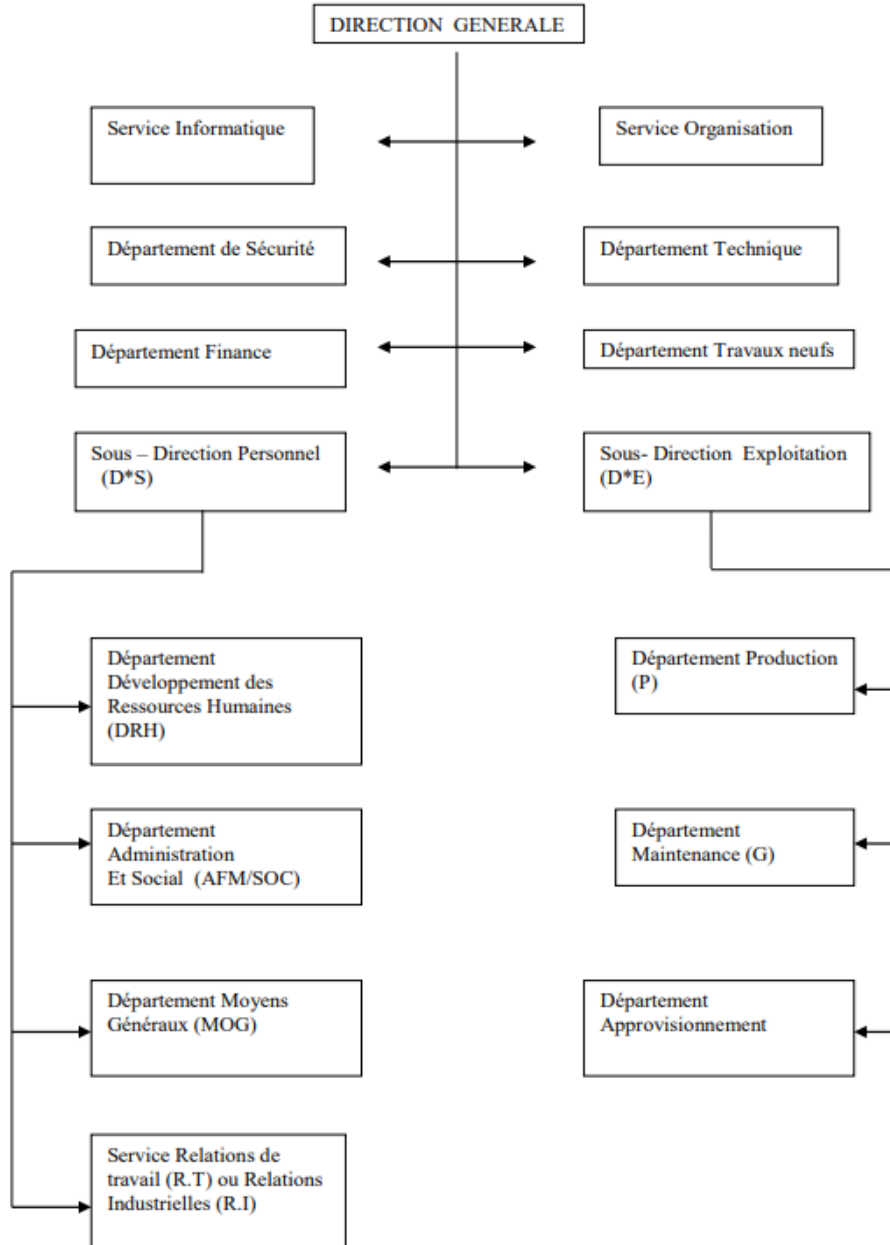


Figure 4: Organisation du complexe GL1/K de Skikda [25].

### II.1.4. Description des installations du complexe GL1K

Le complexe comprend principalement :

1. Le Nouveau Train de GNL : le méga train utilise le procédé APCI (Air Product and Chemicals Incorporation) pour la liquéfaction du GN ;

2. L'unité 10 et Unités 5P/6P : pour la liquéfaction du GN ;
3. L'unité GPL : pour le traitement et le stockage du propane et du butane ;
4. Installations de stockage et d'expédition de GNL, GPL et de gazoline.

Le réseau de protection anti-incendie :

1. Protéger les stocks des hydrocarbures contre les incendies pour atténuer l'incendie et limiter sa propagation ;
2. Contrôler et éteindre le feu, minimisant ainsi un danger potentiel et limitant sa propagation possible à d'autres secteurs de l'usine [28].

## II.2. Distribution du gaz naturel

### II.2. 1. Nouveau Train de GNL

1. Ligne de 36'' d'alimentation principale.
2. Ligne de 6'' de 1er démarrage des turbo alternateurs.
3. Ligne de 10'' d'appoint GN pour les besoins suivants :
  - Protection contre la mise sous vide des bacs de stockage de GNL, Butane, Propane, Gazoline ;
  - Balayage des collecteurs de torche ;
  - Pilotes torche et brûlot ;
  - Pressurisation / vaporisation du liquide au niveau du Blow down ;
  - Gaz d'assistance au brûlot.

### II.2. 2. Unités existantes (GL-1/K)

1. Ligne de 20'' vers l'unité 10 ;
2. Ligne de 24'' vers les unités 5P/6P ;
3. Ligne de 6'' vers le réseau combustible ;
4. Ligne de 3'' vers le pôle 2 (torche, GPL, HELISON).

### II.2. 3. Capacité de production

Le complexe de liquéfaction du GN GL1K Skikda produit :

- ✓ Production de GNL : 4.5 Millions tonnes/an ;
- ✓ Production d'Ethane : 164 700 tonnes/an ;
- ✓ Production de propane : 207 600 tonnes /an ;
- ✓ Production de butane : 171 400 tonnes/an ;
- ✓ Production de naphta : 108 700 tonnes/an ;
- ✓ Production de gaz de charge riche en Hélium : 163 millions Nm<sup>3</sup>/an.

### II.3. Processus de traitement et liquéfaction du GN

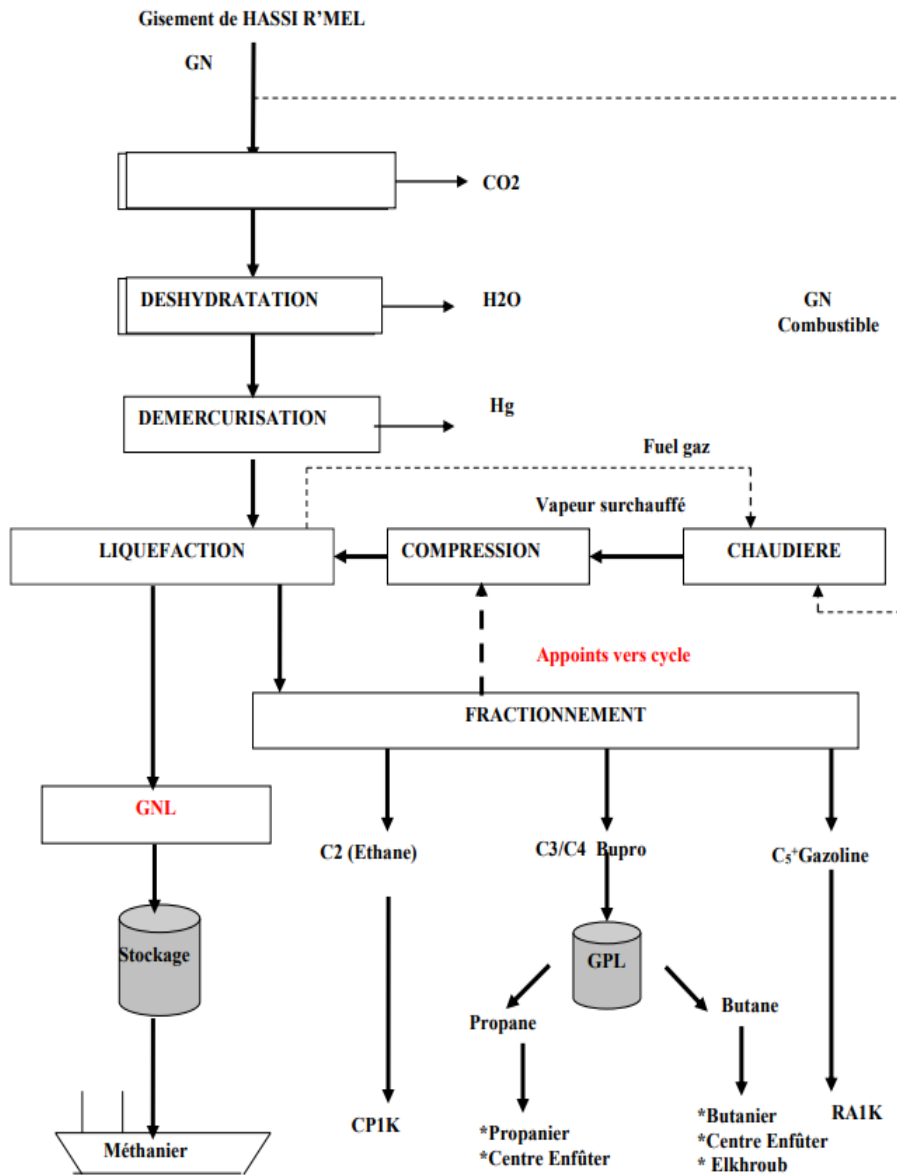


Figure 5: Organisation du complexe GL1/K de Skikda [25].

## II.4. Description des unités

### II.4.1. Unité de comptage

Son rôle est de mesurer et comptabiliser tout le GN entrant aux unités existantes et au nouveau train de GNL. Elle comprend :

1. Trois computers totalisateurs ;
2. Trois vannes d'isolement motorisées ;

3. Un chromatographe pour analyse de la composition et de la densité du gaz afin de calculer le débit massique du GN entrant ;
4. Un analyseur de  $CO_2$  en ligne [29].

### II.4.2. Unité de compression

A la sortie du système de comptage (42 bar et 25°C) le GN est comprimé jusqu'à 66 bars pour faciliter sa liquéfaction. L'énergie requise pour la liquéfaction sera diminuée, ce qui augmente le rendement de l'installation. Cette énergie est fournie par les turbines à gaz qui entraînent les compresseurs de réfrigération [29].

### II.4.3. Unités de traitement

Avant la liquéfaction, le GN doit subir trois traitements pour être débarrassé de trois éléments :

- ✓ Le gaz carbonique :  $CO_2$  ;
- ✓ L'eau :  $H_2O$  ;
- ✓ Mercure :  $Hg$ .

Les unités de traitement sont :

#### II.4.3.1. L'unité de décarbonatation

Pour éliminer le  $CO_2$  contenu dans le GN qui arrive à 0.19% doit être réduit à 50 Ppm pour éviter la solidification dans la section liquéfaction par adsorption chimique par une solution de Méthyle Di éthanol Amine activé (MDEA) Concentré à 60% eau et 40% Amine, Cette solution mise en contact avec le GN, l'unité de décarbonatation est conçue pour traiter un gaz naturel chargé jusqu'à 0,2% de  $CO_2$ .

#### II.4.3.2. L'unité de déshydratation

Lors de la liquéfaction, le GN est refroidi par étape depuis +35°C à -164°C. Si l'eau, contenue dans le gaz, n'est pas extraite elle se solidifierait et pourrait provoquer le bouchage de l'échangeur principal (15-MC05) d'où la baisse du rendement d'échange thermique. Le séchage est réalisé par trois sècheurs qui fonctionnent alternativement, par circulation du gaz carbonaté du haut en bas sur des tamis moléculaires ayant un haut pouvoir d'adsorption. Le taux d'humidité à la sortie doit être inférieur à 1ppm.

#### II.4.3.3. L'unité de démercuration

La dernière unité de traitement, elle est conçue pour éliminer le mercure du gaz à travers l'adsorbant de mercure (14-MD01) qui contient un lit de charbon actif pour protéger la section

cryogénique de l'usine, cette unité est conçue pour réduire le niveau de mercure dans le gaz à moins de  $5\text{ng}/\text{Nm}^3$ .

### II.4.3.4. L'unité de liquéfaction

La liquéfaction est la 6ème étape dans le processus de traitement et de liquéfaction du GN. C'est la plus importante, elle consiste à combiner entre l'abaissement de la température du gaz et l'augmentation de sa pression. C'est-à-dire, en comprime suffisamment le gaz puis on enlève sa chaleur par un fluide réfrigérant (MR) dans l'échangeur principal Ce fluide à son tour, sera auto-refroidit à contre courant dans le même échangeur cryogénique, ensuite par échange de chaleur dans des condenseurs dont le fluide réfrigérant est le propane. La chaleur du GN est ainsi enlevée, le GNL est liquéfié à une température de  $-162^\circ\text{C}$  sous la pression atmosphérique est stocké dans un bac de  $150\,000\text{ m}^3$ .

### II.4.3.5. L'unité de fractionnement

Le rôle de cette section séparer les constituants lourds (éthane, propane, butane, gazoline  $\text{C}^{5+}$ ) du gaz traité pour avoir un GNL qui répond aux spécifications commerciales.

### II.4.3.6. L'unité de stockage

Le but de cette unité est de stocker le GNL produit du nouveau train de GNL, elle comprend :

1. un bac de stockage de GNL d'une capacité de  $150\,000\text{ m}^3$ , de type confinement intégral, structure en béton à toit suspendu ;
2. un bac de stockage de propane d'une capacité de  $66\,000\text{ m}^3$ , type confinement intégral ;
3. un bac de stockage de butane d'une capacité de  $66\,000\text{ m}^3$ , type confinement intégral ;
4. unité de réfrigération GPL (les gaz d'évaporation des bacs, retour du gaz des navires
5. GPL, GPL venant de la raffinerie) ;
6. Une sphère de stockage de gazoline de capacité total de  $3760\text{ m}^3$  [28].

## II.4.4. Méga train

Le projet du Nouveau Train de GNL de Skikda (Algérie) se compose d'un train de GNL indépendant de  $4,5\text{ MTPA}$ , d'utilités et d'off sites (stockage), destinés à remplacer les capacités des unités 20, 30 et 40 qui ont été détruites par un feu en 2004. Le train comprend les sections suivantes :

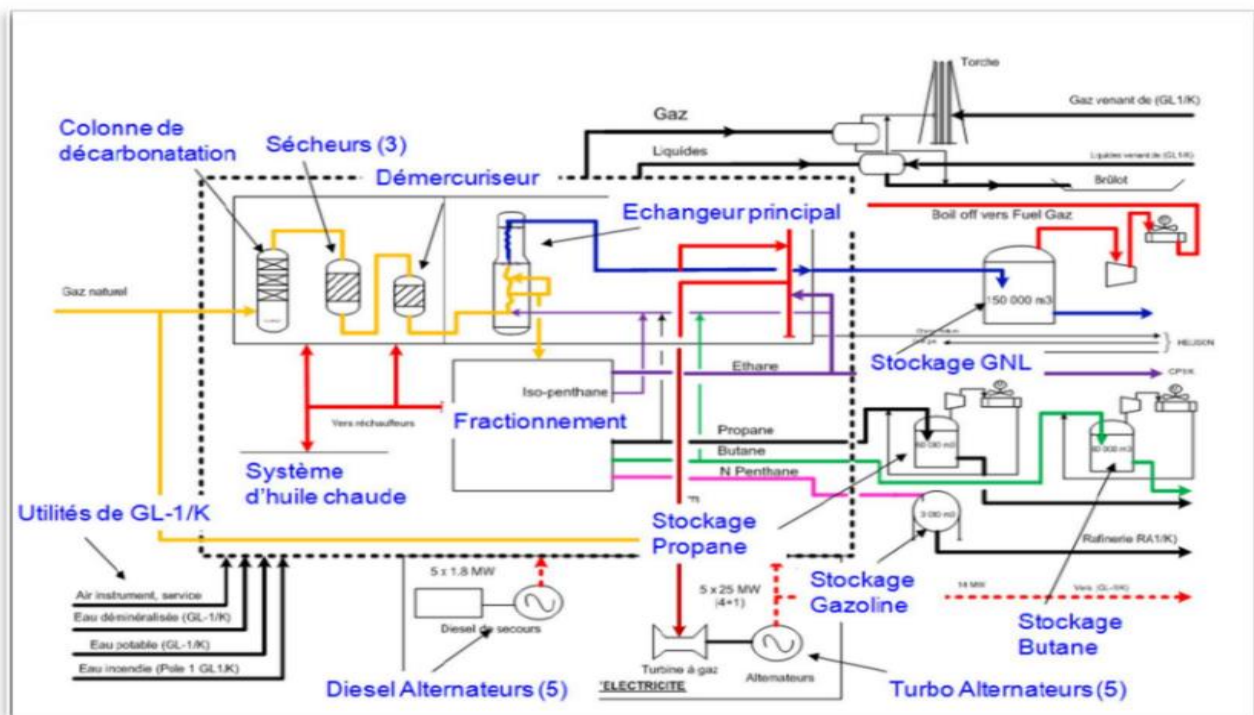
- ✓ Système de comptage et compression du gaz naturel/d'alimentation, traitement de l'AMDEA selon le procédé BASF ;
- ✓ traitement du gaz naturel (décarbonatation, déshydratation, démercurisation) ;

## Chapitre II : Présentation du complexe GL1/K

- ✓ procédé de liquéfaction APCI et fractionnement de l'éthane, propane, butane et gazoline naturelle.

**Tableau II. 1:** Tableau représente les différents produits du méga train [30].

Produit	Quantité
<b>GNL</b>	611 999 kg/h
<b>Hélium gazeux enrichi</b>	20 205 kg/h
<b>Ethane</b>	22 404 kg/h
<b>Propane</b>	28 235 kg/h
<b>Butane</b>	23 312 kg/h
<b>Gazoline naturelle</b>	14 786 kg/h



**Figure 6:** Procédé Méga Train [28].

### II.5. Les utilités

Le rôle des utilités est de fournir les éléments nécessaires au fonctionnement du nouveau train de GNL qui compose :

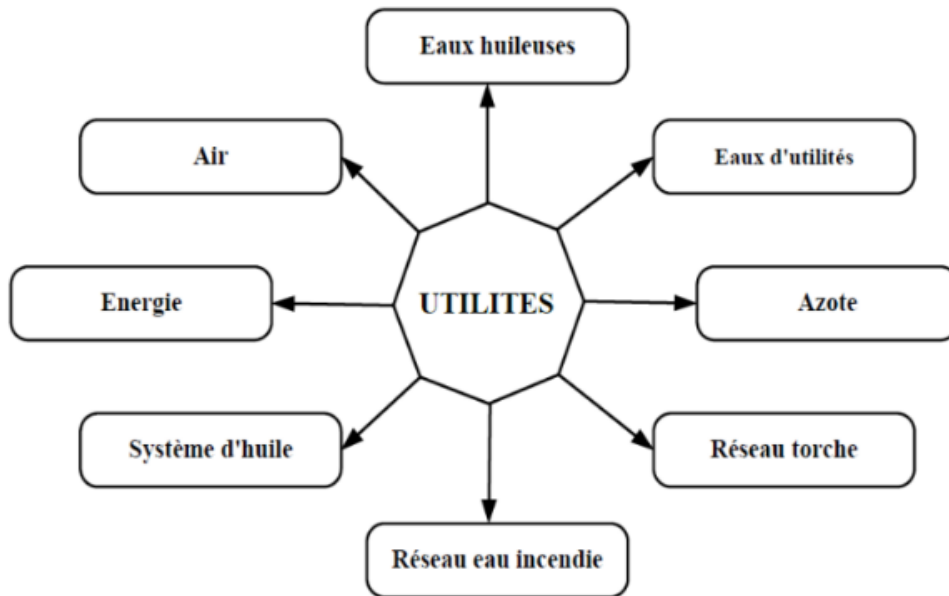


Figure 7: Les utilités [28].

#### II.5.1. L'énergie électrique

- ✓ 05 groupes générateurs Diesel de 1.8 MW ;
- ✓ 05 turbos générateurs de 25 MW ;
- ✓ 06 sous stations pour la distribution électrique.

#### II.5.2. Unité de production d'air de service et d'air d'instrumentation

(03) compresseurs de capacité 3300 Nm<sup>3</sup>/h et une batterie de sécheurs d'air

##### II.5.2.1. Réseau commun

- ✓ Traitement des eaux de pluie et huileuses ;
- ✓ Réseau d'azote provenant de GL1/K ;
- ✓ Réseau d'eau incendie interconnecté à GL1K ;
- ✓ Réseau eau potable à partir de l'eau industrielle
- ✓ Réseau eau déminéralisée ;
- ✓ Réseau torche : une torche recevant les gaz du train de GNL1K, une torche basse pression pour brûler le boil off, un brûlot recevant les liquides torches.

### II.5.2.2. La salle de contrôle principale comprend

- ✓ Les postes de conduite et les équipements associés ;
- ✓ Les salles engineering et maintenance ;
- ✓ La salle de formation OTS (simulateur) ;
- ✓ La salle de réunion, cuisine, vestiaires.. .

### II.5.2.3. Le système de contrôle et de sécurité

- ✓ il comprend un ensemble de systèmes regroupés à le sein de l'ICS (Instrument Control System) ;
- ✓ Le système de contrôle utilisé est le DCS EPKS (Experion Process Knowledge System R310) [28].

## Conclusion

Le complexe GL1/K de Skikda occupe une place importante dans l'industrie pétrolière en Algérie. Il contribue au développement économique du pays grâce à ses importantes recettes annuelles.

Afin de répondre à la demande en GNL, il est nécessaire d'assurer une production continue, puisque le procédé de liquéfaction demande des installations industrielles importantes ainsi qu'une forte consommation d'énergie.

Dans ce cadre, l'Algérie a modernisé ses complexes de GNL, notamment le complexe GL1/K, qui dispose d'un nouveau méga train de liquéfaction caractérisé par une grande capacité de production.

**Chapitre III: présentation des  
méthodes d'analyse des risques  
AF.O.C.E.P et MADDS**

### Introduction

L'évaluation des risques professionnels (EvRP) ne peut pas se baser sur une méthode unique et fixe. L'employeur doit choisir la méthode qui lui semble la plus appropriée en fonction de la culture, de la complexité technique et des problèmes particuliers de l'entreprise. Il existe de nombreux outils fiables dans le domaine de la sécurité industrielle, comme l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) et l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC). Cependant, la nature complexe d'un système de liquéfaction de gaz, qui combine des tâches de maintenance humaine et des risques liés aux procédés industriels, nécessite l'utilisation de deux approches complémentaires : la méthode AF. OCEP et la méthode MADS. Ce chapitre présente les principes de base, le fonctionnement et les limites théoriques de ces deux méthodes [31].

### III.1. La Méthode A.F.O.C.E.P (Analyse Fonctionnelle / Observation / Composantes du Risque / Évaluation / Prévention)

#### III.1.1. Principe général de la méthode

La méthode AF. O.C.E.P est une approche qui implique les gens et qui met l'accent sur le confort au travail. Elle est faite pour examiner de près les postes de travail et les activités sur le terrain. Son principe est de préciser pour chaque domaine, endroit ou poste de travail, les fiches et les réglages appropriés (par exemple : la manutention, le danger électrique, le travail en atelier).

L'évaluation ne se résume pas à un simple regard ; elle consiste à examiner de manière détaillée le fonctionnement du système ou de la machine, tout en observant directement comment les choses se passent réellement à chaque étape de l'activité. Elle utilise une méthode logique qui s'articule autour de quatre principes centraux sur l'humain : Observer, Comprendre, Écouter et Prendre soin de l'environnement [31].

#### III.1.2. Déroulement et progression de l'analyse

Utiliser un tableau de synthèse est un outil pratique très important pour réfléchir et résumer les résultats de l'analyse. Cependant, l'analyse ne se limite pas à remplir une grille de manière automatique ; le support doit être ajusté de façon dynamique en fonction des objectifs spécifiques qui ont été établis au préalable pour le poste de travail.

L'utilisation d'un tableau de synthèse constitue un support pratique pour mener la réflexion et résumer les résultats de l'analyse. Pour autant, l'analyse des risques

### Chapitre III : Présentation des méthodes d'analyse des risques AF.O.C.E. P et MADS

professionnels ne se limite pas à remplir un tableau. Ce tableau doit parfois être adapté en fonction des objectifs fixés par le poste de travail préalablement à l'analyse [31].

Il convient pour mener la démarche de suivre les étapes suivantes :

1. Dans un premier temps, choisir une ligne ou de la maille, elle englobe généralement L'unité de travail (caractéristiques organisationnelles, services, les ateliers, les métiers,);
2. Choisir les nombres du temps ;
3. Sélectionner les sources des dangers (Environnement ; Physique ; Chimique ...);
4. Identifier les risques par choisir les scénarios de des dangers ;
5. Classer les risques selon les données statistiques d'enquêtes. et faire le classement Quantitatif et Qualitatif; cette classement est essentielle; ses deux principaux objectifs sont : permettre de débattre de priorités d'action et aider à planifier les actions ;
6. Choisir les paramètres d'exposition (la fréquence ou durée d'exposition DE) ;
7. Choisir les paramètres de la gravité (la gravité de dommage) ;
8. Estimer et Evaluer et classer les risques dans la grille de cotation ;
9. Appliquer la relation mathématique :  $P = NE * NG$  pour retenir les résultats ;
10. Identifies les Impacts et les conséquences ;
11. Comparer les résultats obtenus pour mettre les recommandations [32].

[Analyse Fonctionnelle & Observation (AF. O)]  [Recensement des Composantes du Risque]  [Évaluation (E)]  [Plan de Prévention & Suivi (P)]

**Tableau III. 1:** Exemple du tableau de synthèse [32].

Périmètre ou sous embles	Poste de travail	Nbre Temp	Nbre Perm	Source de danger	Scénario de danger	Nature barrières si existante	Impact	DE	FE	NE	NG	P	Victime
--------------------------	------------------	-----------	-----------	------------------	--------------------	-------------------------------	--------	----	----	----	----	---	---------

### III.1.3. La progression de l'analyse AF.O.C.E.P

La progression de l'analyse AF.O.C.E. P suit un enchaînement logique rigoureux :

#### III.1.3.1. L'Analyse Fonctionnelle du système et l'Observation du poste (AF. O)

La compréhension la plus claire possible des différentes étapes de la tâche ou du fonctionnement de la machine est une condition essentielle. La phase d'observation sur le terrain permet d'identifier les dangers, les situations à risque et les blessures possibles. Cette étape doit absolument être menée par une équipe qui regroupe différentes compétences, incluant obligatoirement les personnes qui travaillent normalement à ce poste. Ce sont eux qui discutent des problèmes qu'ils rencontrent et qui mettent en forme les situations de risque, qu'elles soient réelles ou imaginaires, grâce à un processus de réflexion en groupe .

#### III.1.3.2. L'Évaluation du risque (E)

Les risques identifiés n'étant pas jugés de la même manière, il est nécessaire de créer un classement par ordre d'importance, décidé en accord avec le groupe de travail, pour déterminer les priorités d'action. La cotation se base sur l'interaction de trois éléments clés :

- ✓ La Fréquence de l'exposition (F) ;
- ✓ La Gravité prévisible du dommage (G) ;
- ✓ Le niveau de la Prévention Existante (PE) .

#### III.1.3.3. La Prévention du risque (P) et le suivi des mesures

Un rapport sur les mesures de prévention choisies est créé, indiquant clairement les délais pour leur réalisation ainsi que les organisations et les personnes chargées de les mettre en œuvre. Les procédures, les méthodes de travail mises à jour et les consignes de sécurité sont ensuite partagées et expliquées au personnel concerné [31].

**Tableau III. 2:** Cadre de suivi des mesures de prévention AF.O.C.E. P [31].

Poste de travail analysé	Date de l'analyse	Mesures de prévention proposées	Délais de réalisation prévus	Responsables chargés du suivi
--------------------------	-------------------	---------------------------------	------------------------------	-------------------------------

**III.1.4. La méthodologie AF.O.C.E.P d'analyse du risque [31].**

**Tableau III. 3:** La méthodologie AF.O.C.E.P d'analyse du risque [31].

<b>Analyse fonctionnelle du système ou de la machine et/ou étude et observation du (des) mode(s) opératoire(s)</b>					
<b>Recherche des composantes du risque par l'observation, l'écoute, l'interrogation en travail de groupe pluridisciplinaire intégrant obligatoirement les opérateurs du poste de travail étudié. (phénomènes dangereux – situations dangereuses – dommages possibles)</b>					
<b>Évaluation du risque</b>					
Fréquence F		Gravité G		Prévention existante PE	
<b>Classement des actions de prévention à réaliser en fonction de l'IPR Délai de réalisation et responsables du suivi</b>					
<b>Niveaux de cotations pour l'évaluation du risque</b>					
Fréquence d'exposition au risque (FE)		Gravité du dommage prévisible (G)		Efficacité de la prévention existante (PE)	
Occasionnelle	= 1	Accident sans arrêt	= 1	Très efficace	= 1
Intermittente	= 2	Sans hospitalisation	= 2	Efficace	= 2
Fréquente	= 3	Avec hospitalisation	= 3	Peu efficace	= 3
Permanente	= 4	Atteinte à la vie	= 4	Inefficace	= 4
<b>Mesures de prévention retenues – délais de réalisation – suivi des travaux</b>					

### III.1.5. Définition des paramètres

Tableau III. 4: Niveaux de cotation pour l'évaluation du risque AF.O.C.E. P [32].

Valeur	Fréquence d'exposition (F)	Gravité du dommage prévisible (G)	Efficacité de la prévention existante (PE)
1	<b>Occasionnelle :</b> Exposition rare.	<b>Accident sans arrêt :</b> Lésion mineure.	<b>Très efficace :</b> Barrières redondantes et fiables.
2	<b>Intermittente :</b> Exposition régulière.	<b>Sans hospitalisation :</b> Arrêt de travail simple.	<b>Efficace :</b> Barrières satisfaisantes mais perfectibles.
3	<b>Fréquente :</b> Exposition quotidienne.	<b>Avec hospitalisation :</b> Lésion grave / irréversible.	<b>Peu efficace :</b> Barrières dégradées ou insuffisantes.
4	<b>Permanente :</b> Exposition continue au poste.	<b>Atteinte à la vie :</b> Conséquence fatale / décès.	<b>Inefficace :</b> Absence totale de barrière ou de contrôle.

### III.1.6. Objectifs de la méthode AF. O.C.E.P

1. **(Approche Opérateur / Terrain) :** Étudier l'activité réelle en examinant les tâches de maintenance habituelles, comme la soudure, la mécanique et l'électricité, en observant directement les actions de l'opérateur ;
2. **Mettre en valeur l'expérience sur le terrain :** Il est essentiel d'inclure exclusivement les équipes qui travaillent sur le terrain dans un processus de réflexion afin d'identifier les problèmes et les risques qu'elles rencontrent chaque jour ;
3. **Améliorer les conditions de travail :** Réduire la charge de travail, diminuer les temps d'attente et améliorer l'ergonomie du poste pour que l'opérateur se sente à l'aise et en sécurité ;
4. **Comprendre les accidents de travail fréquents :** Éliminer ou diminuer les dangers liés aux accidents de travail habituels (coupures, brûlures, chutes, levage manuel).

## III.2. La Méthode M.A.D.S (Méthodologie d'Analyse des dysfonctionnements dans les Systèmes)

### III.2.1. Principe général et approche systémique

Pour dépasser les limites de l'analyse de poste linéaire, la méthode MADS considère l'entreprise comme un tout. Créée pour gérer les risques industriels importants et reconnue

comme le guide officiel d'EvRP par la Direction Centrale HSE de SONATRACH, MADS pense qu'un accident ne résulte pas d'une seule cause, mais est le résultat d'un problème général dans le fonctionnement des mesures de sécurité du système.

La méthode décrit le mécanisme de danger en suivant une chaîne de causes et d'effets qui comprend quatre éléments.

[Source de Danger (SDD)] → [Événement Initiateur] → [Flux de Danger] → [Cible (Opérateur/Installation)] [26].

- **La Source de Danger (SDD)** : C'est un élément physique, chimique ou thermique qui contient de l'énergie, comme par exemple un gaz inflammable sous pression ou un fluide très froid ;
- **L'Événement Initiateur** : C'est un problème technique, humain ou organisationnel qui perturbe l'équilibre de départ (par exemple : une fissure dans un tuyau, un joint qui se dégrade) ;
- **Le Flux de Danger** : La libération et la diffusion de cette énergie dans l'environnement de travail (par exemple : la dispersion de gaz, la chaleur émise par un incendie) ;
- **La Cible** : C'est l'élément qui est fragile, que ce soit une personne ou un équipement, et qui reçoit le flux et subit des dommages graves [26].

### III.2.2. Déroulement de la méthode MADS

L'approche M.A.D.S. (Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements dans les Systèmes) s'applique de manière rigoureuse sur ces zones à haut risque selon les étapes suivantes :

1. **Définition du cadre spatial** : Identification et segmentation des unités opérationnelles les plus exposées (ex : Train, GPL, Utilités) ;
2. **Inventaire des Sources de Danger (SDD)** : Recensement systématique des dangers majeurs inhérents au process (Hydrocarbures sous pression, fluides cryogéniques, chaudières haute pression) ;
3. **Construction des Scénarios de Danger** : Modélisation de l'enchaînement : *Événement initiateur* (ex : rupture de joint, défaillance d'une vanne) *Flux de danger* (ex : fuite de gaz, jet de vapeur) *Cible impactée* ;

4. **Identification des Cibles et des Impacts** : Spécification du personnel exposé (opérateurs de console, techniciens d'intervention) et caractérisation des dommages types (gelures cryogéniques, intoxications, brûlures majeures) ;
5. **Quantification et Pondération** : Évaluation matricielle de la Fréquence d'Exposition (FE) et de la Dose d'Exposition (DE) pour situer le niveau de risque sur la grille de criticité ;
6. **Planification des barrières** : Proposition d'actions correctives hiérarchisées (Techniques, Humaines, Organisationnelles - THO) privilégiant la sécurité intrinsèque des procédés [26].

### III.2.3. Définition des paramètres de cotation

#### III.2.3.1. La dose d'exposition

Évalue l'intensité ou l'ampleur du phénomène dangereux s'il venait à se manifester.

**Tableau III. 5:** Grille de cotation de la Dose d'Exposition (DE) [32].

Niveau	Dose d'Exposition (DE)	Description / Indicateurs types
DE 1	Faible	Phénomène confiné, quantité de produit ou niveau d'énergie très limité.
DE 2	Moyen	Phénomène localisé à l'équipement ou à l'atelier immédiat.
DE 3	Fort	Phénomène touchant l'ensemble d'une unité de procédé.
DE 4	Très Fort	Phénomène majeur, extension possible hors des limites de l'unité ou du complexe.

#### III.2.3.2. La fréquence d'exposition

Décrit le temps que la cible (l'opérateur) passe ou la manière dont elle revient dans la zone où le danger est présent.

**Tableau III. 6:** Grille de cotation de la Fréquence d'Exposition (FE) [32].

Niveau	Fréquence d'Exposition (FE)	Définition opérationnelle
--------	-----------------------------	---------------------------

### Chapitre III : Présentation des méthodes d'analyse des risques AF.O.C.E. P et MADS

<b>FE 1</b>	<b>Rare</b>	Moins d'une fois par an ou durée d'exposition très courte.
<b>FE 2</b>	<b>Occasionnelle</b>	Exposition mensuelle ou lors de tâches de maintenance spécifiques.
<b>FE 3</b>	<b>Fréquente</b>	Exposition quotidienne lors des rondes ou de l'exploitation normale.
<b>FE 4</b>	<b>Permanente</b>	Poste de travail fixe situé en continu dans la zone d'influence.

#### III.2.3.3. Le Niveau d'Exposition (NE)

S'obtient par le croisement de la Dose (DE) et de la Fréquence (FE).

$$NE = DE \times FE$$

**Tableau III. 7:** Matrice du Niveau d'Exposition (NE) [32].

<b>Dose \ Fréquence</b>	<b>FE 1 (Rare)</b>	<b>FE 2 (Occasionnelle)</b>	<b>FE 3 (Fréquente)</b>	<b>FE 4 (Permanente)</b>
<b>DE 1 (Faible)</b>	NE 1	NE 1	NE 2	NE 2
<b>DE 2 (Moyen)</b>	NE 1	NE 2	NE 3	NE 3
<b>DE 3 (Fort)</b>	NE 2	NE 3	NE 4	NE 4
<b>DE 4 (Très Fort)</b>	NE 2	NE 3	NE 4	NE 4

**III.2.3.4. Le niveau de gravité**

Estime la sévérité des dommages prévisibles sur la santé des cibles humaines.

**Tableau III. 8:** Grille de cotation du Niveau de Gravité (NG) [32].

<b>Niveau</b>	<b>Niveau de Gravité (NG)</b>	<b>Conséquences Humaines Prévisibles</b>
<b>NG 1</b>	<b>Faible / Mineur</b>	Blessure légère sans arrêt de travail ou soins infirmiers de base.
<b>NG 2</b>	<b>Moyen / Significatif</b>	Lésion réversible avec arrêt de travail court (sans hospitalisation).
<b>NG 3</b>	<b>Grave</b>	Lésion irréversible, incapacité permanente ou hospitalisation requise.
<b>NG 4</b>	<b>Catastrophique</b>	Perte de vie humaine / Un ou plusieurs décès.

**III.2.3.4. Le niveau de risque final : (NR ou codifié de P1 à P5)**

Détermine l'urgence et la nature des barrières THO à implanter. Il croise le Niveau d'Exposition (NE) et le Niveau de Gravité (NG).

**Tableau III. 9:** Matrice de Criticité Finale — Niveau de Risque (NR / Priorité P) [32].

<b>Niveau d'Exposition \ Gravité</b>	<b>NG 1 (Faible)</b>	<b>NG 2 (Moyen)</b>	<b>NG 3 (Grave)</b>	<b>NG 4 (Catastrophique)</b>
<b>NE 1</b>	<b>P5</b> (Très Faible)	<b>P5</b> (Très Faible)	<b>P4</b> (Faible)	<b>P3</b> (Modéré)
<b>NE 2</b>	<b>P5</b> (Très Faible)	<b>P4</b> (Faible)	<b>P3</b> (Modéré)	<b>P2</b> (Élevé)
<b>NE 3</b>	<b>P4</b> (Faible)	<b>P3</b> (Modéré)	<b>P2</b> (Élevé)	<b>P1</b> (Critique)

<b>NE 4</b>	<b>P3</b> (Modéré)	<b>P2</b> (Élevé)	<b>P1</b> (Critique)	<b>P1</b> (Critique)
-------------	-----------------------	----------------------	-------------------------	----------------------

**Tableau III. 10:** Structure du tableau d'analyse M.A.D.S.

Périmètre / Zone	Source de Danger (SDD)	Scénario de danger (Mécanisme MADS)	Nature des barrières existantes	Impacts & Dommages	D E	F E	N E	N G	P (NR)	Cibles / Victimes
------------------	------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	--------------------	--------	--------	--------	--------	-----------	-------------------

### III.2.4. La structuration des actions de prévention : La démarche T.H.O

Un des grands avantages de la méthode MADS est qu'elle permet de passer directement à l'action en classant les barrières de sécurité selon le type THO (Technique, Humain, Organisationnel) :

1. **Barrières Techniques (T)** : Ce sont des mesures d'ingénierie qui agissent directement sur l'installation pour éliminer, réduire ou confiner la source de danger, comme les vannes ESD, les systèmes de détection automatique et les murs pare – flammes ;
2. **Barrières Humaines (H)** : Mesures axées sur la protection immédiate de la personne cible (port d'équipements de protection individuelle spécifique, suivi médical pour vérifier l'aptitude aux postes à risque) ;
3. **Barrières Organisationnelles (O)** : Règles, autorisations de travail, protocoles de verrouillage (LOTO), exercices d'urgence (PII) et formations pour les managers qui régissent le fonctionnement.

### III.2.5. Objectifs de la méthode MADS

1. **(Approche Système / Procédés)** : Modéliser les accidents technologiques majeurs. Cela signifie comprendre la suite d'événements compliqués qui peuvent provoquer des accidents industriels graves, comme de grands incendies, des explosions ou des nuages toxiques ;
2. **Analyser les flux d'énergie** : Examiner les problèmes de confinement et de contrôle des fluides sous haute pression ou à des températures très basses dans les grandes unités de production (Train, GPL, Utilités).
3. **Assurer le respect des règles** : Organisateur de l'évaluation des risques professionnels selon les normes et les exigences officielles de la Direction Centrale HSE du groupe SONATRACH ;

4. **Gérer les mesures de sécurité (THO)** : Offrir à la direction un outil pour aider à la prise de décision opérationnelle en classant les actions correctives par type (Technique, Humaine, Organisationnelle) avec des délais et des responsables de suivi clairement définis.

### **Conclusion**

En résumé, ce chapitre souligne la coexistence et l'interaction des outils théoriques que nous avons à notre disposition. La méthode AF. O.C.E.P est un très bon outil pour analyser le terrain, essentiel pour aborder l'ergonomie et la sécurité au quotidien dans les ateliers de maintenance. En revanche, la méthode MADS, grâce à son approche systémique et à son intégration dans SONATRACH, se révèle être le seul outil capable de modéliser de grands scénarios d'accidents liés aux processus. Une fois cette base théorique bien établie, le chapitre suivant se concentrera sur l'application pratique de ces deux méthodes sur le site du complexe GLIK. Cela permettra de comparer leurs résultats de manière concrète avant de confirmer leurs impacts à l'aide de simulations numériques.

**Chapitre IV: Application des  
méthodes d'évaluation des  
risques ( AF.O.C.E.P et MADDS)**

## **Introduction**

L'évaluation des risques professionnels (EvRP) est indispensable pour garantir la santé et la sécurité au travail (SST), surtout dans les secteurs industriels où le risque de danger est élevé. Ce chapitre vise à appliquer et à comparer deux méthodes complémentaires afin de dresser une carte complète des risques du complexe de liquéfaction de gaz naturel (GL1K) de SONATRACH.

Dans un premier temps, nous utilisons la méthode AF. O.C.E.P (Analyse Fonctionnelle, Observation, Composantes du risque, Évaluation, Prévention). Cette méthode participative et ergonomique se base sur l'examen du travail quotidien. Cette méthode aide à examiner les tâches de maintenance courantes dans les ateliers du site, comme la mécanique, la chaudronnerie, l'électricité et l'instrumentation.

Ensuite, pour élargir l'analyse aux risques liés aux procédés principaux, cette méthode utilise la méthode officielle MADS (Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements dans les Systèmes) selon les normes de SONATRACH. Cette approche se concentrera sur les trois zones critiques du complexe : le Train de fractionnement, l'Unité GPL et le secteur des Utilités.

Le chapitre décrit un curriculum vitae managérial sous forme de plan d'action standardisé, fondé sur les barrières Techniques, Humaines et Organisationnelles (THO). Le chapitre propose une analyse comparative qui montre l'efficacité et la supériorité de la méthode MADS pour assurer la sécurité du complexe GL1K.

### **IV.1. Analyse opérationnelle par la méthode AF.O.C.E. P**

#### **IV.1.1. Fondements, Objectifs et Etapes de la méthode AF.O.C.E. P**

Pour réaliser une évaluation des risques professionnels (EvRP) qui reflète la réalité du terrain, il est essentiel de ne pas se limiter à une simple inspection visuelle, mais de comprendre comment se déroulent réellement les activités. La méthode AF. O.C.E.P (Analyse Fonctionnelle / Observation / Composantes du risque / Évaluation / Prévention) est spécialement conçue pour cela. Elle repose sur une approche participative divisée en cinq étapes clés :

- **L'Analyse Fonctionnelle (AF)** : Cette étape consiste à décomposer le domaine de travail de manière structurée pour isoler chaque unité et définir clairement sa fonction ;
- **L'Observation (O)** : C'est une étape cruciale sur le terrain qui permet d'analyser l'activité réelle de l'opérateur, ses mouvements et ses interactions avec les machines ;
- **Les Composantes du risque (C)** : Cette étape implique l'identification systématique des sources potentielles de danger (physiques, chimiques, mécaniques) et des flux de dérive ;

## Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)

- **L'Évaluation (E)** : Cela consiste à quantifier le risque en croisant des paramètres d'exposition et de gravité à l'aide d'une grille de notation ;
- **La Prévention (P)** : Cette étape définit des barrières de protection, qu'elles soient collectives ou individuelles, adaptées aux priorités d'action choisies.
- L'objectif principal de cette première approche est de cartographier avec précision les problèmes locaux liés directement à l'exécution des tâches de maintenance dans les ateliers.

### IV.1.2. Décomposition structurelle et fonctionnelle du champ de travail

La première étape de la méthode consiste à diviser le domaine de travail général du complexe GL1K. Cette analyse aide à repérer les liens entre les technologies et à déterminer le rôle précis de chaque unité de travail. Le tableau ci - dessous résume la façon dont fonctionnent les quatre ateliers qui ont été choisis pour l'étude :

**Tableau IV. 1:** Décomposition structurelle et fonctionnelle du champ de travail.

Champ de travail	Unité de travail	Fonction
GL1/K	Atelier de mécanique	L'atelier de mécanique réalise les travaux de mécanique et fournit une aide à la conception des pièces et montages il est équipé de tous les outils et machines nécessaires
	Atelier chaudronnier	C'est l'atelier au sont effectuées les réparations et soudeure les matériels.
	Atelier sous station électrique	Spécialisé dans les travaux de montage et d'assemblage de matériel d'électricité
	Atelier instrumentation	Réparer les instruments électroniques et électromécaniques

L'analyse fonctionnelle nous a permis de mieux connaître les différentes fonctions des composants du champ de travail, elle nous a également permis d'avoir une idée sur les paramètres de dérives que l'on peut examiner pour chaque composant, en élaborant l'EVRP.

### IV.1.3. Application de la méthode

Pour l'identification des risques de notre champ de travail nous avons fait recours à une démarche largement utilisée dans ce type d'étude (EVRP) ; il s'agit de la méthode : Analyse Fonctionnelle/Observation/Composantes du risque Evaluation/Prévention (A.F.O.C.E.P.).

Pour rappel les fondements théoriques de la démarche sont représentés dans les tableaux qui suivent :

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

**Tableau IV. 2:** Département Maintenance.

Champs d'application	Périmètre ou sous embles	Poste de travail	Source de danger	Scénarios de danger	Nature barrières si existante	Impact	DE	FE	NE	NG	P	Victime
Maintenance	Département Maintenance	Bureau	Mauvaise aération		/	Troubles respiratoires	DE 1	FE 3	M	NG 2	P4	Agents maintenance
			Le travail au bureau dans une position assise pendant des heures peut causer des problèmes de santé	Le travail au bureau dans une position assise pendant des heures peut causer des problèmes de santé	Activité sportive et pause	Troubles musculo-squelettique (TMS)	DE 1	FE 3	M	NG 1	P5	Chef de Dpt, Chefs service. Agents Planning, Secrétaire.
			Dispositif d'affichage: Ecran d'ordinateur	Dégradation des sièges peut provoquer des postures prolongées	Achat des sièges et des bureaux ergonomique	Troubles musculo-squelettique (TMS)	DE 1	FE 2	M	NG 1	P5	Chef de Dpt, Chefs service.

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			Dispositif d'affichage: Ecran d'ordinateur	Exposition à longue durée au rayonnement d'écran	Filtres d'écrans, pause	Troubles visuels	DE 1	FE2	M	NG 3	P3	Agents Planning, Secrétaire.
			installation électrique	la nature préfabriquée des bungalows de la zone entreprise, risque d'incendie en cas de court-circuit.	Vérification périodique des installations électriques	Brûlures, Electrocutation	DE 1	FE3	M	NG 2	P4	Chef de Dpt, Chefs service. Agents Planning, Secrétaire.
			Sol glissant (produits répandus)	Chute de plain-pied, glissade lors d'exécution des tâches	Nettoyage, Réparation des sols	Blessures: Contusion, plaies, entorse, fracture	DE 1	FE1	F	NG 2	P4	Chef de Dpt, Chefs service. Agents Planning, Secrétaire.

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

**Tableau IV. 3:** Les ateliers de maintenance :(Atelier Mécanique)

Champs d'application	Périmètre ou sous embles	Poste de travail	Source de danger	Scénarios de danger	Nature barrières si existante	Impact	DE	FE	NE	NG	P	Victime
	atelier maintenance	Atelier Mécanique	Huiles de lubrification	Contact: Inhalation, ingestion et cutané par projection aux produits chimiques lors des opérations de: nettoyage,	EPI (Tenues de travail, Masque, Lunettes de protection, Gants, Chaussures de sécurité), sensibilisation	Lésions cutanées	DE1	FE 2	M	NG2	P4	Agents Mécanique
			Graisse			/	DE1	FE 2	M	NG2	P4	
			Gasoil			Atteintes respiratoires	DE1	FE 2	M	NG2	P4	
			Dégrippant			Trouble neurologique et respiratoire	DE1	FE 2	M	NG3	P3	
			Fumées de chalumeau	Emanation des fumées pendant l'opération de chauffage des équipements	Protection respiratoire, Ecran facial spécifique, Lunettes de protection,	Trouble neurologique et respiratoire	DE1	FE 2	M	NG3	P3	
			Poussière	Exposition à la poussière durant soufflage des véhicules	EPI, Douche	Troubles respiratoires, Allergie	DE1	FE 3	M	NG2	P4	

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			Manque d'hygiène	Risque lié au manque d'hygiène : Sanitaires et douches dégradés et insalubres,	Nettoyage	Maladies infectieuses	DE 1	FE3	M	NG3	P3	Agents Chaudronnerie
			stockage des bouteilles oxy-acétylène	inhalation lors d'une fuite	Stop de bruit	Hypoacousie, stress, voir surdité	DE 1	FE3	M	NG4	P2	Agents mécanique
			Sol glissant (Huile, Graisse et Eau)	Chute de plain-pied, glissade lors d'exécution des tâches	Nettoyage, EPI (Chaussures de sécurité)	Blessures: Contusion, plaies, entorse, fracture	DE 1	FE2	M	NG2	P4	Agents mécanique
			manutention d'objets	Manutention manuelle des pièces métalliques pouvant peser plusieurs KG		Troubles musculo-squelettiques (TMS)	DE 1	FE2	M	NG2	P4	Agents mécanique: Opérateur mécanique Technicien mécanique, Contremaître,
				Travail en	Pauses,	Troubles						

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			Posture de travail	position debout et courbé devant les machines,	Activité sportive	musculo-squelettique (TMS)	DE 1	FE3	M	NG1	P5	Agents mécanique: Opérateur mécanique Technicien mécanique, Contremaitre,
			Chalumeau	Exposition à la chaleur pendant les opérations de chauffage des pièces (contact avec de pièce chaude)	EPI (Tenue de travail, Lunettes de protection, Gant de travail), Formation	Brûlures	DE 1	FE2	M	NG2	P4	
			Chalumeau Bouteille Oxygène, acétylène, propane	Exposition au rayonnement UV-IR pendant les opérations de chauffage au chalumeau	Lunettes de protection, Sensibilisation	Troubles oculaires	DE 1	FE2	M	NG2	P4	Agents mécanique: Opérateur mécanique Technicien mécanique, Contremaitre, Agents mécanique
				Percussion accidentelles (chute, chocs et augmentation importante de la température) des bouteilles	- Fixation et amarrage des cylindres, - Sécurisation avec bouchons métalliques mise à l'ombre	Lésions corporelles	DE 1	FE1	F	NG3	P4	

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			Palan	Risques associés à la charge manutentionnée (Instabilité, chute d'objets, heurt, renversement)	Moyens de manutention et des accessoires conformes à la réglementation, sensibilisation, EPI (Casque antichoc, Gants, Chaussure de sécurité)	TMS, Fractures, Plaies,	DE1	FE2	M	NG3	P3	Agents mécanique: Opérateur mécanique, Technicien mécanique, Contremaitre,
			Travail de quart 4/4 (Durée de quart 12H)	Manque de concentration et fatigue pendant l'exécution d'une tâche	Activité sportive et pause	Troubles digestifs Troubles neuropsychiatriques, Stress	DE2	FE2	M	NG3	P3	Agents mécanique
			Equipement et Outils	Exposition de l'opérateur à une libération soudaine d'énergie accumulée (ressort, pression, dépression) à	Formation, Sensibilisation, EPI (Tenue de travail, Chaussures de sécurité, Gants, Casque antichoc, Lunettes de	Lésions corporelles	DE1	FE1	F	NG3	P4	Agents mécanique: Opérateur mécanique, Technicien mécanique, Contremaitre, Chef section



**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

**Tableau IV. 4:** Les ateliers de maintenance (Atelier Chaudronnerie).

Champ d'application	Périmètre ou sous ensembles	Poste de travail	Source de danger	Scénarios de danger	Nature barrières si existante	Impact	DE	FE	NE	NG	P	Victime
	Les ateliers	Ateli	Gasoil	Contact: Inhalation, ingestion et cutané par projection aux produits chimiques lors des opérations de: nettoyage, dégripper et graissage des pièces et de transvasement	EPI (Tenues de travail, Masque, Lunettes de protection, Gants, Chaussures de sécurité), Sensibilisation	Atteintes respiratoires	DE1	FE1	F	NG2	P4	Opérateurs Chaudronneries
			Dégrippant			Troubles neurologiques et respiratoires	DE1	FE2	M	NG3	P3	
			Graisse			Lésions cutanées	DE1	FE2	M	NG2	P4	

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

	de maintenance s	er Chaudro nnerie	Fumées de soudag e / chalum eau	Emanation des fumées pendant l'opération de soudure	Protection respiratoire , Ecran facial spécifique, Lunettes de protection, Dispositif d'aération pour les espaces confinés, douche de sécurité,	Troubles neurologiques et respiratoires	DE1	FE2	M	NG3	P3	Opérateurs Chaudronneri es (Soudeurs)
--	------------------------	-------------------------	--	---	--	---	-----	-----	---	-----	----	---

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			Poussière	Exposition a la poussière pendant le ponçage au niveau de l'atelier de la chaudronnerie	EPI (Tenue de travail, Masque, lunette de protection), Douche	Troubles respiratoires, Allergie	DE1	FE2	M	NG2	P4	Opérateurs Chaudronneries
			Manque d'hygiène	Risque lié au manque d'hygiène :	Nettoyage	Maladies infectieuses	DE1	FE3	M	NG3	P3	Agents Chaudronnerie
			Installations de production à proximité: Chaudières...	- Exposition au bruit émis par les installations et au bruit impulsif par les outils de travail	Stop de bruit	Hypoacousie, stress, voir surdité	DE1	FE3	M	NG2	P4	Agents Chaudronnerie
			Chaudières à proximité, engins	Exposition à des vibrations émises par moyens de transport (Camions, engins) et chaudière lors du crachement,	/	Troubles musculo-squelettiques (TMS)	DE1	FE2	M	NG1	P5	
			Sol glissant (Huile, Graisse et Eau)	Chute de plain-pied, glissade lors d'exécution des tâches	Nettoyage, EPI (Chaussures de sécurité)	Blessures: plaies, entorse, fracture	DE1	FE2	M	NG2	P4	Agents Chaudronnerie
				Manutention								

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			Manutention d'objets	manuelle des pièces métalliques pouvant peser plusieurs kilogrammes (parfois coupantes),	Sensibilisation aux gestes et postures, consignes de sécurité, Gants de travail	Troubles musculo-squelettiques (TMS)	DE1	FE2	M	NG2	P4	Agents mécanique: Opérateur mécanique Technicien mécanique, Contremaitre,
			Posture de travail	Travail en position debout et courbé devant les machines,	Pauses, Activité sportive	Troubles musculo-squelettique (TMS)	DE1	FE3	M	NG1	P5	
			Soudage / coupage	Exposition à la chaleur pendant les opérations de soudage et coupage (contact avec de pièce chaude)		Brûlures	DE1	FE2	M	NG2	P4	Opérateur Chaudronnerie (Soudeur)
				Exposition aux rayonnements UV-IR pendant les opérations de soudage à l'arc et coupage au chalumeau		Troubles oculaires	DE1	FE2	M	NG2	P4	

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			Palan	Risques associés à la charge manutentionnée (Instabilité, chute d'objets, heurt, renversement)	Moyens de manutention et des accessoires conformes à la réglementation, sensibilisation, EPI (Casque antichoc, Gants de travail, Chaussures de sécurité)	TMS, Fractures, Plaies,	DE1	FE2	M	NG3	P3	Agents Chaudronnerie
			Equipement et Outils (Scie, tronçonneuse, machine a meuler, machine acier ou limer)	Exposition de l'opérateur à la blessure (coupure, perforation, écrasement ou entraînement) par l'action mécanique d'une machine (tronçonneuse),.	Formation, Sensibilisation, EPI (Tenue de travail, Chaussures de sécurité, Gants, Casque antichoc, Lunettes de protection),	Plaies, Fractures	DE1	FE2	M	NG3	P3	Agents Chaudronnerie

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

**Tableau IV. 5:** Les ateliers de maintenance :(Atelier Électricité et sous-station électrique).

Champs d'application	Périmètre ou sous ensembles	Poste de travail	Source de danger	Scénarios de danger	Nature barrières si existante	Impact	DE	FE	NE	NG	P	Victime
	Maintenance des Installations	Sous station électrique	Les disjoncteurs à gaz SF6	Défaut d'isolement	Habilitation ; électrique, EPI (Casque antichoc, Lunettes de protection, Gants spécifiques à la fonction, Ecran facial spécifique, Tenue de travail, Chaussures de sécurité),	Electrisation, Electrocutation	DE2	FE2	M	NG4	P2	Electriciens
			Jeu de barres	Non-respect de la distance minimum d'approche	Habilitation électrique, EPI (Casque antichoc, Lunettes de protection, Gants spécifiques à la fonction, Ecran facial spécifique, Tenue de travail, Chaussures de sécurité),	Electrisation, Electrocutation	DE1	FE2	M	NG4	P2	Electriciens

Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)

			Armoires électrique	Mauvaise isolation par jeu de barres peut provoquer un arc électrique,	Habilitation électrique, Nettoyage périodique, EPI (Casque antichoc, Lunettes de protection, Gants spécifiques à la fonction, Ecran facial spécifique, Tenue de travail, Chaussures de sécurité),	Electrisation, Électrocution	DE1	FE1	F	NG4	P2	Electriciens
--	--	--	---------------------	--	---	------------------------------	-----	-----	---	-----	----	--------------

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			Les disjoncteurs 5.5/ 3,80Kv	Lors d'une intervention sur un équipement remis sous tension non signalé par une pancarte peut provoquer un accident	Habilitation électrique, Certificat de consignation, EPI (Casque antichoc, Lunettes de protection, Gants spécifiques à la fonction, Ecran facial spécifique, Tenue de travail, Chaussures de sécurité),	Electrisation, Électrocution	DE1	FE1	F	NG4	P2	Electriciens
--	--	--	------------------------------	--	---	------------------------------	-----	-----	---	-----	----	--------------

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

**Tableau IV. 6:** Maintenance des installations :(Atelier Instrumentation)

Champs d'application	Périmètre ou sous ensembles	Poste de travail	Source de danger	Scénarios de danger	Nature barrières si existante	Impact	DE	F E	NE	NG	P	Victime
	Les ateliers de maintenances	Atelier Instrumentation	Chlorure de méthylène	Contact: Inhalation, ingestion et cutané par projection aux produits chimiques lors des opérations de nettoyage des pièces et transvasement	EPI (Tenues de travail, Masque, Lunettes de protection, Gants, Chaussures de sécurité), Sensibilisation	Troubles neurologiques et respiratoires	DE 1	FE 2	M	NG 3	P3	Agent d'instrumentation
			Dégrippant			Troubles neurologiques et respiratoires	DE 1	FE 2	M	NG 3	P3	
			Poussière	Exposition à la poussière durant l'exécution des tâches,	EPI (Tenue de travail, Masque, Lunette de protection), Douche	Troubles respiratoires, Allergie	DE 1	FE 2	M	NG 2	P4	
			Manutention d'objets	Manutention manuelle des matériels	Sensibilisation aux gestes et postures, consignes de sécurité,	Troubles musculosquelettiques (TMS)	DE 1	FE 2	M	NG 2	P4	

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			Sol glissant (Produits réponsus)	Chute de plain-pied, glissade lors d'exécution des tâches	Nettoyage, EPI (Chaussures de sécurité)	Blessures: Contusion, plaies, entorse	DE 1	FE 2	M	NG 2	P4	Agent d'instrumentation
			Palan	Risques associés à la charge manutentionnée (Instabilité,	Moyens de manutention et des accessoires conformes à la	TMS, Fractures, Plaies	DE 1	FE 2	M	NG 3	P3	Agent d'instrumentation

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			chute d'objets, heurt, renversement) ou au moyen de manutention (Rupture, défaillance de la chaîne, palan)	réglementation, Sensibilisation, EPI (Casque antichoc, Gants de travail, Chaussures de sécurité)								
			Outils (Tournevis, clés, ...)	Utilisation d'outils non adapté, défectueux dans l'exécution d'une tâche	Dotation en outils conformes et adaptés aux tâches de l'opérateur, EPI (Tenue de travail, Gants spécifiques à la fonction, Casque antichoc, Chaussures de sécurité), Sensibilisation	Plaies, Fractures, Entorse	DE 1	FE 2	M	NG 2	P4	Instrumentiste
			Travail de quart 4/4 (Durée de quart 12H)	Manque de concentration et fatigue pendant l'exécution d'une tâche,	Activité sportive et pause	Troubles digestifs Troubles neuropsychiatriques, Stress	DE 2	FE 2	M	NG 3	P3	Agent d'instrumentation

**Tableau IV. 7:** Matrice de cotation brute AF.O.C.E.P pour les ateliers de maintenance

<b>Fréquence (F) \ Gravité (G)</b>	<b>G 1(Accident bénin / Sans arrêt)</b>	<b>G 2(Lésion simple / Sans hospitalisation)</b>	<b>G 3(Lésion grave / Avec hospitalisation)</b>	<b>G 4(Atteinte à la vie / Décès)</b>
<b>F 4</b> <i>(Permanente)</i>	<b>Score 4</b>  (Risque Modéré)	<b>Score 8</b>  (Risque Élevé)	<b>Score 12</b>  (Priorité Absolue)  <b>Atelier Chaudronnerie</b>	<b>Score 16</b>
<b>F 3</b> <i>(Fréquente)</i>	<b>Score 3</b>  (Risque Faible)	<b>Score 6</b>  <b>Atelier Mécanique</b>	<b>Score 9</b>  <b>Atelier Instrumentation</b>	<b>Score 12</b>  (Priorité Absolue)  <b>Atelier Électricité</b>
<b>F 2</b> <i>(Intermittente)</i>	<b>Score 2</b>	<b>Score 4</b>	<b>Score 6</b>	<b>Score 8</b>
<b>F 1</b> <i>(Occasionnelle)</i>	<b>Score 1</b>	<b>Score 2</b>	<b>Score 3</b>	<b>Score 4</b>

1. **Zone Faible (Score 1 à 3) :** Risque acceptable, maintien des pratiques actuelles ;
2. **Zone Modérée (Score 4 à 6) :** Actions à planifier à moyen terme ;
3. **Zone Élevée (Score 8 à 9) :** Actions correctives requises à court terme ;
4. **Zone Priorité Absolue (Score 12 à 16) :** Mesures de prévention immédiates et obligatoires (léthalité ou hospitalisation).

#### **IV.1.2. Discussion des résultats**

En observant directement ces unités , sur une mise en lumière plusieurs situations dangereuses . Dans le cadre de la méthode AF. Les risques identifiés sont principalement présents dans l'environnement proche de l'opérateur, sur les outils utilisés pour le travail et les tâches liées à la maintenance .

Dans l'atelier de mécanique et de soudure , les observations en direct indiquent qu'il existe de nombreux risques physiques liés à l'utilisation des machines comme les tours et les fraiseuses ainsi que des postes de soudure . Les travailleurs risquent de subir des coups directs , des projections de particules sur la peau ou les yeux, ainsi que l'inhalation de fumées de soudage ou de poussières métalliques .

## Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)

---

Dans les ateliers d'électricité et d'instrumentation, les risques principaux sont liés à l'exposition aux énergies qui ne sont pas visibles . L'observation des tâches de diagnostic indique qu'il existe un risque d'électrisation si on touche directement l'appareil pendant des travaux sur des armoires ou des sous-stations. De plus, il y a des problèmes liés à l'ergonomie, comme des positions inconfortables et la nécessité de tenir fermement même lorsqu'on manipule des petits composants .La comparaison des résultats selon les tableaux de l'application est fournie ci-dessous.

- Dans le département maintenance la criticité des risques est de trois types : **P3 (Urgent), P4 (Dangereux), P5 (Acceptable) ;**
- Dans les ateliers de maintenances (mécanique, chaudronnier, instrumentation), la criticité des risques professionnels est de trois types : **P3 (Urgent), P4 (Dangereux), P5 (Acceptable) ;**
- Dans l'atelier sous station électriques qui contient des risque électriques, cette criticité est de: **P2 (Critique).**

Ces résultats indiquent que les risques sont plus importants dans l'atelier électrique . C'est pourquoi il est nécessaire de tenir compte de cette criticité dans le plan d'action. Il est important de conserver dans le document unique la valeur initiale de criticité de chaque risque identifié. Cela permet ensuite de comparer les nouvelles valeurs avec celles initiales et ainsi d'évaluer les progrès réalisés . Selon le niveau de criticité obtenu, les actions sont planifiées et organisées via un plan d'action.

### IV.2. Modélisation Systémique par la Méthode M.A.D.S

Devant la difficulté des processus d'une usine de liquéfaction de gaz comme le complexe GL1K, les méthodes d'analyse traditionnelles qui se concentrent uniquement sur le poste de travail montrent clairement leurs limites. C'est pour cette raison que le cadre officiel pour l'évaluation des risques professionnels (EvRP) de SONATRACH demande d'adopter une démarche complète et systématique en utilisant la méthode MADS.

Cette méthode ne considère pas le danger seul, mais elle montre comment un dommage peut se produire comme un problème dans l'ensemble du système industriel. Le mécanisme de cause à effet repose sur quatre idées principales :

1. **La Source de danger (SDD)** : C'est un élément qui fait partie du processus ou de l'infrastructure et qui peut causer des problèmes, comme par exemple un gaz sous haute

pression ou un liquide très froid ;

2. **L'Événement Initiateur** : Une rupture physique, un défaut d'un équipement ou une erreur de la part d'une personne qui conduit à une perte de contrôle de la source de danger ;
3. **Le Flux de danger (Le Scénario)** : La diffusion de l'énergie ou de la matière qui se libère dans le milieu de travail à cause de l'événement déclencheur ;
4. **La Cible** : L'opérateur ou le groupe de travail qui est en contact avec ce flux, et qui subit des blessures physiques ou des problèmes de santé (Impacts).

Le principal avantage de MADS est sa capacité à inclure des scénarios d'accidents compliqués en chaîne, qui sont essentiels pour garantir la sécurité dans les industries et pour guider la maintenance préventive.

#### **IV.2.1. Application de la méthode M.A.D.S aux 3 zones les plus critiques du complexe GL1K**

Pour utiliser la méthode MADS, il faut d'abord diviser le complexe en zones géographiques qui se ressemblent. Pour cette étude, l'analyse s'est focalisée sur les trois zones de travail qui présentent les risques les plus importants sur le site :

**Section 1** : Évaluation du Train et Fractionnement (Risques liés aux procédés et aux produits chimiques). Le Train de fractionnement est au centre du processus thermo-chimique qui sépare les hydrocarbures. La principale source de danger (SDD) vient de la grande quantité de gaz naturel, de coupes légères et d'huiles chaudes qui circulent sous haute pression et à des températures élevées. Le scénario de danger modélisé se réfère à une situation où il y a une perte de confinement, provoquée par une fatigue thermique ou vibratoire d'une manivelle ou d'un joint d'étanchéité. Le flux de danger produit crée immédiatement un nuage de gaz qui peut s'enflammer, ce qui représente un grand risque d'incendie (comme un jet de feu ou une explosion) ou de suffocation et d'intoxication grave pour les personnes qui interviennent (comme les mécaniciens, les instrumentistes et les électriciens).

**Section 2** : Évaluation de l'Unité GPL (U GPL) (Risques de froid extrême) L'unité GPL s'occupe des dernières étapes de la récupération, de la liquéfaction du propane et du butane, ainsi que du chargement des produits. Ici, le danger provient de caractéristiques physiques et thermiques : le liquide est à l'état cryogénique. Le scénario MADS identifié repose sur une fuite au niveau de l'étanchéité d'une pompe de transfert ou sur la rupture d'un tuyau pendant le chargement. Le danger se manifeste par un jet de liquide cryogénique sous pression, ce qui peut causer des gelures graves et des dommages immédiats aux tissus de la peau pour l'opérateur ou

## Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)

le chargeur.

**Section 3 :** Évaluation des Utilités (Utilités A / U 50 & Utilités B) ( Risques thermiques ) L'unité des utilités fournit l'énergie et les fluides nécessaires au bon fonctionnement de l'ensemble du complexe. Les chaudières et les collecteurs de distribution qui transportent de la vapeur d'eau à haute pression. Le scénario de danger concerne la rupture d'un tuyau à cause d'un coup de bélier ou de la corrosion due à des contraintes. Le flux de danger est un jet de vapeur invisible, très chaud et plein d'énergie. Les travailleurs (opérateurs d'utilité et mécaniciens) sont exposés à un danger de brûlures graves et de problèmes respiratoires permanents à cause de l'inhalation d'air chaud.

Le tableau 2.1 ci-dessous synthétise la modélisation et l'évaluation quantitative M.A.D.S des scénarios identifiés dans les trois zones critiques, en intégrant l'efficacité des barrières de sécurité actuelles :

**Tableau IV. 8:** Tableau d'évaluation des risques professionnels par la méthode M.A.D.S

Source de danger	Scénario de danger (Mécanisme MADS)	Nature des barrières existantes	Impact / Dommages	DE	FE	N E	NG	P (NR)	Victimes potentiels
<b>Produits chimiques</b> (Hydrocarbures gazeux/liquides sous pression, huiles chaudes)	Perte de confinement suite à la rupture d'un joint → formation d'un nuage inflammable → incendie / explosion (jet fire).	Réseau fixe de détection Gaz et Flammes, vannes d'isolement d'urgence (ESD).	Brûlures thermiques majeures, traumatismes par effet de souffle, asphyxie.	DE 1	FE 3	M	NG 5	<b>P1</b>	Opérateurs extérieurs, Électriciens, Mécaniciens.
<b>Fluides cryogéniques</b> (GPL / Propane liquide à basse température)	Rupture de flexible ou fuite sur pompe de transfert → projection de liquide cryogénique sous pression vers l'opérateur.	Procédures opératoires d'exploitation, flexibles tressés inox, boutons d'arrêt d'urgence locaux.	Gelures cryogéniques graves, destruction immédiate des tissus cutanés, hypothermie.	DE 2	FE 2	M	NG 4	<b>P2</b>	Chargeurs GPL, Techniciens de maintenance, Inspecteurs

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

			mie locale.						
<b>Énergie thermique</b> (Vapeur d'eau Haute Pression)	Fissuration d'une ligne vapeur due à la fatigue thermique → libération brutale d'un jet de vapeur surchauffée	Calorifugeage des lignes de tuyauteries, soupapes de décharge sur les collecteurs	Brûlures thermiques profondes, atteintes respiratoires graves par inhalation d'air surchauffé.	DE 2	FE 3	I	NG 4	<b>P1</b>	Opérateurs utilités, Mécaniciens d'entretien

**Tableau IV. 9:** Matrice de criticité M.A.D.S pour les unités de production

Niveau d'Exposition (NE) \ Gravité (NG)	NG 1(Faible / Mineur)	NG 2(Moyen / Significatif)	NG 3(Grave)	NG 4(Catastrophique / Effet Majeur)
<b>NE 4</b> <i>(Très Élevé)</i>	<b>P3</b> (Modéré)	<b>P2</b>	<b>P1</b>	<b>P1 (Zone Critique)</b>  Train de Fractionnement  Unité GPL
<b>NE 3</b> <i>(Élevé)</i>	<b>P4</b> (Faible)	<b>P3</b>	<b>P2 (Zone Élevée)</b>  Unité des Utilités <i>(Vapeur HP)</i>	<b>P1</b>
<b>NE 2</b> <i>(Modéré)</i>	<b>P5</b> (Très Faible)	<b>P4</b> (Faible)	<b>P3</b>	<b>P2</b>
<b>NE 1</b> <i>(Faible)</i>	<b>P5</b> (Très Faible)	<b>P5</b> (Très Faible)	<b>P4</b> (Faible)	<b>P3</b>

- P1 (Zone Rouge - Critique) :** Risque intolérable. Exige l'arrêt ou l'installation immédiate de barrières techniques d'ingénierie (vannes ESD, etc.) ;
- P2 / P3 (Zone Orange - Élevé à Modéré) :** Plan de réduction des risques obligatoire avec suivi managérial et calendrier précis (actions T.H.O.) ;
- P4 / P5 (Zone Verte - Faible à Très Faible) :** Risque tolérable ou maîtrisé par les consignes opératoires standards existantes.

### **IV.2.2.1. Discussion**

L'analyse approfondie des matrices de criticité montre d'abord une forte accumulation de risques classés comme Priorité P1 (Critique/Intolérable) et P2 (Élevé) avant la mise en place des barrières de sécurité, ce qui souligne le niveau de danger associé au site . Le train de fractionnement et l'unité GPL regroupe presque tous ces scénarios P1. Cette sévérité très forte s'explique par une « Dose d'Exposition (DE) » maximale au niveau structurel (DE 4), qui est directement associée à la nature physique et chimique des substances utilisées , comme le méthane, l'éthane et le propane . Ces hydrocarbures légers ont un risque d'inflammation très élevé, soit immédiat soit différé, et sont manipulés sous des conditions très difficiles , avec des pressions très élevées et des températures très basses . En revanche, bien que l'unité des Utilités ait un risque chimique moindre , elle présente des risques de niveau P2 dus à des pressions de vapeur extrêmes (42 bars à 400°C), ce qui entraîne plutôt des risques liés à la rupture des matériaux et des menaces pour la continuité du fonctionnement de l'ensemble du site .

L'un des enseignements importants de cette conversation montre à quel point les actualités sont fragiles lorsqu'elles doivent faire face à la notion de criticité résiduelle .

L'analyse systémique montre que la sécurité de ces unités dépend fortement de barrières techniques de base , comme les joints étanches ou les appareils fondamentaux . Si ces composants cessent de fonctionner en raison de la fatigue provoquée par les vibrations , de la corrosion ou des variations de température , l'absence de systèmes de secours immédiats permet à l'effet dangereux de se propager librement vers les cibles . Cela montre clairement qu'un grand accident dans ce complexe ne pourrait jamais venir d'une seule cause , mais plutôt d'une série d'événements qui s'enchaînent, poussés par une faiblesse dans les barrières entre les équipes et les personnes .

Le plan d'action THO a été élaboré de manière liée pour rompre ces chaînes accidentelles et ramener la critique à un niveau admissible (Priorités P4 ou P5 ).

- L'axe des barrières Techniques (T) agit directement en amont du scénario en automatisant l'isolement par les vannes ESD, en redonnant une fiabilité accrue au réseau de détection des gaz et des flammes, et en intensifiant les contrôles non destructifs (CND) utilisant les ultrasons . L'objectif est de réduire la chance qu'un incident se produit, tout en contrôlant fortement le débit et la durée d'une éventuelle fuite .
- L'axe des barrières organisationnelles (O) met en place des mesures pour garantir la pérennité des dispositifs matériels. Cela inclut un programme de maintenance

préventive régulière , des examens approfondis des procédures de permis de travail et la mise à jour des Plans Internes d'Intervention (PII).

- L'axe des barrières humaines ( H ) place enfin l'opérateur comme le dernier bouclier de sécurité , grâce à des formations dédiées aux risques liés aux températures très basses et au gaz naturel liquéfié, accompagnés d'exercices réguliers pour gérer les situations d'urgence. Cela permet de développer une culture de sécurité solide et résiliente qui peut correspondre aux éventuelles pannes des systèmes automatiques .

### **IV.2.3. Synthèse du Contrôle et Plan d'Action de Prévention**

#### **IV.2.3.1. Élaboration du plan d'action**

L'évaluation numérique réalisée dans la section précédente a révélé des niveaux de gravité inacceptables (P1 et P2) dans le Train de fractionnement, l'unité GPL et les Utilités.

Selon les règles du référentiel HSE de SONATRACH, l'apparition de tels scores nécessite de créer et de mettre en œuvre rapidement un plan d'action pour corriger et prévenir ces problèmes.

Les trois tableaux suivants présentent la planification de ces mesures de prévention pour les scénarios importants du site. Chaque action a une structure responsable désignée et une date limite pour sa réalisation.

- 1. Les Barrières Techniques (Famille Technique)** Les actions techniques sont la priorité principale de la politique de prévention, car elles empêchent directement la propagation physique du danger après un problème.

**Tableau IV. 10:** Plan d'action et moyens de prévention — Famille Technique

<b>Famille des risques</b>	<b>Risque / Scénario majeur</b>	<b>Mesures de contrôle et moyens de prévention (Technique)</b>	<b>Structure Responsable</b>	<b>Échéance</b>
<b>Famille Technique</b> <i>(Procédés &amp; Équipements)</i>	<b>Perte de confinement</b> dans la zone <i>Train et Fractionnement</i> (Fuite de gaz sous haute pression, risque d'incendie/explosion).	- Réaliser des contrôles non destructifs (CND) périodiques (radiographie, ultrasons) sur la tuyauterie et les brides critiques.	<b>Maintenance / Inspection</b>	<i>Court terme</i>

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assurer la maintenance préventive et le calibrage régulier des vannes d'arrêt d'urgence (ESD).</li> <li>- Vérifier l'intégrité et tester le bon fonctionnement du réseau fixe de détection automatique Gaz et Flammes.</li> <li>- Installer des systèmes d'interverrouillage de sécurité sur les lignes de process à haute pression.</li> </ul>		
<b>Famille Technique</b> <i>(Cryogénie)</i>	<b>Fuite de GPL liquide</b> lors des transferts ou chargements à l'Unité GPL (Risque de gelures graves pour l'opérateur).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automatiser les bras de chargement pour éloigner l'opérateur de la zone de flux direct.</li> <li>- Installer des vannes d'isolement motorisées télécommandées à distance en cas de rupture de flexible.</li> <li>- Mettre en place des écrans de protection ou déflecteurs physiques autour des pompes de transfert GPL.</li> <li>- Remplacer périodiquement les flexibles tressés en acier inoxydable selon le compteur d'heures de service.</li> </ul>	<b>Maintenance / Production</b>	<i>Moyen terme</i>
<b>Famille Technique</b> <i>(Thermique)</i>	<b>Jet de vapeur Haute Pression</b> suite à une fissuration de ligne dans la zone <i>Utilités</i> (Risque	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecter régulièrement par thermographie infrarouge l'état du</li> </ul>	<b>Utilités / Maintenance</b>	<i>Court terme</i>

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

	de brûlures thermiques majeures).	<p>calorifugeage et des isolations des lignes de vapeur.</p> <p>- Assurer la maintenance systématique des purgeurs de condensat pour éviter les coups de bélier.</p> <p>- Procéder au tarage et à la certification périodique des soupapes de sécurité sur les ballons et collecteurs de vapeur.</p>		
--	-----------------------------------	--	--	--

**2. Les Barrières Humaines (Famille Humaine)**

Lorsqu'il y a encore un risque technique, il faut s'assurer que la protection de la personne qui travaille (l'opérateur) est assurée par des équipements de protection individuelle très stricts et par un suivi médical plus rigoureux.

**Tableau IV. 11:** Plan d'action et moyens de prévention — Famille Humaine

<b>Famille des risques</b>	<b>Risque / Scénario majeur</b>	<b>Mesures de contrôle et moyens de prévention (Humaine)</b>	<b>Structure Responsable</b>	<b>Échéance</b>
<b>Famille Humaine (EPI &amp; Aptitudes)</b>	<b>Exposition aux flux énergétiques et ambiances dangereuses (Train de fractionnement, GPL, Utilités).</b>	<p>- Mettre à disposition et imposer le port rigoureux d'Équipements de Protection Individuelle (EPI) standards : vêtements de travail ignifugés (Nomex), chaussures de sécurité et protections oculaires.</p> <p>- Fournir des EPI cryogéniques adaptés (gants spécifiques, cagoules, visières de protection intégrale) pour le personnel de l'Unité GPL.</p>	<b>HSE / DRH</b>	<i>Immédiat / Permanent</i>

**Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)**

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fournir des combinaisons aluminisées ou vestes de protection thermique étanches pour les interventions sur le réseau vapeur des Utilités.</li> <li>- Organiser des visites médicales d'aptitude spécifiques pour les postes à haut risque (travail posté, opérateurs extérieurs).</li> </ul>		
--	--	---	--	--

**3. Les Barrières Organisationnelles (Famille Organisationnelle)**

Lorsqu'il y a encore un risque technique, il faut s'assurer que la protection de la personne qui travaille (l'opérateur) est assurée par des équipements de protection individuelle très stricts et par un suivi médical plus rigoureux.

**Tableau IV. 12:** Plan d'action et moyens de prévention — Famille Organisationnelle

<b>Famille des risques</b>	<b>Risque / Scénario majeur</b>	<b>Mesures de contrôle et moyens de prévention (Organisation)</b>	<b>Structure Responsable</b>	<b>Échéance</b>
<b>Famille Organisation</b> <i>(Procédures &amp; Formations)</i>	<b>Défaillance organisationnelle lors des interventions</b> de maintenance ou d'exploitation dans les 3 zones critiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rédiger, mettre à jour et vulgariser les procédures opératoires de conduite dégradée et les consignes de sécurité aux postes.</li> <li>- Appliquer de manière stricte la procédure de délivrance des Autorisations de Travail (Permis de feu, Permis d'entrer en espace confiné).</li> <li>- Imposer l'application rigoureuse du protocole de consignation et cadenassage (LOTO - Lockout/Tagout)</li> </ul>	<b>HSE / Chefs de Zone</b>	<i>Moyen terme</i>

## Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)

		<p>avant toute ouverture d'équipement ou de tuyauterie.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Organiser des formations ciblées sur l'EvRP (méthode MADS), le risque chimique et le risque cryogénique pour le personnel technique.</li> <li>- Planifier des exercices de simulation d'urgence (Plan d'Intervention Interne - PII) axés sur les scénarios de fuite de gaz ou rupture de ligne vapeur.</li> </ul>		
--	--	--	--	--

### IV.3. Etude Comparative des Méthodes AF.O.C.E.P et M.A.D.S

#### IV.3.1. Analyse comparatif des critères de performance

Même si l'évaluation des risques professionnels utilise des indicateurs mathématiques similaires (Dose, Fréquence, Gravité), la façon d'explorer et le champ d'application des méthodes AF.OCEP et MADS sont structurés différemment . Pour montrer comment ces deux méthodes se complètent tout en mettant en avant leurs différences de performance, le tableau V.6 présente une comparaison détaillée qui se base sur les exigences de sécurité d'un site industriel complexe comme le complexe GL1K.

**Tableau IV. 13:** Tableau comparatif des caractéristiques et performances des deux méthodes

Critères d'analyse	Méthode AF.O.C.E.P	Méthode M.A.D.S
<b>Nature de l'approche</b>	<b>Séquentielle et ergonomique :</b> Analyse pas à pas focalisée sur l'exécution d'une tâche précise ou sur l'aménagement d'un poste.	<b>Systémique et globale :</b> Analyse des interactions dynamiques entre les machines, les flux de fluides et l'organisation générale.
<b>Angle d'attaque</b>	<b>L'Observation (O) :</b> Se base sur le comportement humain direct	<b>Le Dysfonctionnement (MADS) :</b> Se base sur les défaillances barrières, les

## Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)

	et l'identification visuelle des anomalies en atelier.	pertes de confinement et les ruptures d'équilibre.
<b>Modélisation du danger</b>	Établit un lien direct et linéaire entre un danger physique visible et une blessure immédiate.	Déploie un mécanisme en chaîne : Source→Événement Initiateur→Flux→Cible.
<b>Traitement des risques majeurs</b>	Limitée aux accidents de travail classiques (coupures, chutes, postures, bruits en atelier).	Conçue spécifiquement pour capturer les accidents industriels majeurs (incendies, explosions, fuites toxiques).
<b>Finalité managériale</b>	Recommandations locales de protection individuelle (EPI) ou d'améliorations de confort au poste.	Transition directe vers un plan de gestion global standardisé <b>THO</b> (Technique, Humain, Organisationnel).

### IV.3.1.2. Comparaison des résultats de cotation

La mise en parallèle des résultats obtenus lors des phases pratiques montre des différences importantes dans la sensibilité de la cartographie des risques :

- ❖ **Pour les ateliers de maintenance (Approche AF.OCEP)** : Cette méthode fournit une très bonne visibilité sur les risques professionnels que l'on appelle « courants » ou « de routine ». Les évaluations montrent qu'il y a des niveaux de risques qui varient de modérés à élevés (souvent classés en P3 ou P4 ) en raison des gestes techniques , du bruit des machines et des opérations de manutention . Elle est très précise pour améliorer les conditions de travail immédiates des mécaniciens ou des électriciens dans leur propre environnement.
- ❖ **Concernant les unités de procédés (Approche MADS)** : Lorsque l'on applique l'analyse aux zones sensibles du site (Train de fractionnement, GPL, Utilités), l'AF.OCEP perd son efficacité car elle ne prend pas en compte des éléments comme les fortes pressions, l'inflammabilité ou les températures très basses. En revanche, la méthode MADS a rapidement mis en évidence des niveaux de criticité qui sont critiques et catastrophiques (P2 et P1). En mesurant avec précision le manque de fiabilité d'un marié ou d'un flexible (Dose d'Exposition DE2) en présence d'une personne en permanence (Fréquence FE3), MADS crée des alertes pour les gestionnaires que l'observation visuelle simple de l'AF.OCEP n'aurait pas pu repérer.

## Chapitre IV: Application des méthodes d'évaluation des risques (AF.O.C.E. P et M.A.D.S)

---

Cette confrontation montre que, même si l'AF.OCEP est un outil utile pour analyser de près les postes de travail, elle ne peut pas remplacer une approche systémique globale pour gérer la sécurité des procédés dans un complexe de liquéfaction de gaz.

### Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en place l'évaluation des risques professionnels au sein du complexe GL1K en combinant l'observation sur le terrain avec la modélisation systémique. Grâce à l'utilisation des méthodes AF.OCEP et MADS, la sécurité a pu être vue sous deux perspectives complémentaires : comprendre le comportement de l'opérateur à son poste de travail et analyser la stabilité des grands équilibres des fluides et des énergies de l'usine. Les résultats de cette confrontation montrent clairement que la méthode MADS est la plus appropriée et la plus efficace pour cette étude de cas.

En effet, alors que l'AF.OCEP se concentre sur les accidents de travail habituels et locaux dans les ateliers, tels que les coupures ou les tâches de manutention, la méthode MADS, avec sa structure basée sur des scénarios et des flux, réussit à saisir et à modéliser les accidents technologiques importants qui peuvent se produire sur un site industriel à haut risque.

En plus, comme c'est une règle obligatoire mise en place par la Direction Centrale HSE de SONATRACH, l'utilisation de MADS assure que ce travail respecte immédiatement les exigences des audits internes et externes du groupe.

Enfin, grâce à sa façon de décomposer les actions de contrôle en différentes catégories techniques, humaines et organisationnelles, MADS se présente comme un véritable outil d'aide à la prise de décision pour les managers. Il associe des délais et des responsabilités claires pour chaque obstacle à surmonter.

En résumé, la méthode AF.OCEP a été une étape d'observation essentielle pour saisir l'activité réelle des ateliers, tandis que la méthode MADS est le meilleur outil pour établir une politique de prévention efficace dans le complexe. Elle fournit les bases techniques nécessaires pour la prochaine étape de notre projet qui se concentre sur la simulation quantitative des impacts avec le logiciel PHAST.

# **Chapitre V: Modélisation et simulation ( logiciel PHAST)**

### Introduction

L'évaluation qualitative des risques présentés au Chapitre IV, menée grâce à la méthode macro-systémique MADS, a permis de repérer le Train de fractionnement du complexe GLIK de SONATRACH comme une installation qui présente une criticité maximale, ce qui en fait une zone de priorité numéro un (P1). Cependant, l'approche qualitative reste limitée en ce qui concerne les niveaux de fréquence et de gravité théoriques. Pour créer des barrières de sécurité efficaces, il faut transformer ces idées en éléments physiques réels. Ce cinquième chapitre ajoute une dimension quantitative importante à notre recherche. En utilisant des simulations numériques, nous allons reproduire le comportement réel des fluides cryogéniques en cas de perte de confinement, afin d'évaluer exactement l'étendue spatiale et la vitesse des phénomènes dangereux (incendies et ondes de choc d'explosion) qui peuvent mettre en danger le personnel et l'installation.

### V.1. Présentation du logiciel de simulation PHAST

Le logiciel PHAST (Outils d'analyse des risques industriels), créé par l'organisation internationale DNV (Det Norske Veritas), est la solution reconnue à l'échelle mondiale pour simuler les impacts des accidents graves liés aux processus industriels.

Ce logiciel analyse toutes les étapes d'un incident potentiel, depuis le début de l'émission à la source jusqu'à la dispersion dans l'air loin de la zone, en passant par les comportements thermodynamiques des phases de matière (gaz, liquide ou mixte), la propagation sur le sol et l'évaporation des flaques.

Le cœur du calcul de PHAST s'appuie sur un modèle de dispersion breveté, appelé UDM (Unified Dispersion Model), qui est de type intégré. Ce modèle mathématique imite en même temps plusieurs phénomènes physiques complexes :

- ✓ Le comportement hydrodynamique du nuage (jet sous pression, transition vers un gaz lourd dense, puis dispersion passive) ;
- ✓ L'élévation ou la flottaison du panache gazeux selon sa densité et sa température ;

- ✓ La transition vers les phénomènes de combustion (incendies) ou de surpression (explosions) si le nuage rencontre une source d'inflammation.

### V.1.1. Avantages

1. Faciliter l'élaboration des études de danger ;
2. Faciliter les études pour la réduction des coûts en termes de pertes et d'assurances ;
3. Permettre l'optimisation de la conception du site et des procédés ;
4. Aider l'industrie à se conformer à la législation.

#### ❖ *Pour la modélisation des conséquences*

1. Il améliore la compréhension des dangers potentiels par les utilisateurs ;
2. Les mises à jour régulières du logiciel incorporent les expériences et les expertises les plus récentes dans l'industrie [33].

### V.1.2. Objectif d'un logiciel PHAST

PHAST peut modéliser les phénomènes suivants :

1. Feu chalumeau (jet fire) ;
2. Feu de flaque (nappe) ;
3. Feu nuage (feu flash) ;
4. Boule de feu (BLEVE) ;
5. Modélisation des Explosions (TNT equivalent, Multi-Energy, Baker-Strehlow) ;
6. Modélisation des Effets Toxiques (Distance à la concentration toxique, Distance à la Dose Toxique). [33].

### V.1.3. Résultats de modélisation par PHAST

Généralement les résultats sont présentés sous forme graphique et numérique (rapport), Certains résultats peuvent être présentés sur la cartographie (zones d'effet) [33].

### V.2. Application du logiciel PHAST

La fiabilité des distances d'impact calculées par le modèle UDM de PHAST dépend directement de la précision des données utilisées. Cette partie explique les caractéristiques du fluide, les conditions météorologiques du site de Skikda et les critères légaux concernant la surpression adoptés.

#### V.2.1 Propriétés thermodynamiques du fluide et paramètres du système

L'évaluation se concentre sur la ligne principale d'alimentation du Train de fractionnement. Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques physiques et opératoires injectées dans le modèle de décharge du logiciel :

**Tableau V. 1:** caractéristiques physiques et opératoires

<b>Paramètres du système</b>	<b>Valeurs Spécifiées</b>	<b>Observations / Rôle Physique</b>
<b>Fluide d'Étude</b>	Gaz Naturel Liquéfié (GNL)	Mélange d'hydrocarbures légers (CH <sub>4</sub> : 80%, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> : 8%, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> : 6,5%)
<b>Pression de service</b>	3,5 bar	Pression nominale de fonctionnement de l'unité
<b>Température opératoire</b>	-162°C à -165°C	Phase cryogénique liquide stable
<b>Diamètre de la conduite</b>	16 pouces (0,4 m)	Diamètre géométrique de la ligne d'alimentation principale
<b>Hauteur de la brèche</b>	1 m	Hauteur standard de modélisation par rapport au sol

### V.2.2 Conditions météo-climatiques locales (Site de Skikda)

Pour analyser le comportement et la dispersion du nuage de gaz lourd cryogénique après sa libération, les conditions de la zone industrielle de Skikda ont été configurées selon deux scénarios de stabilité atmosphérique.

**Tableau V. 2:** Conditions météo-climatiques locales

<b>Paramètres Environnementaux</b>	<b>Configuration 1 : Stable (F1.5)</b>	<b>Configuration 2 : Neutre (D5)</b>
<b>Vitesse du Vent</b>	1,5 m/s	5 m/s
<b>Classe de Stabilité (Pasquill)</b>	F (Atmosphère très stable / Nuit)	D (Atmosphère neutre / Jour)
<b>Température Ambiante / Sol</b>	+25°C / +20°C	+25°C / +20°C
<b>Humidité Relative</b>	70%	70%

### V.2.3 Scénarios retenus

❖ **Scénario A : Écoulement par Conduite Courte (Short Pipe)**

Ce scénario illustre une perte de confinement continue, marquée par un débit de décharge très important restant stable à 995,226 kg/s, tout en maintenant une température très basse de -161,872 °C. Sous des conditions météorologiques stables (Météo 1.5/F), la vaporisation rapide du gaz naturel liquide crée un nuage inflammable assez épais qui reste près du sol et se propage sur une distance maximale de 1810,64 m dans le sens du vent, avec un diamètre critique horizontal atteignant 1259,16 m, avant de se disperser sous la limite inférieure d'explosibilité (LFL). En cas d'inflammation différée, ce grand volume de gaz provoque une explosion de nuage de vapeur (VCE) qui génère une onde de choc mécanique. Cette onde crée une surpression de 0,25 bar dans un rayon de 60,01 mètres. De plus, les effets de surpression restants et les débris de verre s'étendent sur une zone de 856,70 mètres, menaçant l'équipement des unités voisines.

❖ **Scénario B : Rupture Catastrophique Totale (Catastrophic Rupture)**

Ce scénario correspond au cas le plus difficile étudié, il imite une rupture brusque de type « guillotine » de la ligne de 16 pouces, à une température de -162,097 degrés Celsius. Libéré avec une quantité de liquide initiale égale à 1 (100 % liquide), le fluide se propage aussitôt sur le sol pour créer une flaque qui bout, alimentant ainsi un feu continu au sol (Pool Fire) et une boule de feu (Fireball) temporaire. Ces deux phénomènes génèrent une contrainte thermique très intense sur les matériaux métalliques. Si le nuage s'évapore sans provoquer d'inflammation immédiate, il se déplace sur une distance de 1556,84 mètres et atteint un diamètre maximal de 753,47 mètres. L'explosion retardée de cette masse accumulée génère une onde de choc très puissante : le rayon d'effet destructeur sur les structures en béton armé (0,25 bar) s'étend jusqu'à 82,24 m, tandis que l'onde de surpression maximale atteint 871,57 m. Cette portée prouve clairement qu'il y a un danger important d'effet en chaîne, car l'onde mécanique peut causer des fissures aux bacs de stockage de gaz naturel liquéfié qui sont à côté.

**Tableau V. 3:** Scénarios choisis

Équipement ciblé	Scénario initiateur	Phénomènes physiques modélisés
Tuyauterie principale / Bride du Train de fractionnement	Fuite (Orifice 20 mm	Dispersion atmosphérique, Flash Fire, Jet Fire, Explosion
	Rupture Catastrophique	Dispersion macroscopique, Flash Fire, Jet Fire, Explosion de masse

**V.2.4 Modélisation des scénarios d'accidents par le PHAST**

**V.2.4.1. Résultats de simulation pour le Scénario A : Fuite**

Le scénario A illustre une perte de confinement constante, marquée par un débit d'évacuation important qui reste stable à 995 226 kg/s, tout en maintenant une température très basse de -161 872°C.

A. Dispersion atmosphérique du nuage gazeux inflammable (*Foot print Max Cloud*)

Tableau V. 4: Résultats numériques de la dispersion atmosphérique

Équipement	Scénario	Configuration Météo	Distance to UFL (165000 ppm) [m]	Distance to LFL (44000 ppm) [m]	Distance to LFL fraction (22000 ppm) [m]
Ligne de transfert 16"	Fuite Continue	Catégorie 1,5/F	Zone Source / Proche	1810,64	Contour Externe

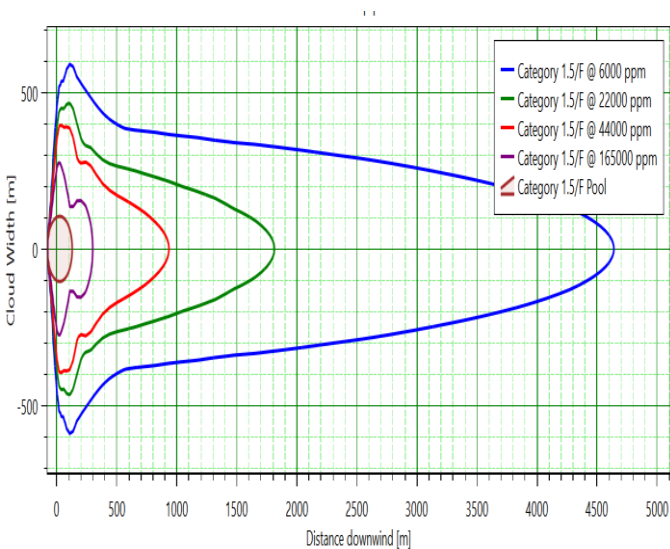


Figure V. 1: Enveloppe maximale de dispersion atmosphérique du nuage de GNL.



Figure V. 2: Image des distances de dispersion du GNL.

Sous des conditions météorologiques stables et défavorables (Météo 1.5/F), la modélisation tridimensionnelle du modèle UDM (Unified Dispersion Model) montre les caractéristiques géométriques du panache de gaz suivantes :

1. **Zone Pool (Source)** : C'est l'origine géométrique de la fuite sur la conduite de 16 pouces du train de fractionnement.

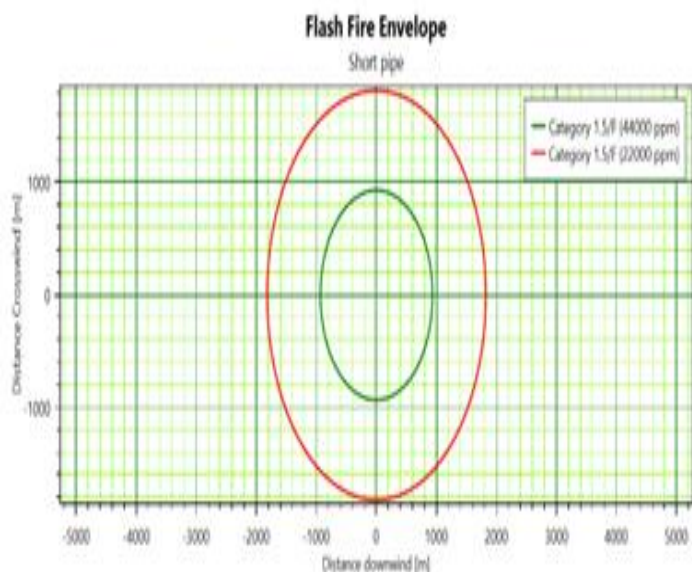
2. **Zone Violette (165 000 ppm)** : C'est une zone avec une concentration très élevée, située au-dessus de la limite supérieure d'inflammabilité (UFL). Le milieu est trop riche pour prendre feu, mais il comporte un risque d'étouffement immédiat.
3. **Zone Rouge (44 000 ppm)** : C'est la limite critique correspondant exactement à la limite inférieure d'explosibilité (LFL) du méthane. Cette limite s'étend vers le vent jusqu'à une distance de 1810,64 mètres, avec un diamètre horizontal maximal de 1259,16 mètres, ce qui correspond à la zone directement affectée en cas d'incendie.
4. **Les zones Verte (22000 ppm ou 1/2 LFL) et Bleue (6000 ppm)** représentent les contours externes du nuage en train de se diluer passivement, la zone bleue indiquant la frontière de sécurité réglementaire.

**B. Feu de nuage (flash fire) suite à une fuite catastrophique**

Ces dimensions cartographiques montrent qu'en l'absence de turbulences atmosphériques nocturnes, le méthane cryogénique ne se disperse pas verticalement. Il forme une nappe inflammable rémanente de près de deux kilomètres de long qui s'infiltré à travers les structures encombrées du complexe GL1K, transformant chaque point chaud du site en un initiateur potentiel d'ignition différée.

**Tableau V. 5:** Résultats relatifs au feu éclair (Flash Fire)

<b>Équipement</b>	<b>Scénario</b>	<b>Configuration Météo</b>	<b>Distance (LFL) [m]</b>	<b>Déplacement Horizontal Maximum [m]</b>
Ligne de transfert 16"	Fuite Continue	Catégorie 1,5/F	1810,64	1259,16



**Figure V. 3:** profile bidimensionnel de l'enveloppe thermique du flas fire.



**Figure V. 4:** graphique de la courbe de l'enveloppe inflammable.

L'analyse des résultats visuels du phénomène de feu éclair montre la forme tridimensionnelle du danger avant même que le feu ne s'allume. Sur le graphique de la courbe (flash fire envelope) et sa projection cartographique, la zone d'impact est délimitée par les limites réglementaires d'inflammabilité du mélange d'hydrocarbures cryogéniques (UFL).

1. **La zone de combustion maximale instantanée :** toute personne située à l'intérieur de cette zone lors de l'incendie subirait une mort immédiate en contact direct avec les flammes.
2. **La zone extérieure :** représente les limites où le gaz commence à se propager grâce à l'effet du vent stable de 1,5 m / s (Météo F1.5). Cette enveloppe thermique binaire s'étend sous le vent jusqu'à une distance critique de 1810,64 mètres, avec un déplacement horizontal maximum de 1259,16 mètres, ce qui montre clairement comment le flux continu de gaz naturel liquéfié peut chauffer une grande surface du complexe GLIK avant de se redevenir sans danger.

C. Feu de jet suite à une fuite

Tableau V. 6 : Rayons d'intensité du rayonnement thermique pour le feu de jet

Équipement	Scénario	Configuration Météo	Distance à 12 kW/m <sup>2</sup> [m]	Distance à 8 kW/m <sup>2</sup> [m]	Distance à 5 kW/m <sup>2</sup> [m]
Ligne de transfert 16"	Fuite Continue	Catégorie 1,5/F	34,28	Périmètre intermédiaire	Périmètre de sécurité

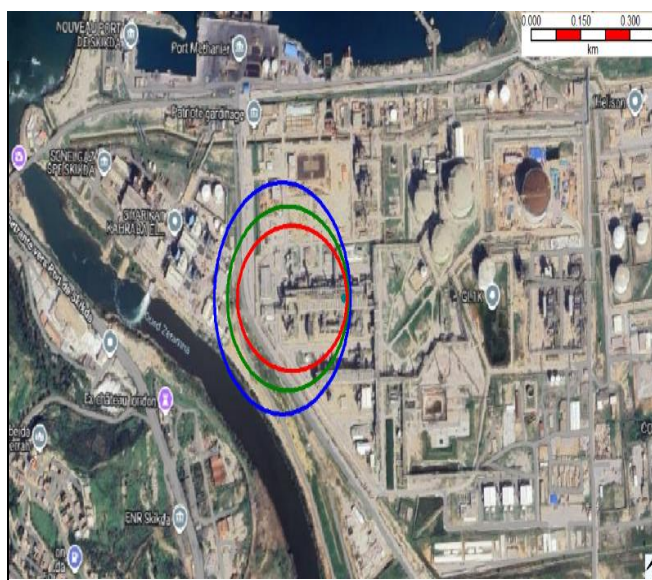
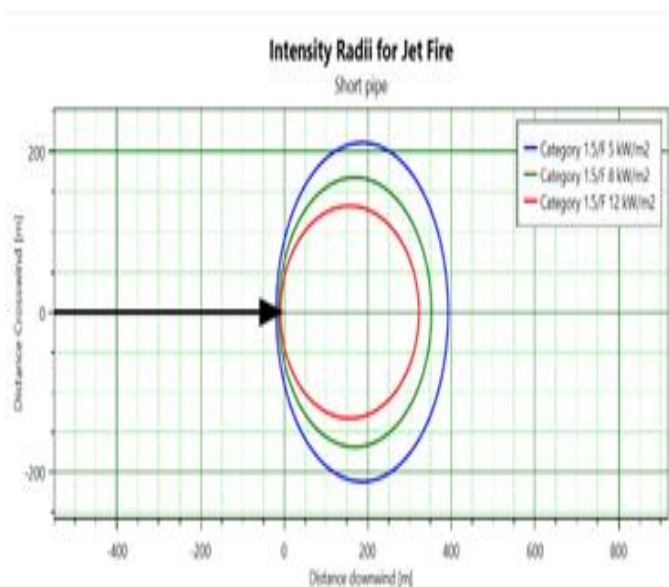


Figure V. 6: Graphique de la courbe de l'enveloppe inflammable

Figure V. 5: La cartographie des rayons de rayonnement thermique du Jet Fire.

L'examen des résultats visuels liés au phénomène de feu torche (intensité du rayonnement du jet de feu) permet d'évaluer l'effet du rayonnement thermique en cas de combustion immédiate d'une fuite. La forme trois-dimensionnelle de la flamme, représentée par PHAST, s'étire dans une direction spécifique selon le vent dominant (Météo 1.5/F).

1. **Zone rouge (12 kW/m<sup>2</sup>)** : L'isoflux central, marque immédiatement la limite de la létalité. Cette limite thermique de 34,28 mètres est extrêmement dangereuse pour les

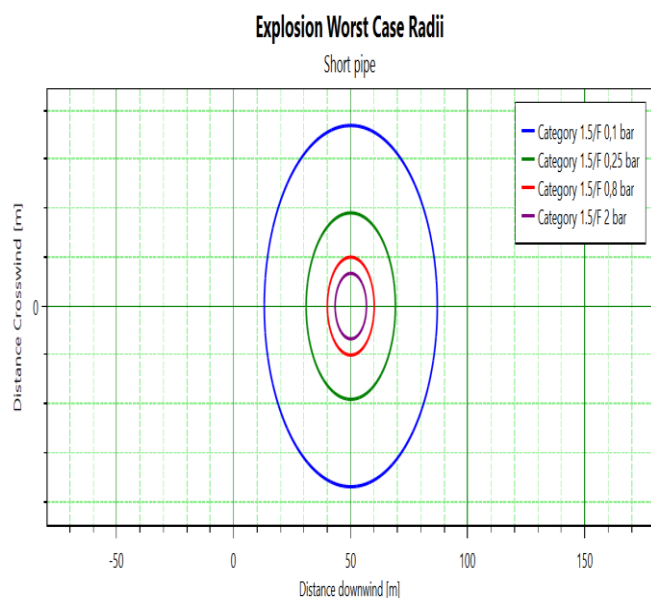
opérateurs et possède une énergie suffisante pour endommager gravement les structures en acier non protégées.

2. **Zone Verte (8 kW/m<sup>2</sup>)** : Zone de stress thermique élevé, dangereuse pour les opérateurs en phase de repli.
3. **Zone Bleue (5 kW/m<sup>2</sup>)** : Seuil réglementaire des effets irréversibles pour l'homme, fixant le périmètre de sécurité en deçà duquel l'évacuation immédiate est obligatoire pour éviter des lésions cutanées graves.

### D. Cartographie des effets mécaniques de surpression (VCE).

**Tableau V. 7:** Résultats des effets mécaniques de surpression d'explosion

Équipements	Scenarios	Météo	Niveau de surpression [bar]	Distance Maximale [m]	Diamètre [m]
Ligne de transfert 16"	Fuite	Catégorie 1.5/F	0,1	86,9582	73,9164
			0,25	69,0702	38,1403
			0,8	60,0188	20,0377
			2	56,7035	13,4071



**Figure V. 8:** Courbe de décroissance de l'onde de surpression du VCE en fonction de la distance.



**Figure V. 7:** La cartographie en cercles des zones d'ondes de choc de la fuite.

L'allumage retardé du nuage à l'intérieur des structures liées a provoqué une explosion de nuage de vapeur. Les courbes de surpression décroissantes calculées par PHAST montrent les zones suivantes :

1. **Zone Violette (2 bar)** : C'est la surpression la plus forte, concentrée au centre de l'incinérateur, capable de détruire toutes les structures, même celles les plus résistante.
2. **Zone Rouge (0,8 bar)** : Niveau où les installations lourdes et les canalisations du train subissent des dégâts graves, comme des déformations ou des ruptures.
3. **Zone Verte (0,25 bar)** : Portée de l'impact est d'environ 60,01 mètres. Il atteint le seuil légal de ruine majeure pour les structures, ce qui peut provoquer l'effondrement des bâtiments en maçonnerie ainsi que des salles de contrôle ordinaires non renforcées.
4. **Zone Bleue (0,1 bar)** : Cette zone s'étend sur un rayon de 856,70 mètres et représente le seuil des dommages modérés, comme des verres brisés partout et des blessures dues aux éclats. Sa grande portée montre le danger d'un effet en chaîne indirecte, car l'onde mécanique peut endommager les boucles d'instrumentation et les réseaux de connexion des unités parallèles du complexe GL1K

**V.2.4.2. Résultats de simulation pour le Scénario B : Rupture catastrophique**

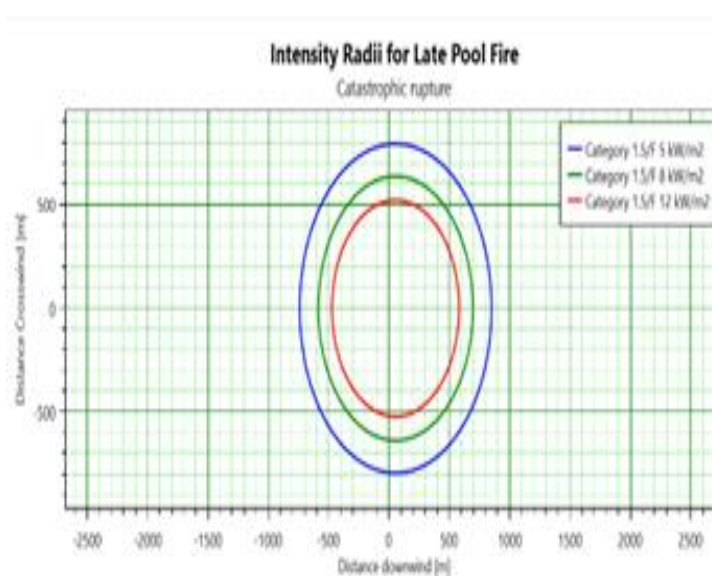
Ce scénario représente l'événement le plus critique et le cas le plus grave analysé dans l'étude des risques du complexe GL1K. Il imite la coupure immédiate du type « guillotine » de la ligne de séparation de 16 pouces. Le modèle de décharge de PHAST indique que le fluide est libéré à une température très froide, soit -162,097°C, et que la fraction de liquide initiale est de 1, ce qui veut dire que tout le gaz naturel liquide est initialement versé sous forme liquide au sol.

**A. Effets Thermiques Intenses : Feu de Nappe (*Pool Fire*) et Boule de Feu (*Fireball*)**

La libération immédiate d'un fluide cryogénique intégralement liquide (Fraction =1) engendre un fractionnement physique immédiat des phénomènes thermiques en cas d'inflammation instantanée :

**Tableau V. 8:** Flux de rayonnement thermique ( pool fire)

<b>Equipement</b>	<b>Scénario</b>	<b>Diamètre de la flaque [m]</b>	<b>Distance d'intensité 1(5 kW/m<sup>2</sup>) [m]</b>	<b>Distance d'intensité 2(8 kW/m<sup>2</sup>) [m]</b>	<b>Distance d'intensité 3(12kW/m<sup>2</sup>) [m]</b>
Ligne de transfert 16"	Rupture catastrophique	300,894	848,508	693,881	579,162



**Figure V. 9:** Graphique de la courbe de l'enveloppe inflammable.



**Figure V. 10:** Évolution des flux de rayonnement thermique en fonction de la distance pour les phénomènes d'incendie instantanés.

Le gaz naturel liquide versé s'étale sur le plan du train et crée une tache qui bouillonne constamment. L'analyse des résultats visuels du feu de nappe permet de diviser l'impact de son rayonnement thermique en zones, en utilisant un code couleur défini :

1. **Zone Rouge ( $12 \text{ kW/m}^2$ )** : Ce cercle intérieur marque le seuil où les effets dangereux pour les personnes deviennent importants et où les dommages peuvent commencer à affecter les bâtiments. Il comprend les équipements immédiats du train de fractionnement, montrant que sans une barrière d'isolement ou une aspersion, l'incendie endommagera le cœur de l'unité.
2. **Zone Verte ( $8 \text{ kW/m}^2$ )** : C'est un niveau intermédiaire de chaleur, qui indique une zone dangereuse où les brûlures graves peuvent survenir si les opérateurs s'y trouvent pendant l'évacuation.
3. **Zone Bleue ( $5 \text{ kW/m}^2$ )** : C'est le seuil légal qui signifie que des brûlures du deuxième degré peuvent survenir après 60 secondes d'exposition, et cela définit la distance minimale de sécurité qui doit respecter le personnel du complexe.

B. Phénoménologie de la boule de feu (*Fireball*)

Tableau V. 9: Flux de rayonnement thermique ( fire ball )

Équipements	Scenario	Diamètre de la boule de feu [m]	Distance d'intensité 1(5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance d'intensité 2 (8kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance d'intensité 3 (12 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Ligne de transfert 16"	Rupture Catastrophique	439,44	1249,82	1009,55	836,315

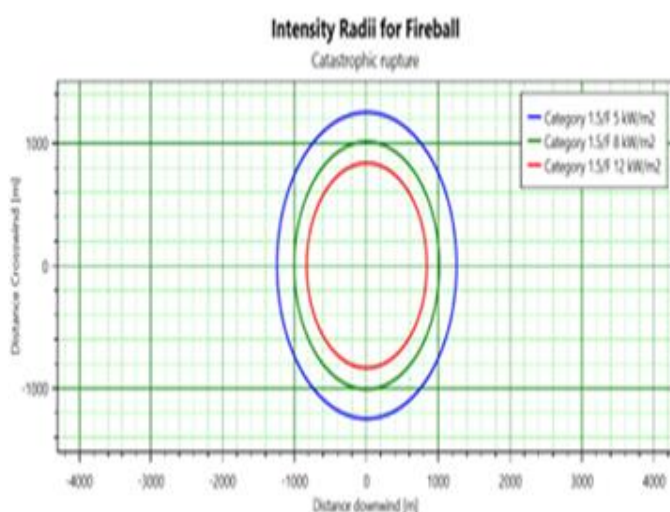


Figure V. 12: Évolution des flux de rayonnement thermique de la boule de feu (Fireball).



Figure V. 11: Cartographie des zones d'impact thermique de la boule de feu (Fireball).

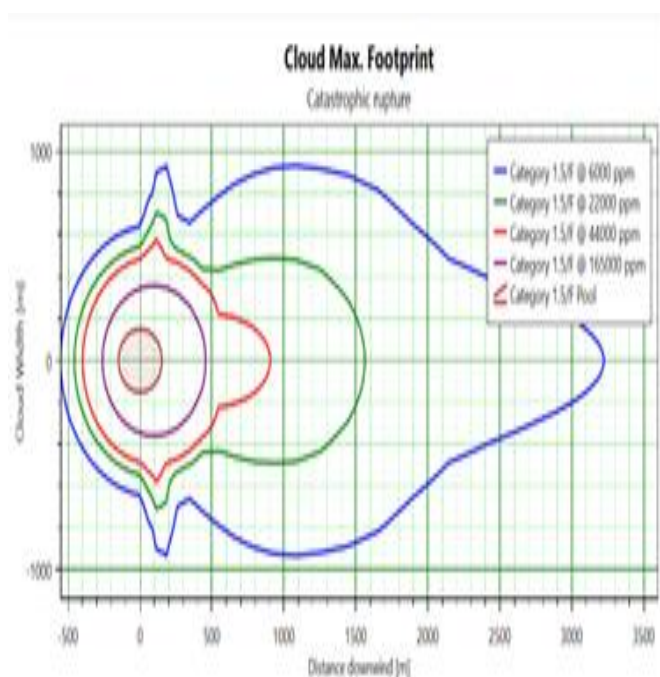
En même temps que la rupture, la vaporisation rapide d'une partie du gaz naturel liquéfié crée une boule de feu temporaire (intensité de la radiation du feu ballon). Ses enveloppes thermiques suivent la même logique :

1. **La zone Rouge (12 kW/m<sup>2</sup>)** délimite le rayonnement maximum de la sphère en feu en altitude, elle applique un flux thermique très directement dangereux sur la zone aérienne et les structures élevées comme les colonnes.
2. **Les zones Verte (8 kW/m<sup>2</sup>) et Bleue (5 kW/m<sup>2</sup>)** s'étendent en cercles sur le plan du sol. En raison de sa vitesse extrêmement rapide (quelques secondes), ce phénomène ne permet pas aux opérateurs de réagir à temps pour se placer en sécurité, ce qui explique la nécessité d'utiliser obligatoirement des équipements de protection individuelle ignifuges.

### C. Dispersion atmosphérique en cas d'ignition différée (*Footprint Map*) :

**Tableau V. 10:** Résultats de la dispersion atmosphérique en cas d'ignition différée

<b>Équipement</b>	<b>Scénario</b>	<b>Configuration Météo</b>	<b>Distance à la LFL (44000 ppm) [m]</b>	<b>Diamètre Horizontal Maximum [m]</b>
Ligne de transfert 16"	Rupture Catastrophique	Catégorie 1,5/F	1556,84	753,47



**Figure V. 13:** Enveloppe bidimensionnelle maximale de dispersion atmosphérique du nuage de gaz lourd cryogénique induit par la libération instantanée du GNL.



**Figure V. 14:** Empreinte cartographique au sol et franges de concentration du nuage inflammable avant ignition.

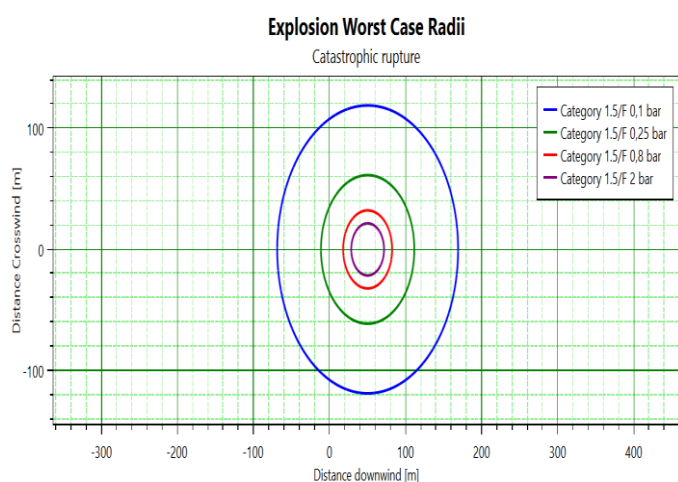
Si le gaz naturel liquide s'évapore sans s'enflammer tout de suite, le modèle UDM de PHAST trace la zone sur laquelle se trouve le nuage de gaz lourd qui se déplace dans le sens du vent. La division des zones montre la composition chimique de la fumée :

1. **Zone Pool (Source)** : C'est l'endroit où se trouve la flaque de gaz naturel liquéfié cryogénique au sol, en train de bouillir.
2. **Zone Violette (165000 ppm)** : C'est une zone avec une très forte concentration d'hydrocarbures, située bien au-dessus de la limite supérieure d'inflammabilité (UFL). Le mélange est trop " riche " en gaz pour prendre feu, mais il présente un danger d'asphyxie immédiate.
3. **Zone Rouge (44000 ppm)** : C'est la zone critique qui correspond exactement à la Limite Inférieure d'Explosivité (LFL) du méthane. Tout ce qui est lié au rouge

représente le centre du risque de Flash Fire ou de VCE lorsqu'il y a contact avec une source de chaleur.

4. **Les zones Verte (22000 ppm ou 1/2 LFL) et Bleue (6000 ppm) délimitent les bordures externes du nuage, qui se diluent naturellement sous l'effet du vent. La zone bleue indique la limite de sécurité fixée par les règlements, où le gaz est devenu trop peu concentré pour pouvoir brûler.**

### D. Explosion maximale du cas le plus défavorable (*Worst-Case Explosion*)



**Figure V. 15:** Profil géométrique d'évolution et de décroissance des ondes de surpression mécanique d'une VCE.



**Figure V. 16:** Cartographie finale de l'explosion maximale (Worst-Case VCE).

L'allumage retardé du nuage au niveau des obstacles industriels provoque une importante explosion de nuage de vapeur (VCE). Le fichier d'explosion au pire scénario divise l'onde de choc mécanique en quatre zones de surpression qui diminuent progressivement :

1. **Zone Violette (2 bar) :** zone de surpression très forte confinée près de l'ouverture. Elle provoque la destruction complète et immédiate de toutes les installations, y compris les structures en béton armé renforcé.

2. **Zone Rouge (0,8 bar)** : seuil de surpression sévère qui provoque la destruction importante des équipements, l'éclatement des tuyaux et l'écrasement des bacs métalliques.
3. **Zone Verte (0,25 bar)** : seuil réglementaire correspondant à une ruine importante des structures. Il confirme que les bâtiments non renforcés, comme la salle de contrôle classique du train, ont effondré et qu'il y a un risque de mortalité en raison d'effets indirects tels que l'effondrement et les projections.
4. **Zone Bleue (0,1 bar)** : C'est la limite externe de l'onde de choc qui provoque des dégâts modérés aux structures, des verres cassés partout et des blessures dues aux éclats. C'est ce rayon étendu qui confirme le risque d'effet domino indirect en affectant les dispositifs de sécurité des unités proches.

### V.2.5. Synthèse comparative des résultats des deux scénarios

Le tableau suivant regroupe et compare les distances d'impact maximales extraites des rapports de simulation du logiciel PHAST pour chaque seuil réglementaire :

**Tableau V. 11:** Tableau comparatif des distances d'impact des Scénarios A et B

<b>Phénomènes Physiques et Seuils Réglementaires</b>	<b>Rayons d'Impact _Scénario A (Fuite Continue / Short Pipe)</b>	<b>Rayons d'Impact _Scénario B (Rupture Catastrophique Totale)</b>
<b>Dispersion Atmosphérique (Nuage de Gaz Dense)</b>		
<b>* Zone Violette : Haute concentration (165000 ppm)</b>	Zone de décharge initiale	Zone Pool (Flaque au sol)
<b>* Zone Rouge : Limite Inférieure d'Explosivité (LFL -44000 ppm)</b>	1810,64 m	1556,84 m
<b>* Étalement Horizontal Maximal du Nuage</b>	1259,16 m	753,47 m
<b>Rayonnement Thermique (Jet Fire / Pool Fire / Fireball)</b>		
<b>* Zone Rouge : Effets létaux</b>	34,28 m ( <i>Jet Fire</i> )	Périmètre de la flaque

<b>et dominos matériels (12 kW/m<sup>2</sup>)</b>		
<b>* Zone Verte : Flux thermique intermédiaire (8 kW/m<sup>2</sup>)</b>	Périmètre restreint directionnel	Périmètre circulaire étendu
<b>* Zone Bleue : Effets irréversibles pour l'homme (5 kW/m<sup>2</sup>)</b>	Limite de sécurité	Enveloppe d'évacuation
<b>Effets Mécaniques de Surpression (Explosion VCE)</b>		
<b>* Zone Violette : Destruction totale des structures blindées (2 bar)</b>	Épicentre de la brèche	Épicentre de la rupture
<b>* Zone Rouge : Destruction des procédés et tuyauteries (0,8 bar)</b>	Périmètre interne du Train	Zone d'impact étendue du Train
<b>* Zone Verte : Ruine majeure des bâtiments classiques (0,25 bar)</b>	60,01 m	82,24 m
<b>* Zone Bleue : Dommages modérés / Effets dominos (0,1 bar)</b>	856,70 m	871,57 m

#### **V.2.5.1. Points clés de l'analyse comparative**

- 1. La dispersion spatiale critique (scénario A dominant) :** la fuite continue sature une zone encore plus étendue. La portée de la LFL est de 253,8 mètres et son étalement horizontal dépasse de 505,69 mètres celui de la rupture, ce qui génère un risque important de feu éclair sur une grande surface.
- 2. Violence destructrice élevée (scénario B principal) :** La libération immédiate du gaz naturel liquéfié produit une onde de choc très puissante. Le rayon de ruine total, qui est de 0,25 bar,

augmenté de 22 mètres, couvrant une partie plus importante des installations du Train de fractionnement.

3. **Preuve de l'effet domino (scénario B)** : L'onde de surpression résiduelle de 0,1 bar a parcouru un record de distance de 871,57 m. Ce rayon atteint directement la zone périphérique des réservoirs de stockage de gaz naturel liquéfié de Skikda, ce qui confirme le risque d'une propagation catastrophique en cas de détrusion des barrières et équipements voisins.

### V.3. Plan de Recommandations et Implémentation des Barrières de Sécurité T.H.O

Face aux cinétiques rapides et à l'étendue des impacts calculés sous PHAST, le plan d'action s'organise autour du triptyque de barrières Techniques, organisationnelles et Humaines (T.H.O.) :

#### V.3.1. Barrières techniques (T)

1. **Système Instrumenté de Sécurité (SIS)** : Contrôle des détecteurs de gaz et de flamme (UV/IR) vers des vannes de coupure d'urgence automatiques (ESD). Objectif : identifier la ligne de 16 pouces en moins de 60 secondes afin de bloquer la source d'inventaire.
2. **Ignifugation (*Fireproofing*)** : application de revêtements isolants thermiques sur les structures en métal pour résister au flux de chaleur continu de 12 kW par mètre carré.
3. **Fortification des locaux** : renforcement structurel des salles de contrôle futures pour supporter l'onde de choc mécanique de la zone verte (0,25 bar).

#### V.3.2. Barrières organisationnelle (O)

1. **Contrôles non destructifs (CND)** : On fait faire plus d'inspections avec les ultrasons et les radiographies sur les tubes qui transportent des gaz à très basse température, pour détecter tôt la corrosion et les très petites fissures.

2. **Mise à jour du Plan Interne d'Intervention (PII)** : On change les endroits où les personnes doivent se réunir et où les secours doivent intervenir, pour qu'ils soient plus loin que le rayon de 871,57 mètres.
3. **Rideaux d'eau automatisés** : On installe des barrières qui jettent de l'eau automatiquement pour disperser le nuage de gaz lourd et refroidir les réservoirs de gaz naturel liquide qui sont à proximité.

### V.3.3. Barrières humaines (H)

1. **Formations spécifiques au GNL** : Obligation de sensibiliser les équipes d'intervention et de maintenance aux risques liés aux fluides cryogéniques (température de  $-162^{\circ}\text{C}$ ) et d'utiliser systématiquement des ignifuges EPI ;
2. **Exercices de crise sur plans** : Organisation régulière de simulations d'évacuation en temps réel, basées sur les rayons de surpression et de dispersion déterminés par PHAST.

## Conclusion

L'étude phénoménologique réalisée avec le logiciel PHAST a confirmé de manière géométrique l'importance des risques graves associés au Train de fractionnement du complexe GLIK. La mesure des conséquences d'une surpression a révélé une portée mécanique critique de 871,57 m en cas de défaillance catastrophique, ce qui confirme la fragilité immédiate des grands réservoirs de gaz naturel liquéfié face aux effets en chaîne. Ces résultats justifient scientifiquement l'utilisation du triptyque des barrières THO (Technique, Humaine, Organisationnelle). En particulier, l'automatisation des vannes de sectionnement d'urgence (ESD) afin de fermer rapidement, en moins de 60 secondes, devient l'action la plus urgente pour limiter la source de l'incident et réduire le niveau de risque résiduel de l'installation à un niveau acceptable en termes de sécurité.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

À la fin de ce projet de fin d'études, les risques professionnels et industriels au sein du complexe de liquéfaction GL1K de SONATRACH ont été analysés et maîtrisés grâce à des méthodes et des approches scientifiques fiables. Ce projet a montré que pour avoir une bonne gestion de la sécurité, il faut combiner différents outils et passer d'une approche basée sur la qualité à une approche basée sur les chiffres.

Les principaux enseignements de nos recherches soulignent un double aspect de la réalité.

D'un côté, l'utilisation de la méthode AF.OCEP dans les ateliers de maintenance a montré à quel point les facteurs ergonomiques et humains sont importants. Elle a aidé à repérer l'Atelier Chaudronnerie comme étant le plus exposé aux dangers du quotidien, comme les brûlures, les coupures et les projections, tout en suggérant des moyens réels pour remplacer l'opérateur dans un espace sécurisé et confortable.

D'un autre côté, l'application générale de la méthode MADS a mis en évidence la vulnérabilité globale des installations de procédés. Cette analyse a montré que le Train de fractionnement et l'Unité GPL sont des zones extrêmement critiques (niveau P1), car ils sont confrontés à une forte concentration d'hydrocarbures légers et à des contraintes cryogéniques qui ne permettent aucune imperfection dans les lignes de défense.

La véritable valeur de cette mémoire vient du lien entre ces approches et l'outil de simulation numérique PHAST. En reproduisant des situations fortes comme une fuite soudaine ou une casse grave d'une ligne de 16 pouces sur le Train de fractionnement, nous avons transformé des signaux de risque généraux en mesures concrètes de distance d'impact. Les résultats des modèles de dispersion et d'onde de choc de l'explosion, qui atteignent des surpressions mortelles de 0,2068 bar, ont démontré scientifiquement que le risque d'effet domino sur le site est imminent. Cela justifie donc l'installation de barrières de sécurité très fiable.

Les recommandations présentées dans le plan d'action THO (comme les vannes d'isolement ESD automatiques, la redondance de la détection des gaz et des flammes, les contrôles de corrosion CND par ultrasons, les formations suivies sur les risques liés au GNL et les exercices de crise) impliquent une étape concrète à pour le complexe. Elles montrent que la méthode doit absolument être accompagnée d'une gestion bien structurée et d'un personnel régulièrement formé, ce qui représente le dernier bouclier contre les accidents.

## Conclusion générale

---

En perspective, ce travail ouvre la voie à des études futures qui viseront à intégrer l'analyse probabiliste, comme les arbres de défaillances et d'événements, afin de préciser davantage la fréquence d'occurrence des scénarios que nous modélisons. Nous espérons que les résultats de cette mémoire soutiendront activement la mise en place durable des installations du complexe GL1K et, plus largement, favoriseront l'émergence d'une culture d'excellence dans les domaines de l'hygiène, de la sécurité et de l'environnement au sein du groupe SONATRACH.

# **Bibliographie**

## Bibliographies

---

- [1] : N. MARGOSSIAN, «Technique et ingénierie série environnement et sécurité Risques Professionnels Caractéristiques - Réglementation Prévention», 2eme Edition DUNOD, 2005.
- [2] : SONATRACH, Référentiel Investigation Accident/Incident, édition 2009. SONATRACH, Référentiel HSE-MS.
- [3] : M. SALLAK, « Évaluation de paramètres de sûreté de fonctionnement en présence d'incertitudes et aide à la conception : Application aux Systèmes Instrumentés de Sécurité ». Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL), Nancy, 2007.
- [4] : INRS « Institut National de Recherche et de Sécurité ». **Site officiel de l'INRS.** Disponible en ligne : <https://www.inrs.fr/>, consulté le 08 juin 2026.
- [5] : H. IDIR et S. MESSALI, « Les risques professionnels et la sécurité au travail : cas pratique : CEVITAL-BEJAIA ». Mémoire de fin de cycle, Université Abderrahmane Mira de Béjaïa, 2016-2017.
- [6] : Eiphedeix International. Pyramide de Bird. Disponible en ligne : <https://www.eiphedeix-international.fr/pyramide-de-bird/>, consulté le 08 juin 2026.
- [7] : Cikaba. Pyramide de Bird. Disponible en ligne : <https://www.cikaba.com/ressources/actualites/pyramide-de-bird>, consulté le 08 juin 2026.
- [8] : Université Clermont Auvergne (UCA), Service de Santé au Travail. Risques mécaniques. Disponible en ligne : <https://sst.uca.fr/risques-professionnels/risques-mecaniques>, consulté le 08 juin 2026.
- [9] : Pôle Formation Bretagne. Les familles de risques. Disponible en ligne : <https://www.poleformation.bzh/les-metiers-transport-logistique-btp/les-familles-de-risques/>, consulté le 08 juin 2026.
- [10] : CTC Groupe. Équipements de protection individuelle (EPI) contre les risques chimiques. Disponible en ligne : <https://www.ctcgroupe.com/fr/blog/163/2020-08-28/equipements-de-protection-individuelle-contre-les-risques-chimiques.html>, consulté le 08 juin 2026.
- [11] : Caisse régionale d'assurance maladie Rhône-Alpes, « Evaluation des risques professionnels », 2005.
- [12] : Organisation internationale du Travail (OIT). « Dangers et risques physiques ». Disponible en ligne : <https://www.ilo.org/fr/themes-0/securite-et-sante-au-travail/dangers-et-risques-physiques>, consulté le 08 juin 2026.
- [13] : IRIS-ST (Institut de Recherche et d'Innovation sur la Santé et la Sécurité au Travail). Site officiel de l'IRIS-ST. Disponible en ligne : <https://www.iris-st.org/>, consulté le 08 juin 2026.

## Bibliographies

---

- [14] : S. SEDDARI, « Cours de réglementations et normes », Université de Médéa, 2021.
- [15] : H. RAMOUL, A.L. KALAI et M.C. AHFAIDIA, « Étude statistique des accidents de travail au niveau du complexe Hadjar-Soud Azzaba ». Mémoire de Master, Université du 20 Août 1955 de Skikda, 2024.
- [16] : Association Française de Normalisation AFNOR, Compte rendu du groupe de travail méthodologie, 2003.
- [17] : A. GHILANI, S. HIDOUCI et M. REHAB, « Évaluation des risques professionnels au niveau de la station de compression SC-ZCINA selon le référentiel de la SONATRACH ». Mémoire de Licence, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2024.
- [18] : H.A. THANI et F. MAYOU, « Évaluation des risques professionnels ». Mémoire de Licence, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2023.
- [19] : A.H. HANCHI et A. DJEMMEL, « Évaluation des risques professionnels (étude de cas) ». Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2021.
- [20] : Docteurs : Ch. EXERTIER, I.MALASSAGNE, Ph. TEINTURIER, IPRP : J.PERRIN, Ch. DUBOIS, Groupe Evaluation
- [21] : [https://sante.public.lu/dam-assets/fr/publications/p/pas-eval-gestion-risques-fr-de/pas-  
eval\\_gestion-risques-fr.pdf](https://sante.public.lu/dam-assets/fr/publications/p/pas-eval-gestion-risques-fr-de/pas-eval_gestion-risques-fr.pdf)
- [22] : Entreprise nationale de service aux puits a SONATRACH company25/06/2009.
- [23] : SONATRACH. Référentiel Évaluation des Risques Professionnels (EvRP), Version 01/2019. Direction Centrale Santé, Sécurité & Environnement (DC/HSE), 2019.
- [24] : N. MORGOSSIAN. Quide pratique des risques professionnels. Op.cit. p 04.
- [25] : Document interne de l'entreprise.
- [26] : BRAZIER, Etude de Danger, SONATRACH AVAL Complexe GL1/K, Bureau VERITAS, 2006.
- [27] : M. SI KADIR, « Élaboration des procédures d'intervention pour un bac de stockage de GNL ». Mémoire de post-graduation, École Nationale Polytechnique, 2018.
- [28] : A. SEDRA, « Contribution à l'étude des compresseurs du process MR (Mixed Refrigerant) du complexe GL1-K Skikda ». Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2017.
- [29] : Bee, L. (2022). PLC and HMI Development with Siemens TIA Portal. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- [30] : A.R. ZIDHANE et S. SADI, « Contrôle et supervision d'un générateur d'azote par un API S7 1500 ». Mémoire de Master, Université M'Hamed Bougara de Boumerdès, 2024.
- [31] : P. LAURENT « Analyse de risques MOSAR », [perrin@univ-lorraine.fr](mailto:perrin@univ-lorraine.fr).

## Bibliographies

---

[32] : Politique du SONATRACH complexe GL1K SKIKDA.

[33] : Connaissance des Énergies. Le transport du gaz naturel. Disponible sur :  
<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/transport-du-gaz-naturel>