



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أمحمد بوقرة ببومرداس
Université M'Hamed Bouguerra de Boumerdès
كلية المحروقات والكيمياء
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Génie des Procédés Chimiques et Pharmaceutiques

Mémoire de fin d'études en vue d'obtention du
diplôme de Master

Spécialité : Génie des Procédés

Option : Hygiène Sécurité et Environnement

Thème :

**ETUDE DES RISQUES LIES AU BRAS DE CHARGEMENT DE
METHANIER AU NIVEAU DE GNL2Z**

Présenté par :

REDJAIMIA ABDELMOHAIMEN

DIAFI RAID

Encadré par :

M^{me} Meryem BRIKI

Année : 2022/2023

Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU, notre Créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail

Nous exprimons toutes nos reconnaissances et gratitude à l'administration et à l'ensemble du corps enseignant de Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie Boumerdès pour leurs efforts à nous garantir la continuité et l'aboutissement de ce programme de Master.

Nos remerciements à l'encadreur Mme. BRIKI pour nous avoir guidées de ce travail, pour son aide, ses orientations, ses conseils et ses encouragements.

Notre profond remerciement et notre gratitude vont aussi aux Membres du jury, pour leur accord de juger mon travail.

Enfin, tous nos remerciements, nos reconnaissances et notre gratitude vont à nos très chers parents et à notre précieuse famille pour leurs soutiens indéfectibles, sans Oublier nos amis(es).

Dédicace

C'est avec fierté et respect que je dédie ce travail aux personnes qui me sont les plus chères en ce monde.

À ma très chère mère Hassina, honorable, aimable: Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Je te dédie

Ce travail en témoignage de mon profond amour.

Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

À mon père Mebarek , indéniable symbole du sacrifice, de l'amour, de l'encouragement et de la tendresse. Qu'il trouve dans ce travail toute ma reconnaissance et l'expression de ma profonde gratitude et admiration. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Que Dieu vous garde en bonne santé.

À mes chères frères Halla,Chihab,Djihad,Hind et Hana en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour eux.

À mes grands-parents, toutes mes tantes, oncles, cousins et cousines que je ne saurais citer. À mon ami et binôme Abdelmohaimen, tu étais mon remède aux moments difficiles et désespoirs toujours patient actif et déterminé, merci et que Dieu

Te garde pour moi.

À tous mes chers amis, en témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous

Avons passés ensemble

Merci à vous tous.

Raid

Liste des figures

CHAPITRE 01

Figure 1. 1 :situation géographique du complexe.....	3
Figure 1. 2:Les unités principales de complexe	5
Figure 1. 3:Train de liquéfaction de GN	7
Figure 1. 4:La zone de chargement et expédition du GNL.....	9

CHAPITRE 02

Figure 2. 1:Volume du commerce mondial de GNL 1970-2014.....	14
Figure 2. 2:Chaîne du GNL (Source : Bureau de l'Environnement Canadien – BAPE)	15
Figure 2. 4:Principe de déroulement de la méthode [11].....	18
Figure 2. 3: Démarche de la gestion des risques.....	18
Figure 2. 4:Principe de déroulement de la méthode [11].....	28

CHAPITRE 03

Figure 3. 1:les bras de chargements des méthaniers.....	34
Figure 3. 2:bras de chargement (source :SAIPEM-SA)	36
Figure 3. 3:Rotation d'un RCMA 'S'	37
Figure 3. 4:P&ID canalisation de GNL de bacs vers les quais de chargement	48
Figure 3. 5:P&ID les quais de chargement M4 et M5.....	49
Figure 3. 6:P&ID les bras de chargement.....	50
Figure 3. 8:La diffusion du gaz par différent catégories des vents.....	58
Figure 3. 7:La zone de dispersion de GNL.....	58
Figure 3. 9:L'intensité de/ l'explosion UVCE	59
Figure 3. 10:Rayons d'explosion UVCE.....	60
Figure 3. 11:L'intensité de JET FIRE.....	60
Figure 3. 12:Rayons d'intensité de JET FIRE.....	61

Liste des tableaux

CHAPITRE 02

Tableau 2. 1:Les méthodes d'analyse qualitative et quantitative	22
Tableau 2. 2:Exemple de tableau d'analyse préliminaire de risques (Leroy, 92).....	26
Tableau 2. 3:Exemple des paramètres de HAZOP	30
Tableau 2. 4:Exemple des mots-clés pour l'HAZard and OPerability (HAZOP) [11]	30

CHAPITRE 03

Tableau 3. 1:paramètres de fonctionnement	33
Tableau 3. 2:découpage fonctionnelle.....	38
Tableau 3. 3:les risques liés à la zone de chargement	41
Tableau 3. 4:APR appliqué au niveau de bras de chargement des méthaniers	43
Tableau 3. 5:matrice de classification de la zone GNL2.....	45

Tableau 3. 6:Analyse HAZOP.....	51
--	-----------

SOMMAIRE

Liste d'abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

CHAPITRE 01 : PRESENTATION D'ENTREPRISE

Introduction :	3
1 Présentation du complexe GL2Z.....	3
1.1 Localisation et accès.....	3
1.2 Historique	4
2 Description générale de l'activité.....	4
2.1 Les fabrications du complexe.....	4
2.2 Les unités de complexe	4
2.3 Les unités de production (processus)	5
2.4 Les unités de Stockage et chargement du GNL	8

CHAPITRE 02 : GENERALITES SUR LE GNL ET GESTION DES RISQUES

Introduction :	13
1 Historique du GNL	13
2 Généralités sur le GNL :.....	14
3 Typologie des risques	18
4 Gestion des risques :.....	18
4.1 Analyse des risques :	20
4.2 Evaluation des risques :.....	21
4.3 Maîtrise des risques :.....	21
5 Les types des méthodes d'analyse des risques :.....	22
5.1 Méthodes qualitatives et quantitatives	22
5.2 L'analyse inductive et l'analyse déductive.....	23
6 Les méthodes d'analyse des risques :	23
6.1 Méthode APR (Analyse Préliminaire des Risques)	23

6.2 Méthode HAZID (Hazard Identification)	23
6.3 Méthode HAZOP (HAZard and OPerability study):	23
6.4 Méthode AMDEC	23
7 Avantages des méthodes d'analyse à utiliser	24
8 Intérêt et limites :	24
9 La démarche :	25
Conclusion :	31

CHAPITRE 03: APPLICATION DES METHODES D'ANALYSES

Introduction :	33
1. Description de système (chargement de GNL)	33
2 Application de l'APR	38
2.1 Identification des unités de travail	38
2.1.1 Découpage(Analyse) Fonctionnelle :	38
2.2 Identification des dangers et des risques	40
2.2.1 Identification des sources de danger dans la zone terminale	40
2.2.2 Les risques liés à la zone de chargement	41
2.3 Tableau APR	42
2.4 Matrice de classification des accidents	45
3 Application de la méthode HAZOP :	47
3.1 La Documentation	47
3.2 Tableau HAZOP :	51
4 Le scenario d'accident:	56
5 Modélisation des effets de la fuite:.....	57
5.1 La dispersion de gaz (GNL)	58
5.2 Explosion UVCE.....	59
5.3 JET FIRE.....	60
6 Mesures d'atténuations et recommandations.	62
Conclusion.....	63
Références bibliographiques :	66
Annexe	67

Liste d'abréviation

GN. : *Gaz Naturelle*

GNL. : *Gaz naturelle liquifié*

MCR. : *Multi Component Refrigerant*

MEA. : *monoéthanolamine*

MW. : *MEGAWATT*

Introduction Générale

Le gaz naturel liquéfié (GNL) est un gaz qui a été converti de l'état gazeux à l'état liquide par un refroidissement à -162°C . Le procédé de liquéfaction permet de réduire le volume de gaz naturel à environ 1/600 par rapport à son état d'origine pour faciliter le stockage et la transportation vers d'autres pays par des navires appelée méthanier. L'industrie de liquéfaction de gaz naturel est confrontée à des risques importants liés à la manipulation des gaz liquéfiés et à leur stockage et expédition. Les explosions et les incendies sont des risques les plus majeurs qui peuvent avoir des conséquences dévastatrices pour les travailleurs, les installations et l'environnement.

Pour cela nous avons mené une étude de risque au niveau de bras de chargement de méthanier dans une industrie de liquéfaction de gaz naturel. Afin de réaliser cette étude nous avons utilisé les méthodes d'analyse "APR" (Analyse Préliminaire des Risques) et "HAZOP" (Hazard and Operability Study). L'utilisation de ces analyses ont pour but d'identifier tous les risques qui peuvent causer des dommages à l'industrie et affecter négativement à ses objectifs. Nous avons également réalisé une modélisation d'un scénario le plus critique apparu et évaluer les distances d'éloignement nécessaires pour la protection des personnes et des installations à risque. Enfin, nous avons proposé des mesures de prévention et de protection pour réduire les risques et assurer la sécurité des travailleurs et de l'environnement.

Pour réaliser notre objectif nous avons devisé notre travail en plusieurs chapitres et il est structuré de la manière suivante :

Le premier chapitre présente d'une façon générale une description du complexe et celle du processus, ainsi qu'une description relativement détaillée de la zone d'étude à savoir la zone d'expédition et de chargement du GNL.

Le deuxième chapitre concerne des généralités sur le GNL et sur quelques méthodes d'analyse des risques avec les avantages et inconvénient des méthodes utilisées (APR, HAZOP)

Le troisième chapitre traite les méthodes d'analyses pour notre cas (bras de chargement) puis nous avons réalisé une modélisation d'un scénario avec le logiciel PHAST et déduire l'étendue des dommages potentiels.

A la fin nous avons conclue avec une conclusion générale complétées par des annexes.

Chapitre 1 :

Présentation de l'entreprise

Introduction :

Ce chapitre présente des informations sur le complexe de liquéfaction de gaz naturel 'GNL2Z', la localisation géographique, le processus de chaque unités de production et chargement et expédition du GNL .

1 Présentation du complexe GL2Z

1.1 Localisation et accès

Le Complexe de liquéfaction de gaz naturel GL2Z est sis sur la commune de Béthioua, dans la zone industrielle d'Arzew, (35 km à l'est d'ORAN). Il s'étend sur une superficie de 72 Hectares limiter au Nord par la mer, au Sud par le village de Béthioua, à l'Ouest par GL1/Z et à l'Est par l'usine de dessalement KAHRAMA ,son emplacement est au bord de la mer ce qui lui permet d'utiliser cette ressource inépuisable pour produire de l'eau distillée, le refroidissement des équipements, et à la lutte contre le feu (voir figure 1.1).



Figure 1.1 :situation géographique du complexe

1.2 Historique

La date de démarrage des travaux de construction du complexe GL2Z est en 1975 par l'entrepreneur PULLMAN KELLOG (USA) et La mise en production a débuté le 29 Janvier 1981

2 Description générale de l'activité

Le complexe GL2/Z est l'un des complexes de liquéfaction de gaz naturel en Algérie, Son rôle principal est de liquéfier le Gaz naturelle provenant de Hassi R'Mel à travers (deux pipelines interconnectés de "42"pouce de diamètre), par réduction 600 fois le volume initial de GN afin de permettre son chargement à bord de méthaniers cryogéniques (1 bar de pression et -162 C° de température) pour son transport jusqu'aux pays consommateurs. La capacité théorique totale de production du complexe est de l'ordre de 18 millions de m³ par an de GNL à partir de 6 trains de liquéfaction en fonctionnement pendant 335 jours par an.

2.1 Les fabrications du complexe

Le complexe GL2Z, à travers son processus de fabrication, vise à :

- a) La liquéfaction du GN, composé principalement de méthane et destiné à l'exportation.
- b) L'extraction des produits finis ou semi finis à savoir :
 - Le propane et le butane destinés à la commercialisation. Ils ne sont pas stockés sur le site mais expédiés par pipe vers le complexe GP 1Z
 - La gazoline destinée à l'exportation.

2.2 Les unités de complexe

Le complexe GL2Z comprend principalement :

- 6 unités de liquéfaction
- Chaudières
- Les utilités
- Le stockage et chargement de GNL et de gazoline.
- Une salle de contrôle DCS pour le contrôle des installations de l'usine. (Voir Figure 1.2)

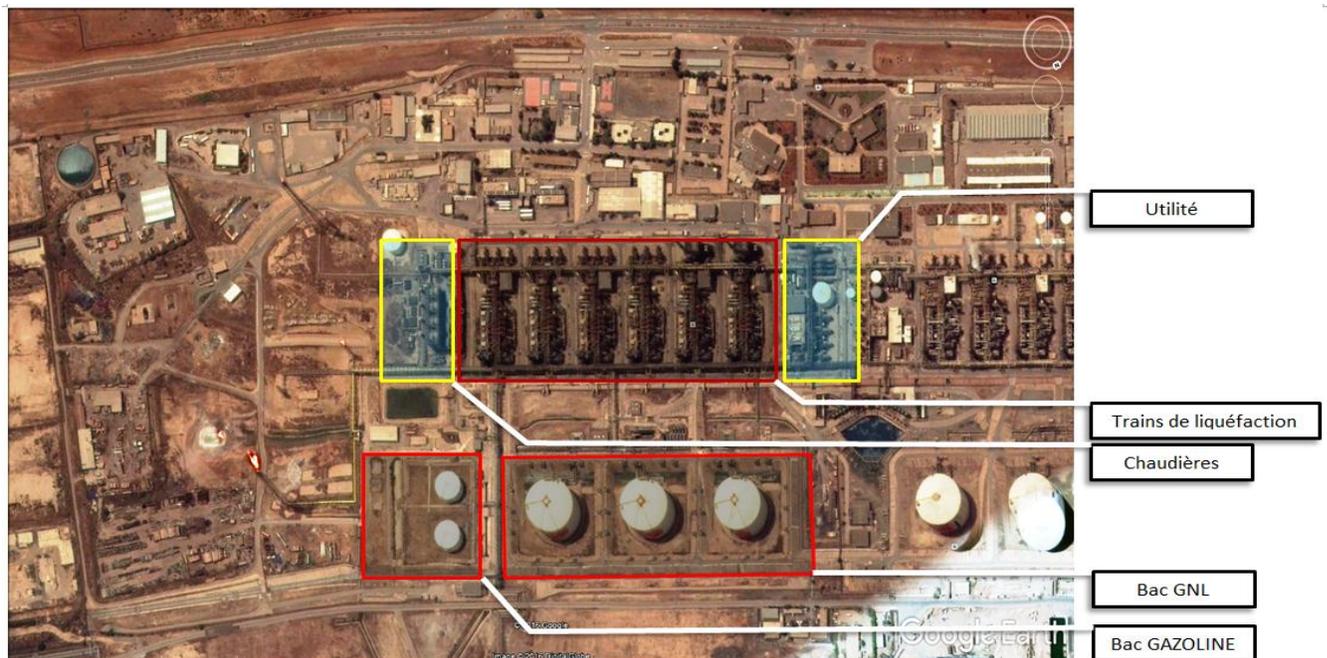


Figure 1. 2: Les unités principales de complexe

2.3 Les unités de production (processus)

2.3.1 Les trains de liquéfaction

Le Complexe GL2Z comporte six trains de fabrication identiques fonctionnant en parallèle et comportant chacun les mêmes étapes. Le gaz naturel qui assure la charge du complexe est transporté par pipeline à la pression de 42 bar et est distribué vers les différents trains au travers d'un collecteur de 42'' de diamètre. Le gaz naturel est envoyé dans chacun des trains à une pression de 42 bar pour être dirigé vers la section de traitement du gaz où il est successivement :

- Démercurisé par passage sur filtres à charbon actif.
- Décarbonaté par une solution aqueuse de MEA (monoéthanolamine) afin d'enlever les traces de dioxyde de carbone. Le taux de dioxyde de carbone dans le gaz est réduit à une concentration inférieure à 90 ppm et la MEA est recyclée et régénérée par l'utilisation d'un courant de vapeur. A la sortie de la colonne d'absorption MEA, le gaz est refroidi à travers un échangeur au propane.
- Déshydraté à travers un lit de tamis moléculaires permettant d'éliminer l'eau contenue dans le gaz et réduire sa teneur en humidité à un taux inférieur à 01 ppm volume.

L'importance de ces trois premières étapes réside dans l'extraction des composés présents dans le GN, n'ayant aucun intérêt commercial ou technique et qui risquent d'encrasser les équipements en aval dans le processus de liquéfaction.

Après déshydratation, le gaz est refroidi à -26°C à la pression de 40 bar via le circuit propane. Le gaz à cette pression et température pénètre dans la colonne de lavage où le produit de tête formé d'hydrocarbures légers contenant de l'azote, du méthane, de l'éthane et envoyé vers la section liquéfaction; le produit de fond formé essentiellement d'hydrocarbures lourds est envoyé vers les sections de fractionnement où il est fractionné successivement au travers du dééthaniseur (20 bars), du dépropaniseur (17 bars) et du débutaniseur (5,5 bars) dont le produit de fond est stocké dans des bacs de gazoline avant expédition.

Durant la phase de fractionnement, les produits en tête sont extraits et utilisés comme appoint vers les systèmes de refroidissement propane et MCR sachant qu'une partie est réinjectée dans le gaz afin d'accroître sa qualité. Le gaz produit de tête de la colonne de lavage est envoyé essentiellement vers l'échangeur principal pour être liquéfié. La température du courant gazeux entrant dans l'échangeur principal est de -30°C à la pression de 39 bars. Le gaz est refroidi au niveau de l'échangeur principal par du MCR jusqu'à une température de -148°C à une pression de 25 bars. Le courant gazeux est alors dirigé vers une vanne de détente Joule Thomson où la pression diminue jusqu'à 1,38 bars entraînant une baisse de température jusqu'à -161°C . L'azote et le gaz combustible sont extraits à partir d'un ballon de flash et envoyés vers les chaudières comme alimentation. Le gaz naturel liquide GNL est envoyé vers la zone de stockage GNL par l'utilisation de pompes de transfert.

Le réfrigérant MCR est circulé dans une boucle de réfrigération au moyen de deux compresseurs centrifuges entraînés par des turbines à vapeur.

On peut dire que chaque train de liquéfaction est composé de huit sections à savoir : (Voir Figure 1.3)

- La section de décarbonatation,
- La section de déshydratation,
- La section séparation et tour de lavage (Phase lourde / phase légère),
- La section de démercurisation,
- La section de pré-refroidissement,
- La section de fractionnement,

- Le circuit de réfrigérant mixte.

Schéma synoptique d'un train de liquéfaction :

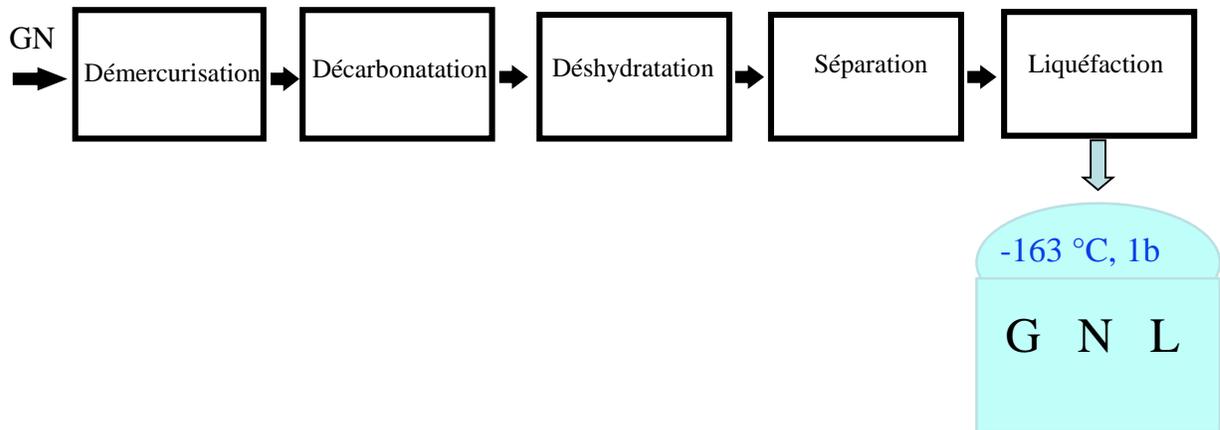


Figure 1. 1:Train de liquéfaction de GN

2.3.2 Utilités

La section utilités se compose de:

- Deux chaudières .
- Trois turbo générateurs de 18 MW chacun et une connexion de 20 MW avec le réseau de SONELGAZ (turbines vapeur)
- Une station de pompage composée de 6 pompes d'eau de mer d'une capacité de 35 000 m³ chacune
- Six unités de dessalement d'eau de mer d'une capacité unitaire de 45 m³/h et une de 60 m³/h.
- Une zone d'off- site comprenant : torche chaude, torche froide, torche boil-off, torche de mise en froid des méthaniers et brulot (brûlage des fractions liquides).
- Une section de production de l'air service et de l'air instrument.

Dans cette zone, on produit :

Eau de mer : il est utilisé par les trains de liquéfaction pour le refroidissement dans les différents cycles du procédé grâce à 6 pompes de grande puissance.

Energie électrique : qui produite par 3 turbogénérateurs et entraîne par des turbines à vapeur, la puissance développée par chaque deux est de 20 MW

Eau distillée : à partir de l'eau de mer comme source d'alimentation des chaudières pour la production de vapeur

Air comprimé : l'air instrument et l'air service nécessaire à la régulation dans le procédé, l'utilisation auxiliaires.

2.4 Les unités de Stockage et chargement du GNL

Le GNL est stocké à -162°C dans 3 bacs d'une capacité unitaire de 100 000 m³ chacun. (voir figure 1.4). Le chargement du produit est assuré au niveau de 2 quais de chargement pouvant recevoir des méthaniers d'une capacité de 40 000 à 140 000 m³ GNL . Chaque quai est doté de :

- Quatre bras pour le chargement de GNL

- Un bras pour le retour des vapeurs de GNL (Boil off)
- Un bras pour le soutirage de l'azote liquide
- Trois compresseurs de reprise des vapeurs.

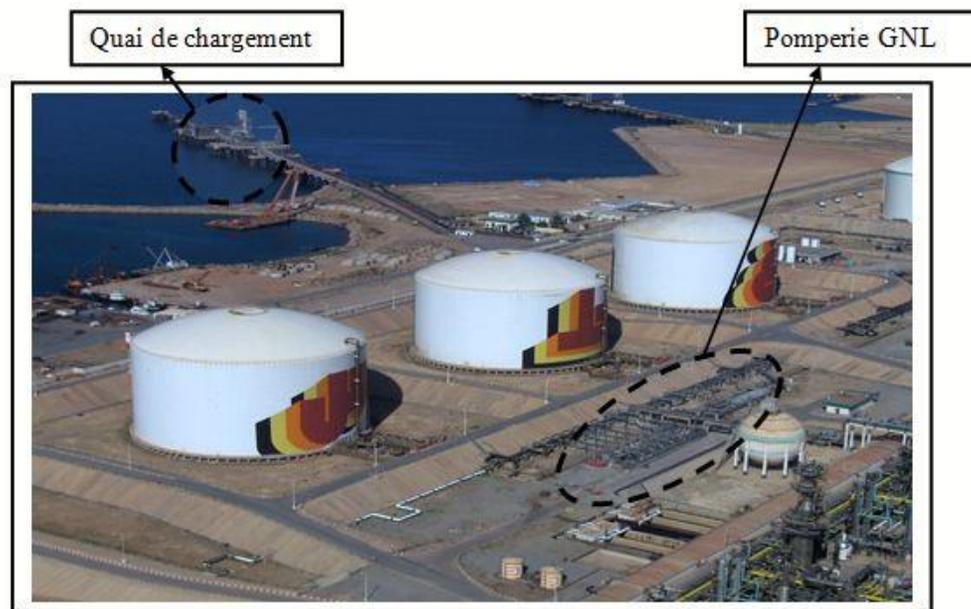


Figure 1. 4: La zone de chargement et expédition du GNL

2.4.1 La section de stockage

Le GNL produit par les six (6) unités de liquéfaction est envoyé à la zone de chargement, où il est stocké dans les trois bacs de stockage 901/902/903 (figure 1.4), d'une capacité de 100.000 m³ chacun. Le GNL stocké sera par la suite, pompé vers les deux (2) quais de chargement, M4 et M5, pour le transporté dans des Méthaniers d'une capacité allant jusqu'à 145 000 m³.

Le GNL produit est pompé par le biais de la pompe d'expédition à travers le pipe 20" jusqu'au collecteur commun 24", connectée aux entrées des trois (3) bacs de stockage. Chaque bac est en double parois avec une base plane, il peut contenir jusqu'à 100.000 m³. La coquille interne est construite par un acier de 9% de Nickel, avec un diamètre de 65.8 m et une hauteur de 32.1 m. Par contre, la coquille externe, est en acier carboné, avec un diamètre de 67.6 m et un pic de dôme d'une hauteur de 44.8 m. La dôme, (le toit) est en acier carboné, protégée du contact direct avec la vapeur froide par une paroi suspendue, (l'intérieure en aluminium isolé par la laine minérale et la perlite). Les deux extrémités des parois sont remplies par la Perlite et la laine de

verre, ceci permet l'expansion et la contraction de la coquille interne, sans faire dilater ou compacter la Perlite.

Les bacs sont équipés de quatre (4) connections d'Azote attachées à l'anneau de purge de 3" situées dans le vide interne de la coquille et cela, à des fins de purges. Le GNL est stocké à 1.034 bar absolu et -163°C. Avec une production de 100% des six unités de liquéfaction, le remplissage d'un bac prendra approximativement 42 heures. Le niveau maximal de remplissage est de 29.52 m. Les bacs sont entourés par des cuvettes de rétention, avec une capacité qui correspond au volume du bac en cas de déversement et équipées par des installations contre incendies. Les bacs sont connectés à un collecteur de vapeur (le Boil off, est approximativement 2-3% du contenu du bac par jour), relié au compresseur d'aspiration de fuel gaz. Ce système reçoit la vapeur des bacs de stockage et celle générée pendant l'opération de chargement des méthaniers.

Une ligne d'aspiration commune de 48'' alimente les cinq (5) pompes de chargement (901/902/903/904/905). Ces pompes refoulent dans une ligne d'expédition 30'' du GNL vers les deux (2) quais de chargement M4 et M5. [1]

2.4.2 Description de la section chargement GNL

La ligne de chargement peut être utilisée pour charger un méthanier au niveau de n'importe lequel des deux quais de chargement, mais seulement un méthanier peut être chargé à un moment donné. Cinq bras de chargement cryogéniques contrebalancés équipent chaque quai de chargement navire- citerne, l'un d'entre eux agissant comme un bras de retour de vapeur.

Pendant le refroidissement du méthanier, la vapeur produite par évaporation du GNL dans les cuves est renvoyée par le bras de retour vapeur vers la torche de mise en froid.

Pendant le chargement du méthanier, la vapeur est produite par la projection du GNL. Cette vapeur est renvoyée par le bras de retour de vapeur dans le collecteur commun du gaz des réservoirs de stockage.

Pendant la mise en froid, avant le chargement du méthanier ou à la fin des opérations de chargement, le liquide GNL restant dans la contremarche et les sections de bras in-bord des bras

de chargement, est drainé par gravité dans le réservoir de drain de GNL, adjacent au dock de chargement et placé en contrebas.

Pendant les périodes entre opérations de chargement, la tuyauterie de chargement est maintenue aux températures froides en faisant circuler le GNL issu de la ligne d'aspiration des pompes de chargement.

Pour refroidir les bras de chargement avant de charger le GNL dans le méthanier, on utilise une pompe de refroidissement spécifique. Les vannes de contournement de la vanne d'isolement principale du bras de chargement sont ouvertes et le liquide est renvoyé de la connexion pour mise en froid sur le bras vers le réservoir de drainage et pompé vers le réservoir étant à un petit flux de GNL de se vaporiser dans cette tuyauterie et en renvoyant la vapeur à l'aspiration de vapeur GNL.

Le poste de commande DCS principal et le poste de commande du terminal permettent de conduire les opérations de stockage et les opérations de chargement de navire-citerne. Le poste de commande du terminal sert de centre de contrôle principal pour le contrôle de surveillance des équipements de chargement et le stockage. [2]

Chapitre 2 :
Généralités sur le GNL et gestion des
risques

Introduction :

L'activité dans le domaine de liquéfaction du gaz naturel et de leur transport est considérée comme une activité à risque, qui peut être à l'origine de risques d'accident ; pour l'homme, les installations et l'environnement : incendie, explosion, émanation accidentelle de gaz, déversement accidentel de GNL dans les cours d'eau ou les nappes phréatiques. A travers ce qui précède, l'analyse de risques occupe une place centrale, nécessaire pour identifier et éviter les risques. Celle-ci inclut l'identification des éléments qui sont à l'origine du danger et ceux qui peuvent en subir les conséquences, la détermination des scénarios potentiels qui conduisent à la réalisation d'un accident, l'estimation des grandeurs représentatives du risque : gravité des conséquences potentielles, probabilité associée.

1 Historique du GNL

En 1941, une première usine commerciale de liquéfaction de gaz naturel ouvrit à Cleveland dans l'Ohio. A cette époque, il n'était question ni de terminaux de GNL, ni de transport transocéanique. Elle servait au stockage temporaire du gaz, pour lisser la consommation sur le réseau (station d'écêtement de pointe « peak shaving »). Après 4 années d'opération sans problème apparent, un nouveau réservoir de stockage s'effondra pratiquement instantanément à cause d'un acier inadapté aux températures cryogéniques. Le transport maritime du gaz naturel liquéfié commença à titre expérimental en janvier 1959. Le premier navire de transport de GNL au monde fut le « Méthane Pioneer », un navire de la seconde guerre mondiale reconverti, qui transporta du gaz naturel liquéfié de Lake Charles, en Louisiane, à Canvey Island au Royaume-Uni. Ceci démontra que de grandes quantités de GNL pouvaient être transportées par voie maritime. Le premier terminal d'exportation commercial, CHAMEL, fut ouvert en Algérie à Arzew en 1964. Il exporta du gaz vers la Grande-Bretagne, puis vers la France et les Etats-Unis. En 1969, l'exportation de gaz naturel commença de Kenai en Alaska vers le Japon. Depuis, le commerce du gaz naturel liquéfié a connu une croissance ininterrompue, marquée par la diversification progressive des fournisseurs et des clients. Le graphe suivant représente une statistique de volume du commerce mondial du GNL de 1970 à 2014. En 1975, le volume du commerce mondial de GNL est venu à 13 milliards de mètres cubes. En 2013, le volume du commerce de GNL ont totalisé 325 milliards de mètres cubes (voir figure 2.1). [3]

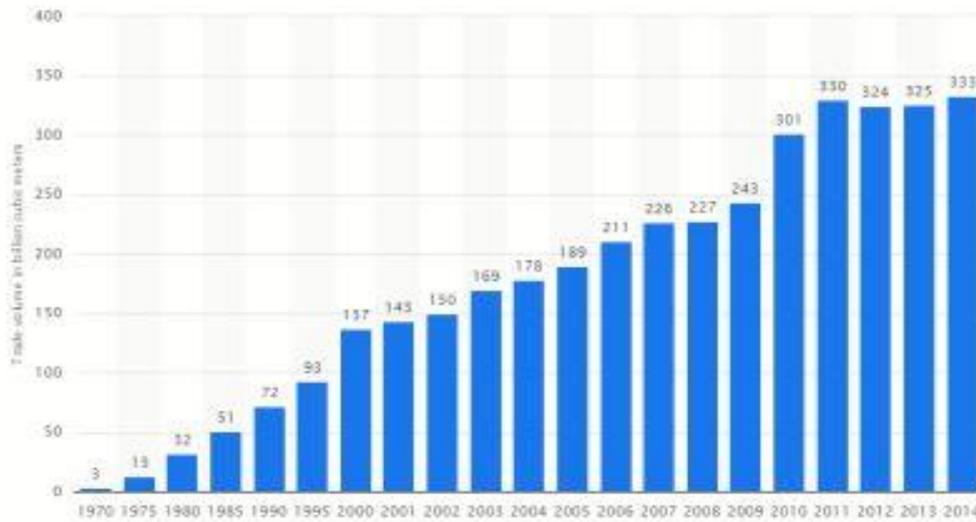


Figure 2. 1: Volume du commerce mondial de GNL 1970-2014

2 Généralités sur le GNL :

2.1 Définition de GNL

Le gaz naturel liquéfié (GNL) est une forme liquide du gaz naturel qui est produit en refroidissant et en comprimant du gaz naturel à une température d'environ -162 degrés Celsius (-260 degrés Fahrenheit) pour réduire son volume à environ 1/600 de sa forme initial (GN).

Le GNL est principalement composé de méthane, mais il peut également contenir de petites quantités d'autres hydrocarbures tels que de l'éthane, du propane et du butane. Il est principalement utilisé comme combustible pour la production d'électricité, le chauffage et le transport. [3]

En raison de sa densité énergétique élevée et de sa faible émission de gaz à effet de serre, le GNL est de plus en plus utilisé comme alternative plus propre aux combustibles fossiles traditionnels tels que le charbon et le pétrole.

La liquéfaction du gaz naturel est effectuée à pression atmosphérique, et le GNL est donc transporté à pression ambiante (voir figure 2.2).

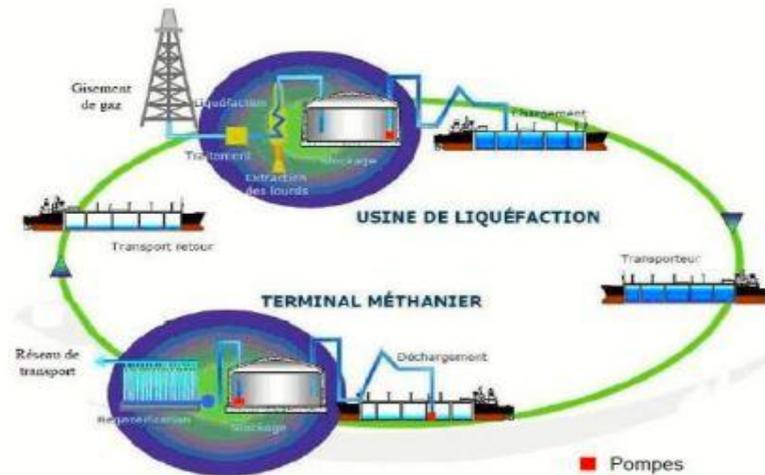


Figure 2. 2: Chaîne du GNL (Source : Bureau de l'Environnement Canadien – BAPE)

2.2 Caractéristiques du GNL

2.2.1 Toxicité, odeur

Le gaz naturel liquéfié (GNL) est principalement constitué de méthane, qui est considéré comme un gaz inerte non toxique, également inodore et incolore lorsqu'il est en état pur. Cependant, pour des raisons de sécurité, une substance appelée **mercaptan** est souvent ajoutée au GNL pour lui donner une odeur caractéristique, similaire à celle de l'œuf pourri. Cette odeur aide à détecter rapidement les fuites de gaz. Et à éviter les risques d'explosion ou d'incendie [4].

2.2.2 L'inflammabilité

Le gaz naturel liquéfié (GNL) est inflammable. Comme pour la plupart des combustibles fossiles, le GNL peut s'enflammer et brûler s'il est exposé à une source d'inflammation telle qu'une flamme, une étincelle ou une décharge électrostatique. Lorsque le GNL s'enflamme rapidement, libérant une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur et de lumière. Si l'incendie n'est pas contrôlé rapidement, il peut se propager rapidement et causer des dégâts importants aux structures environnantes. [4]

2.2.3 Dangers liés au caractère inflammable du GNL

Parmi les dangers liés au caractère inflammable du GNL il y a :

2.2.3.1 Feux de flaque / Feu de nappe

Lorsque du GNL se répand sur le sol ou sur l'eau, il forme une nappe qui s'évapore plus ou moins vite selon les caractéristiques du milieu sur lequel elle s'étend.

Si une source d'inflammation se trouve à proximité immédiate de la nappe, les vapeurs mélangées à l'air dans les limites d'inflammabilité s'enflammeront au contact de cette source et créent un feu de flaque (également appelé feu de nappe) [5].

2.2.3.2 Feu de nuage – Explosions - UVCE

L'UVCE est une explosion qui se produit lorsque des vapeurs inflammables, telles que du gaz naturel, s'échappent d'une cuve ou d'une conduite non confinée et entrent en contact avec une source d'inflammation, comme une étincelle ou une flamme. L'acronyme UVCE signifie "Unconfined Vapor Cloud Explosion", soit explosion de nuage de vapeur non confiné en français.

Lorsque le GNL se divise sous forme de nappe, il s'évapore et les vapeurs si elles ne rencontrent pas immédiatement de source d'inflammation à proximité, celles-ci se dispersent dans l'air en s'éloignant de la nappe.

Après que le nuage de vapeurs de GNL rencontre une source d'inflammation, les vapeurs inflammables commencent à s'enflammer. Le front de flamme se propage au travers du mélange non brûlé et retourne à la source du rejet, d'où provient de manière continue du combustible « frais ». Ce phénomène est appelé « flash fire » ou feu de nuage. Le feu de nuage est en général suivi d'un feu de flaque lorsque les flammes sont situées au-dessus d'un rejet de liquide.

En champ libre, la combustion des vapeurs progresse à « faible » vitesse, ce qui correspond à des valeurs de 5 à 15 m/s. Cela peut mener à des surpressions locales dans certaines parties du nuage, mais elles ne sont pas très significatives et restent inférieures à 50 mbar, selon la norme européenne NF EN 1160. [5]

2.2.3.3 Feu torche

Un feu torche résulte de la combustion d'un gaz combustible rejeté de manière continue avec une certaine vitesse. Les feux torche ont lieu lorsqu'un gaz inflammable est dégagé par une brèche dans une canalisation ou un équipement après inflammation.

2.2.3.4 BLEVE

Un gaz liquéfié pressurisé rejeté soudainement d'un réservoir de stockage se vaporise de façon violente à la pression atmosphérique et à température ambiante. Cette transition très rapide est la cause d'un phénomène appelé BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), qui crée

des ondes de pressions et éventuellement une boule de feu si le gaz est inflammable et rencontre une source d'inflammation. La cause la plus probable d'un BLEVE est un feu à proximité d'une capacité, qui réchauffe le gaz liquéfié stocké à l'intérieur, augmente sa pression, et affaiblit dans le même temps l'enceinte du réservoir. Arrivé à un certain point, celui-ci est trop affaibli, le gaz liquéfié est relâché et un BLEVE peut survenir. Or, le GNL est stocké dans des réservoirs qui ne sont donc pas conçus pour résister à des pressions internes importantes. Ainsi, une enceinte contenant du GNL, exposée à un incendie à proximité, s'affaiblira et cèdera avant d'atteindre des pressions assez importantes pour créer un BLEVE.

De plus, il faut souligner que le gaz naturel est liquéfié à une température très basse, et non à une pression très élevée, ce qui empêche de rassembler toutes les conditions préliminaires nécessaires à un BLEVE. Le phénomène de BLEVE est plutôt lié aux gaz liquéfiés tels que le GPL, l'ammoniac, etc., qui sont stockés ou mise en œuvre sous pression.

2.2.3.5 Autres types de dangers liés au GNL

- **Anoxie**

Les vapeurs de GNL ne sont pas toxiques pour l'homme, mais peuvent être cause d'asphyxie si la proportion d'oxygène n'est plus assez importante dans l'air respiré [6]. En effet dans le cas d'un épandage, si les vapeurs de GNL ne s'enflamment pas, leur concentration augmente, créant ainsi un mélange de vapeurs de gaz et d'air à faible teneur en oxygène. Ceci peut entraîner l'asphyxie et potentiellement la mort pour des personnes qui seraient situés trop près de la nappe.

- **Roll-over**

Le GNL est majoritairement composé de méthane (souvent plus de 90%), mais il est également constitué d'autres gaz, comme le butane et le propane, présent en plus faibles proportions. Comme ces gaz ont des propriétés physiques différentes (ex : masse volumique, température d'ébullition...), des GNL de composition différente auront alors des densités différentes.

Lors du stockage du GNL, cette différence de densité peut conduire à des phénomènes de renversements de couche, appelés « roll-over ». A l'intérieur d'un réservoir, une couche de GNL « lourd » est stockée en dessous d'une couche de GNL plus « léger ». Si la couche de GNL « lourd » se réchauffe, elle peut devenir moins dense que la couche supérieure.

Les deux couches vont alors avoir tendance à rechercher une position d'équilibre : elles vont se

renverser de telle sorte que la couche la plus dense se retrouve en dessous de la couche la moins dense. Ce renversement est accompagné d'une évaporation importante de GNL, ce qui peut conduire à des augmentations de pression significatives à l'intérieur du réservoir.

3 Typologie des risques :

Les risques peuvent être classés :

En fonction de leur évolution: les risques à effets convergents, dont la gravité diminue avec le temps – rapides (rupture par exemple), lents (nucléaire par exemple). Risques à effets divergents dont la gravité augmente avec le temps (contamination par exemple). }

En fonction de leur impact : risques à effets directs – humains (mort par exemple), économiques (destruction par exemple) – risques à effets indirects ou en cascade induisant un enchaînement de différentes natures : sociales, économiques, financières, commerciales, politiques [7].

4 Gestion des risques :

La démarche de gestion des risques s'appuie en général sur un processus continu et Itératif qui vise successivement. Le processus de gestion des risques, tel que décrit dans la norme ISO/CEI 31010 :2009 (associée à la norme ISO 31000 décrivant le processus plus global de management du risque), comprend les étapes décrites dans le schéma ci-dessous, avec les définitions suivantes : (voir la figure 2.3)

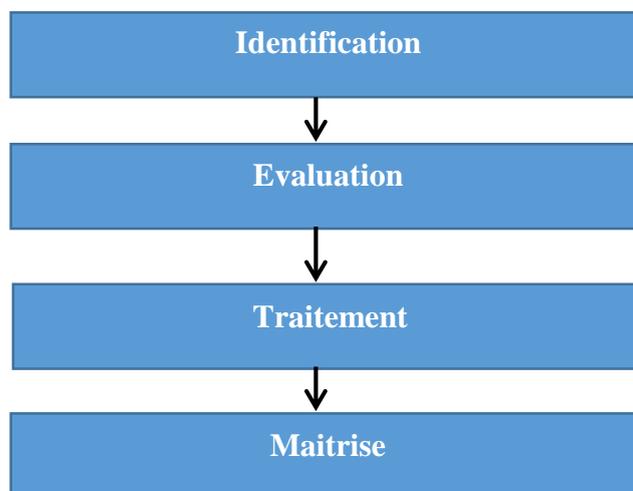


Figure 2. 4: Démarche de la gestion des risques

1^{ère} étape : identification et l'analyse de risques : utilisation systématique d'informations pour identifier les sources de danger et pour estimer les risques :

2^{ème} étape : l'évaluation des risques : processus de comparaison du risque estimé avec des critères de risque donnés pour déterminer l'importance d'un risque

3^{ème} étape le traitement et la maîtrise des risques : La sélection et la mise en œuvre des mesures ou actions visent à modifier le niveau de risque. Par conséquent, l'analyse des risques est une étape préliminaire essentielle dans la gestion des risques. Les résultats obtenus lors de cette étape permettent de déterminer les actions de maîtrise à mettre en œuvre en priorité. Kichstreiger [7] définit l'analyse des risques comme une démarche visant à identifier les dangers potentiels, à évaluer les risques (probabilité, gravité) et à les gérer en recherchant des moyens de les maîtriser. L'analyse des risques consiste à utiliser de manière systématique des informations pour identifier les sources de dangers et estimer les risques associés. Les industriels ont développé des méthodes et des outils pour améliorer la fiabilité de leurs systèmes lors de ces démarches d'analyse des risques. Ces définitions mettent en évidence les trois phases principales d'une méthode d'analyse des risques [7]:

- **Phase d'identification** : Cette phase consiste à définir le problème en modélisant le système à étudier (analyse fonctionnelle) et à définir les objectifs à atteindre ainsi que les risques acceptables. Ensuite, la cartographie des différents dangers liés au système est établie. Une analyse des risques plus détaillée à cette étape permet d'obtenir une vision plus complète des risques.
- **Phase d'évaluation** : Cette phase vise à évaluer les risques identifiés dans la phase précédente. L'évaluation comprend une estimation de la probabilité du risque et de la gravité de ses conséquences.
- **Phase d'hierarchisation et de gestion du risque** : Cette phase établit un ordre de priorité pour le traitement des risques et identifie les mesures à prendre pour réduire la probabilité ou la gravité du risque.

4.1 Analyse des risques :

4.1.1 Définition :

L'analyse de risque est un processus systématique pour évaluer les risques associés à une situation, une activité ou un système particulier. Elle implique l'identification des dangers potentiels, l'évaluation des probabilités d'occurrence et des conséquences, et la détermination des mesures de prévention et de protection nécessaires pour minimiser les risques. L'analyse des risques occupe une place centrale dans le processus de gestion des risques. Cette étape sert à définir le système ou l'installation à étudier en recueillant toutes les informations et données nécessaires. Dans ce volet, une description à trois niveaux, structurel, fonctionnel et temporel est indispensable afin de mener une analyse efficace et atteindre les objectifs voulus en matière de maîtrise des risques. Dans un premier temps, les principales sources de dangers et les scénarios d'accident doivent être recensés et identifiés. La complexité de certains systèmes étudiés requiert l'utilisation des outils d'analyse aidant à l'identification des dangers. [8].

4.1.2 Les étapes d'une analyse des risques :

La gestion des risques constitue donc un processus itératif qui a pour objet de réduire les risques à un niveau jugé acceptable. Cette démarche est fondée sur l'analyse des risques qui consiste en :

- **Identification des facteurs de risque :** L'identification des facteurs de risque consiste à identifier les éléments ou les conditions qui peuvent contribuer à l'occurrence d'un risque ou à l'aggravation de ses conséquences. Ces facteurs peuvent varier en fonction du contexte spécifique, du domaine d'activité et du type de risque considéré. Parmi les facteurs de risque courants : facteurs humains, techniques, environnementaux, organisationnels, économiques....etc.
- **Estimation des risques :** L'estimation d'un risque se définit comme un processus utilisé pour affecter des valeurs à la probabilité et aux conséquences d'un risque. L'estimation du risque peut considérer le coût, les avantages, les préoccupations des parties prenantes, et d'autres variables requises selon le cas pour l'évaluation du risque.
- **Evaluation de l'acceptabilité des risques :** Processus de comparaison du risque estimé avec des critères de risque donnés pour déterminer l'importance du risque. La comparaison peut être menée par rapport à un référentiel préétabli.

4.2 Evaluation des risques :

Dans les diverses normes, l'évaluation du risque désigne l'étape de comparaison du risque estimé à des critères de décision face au risque. La plupart du temps, il s'agit de décider si le risque est acceptable ou s'il doit faire l'objet de mesures supplémentaire de maîtrise. La définition de critères d'acceptabilité du risque est réalisée en amont ou en parallèle au processus d'analyse de risque. Elle implique des acteurs différents : les décideurs, de préférence en concertation avec les parties intéressées. La définition de critères d'acceptabilité du risque ou, plus généralement de critères de décision, est une étape clé dans le processus de gestion du risque dans la mesure où elle va motiver la nécessité de considérer de nouvelles mesures de réduction du risque et rétroactivement, influencer les façons de mener l'analyse et l'évaluation des risques. Cette étape cruciale est bien souvent délicate. Il est entendu que ces critères sont fonction du contexte de l'établissement concerné et des objectifs poursuivis dans la gestion des risques. Ainsi, l'acceptation du risque peut dépendre de facteurs éthiques, moraux, économiques ou politiques. Pour ce qui concerne le domaine des risques accidentels, la décision d'acceptation des risques repose également dans les mains des autorités compétentes. Quels que soient les critères d'acceptation retenus, il est indispensable qu'ils soient connus et explicites préalablement à toute phase d'analyse des risques.

4.3 Maîtrise des risques :

Actions de mise en œuvre des décisions de management du risque. La maîtrise du risque peut impliquer la surveillance, la réévaluation et la mise en conformité avec les décisions.

4.3.1 Réduction du risque :

Actions entreprises en vue de diminuer la probabilité, les conséquences négatives (ou dommages), associées à un risque, ou les deux.

4.3.2 Protection :

Mesures visant à limiter l'étendue ou/et la gravité des conséquences d'un accident sur les éléments vulnérables, sans modifier la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux correspondant. Elles peuvent être mises en œuvre « à titre préventif », avant l'accident, comme par exemple un confinement. La maîtrise de l'urbanisation, visant à limiter le nombre de personnes exposées aux effets d'un phénomène dangereux, et les plans d'urgence visant à mettre à l'abri les personnes sont des mesures de protection.

4.3.3 Prévention :

Mesures visant à prévenir un risque en réduisant la probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux. La réduction de la probabilité passe par l'amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité

4.3.4 Transfert de risque :

Partage avec une autre partie de la charge de la perte, ou du bénéfice du gain, d'un risque

5. Les types des méthodes d'analyse des risques :

Il existe différents classements des méthodes d'analyse de risques, nous retiendrons ici deux de ces classements :

- Méthodes qualitatives ou quantitatives
- Méthodes inductives ou déductives

5.1 Méthodes qualitatives et quantitatives

✓ **L'analyse qualitative des risques :** Cette méthode évalue les risques en fonction de leur probabilité et de leur impact. Les risques sont évalués sur une échelle de gravité et de probabilité et sont classés en fonction de leur importance (voir tableau 2.1).

✓ **L'analyse quantitative des risques :** Cette méthode consiste à quantifier les risques en termes de probabilité et de coût. Elle implique l'utilisation de données statistiques pour évaluer les risques et les coûts associés à chaque risque . (voir tableau 2.1)

Tableau 2. 1:Les méthodes d'analyse qualitative et quantitative

Les méthodes d'analyse qualitative	Les méthodes d'analyse quantitative
Check-lists Analyse préliminaire de risque HAZOP AMDEC	Arbres d'événements Arbres de défaillance Modes de défaillance et analyse des effets

5.2 L'analyse inductive et l'analyse déductive : Les méthodes inductives de diagnostic correspondent à une approche "montante", où l'on identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui peuvent entraîner la réalisation d'un événement unique indésirable : la défaillance. Pour les méthodes déductives, la démarche est inversée puisque l'on part de l'événement indésirable, la défaillance, et l'on recherche ensuite par une approche descendante toutes les causes possibles.

6. Les méthodes d'analyse des risques :

Il y a plusieurs méthodes d'analyse des risques ; on va présenter les méthodes APR et HAZOP ainsi que le principe de chaque méthode.

6.1 Méthode APR (Analyse Préliminaire des Risques) : est une méthode d'analyse qui vise à identifier et à évaluer les risques potentiels associés à un système, un processus ou un projet spécifique. L'objectif principal de cette méthode d'analyse est d'identifier les risques majeurs, d'évaluer leur probabilité d'occurrence et leur gravité, et de proposer des mesures d'atténuation appropriées. L'APR est généralement utilisée dans les premières phases d'un projet pour évaluer les risques préliminaires et orienter la prise de décision.

6.2 Méthode HAZID (Hazard Identification) : est souvent considérée comme une méthode d'analyse préliminaire des dangers. est utilisée pour identifier les dangers potentiels dans un projet, un système ou un processus donné. Elle vise à passer en revue systématiquement les différentes composantes et étapes du système pour identifier les situations dangereuses potentielles.

6.3 Méthode HAZOP (HAZard and OPerability study): Consiste à étudier l'influence de déviations des divers paramètres régissant le procédé analysé par rapport à leurs valeurs nominales de fonctionnement. A l'aide de mots-clés, les dérives imaginées de chaque paramètre sont examinées systématiquement afin de mettre en évidence leurs causes, leurs conséquences, les moyens de détection et les actions correctrices.

6.4 Méthode AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité est une méthode d'analyse qualitative des risques. Elle vise à identifier les modes de défaillance potentiels d'un système, à analyser leurs conséquences et à établir leur niveau de

criticité. Ces évaluations qualitatives permettent d'identifier les modes de défaillance les plus critiques et de hiérarchiser les risques en fonction de leur importance.

7. Avantages des méthodes d'analyse à utiliser

7.1 Analyse préliminaire des dangers (APR)

- Il peut identifier les problèmes dès le début du projet . Puisqu'un APR est généralement menée au début du cycle de vie d'un projet, elle peut identifier les problèmes au début de la phase conceptuelle du projet et éviter des modifications coûteuses ultérieurement.
- Il est généralement économique. L'étape du projet conceptuel dispose généralement d'une base d'informations limitée, de sorte que le temps/les heures de travail nécessaires pour effectuer l'examen ne seront pas considérables. [9].

7.2 HAZOP

- Il utilise une approche systématique et logique. Il a une spécificité la liste des mots-clés et le processus en cours d'examen est subdivisé en plus petites sections pour analyse.
- Il peut analyser une combinaison de pannes. L'option du traitement des défaillances séquentielles persistantes peut être étudiée jusqu'au résultat final
- Il donne un aperçu des fonctionnalités d'opérabilité. Opération les méthodes de contrôle sont entièrement étudiées pour les variations potentielles conditions dans tout le déroulement du processus. A partir de cet examen, un l'opérateur peut facilement déduire quels dangers peuvent être présents à la facilité

8 Intérêt et limites :

8.1 Analyse préliminaire des dangers (APR)

- Il est basé sur l'expérience. Habituellement, ces avis ne peuvent pas être utilisé pour identifier les dangers non reconnus. Une critique l'équipe peut ne pas approfondir suffisamment le processus ou le contrôle de processus avec lequel ils sont devenus superficiellement familier. À moins que les bonnes questions ne soient posées par l'examen équipe, les dangers peuvent ne pas être identifiés.

- Ce n'est pas systématique. Ces avis sont généralement considérés une séance de remue-ménings. Personnel familiarisé avec l'établissement discuter des aspects de manière aléatoire (c'est-à-dire tout ce qui vient à l'esprit). Par conséquent, la plupart des avis APR ou font référence à une check-list pour surmonter ce handicap.
- Il est généralement appliqué lorsque des informations limitées sont disponibles ou peut changer. Une PHA est généralement menée au début d'une le cycle de vie du projet, généralement dans les premières étapes conceptuelles ou phase de conception précoce. Quelques informations sur le projet peut ne pas être entièrement défini pour un examen adéquat ou la portée du projet ou la conception conceptuelle peut changer de manière significative au cours de cette période. [9].

8.2 HAZOP

- Il faut un niveau modéré de compétence pour le mettre en œuvre. L'article est un processus minutieux et systématique qui doit être mené de manière appropriée et enregistré avec précision. En ordre pour effectuer une revue HAZOP, un chef d'équipe spécialisé est chargé de guider l'équipe d'examen au cours du processus. Le chef d'équipe est généralement quelqu'un qui s'est spécialisé formation et expérience dans la conduite de HAZOP Commentaires.
- Il peut être plus lent à mettre en œuvre que d'autres méthodes. En ordre pour effectuer une revue HAZOP, un chef d'équipe spécialisé est chargé de guider l'équipe d'examen tout au long du processus.
- Le chef d'équipe suit un format standard avec les mots-clés et les écarts qui doivent être corrigés. Parce que une liste standardisée est utilisée pour tous les systèmes, certaines questions inutiles et sans importance peuvent être traitées dans certaines parties du système à l'étude.

9 La démarche :

9.1 Analyse préliminaire de risque (APR) :

La démarche d'APR se déroule suivant les étapes suivantes :

1. Spécification de l'élément à étudier.
2. Identification des phases durant lesquelles une situation dangereuse est possible.
3. Identification des entités dangereuses.

4. Identification des conditions, événements indésirables, pannes ou erreurs mettant l'élément étudié en danger.
5. Identification des situations dangereuses.
6. Identification des conditions, événements indésirables, pannes ou erreurs mettant l'élément étudié en situation d'accident.
7. Identification des accidents potentiels.
8. Estimation des dommages d'accident potentiel.
9. Estimation des gravités d'accident potentiel.
10. Proposition de mesures préventives.
11. Suivi de l'application de ces mesures [10].

Schématiquement, la méthode que l'on classe en principe parmi les méthodes inductives, consiste à déterminer les accidents potentiels que peuvent provoquer les éléments dangereux tirés d'une liste ad hoc. Ces listes, adaptées au domaine concerné, sont améliorées et complétées au fur et à mesure que des études de ce type sont réalisées sur des systèmes similaires, ce qui permet de mettre plus rapidement en évidence les risques principaux inhérents au système étudié. D'autres descripteurs sont pris en considération dans l'analyse, comme les dommages causés par les accidents potentiels et leur gravité. Les mesures de prévention ou de protection appropriées sont ensuite décrites en regard des accidents potentiels considérés. L'analyse préliminaire des risques a pour support un tableau à colonnes dont un exemple est donné au tableau 2.2 (voir tableau 2.2)

Tableau 2.2: Exemple de tableau d'analyse préliminaire de risques (Leroy, 92)

Maille	Evènement déclencheur	Détail	Cause	Conséquences	Mesures de prévention	Mesures de limitation des conséquences	F	G	C	Actions/ remarques
--------	-----------------------	--------	-------	--------------	-----------------------	--	---	---	---	--------------------

Les colonnes « gravité » et « conséquences » permettent de hiérarchiser les risques rencontrés et les colonnes « mesures préventives » et « application des mesures » conduisent à s'interroger sur ce qui pourrait être fait pour détecter, maîtriser, voire éliminer le risque mis en évidence. Ces colonnes indiquent les mesures sélectionnées pour être mise en œuvre et éventuellement leur efficacité.

Dans la pratique, toutefois, une démarche essentiellement déductive est souvent choisie pour élaborer une analyse préliminaire de risques : les accidents potentiels sont le point de départ de l'analyse. Pour chaque accident potentiel, on identifie alors les situations dangereuses qui

peuvent précéder celui-ci. La description des mesures de prévention ou de protection demeure néanmoins l'aboutissement habituel de la démarche.

9.2 HAZOP

L'HAZOP suit une procédure assez semblable à celle proposée par l'AMDE. L'HAZOP ne considère plus des modes de défaillances mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur l'installation à la différence de l'AMDE qui est centrée sur les composants.

Une caractéristique fondamentale de la méthode est sa mise en œuvre en équipe pluridisciplinaire sous la direction d'un animateur. Pour stimuler le « processus de réflexion créative » des mots clés, représentant des déviations par rapport aux valeurs nominales, sont utilisés : plus, moins, pas, etc. Les déviations de chaque paramètre d'intérêt (pression, température, débit, etc.) sont passées en revue l'une après l'autre afin de mettre en évidence leurs causes, leurs conséquences, les moyens de détection et les actions correctrices (automatiques ou manuelles) nécessaires lorsqu'une déviation dangereuse a été détectée. Les déviations potentiellement dangereuses sont ensuite hiérarchisées selon le couple (fréquence, gravité) afin de déterminer les actions futures à engager.

9.2.1 Les étapes de l'analyse HAZOP :

1. Dans un premier temps, choisir une ligne. Elle englobe généralement un équipement et ses connexions, l'ensemble réalisant une fonction dans le procédé identifiée au cours de la description fonctionnelle,
2. Choisir un paramètre de fonctionnement.
3. Retenir un mot-clé et générer une dérive.
4. Vérifier que la dérive est crédible. Si oui, passer au point 5, sinon revenir au point 3.
5. Identifier les causes et les conséquences potentielles de cette dérive,
6. Examiner les moyens visant à détecter cette dérive ainsi que ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets,
7. Proposer, le cas échéant, des recommandations et améliorations,
8. Retenir un nouveau mot-clé pour le même paramètre et reprendre l'analyse au point 3.
9. Lorsque tous les mots-clés ont été considérés, retenir un nouveau paramètre et reprendre l'analyse au point 2.

10. Lorsque toutes les phases de fonctionnement ont été envisagées, retenir une nouvelle ligne et reprendre l'analyse au point 1. (voir aussi figure 2.4)

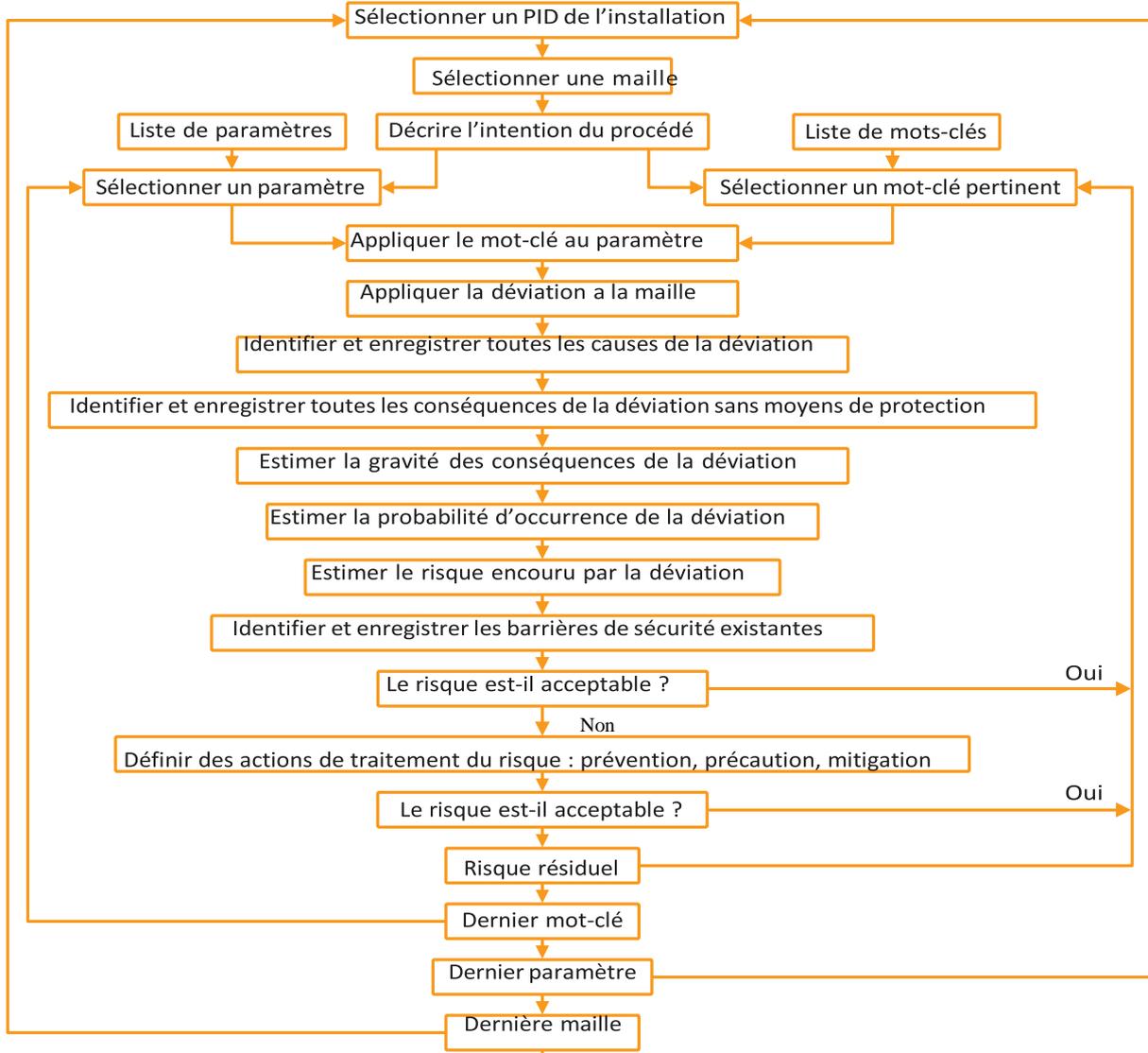


Figure 2. 2:Principe de déroulement de la méthode [11]

Chapitre 2 : Généralités sur le GNL et gestion des risques

Tout comme pour l'analyse préliminaire de risques et l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets, les résultats de cette analyse sont généralement regroupés dans un tableau de synthèse, (Voir tableau 2.3).

Tableau 2. 1:Exemple des paramètres de HAZOP

Guide word	Deviation	Causes	Effects	Existing protection	Actions items or recommendations

Tableau 2. 4:Exemple des mots-clés pour l'HAZard and OPerability (HAZOP) [11]

Paramètres HAZOP		Mots-clés										
		Pas de	Plus de	Moins de	Aussi	En partie	Inverse	Autre que	Plus tôt	Plus tard	Avant	Après
Grandeurs physiques	Température		X	X				X				
	Pression	X	X	X								
	Niveau	X	X	X				X				
	Débit	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Concentration	X	X	X	X			X				
	Contamination	X	X	X	X			X				
Opérations	Chargement	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
	Agitation	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
	Chauffage	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Actions	Démarrer	X				X		X	X	X	X	X
	Mesurer	X				X		X	X	X	X	X
	Arrêter	X				X		X	X	X	X	X

Les mots-clés, accolés aux paramètres importants pour le procédé, permettent de générer de manière systématique les dérives à considérer. Des exemples de mots-clés dont l'usage est particulièrement courant sont proposés dans le tableau ci-dessous. (Voir tableau 2.4).

Les paramètres auxquels sont accolés les mots-clés dépendent du système considéré. Généralement, l'ensemble des paramètres pouvant avoir une incidence sur la sécurité de l'installation doit être sélectionné. La combinaison de ces paramètres avec les mots clés précédemment définis permet de générer des dérives de ces paramètres.

De la même façon que pour une AMDE, le groupe de travail, une fois la dérive envisagée, doit identifier les causes de cette dérive, puis les conséquences potentielles de cette dérive. En pratique, il peut être difficile d'affecter à chaque mot clé (et dérive) une portion bien délimitée du système et en conséquence, l'examen des causes potentielles peut s'avérer, dans certains cas, complexe. Afin de faciliter cette identification, il est utile de se référer à des listes guides.

La méthode HAZOP prévoit d'identifier pour chaque dérive les moyens accordés à sa détection et les barrières de sécurité prévues pour en réduire l'occurrence ou les effets. Si les mesures mises en place paraissent insuffisantes au regard du risque encouru, on peut proposer des améliorations en vue de pallier à ces problèmes ou du moins on peut définir des actions à engager pour améliorer la sécurité quant à ces points précis.

Conclusion :

Management des risques a des processus intégrant plusieurs activités essentielles pour la sécurité, sachant que l'étape axiale dans ces processus est l'analyse des risques. Nous avons essayé tout au long de ce chapitre de mieux situer la notion d'analyse de risque par rapport aux autres activités de la gestion des risques. Ensuite, nous avons présenté rapidement les principales méthodes d'analyse de risque sachant qu'il existe d'autres méthodes moins utilisées dans un contexte industriel. Pour ces derniers, Il n'existe pas de bonne ou de mauvaise méthode, chacune possède des avantages et des inconvénients qui lui sont propres, une méthode particulière est donc généralement plus ou moins adaptée au contexte de l'installation étudiée et aux objectifs recherchés. Nous avons fait le choix de la méthode APR (Analyse préliminaire de risque) et l'analyse (HAZOP) pour notre étude au sein du complexe GL-2 ARZEW. Et vu la nature de notre équipement, nous avons opté pour le choix de ces derniers vu sa large utilisation dans les industries à haut risque.

Chapitre 3:

Application des méthodes d'analyses

Introduction :

Pendant la période de stage au centre de liquéfaction du gaz naturel -GNL 2-, nous avons remarqué que le poste de chargement des méthaniers est la source d'activité la plus important et l'endroit où se trouvent le plus de danger, ce qui rend l'endroit plus dangereux c'est la possibilité d'un énorme incendie ou d'une explosion, il est donc le plus approprié de mener notre étude et appliquer les méthodes d'analyse APR et HAZOP.

L'application de la méthode APR ou bien la méthodologie de l'analyse préliminaire des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeurs. HAZOP est la partie d'analyse la plus importante aussi pour identifier et voir la faisabilité d'occurrence de l'ensemble des dangers et des mal fonctions d'un système.

1. Description de système (chargement de GNL)

Comme mentionné précédemment dans le chapitre 01, la description du système de chargement GNL qui contient 4 bras de chargement et un bras de drainage, chaque bras a '16' pouce de diamètre (voir figure 3.1) .le tableau ci-dessous représente les paramètres nécessaires de fonctionnement de processus de chargement (Voir tableau 3.1)

Tableau 3. 1:paramètres de fonctionnement

Débit de chargement	100000 m³/h
Pression des cuves de méthanier	1.08 bars
température	-162°c
Débit de circulation	113 m³/h
pression	5.5 bars



Figure 3. 1:les bras de chargements des méthaniers

1.1 Bras de chargement :

1.1.1 La Composition d'un bras de chargement (équipement étudiée)

Les bras de chargements que disposent les deux quais de chargement M4 et M5 sont de type FMC Europe, fabriqué sous licence CHIKSAN à commande hydraulique des tubes interne et externe et de la rotation de base (voir les figures 3.2 et 3.3) [12]. Ci-dessous les différentes compositions de bras de chargement.

1. RCMA "S": Rotating Counterweighted Marine Arm with structure Un RCMA "S" comprend :

- Une embase verticale supportant le bras.
- Un tube interne.
- Une structure interne.
- Un tube externe.
- Une structure externe.
- Un ensemble de contrepoids et pantographe assurant l'équilibrage de la tuyauterie articulée dans toutes ses positions.
- Un jeu de vérins hydrauliques.

L'appontement comprend aussi un système de contrôle des bras.

2. Embase (structure et ligne de produit)

L'ensemble mécano soudé supporte la tuyauterie articulée. La hauteur de l'embase est déterminée en fonction de la position du quai par rapport au niveau des eaux et de la hauteur, au-dessus des eaux, des navires à connecter.

D'une façon générale, les embases assurent :

- Le passage du fluide entre les installations fixes et la tuyauterie articulée (ligne produit).
- L'installation d'un verrouillage mécanique immobilisant le bras en position de repos.

Le raccord articulé "style 50", situé au sommet de l'embase, supporte le tube interne, assure le pivotement de l'ensemble du bras autour d'un axe verticale ainsi que le mouvement de rotation du tube interne autour d'un axe horizontal (rotation n° 1 & 2).

3. Tube interne :

Le tube interne est constitué par un ensemble tubulaire conduisant le produit véhiculé entre l'embase et le tube externe. Le raccord articulé, situé entre le tube interne et le tube externe, est appelé "style 40" (rotation n° 3).

4. Structure interne :

La structure interne est une poutre mécano-soudée qui supporte l'ensemble ligne, produit / Structure externe, ainsi que la poutre équipée d'une poulie d'équilibrage avec des contrepoids principaux et additionnels (si nécessaire). Le verrouillage du tube et structure interne en position repos est réalisé par une liaison entre la poutre d'équilibrage et l'embase du bras.

5. Tube externe :

Le tube externe assure la liaison entre le tube interne et le manifold du navire. Il est raccordé au tube interne par le raccord articulé du "style 40" et composé d'une tubulure droite équipée à son extrémité d'un raccord articulé appelé "style 80".

6. Structure externe :

La structure externe est une poutre mécano-soudée qui est reliée d'une part au tube externe par l'intermédiaire d'une rotation et d'autre part vissée sur la poulie du style 40.

7. Style 80 :

Le raccord articulé appelé "style 80" (rotation n° 4, 5, 6) connecte le bras au navire et permet à celui-ci de suivre librement les mouvements du navire.

8. Equilibrage :

L'équilibrage du bras est assuré :

- Pour le tube externe et le style 80, par les contrepoids principaux sur la poutre solidaire de la poulie d'équilibrage avec transmission par le pantographe ;
- Pour l'ensemble articulé, par l'ensemble poulie d'équilibrage / contrepoids principaux qui compensent le poids des tubes internes, externe et style 80 et par les contrepoids additionnels (si nécessaire), solidaires de la poutre d'équilibrage de l'ensemble tube / structure interne, affinant l'équilibrage.

9. Système pantographe :

Le système pantographe est composé de deux poulies (poulie "style 40" et la poulie d'équilibrage) et de câbles. Ces câbles sont fixés sur les poulies et l'ensemble permet de transmettre le moment des contrepoids principaux à l'ensemble tube / structure externe pour assurer l'équilibrage et les mouvements.

10. Système de contrôle :

Le système de contrôle est réalisé par une installation hydraulique et électrique composée de :

➤ L'unité de commande hydraulique et électrique commune à tous les bras, d'une batterie donnée et composée de :

- Centrale hydraulique,
- Pupitre électrique de commande,
- Pupitre électrique à distance.
- Les éléments fournis pour chaque bras :
- Un ensemble de vannes hydrauliques (sélecteur vanne),
- Un jeu de vérin hydraulique.

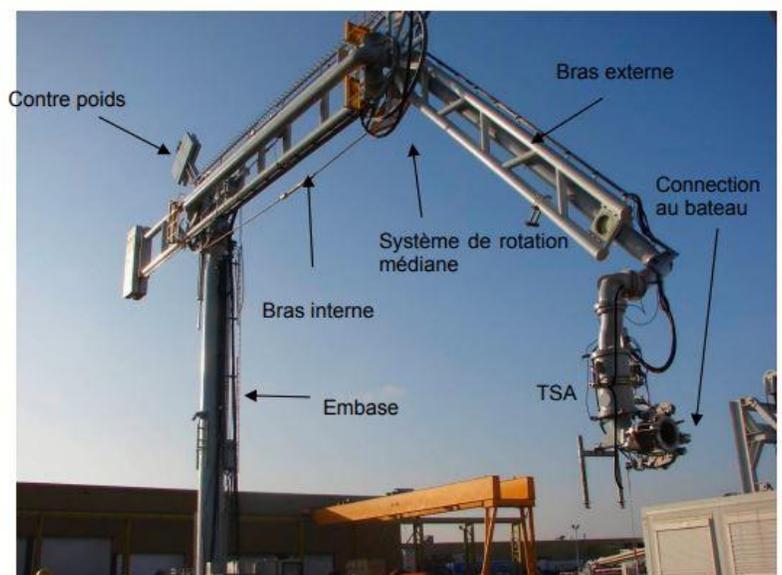


Figure 3. 2: bras de chargement (source :SAIPEM-SA)

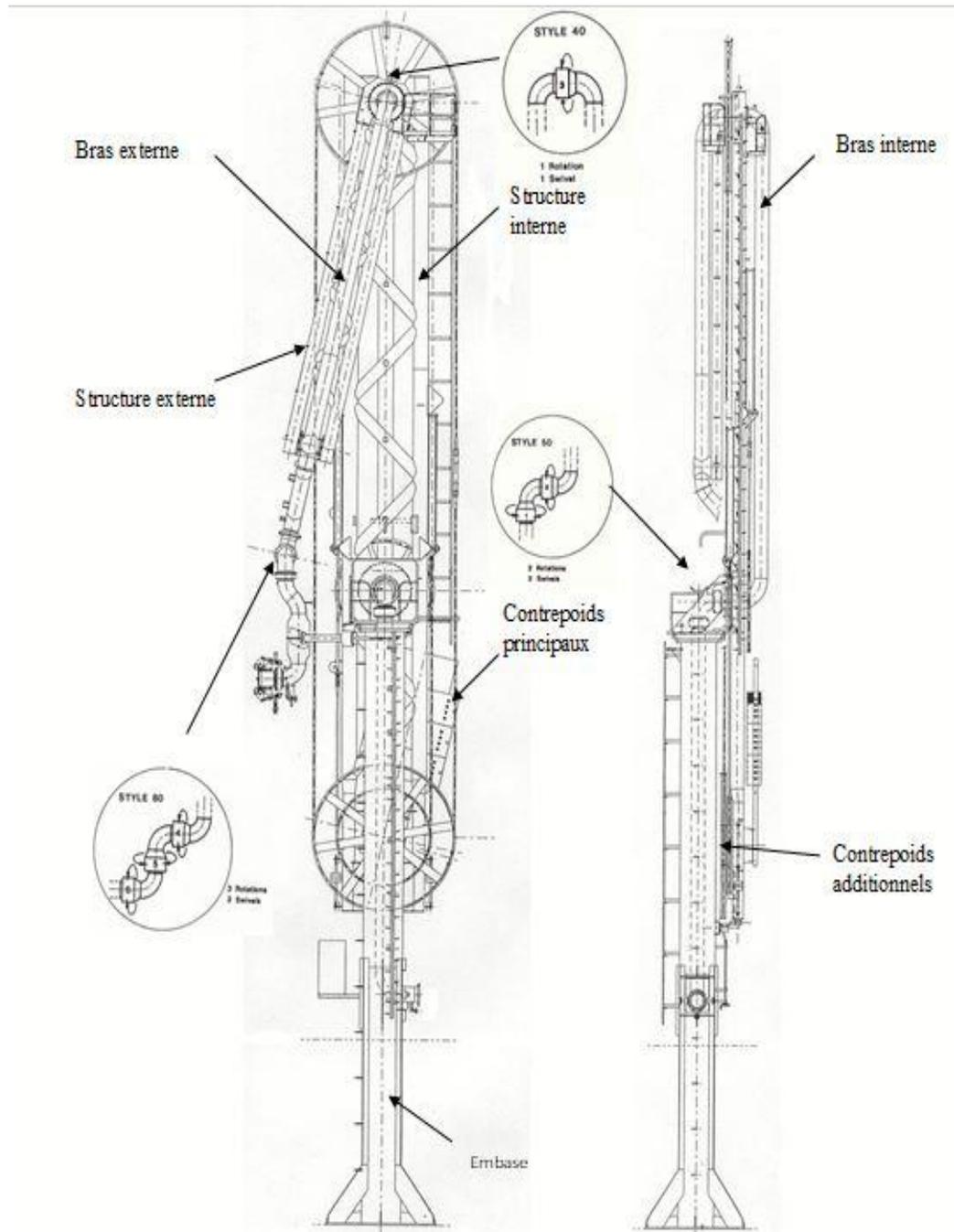


Figure 3. 3:Rotation d'un RCMA 'S'

2 Application de l'APR

2.1 Identification des unités de travail

2.1.1 Découpage(Analyse) Fonctionnelle :

le découpage fonctionnel dans une analyse préliminaire des risques permet de mieux comprendre les activités d'un système, d'identifier les unités de travail, déterminer les responsabilités correspondantes .. etc. Nous avons réalisé cette analyse dans le complexe GNL2Z à Arzew Oran. Nous avons devisé le complexe a plusieurs zones et chaque zone a plusieurs sections et chaque section a plusieurs systèmes. La section bleu est la section étudier dans notre mémoire qui appartient à la zone terminal coloré avec le jaune (voir tableau 3.1).

Tableau 3. 2:découpage fonctionnelle

Découpage fonctionnelle pour la mise en application d'APR		
	Alimentation en GN (la vanne coup feux jusqu'à l'entrée de chaque train)	
Zone de processus	Section démercurisation	
	Section décarbonatation	Système de décarbonatation
		Système de régénération de la MEA
		Système de filtration MEA
		Stockage et prélèvement de MEA
		Injection d'anti-mousse
	Section déshydratation	Adsorption de l'eau
		Régénération des sécheurs
	section réfrigération propane	
	section réfrigération MCR	
	section séparation	
section liquéfaction		
Section Fractionnement	Dééthanisation	
	Dépropanisation	
	Débutanisation	
Zone terminal	section stockage	Stockage de LNG
		Stockage de gazoline
	section chargement GNL	
	section torches brûlot	Système de collecte des purges liquides
		Torches
	section collecte, traitement et rejet des eaux pluviales et huileuses	
	section collecte, traitement et rejet des eaux industrielles	
section gaz combustible		

Chapitre 3 : Application des méthodes d'analyse

Zone utilités	section utilités	section alimentation en eau de mer
		section eau de refroidissement
		section dessalement de l'eau de mer
		section air comprimé
		section azote
		section production de vapeur
		section alimentation électrique
Zone ADM	section station de distribution de carburant	
	Description des zones du site hors procès/utilités	Bâtiments administratifs et salles de contrôle
		Laboratoire
		Restaurant
		Infirmierie
		Bâtiments entretien / maintenance
		Zones approvisionnement et stockage des pièces détachées et produits chimiques
		Zones entreprises sous-traitantes
Zones déchets		

2.2 Identification des dangers et des risques

2.2.1 Identification des sources de danger dans la zone terminale

Dans cette partie, nous avons mis toutes les sources de danger inhérent au site qui considère: le facteur humain, les produits, les équipements, le milieu et la méthode de travail.

- **les sources de danger lié au facteur humain :**

- Manque de formation
- Négligence
- Stress
- Fatigue
- Danger relatifs au Procédé de chargement (mauvaise manipulation)

- **les sources de danger lié aux équipements :**

- Vibration de bras de chargement
- Mauvais accostage de méthanier
- Etat de méthanier dégradé (corrosion au niveau de leur bac...)
- Problème dans la mise à la terre
- Problème aux pompes, vannes (bouchage, fuit...)
- Bouchage de bac de drainage
- Faible éclairage
- Réseau d'eau en mauvais état, bac d'eau usagé (pour le nettoyage, l'intervention)

- **la nature et l'environnement**

- Séisme
- Situation climatique extrême- Inondation
- Affaissement de terrains
- Foudre & Canicule

• **Les produits (gaz) :**

- fuit de produit
- déversement de produit
- débordement de bac
- température élevé (vaporisation du produit)
- Corrosion à la pipe, bac

2.2.2 Les risques liés à la zone de chargement

Les risques liés au chargement sont résumés dans le tableau 3.3

Tableau 3. 3:les risques liés à la zone de chargement

Activité	Risque
Stockage du GNL	<ul style="list-style-type: none">- Risque D'incendie- Risque d'explosion- Risque chute de hauteur- Risque chutes de plain- pied- Risque électrique carburant- Risque de pollution- Risque thermique
Pompage	<ul style="list-style-type: none">- Risque d'incendie- Risque d'explosion- Risque liée au Bruit- Risque électrique
Chargement de méthanier	<ul style="list-style-type: none">- Risque d'incendie- Risque d'explosion- Risque chimique- déversement de produit- Risque chute de plain- pied

	<ul style="list-style-type: none">- Risque électrique- Risque pollution- Risque lié à la manutention - Risque mécanique- Risque thermique
--	--

2.3 Tableau APR :

Les informations de la localisation, la date et la description de la société où nous avons établi une APR de bras de chargement sont présentés ci-dessous.

Société :	SONATRACH
Localisation :	Bethioua
Entité :	GL2Z
Dates:	27 février au 09 mars 2023
Section :	GNL
Description:	Stockage et expédition de GNL

Tableau 3. 1:APR appliqué au niveau de bras de chargement des méthaniers

Maille	Evènement déclencheur	Détail	Cause	Conséquences	Mesures de prévention	Mesures de limitation des conséquences	F	G	C	Actions/ Remarques	
Bras de chargement	perte d'étanchéité externe	Corrosion interne	sans objet								
		Corrosion externe	Atmosphère saline	-Rupture du support en acier carbone -Fuite de GNL vers la mer, -création d'un nuage de vapeurs inflammables, -feu de nappe, UVCE / - feu éclair	Support : peinture anti corrosion, inspection visuelle Bras : inox, inspection visuelle	Arrêt d'urgence Surveillance double : navire, terminal	2	4	8		
		Erosion	sans objet	Sans conséquence							
		Agression externe	Choc (mécanique thermique)	Fuite de GNL vers la mer, création d'un nuage de vapeurs inflammables, feu de nappe, UVCE / feu éclair	permis de travail, plan de levage, procédure d'amarrage		1	4	4		
		Arrachement	Rupture d'amarre (Mauvais temps)	Fuite de GNL vers la mer, création d'un nuage de vapeurs inflammables, feu de nappe, UVCE / feu éclair	Prise en compte des conditions météo Amarres en acier par mauvais temps	Arrêt d'urgence Surveillance double : navire, terminal Capteur de surtension sur-rotation	2	3	6		

Maille	Evènement déclencheur	Détail	Cause	Conséquences	Mesures de prévention	Mesures de limitation des conséquences	F	G	C	Actions/ Remarques
Bras de charge ment		Fuite d'accouplement	Contractions thermiques	Fuite de GNL sur le navire, création d'un nuage de vapeurs inflammables, feu de nappe, UVCE / feu éclair	Procédure de mise en froid (durée : 3/4h)	Bassin d'eau de récupération des égouttures sous les manifolds	2	4	8	
		Fuite de joint	Vieillessement, mauvais serrage, défaillance qualité joint	Fuite de GNL vers la mer, création d'un nuage de vapeurs inflammables, feu de nappe, UVCE / Jet Fire	maintenance, maintien de joint	Rampe d'arrosage automatique Lance canon à mousse haut foisonnement Système à poudre automatique Détecteur gaz	4	4	16	Effet domino !!!!
		Risque chimique	GNL	Sans objet						
		Perte d'utilités	Electricité	Défaillance alimentation	Déclenchement ESD et arrêt de chargement. Fermeture vannes de chargement		Réservoir d'huile sous pression en secours			
		Air instrument	Défaillance alimentation	Déclenchement ESD et arrêt de chargement. Fermeture vannes de chargement Ouverture						

Note : Pour l'analyse de toute la zone (zone terminale) voir annexe

2.4 Matrice de classification des accidents

Tableau 3. 5:matrice de classification de la zone GNL2

Zone verte : risque en état acceptable
Zone jaune : risque en état à surveiller de près
Zone rouge : risque en état inacceptable

					PROBABILITÉ				
					1- TRES IMPROBABLE	2- IMPROPABLE	3- OCCASIONNELLE	4- PROBABLE	5- FREQUENT
GRAVITE	population	Asses	Environnement	Réputation	Survenu dans l'industrie mondiale mais pas à SONATRACH	Survenu dans un autre site de la SONATRACH	Survenu dans le même site	Survenu plusieurs fois dans l'année dans le même site	Survenu plusieurs fois dans l'année dans le même endroit ou durant la même opération
5-Catastrophique	Plusieurs fatalités	Dommmage très important	Effet massif	International impact	5	10	15	20	25
4-Sévère	Une fatalité ou une invalidité permanente	Dommmage important	Effet majeur	National impact	4	8	12	16	20
3-Critique	Blessure grave ou des effets sur la santé	Dommmage limité	Effet limité	Impact considérable	3	6	9	12	15
2-Marginal	Blessure mineur ou des effets sur la santé	Dommmage mineur	Effet mineur	Impact mineur	2	4	6	8	10
1-Négligeable	Blessure légère ou des effets sur la santé	Dommmage léger	Effet léger	Impact léger	1	2	3	4	5

❖ **Interprétation de tableau APR**

L'application d'analyse préliminaire de risque sur un bras de chargement GNL de méthanier a montré que les conséquences des évènements déclencheurs sont presque les mêmes tels que :

- Rupture du support en acier carbone
- Fuite de GNL vers la mer
- Création de nuage de vapeurs inflammables
- Feu de nappe
- UVCE
- Feu d'éclair

À cause des évènements déclencheurs cités dans la colonne de 'détail' de tableau 3.4, nous avons détecté des différentes causes par exemple : atmosphère saline, choc mécanique...et différentes mesures de préventions,,,

- L'atmosphère saline cause une corrosion externe. Les mesures de prévention suggérées sont: peinture anti corrosion, inspection visuelle, et pour le bras le fabriquer avec une matière inoxydable. Les mesures de limitation des conséquences sont: un arrêt d'urgence, surveillance double au navire et au terminal.
- Le choc mécanique ou thermique cause une agression externe. Les mesures de préventions sont: un permis de travail, plan de délavage, procédure d'amarrage société EPA.
- Une rupture d'amarre (mauvais temps) qui cause un arrachement. Les mesures de prévention dans ce cas est la prise en compte des conditions météorologique, amarres en acier par mauvais temps. Les mesures limitatives des conséquences sont: arrêt d'urgence, double surveillance au navire, et le terminal, capteur de surtension sur-rotation (déclenche ESD XA2009/2010 pour M4 ou M5)
- Une contraction thermique induit une fuite d'accouplement. La mesure de prévention est la mise en froid (durée : 3/4h). La mesure limitative des conséquences est mettre un bassin d'eau de récupération des égouttures sous les manifolds
- Vieillesse ou mauvais serrage, défaillance, mauvaise qualité de joint peuvent causer une fuite au niveau de joint. Les mesures de préventions sont : la maintenance et le maintien de joint. Les mesures limitatives des conséquences sont: la rampe d'arrosage automatique, lance canon à mousse haut foisonnement, système à poudre automatique et détecteur de gaz.

On remarque que la fuite de produit GNL est la cause principale des accidents les plus graves : incendie, explosions, et leurs conséquences catastrophiques.

En plus de la présence de fuite dans le joint de bras de chargement, il y'a une grande probabilité d'occurrence de vieillissement du joint, mauvais serrage ou défaillance de sa qualité à cause de ça la valeur de criticité est inacceptable "16".

3 Application de la méthode HAZOP :

La méthode HAZOP est considérée parmi les meilleures méthodes d'analyse des risques. Cette méthode est particulièrement utile pour l'examen d'un système thermo-hydraulique.

➤ **Les objectifs d'application de la méthode HAZOP :**

- Recherche systématiquement des causes possibles de dérive de tous les paramètres de fonctionnement d'une installation.
- Mise en évidence des principaux problèmes de stockage et d'entretien.
- Etude des conséquences et risques éventuels liés à ces dérives propositions des mesures correctives appropriées.

Donc l'objectif principal de l'application de cette méthode, est la détermination des différentes déviations liée au fonctionnement d'un équipement principal dans le système de chargement de GNL

3.1 La Documentation

Pour notre analyse HAZOP nous avons choisi les plans de circulation des fluides ou schémas (P&ID) (voir les figures 3.4 , 3.5 et 3.6) comme documentation qui nous a permis d'identifier facilement le positionnement de toutes les vannes, soupapes ,pompes ,brides...etc contenues dans la canalisation de passage de GNL du bac de stockage aux bras de chargement des méthaniers -la zone terminale .

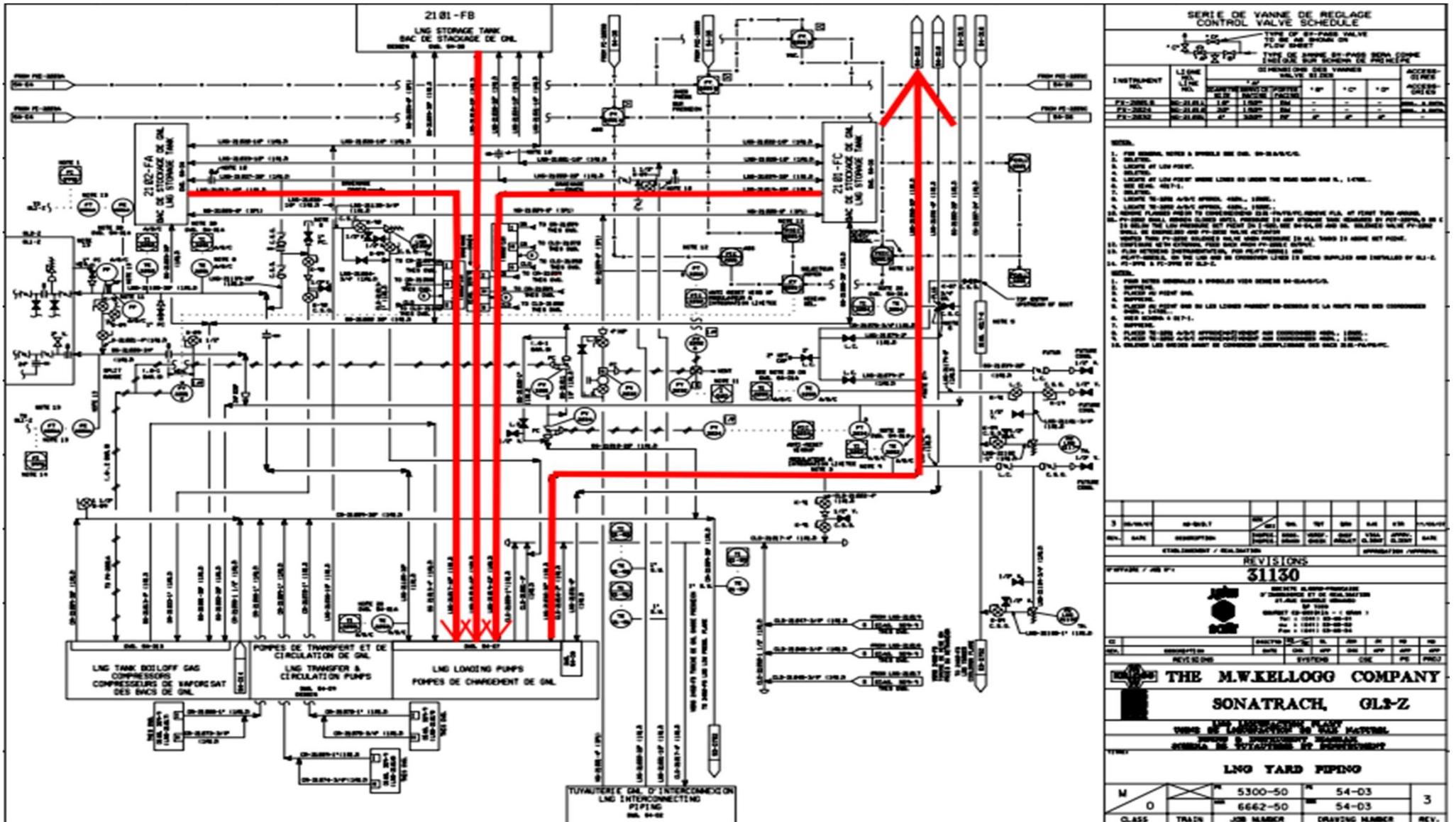


Figure 3. 3:P&ID canalisation de GNL de bacs vers les quais de chargement

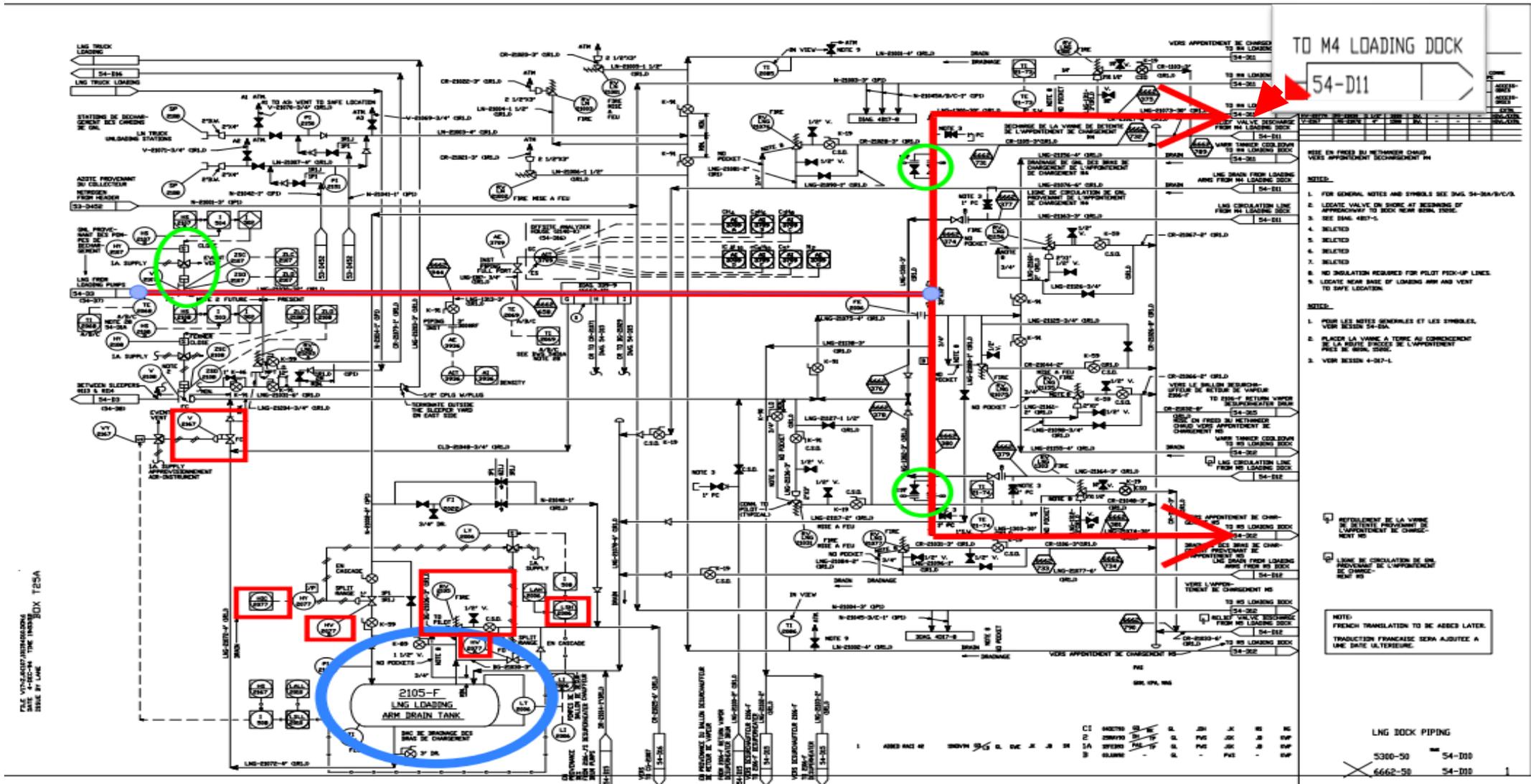


Figure 3. 4: P&ID les quais de chargement M4 et M5

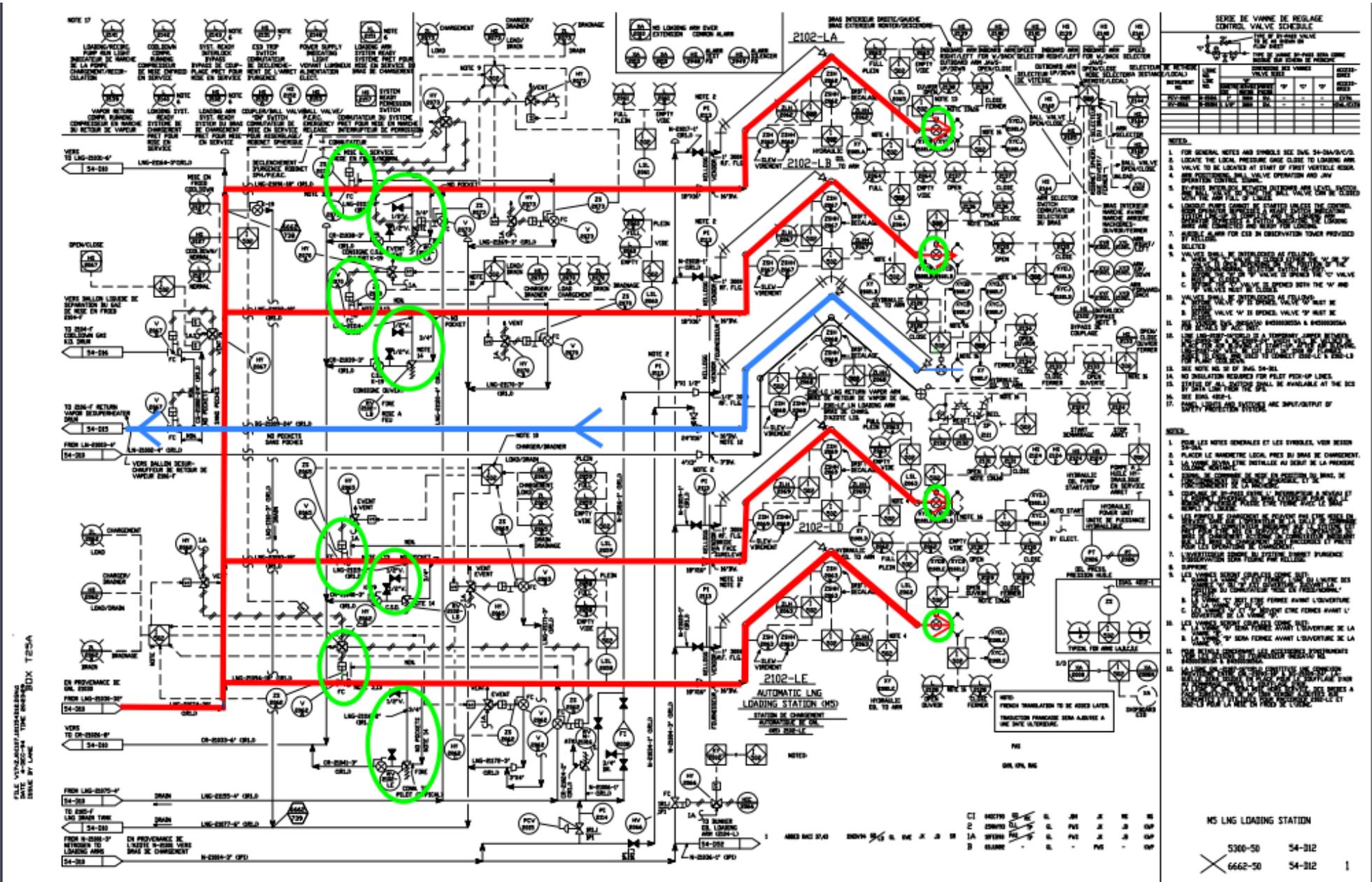


Figure 3. 5:P&ID les bras de chargement

3.2 Tableau HAZOP :

Tableau 3. 6:Analyse HAZOP

Paramètre	Déviations	Causes possibles	Conséquences	Détection	Sécurité existante	Recommandations
Pression	Plus de pression	-excès de refoulement des pompes GNL(2101 JE,JD,JC,JA)	1-Eclatement de joint de bras de chargement 2-rupture des tuyaux 3-endommagement des pompes 4-fuite de GNL dans les points faibles (les vannes, les brides)	-PIC : indicateur de pression -Détection de gaz répartis dans la zone de chargement avec alarmes en salles de contrôle	moyens de lutte anti-incendie -Soupape de sécurité (RV)	Renouvellement De matière d'isolation thermique -Inspection et maintenance périodique des vannes -- Maintenance corrective de soupape et des vannes -Nettoyage périodique de filtre
		-une ou plusieurs de ces vannes sont fermées (vannes de navire-vanne V2107-les deux vannes de quai de chargement-vannes des bras de chargement)	5- explosion (UVCE) 6-augmentation de température 7-ignition d'une nuage inflammable			
		saturation de filtre au niveau en amont des bras de chargement - bouchage de la ligne due à la présence des impuretés dans le GNL -Mauvais opération de dégivrage	1 – fuite au niveau des points faibles (brides, vannes, joints...) Feu de nappe, Explosion →	-PIC : indicateur de pression	-système de chauffage (exposition a l'air chaud)	

Paramètre	Déviat ion	Causes possibles	Conséquences	Détection	Sécurité existante	Recommandations
Pression	Plus de pression	HV2077B trop ouverte	Risque d'éclatement 2105-F		Pression d'Azote inférieure à pression de design de l'équipement RV2105F	
		Défaut de régulation cascade HIC2077	Isolement de la capacité, montée en pression par évaporation du liquide Risque d'éclatement 2105-F		Pression d'Azote inférieure à pression de design de l'équipement RV2105F	
	Moins de pression	-les vannes de quai de chargement M4 et M5 sont ouvertes et les pompes fonctionnent pour charger le GNL à une seule quai (M4 ou M5) -Mise en dépression via l'ouverture intempestive des soupapes (RV 2102). -vieillessement des pompes est donc moins de débit	1-Pas de chargement de GNL, retardement 2-Fuite de GNL 3-incendie	Capteur de pression cryogénique 7720 - GP:50- -PIC : indicateur de pression -Détection de gaz répartis dans la zone de chargement avec alarmes en salles de contrôle	système de sécurité intégré (système peut détecter l'ouverture intempestive des soupapes et déclencher des actions correctives automatiques : fermeture rapide des soupapes, arrêt des pompes de chargement)	Maintenance corrective des pompes

Paramètre	Déviatio n	Causes possibles	Conséquences	Détection	Sécurité existante	Recommandations
Température	Plus de température	-Augmentation de la pression(les causes de plus de pression précédemment)	1-Eclatement ou rupture (les points faibles des tuyaux 2-Eclatement de joints de bras de chargement 3- fuite au niveau des points faibles (brides, vannes, joints...) Feu de nappe, Explosion	-Capteur de température -PT100- - alarme haute en salle de contrôle	Maintenance corrective -l'intervenir de l'unité d'intervention -diminuer la production en évitant le transfert de la chaleur au GNL	
		- Vieillesse de matière d'isolement thermique au niveau des bacs ou canalisation -les pompes de circulation en arrêt	1-Augmentation de pression	-Capteur de température -PT100- - alarme haute en salle de contrôle	-Système de surveillance: inclure des capteurs de température et l'état des pompes de circulation.	Renouvellement périodique de la matière d'isolement thermique
		-source thermique à proximité de l'extérieur de canalisation	1-Augmentation rapide de pression 2-fuite de GNL dans les points faibles (les vannes, les brides) 3- explosion (UVCE) suivi par jet fire et éclatement des Tuyaux	-Capteur de température -PT100- - alarme haute en salle de contrôle	-les systèmes anti-incendie : extincteurs Motopompe...	-diminuer la production en évitant le transfert de la chaleur au GNL
	Moins de température	Sans objet	Sans conséquence			

Paramètre	Déviati on	Causes possibles	Conséquences	Détection	Sécurité existante	Recommandations
Débit	Plus de débit	-l'un des vannes des bras de chargement (2062A,2065A,2070A,2073A) en position fermée.	1-des vibrations au niveau des tuyauteries peuvent causer dommages structurels et des fuites au niveau des bras. 2- explosion (UVCE) suivi par jet fire et éclatement des Tuyaux 3-Eclatement dans les points faibles(vannes, brides....)	indication en salle de contrôle alarme haute en salle de contrôle	Moyen de lutte anti Incendie (matérielles d'extinction fixe et mobile) Ouverture de la vanne de secours par le tableautiste de la salle de contrôle	Sensibilisation des opérateurs concernant ces situations Inspection et maintenance périodique des vannes
		Vannes de drainage bras fuyardes pendant le chargement V2053B	Niveau haut 2105F. Débordement vers torche de mise en froid du méthanier 2480FB	Détecteur de niveau	LSH2006 ouvre HV 2077B et 2167 et ferme HV2077A pour poussage à l'Azote du liquide	
	Moins de débit	Sans objet	Sans conséquence			
	Pas de débit	Sans objet	Sans conséquence			

Paramètre	Déviaton	Causes possibles	Conséquences	Détection	Sécurité existante	Recommandations
Débit	Inverse	Vanne V2167 fuyarde	-Niveau haut 2105F. Débordement vers torche de mise en froid du méthanier 2480FB	Détecteur de niveau	LZH023 qui Coupe l'alimentation -LIC002A s'ouvre vers la fosse de brûlage -moyen de lutte d'incendie	
	Mauvaise direction	Manque d'Azote	Niveau haut 2105F. Entraînement de GNL dans la ligne d'Azote, contamination du circuit d'Azote et risque d'éclatement des lignes carbone		PSL2006 (collecteur d'Azote) Ballon d'Azote de secours (disposition manuelle)	Remplacer la ligne et le clapet anti-retour en matière Inox jusqu'au piquage du collecteur d'Azote
		Vannes d'isolement des bras de chargement fuyardes (V2053A et vanne sphérique) hors chargement	Fuite de GNL à la mer. Explosion à froid (projection de morceaux de glace et onde de surpression)			
		Défaillance des clapets anti-retour des bras de chargement	Entraînement de GNL dans la ligne d'Azote, contamination du circuit d'Azote et risque d'éclatement des lignes carbon		PSL2006 (collecteur d'Azote) Ballon d'Azote de secours (disposition manuelle)	
Niveau	Haut	idem "Plus de débit" et "Débit inverse"				
	Bas	Sans objet	Sans conséquence			

❖ **Interprétations:**

L'étude HAZOP nous a permis d'identifier les différentes dérives qui peuvent exister et qui engendrent des accidents plus ou moins graves. Elle identifie aussi l'évènement le plus accidentel et le plus catastrophique, qui est l'UVCE au niveau des bras de chargement de (GNL), qui est origine de différentes causes directes ou même indirectes, provoquant des conséquences importantes, dont des pertes humaines et économiques.

On remarque que la plus part des déviations des paramètres lors de plus de pression, plus de température et aussi plus de débit, et nous avons suggéré des recommandations pour éliminer l'occurrence des mauvaises conséquences.

4 Le scénario d'accident:

1. Un méthanier arrive au terminal GNL pour le chargement de sa cargaison de gaz naturel liquéfié.
2. L'équipage du méthanier connecte le bras de chargement du navire à l'installation du terminal GNL.
3. Pendant le chargement, les joints des bras de chargement commence à fuir en raison d'un mauvais serrage
4. La fuite de gaz naturel liquéfié continue pendant une durée de temps indéterminée, car le personnel du terminal GNL n'a pas pu détecter la fuite à temps en raison d'une mauvaise maintenance du bras de chargement.
5. Pendant ce temps, le GNL continue de s'échapper et se répand sur la mer, formant une flaque de liquide.
6. Après un certain temps, le GNL commence à s'évaporer et forme un nuage explosif.
7. Le nuage explosif s'élève dans l'air et se dirige vers le terminal GNL.
8. L'un des travailleurs a utilisé le téléphone portable (source d'énergie).
9. L'occurrence d'une explosion (UVCE) massive, suivie par jet fire.

10. Les employés présents sur place tentent de gérer l'incendie en utilisant des extincteurs portatifs, mais l'ampleur de l'incendie est trop grande.

11. Les autorités locales sont alertées de l'incident et envoient immédiatement une équipe de pompiers pour tenter d'éteindre le feu.

12. Pendant ce temps, le nuage explosif continue de se propager, menaçant les zones avoisinantes et nécessitant l'évacuation de la population.

13. Les autorités mettent en place une zone de sécurité et évacuent tous les employés et les habitants à proximité du site.

14. Les enquêteurs sur les lieux de l'incident établissent que la cause principale de l'explosion était la fuite de gaz naturel liquéfié due à une maintenance défectueuse du bras de chargement.

15. Des mesures sont prises pour renforcer la sécurité et la maintenance de l'installation pour éviter qu'une telle situation ne se reproduise à l'avenir, notamment en améliorant la surveillance et la détection de fuites de GNL.

5 Modélisation des effets de la fuite:

Pour modéliser la dispersion de GNL et pour connaître les résultats et les effets de cette dispersion dans notre scénario, nous avons utilisé le logiciel (PHAST), PHAST est un logiciel de simulation de dispersion dans l'air. Il est employé pour modéliser des écoulements dans l'air à des fins d'études écologiques ou de sécurité industrielle. Et les résultats quand ils ont été obtenus sont présentés dans les graphes ci-dessous.

Tous les phénomènes sont modélisés avec une température de 25°C. parce que Les températures moyennes mensuelles peuvent osciller entre 1,8°C en janvier et 37°C en août [13].

Les données utilisées dans le logiciel DNV PHAST :

- Produit : Méthane
- Débit de chargement : 100000 m³/h
- Pression des cuves de méthane : 1.08 bars
- Température de produit: -162°C
- température de l'environnement : 25°C

Chapitre 3 : Application des méthodes d'analyse

- Débit de circulation : 113 m³/h
- Pression de chargement : 5.5 bars

5.1 La dispersion de gaz (GNL)

Après la réalisation du scénario, et l'utilisation des données du P&ID nous avons réalisé les cartes de dispersion de gaz ci-dessous .

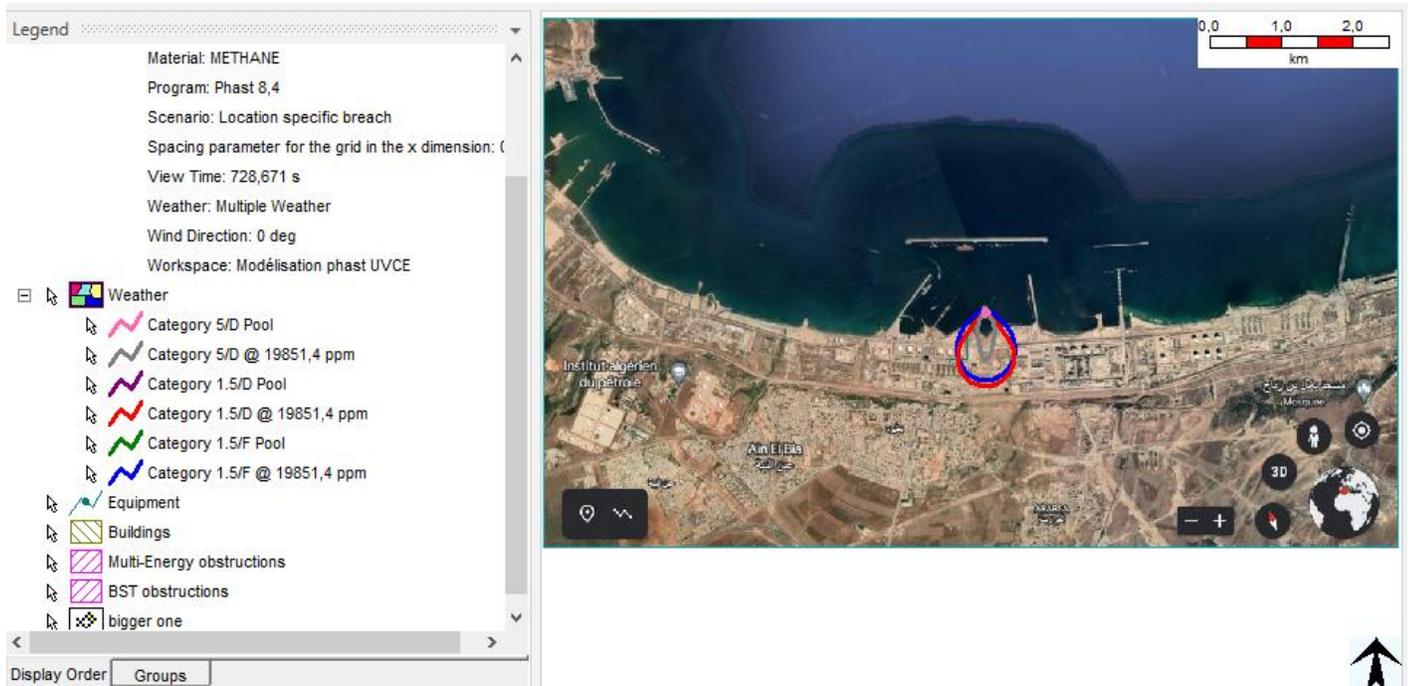


Figure 3. 7: La zone de dispersion de GNL

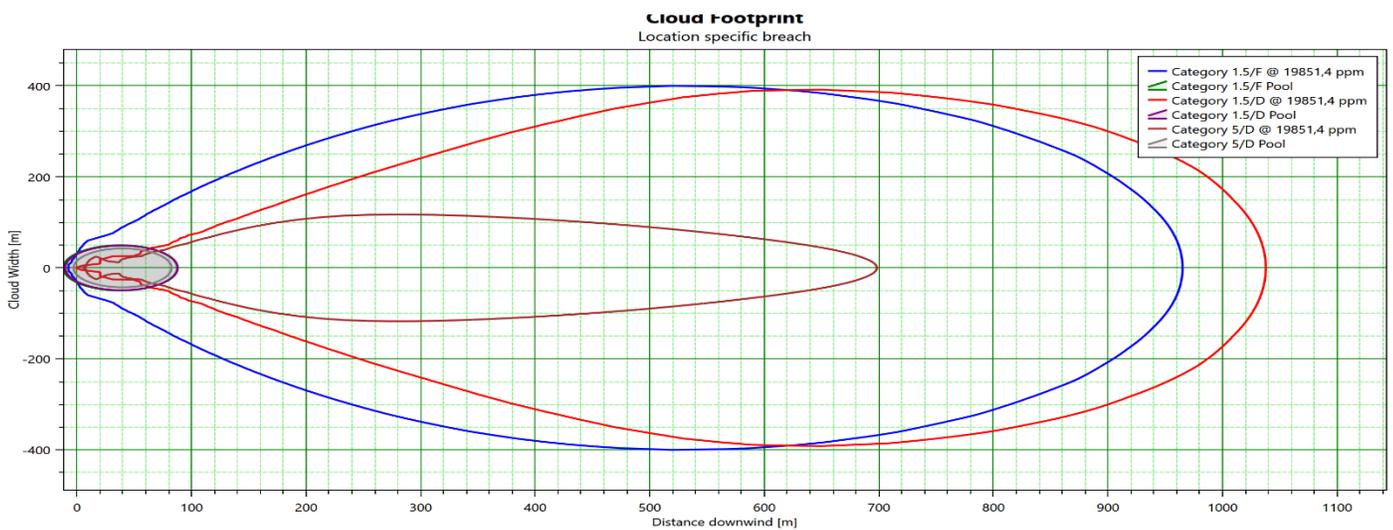


Figure 3. 6: La diffusion du gaz par différentes catégories des vents

✓ **Interprétation**

Les figures ci-dessus représentent la plage de surface et de dimensions que la diffusion de gaz (GNL) atteint. Où le nuage de gaz diffus peut atteindre une longueur maximale de 1040 mètres et une largeur de 800 mètres dans la catégorie 1,5/D (D : Conditions neutres des vents) de vent et une longueur maximale de 960 mètres et une largeur de 800 mètres aussi dans la catégorie 1,5/F (F : Conditions modérément stables des vents), ainsi qu'une longueur allant jusqu'à 700 mètres et une largeur de 220 mètres 5/D.

Cela tient compte de la direction des vents, qui s'est avéré être nord-sud.

De ce qui précède, il ressort que le gaz est réparti sur une grande surface, ce qui pourrait constituer une explosion violente en cas de source d'énergie. Surtout dans la catégorie de vent 1,5D.

5.2 Explosion UVCE

Un autre phénomène qui résulte de l'inflammabilité de vapeur de GNL est l'UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion). Ce dernier, vient de l'effet de souffle lié à la vitesse

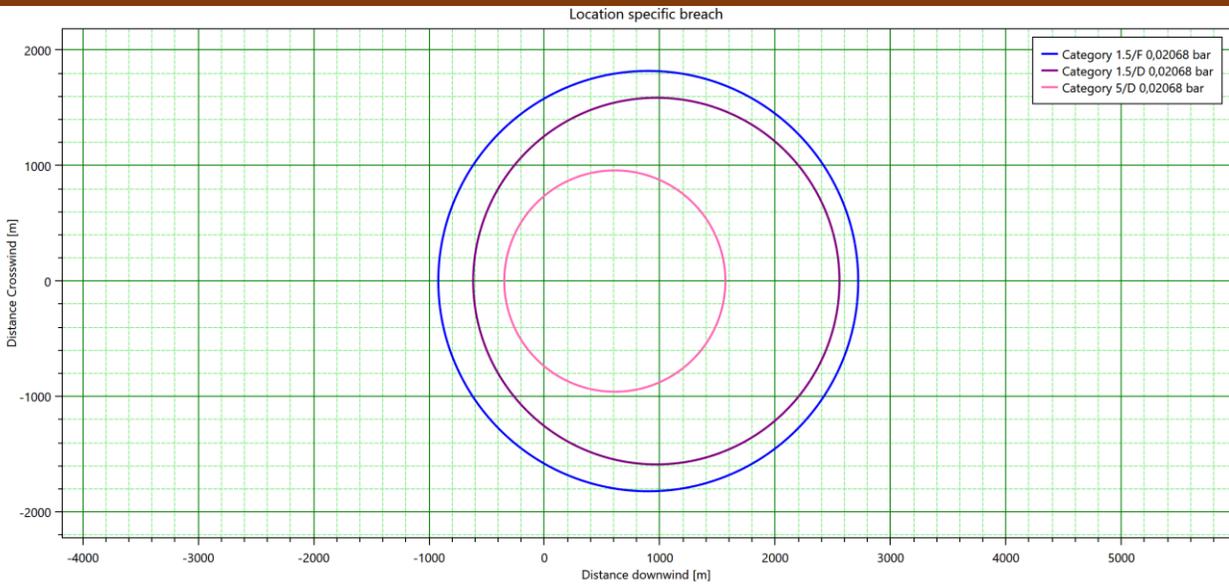


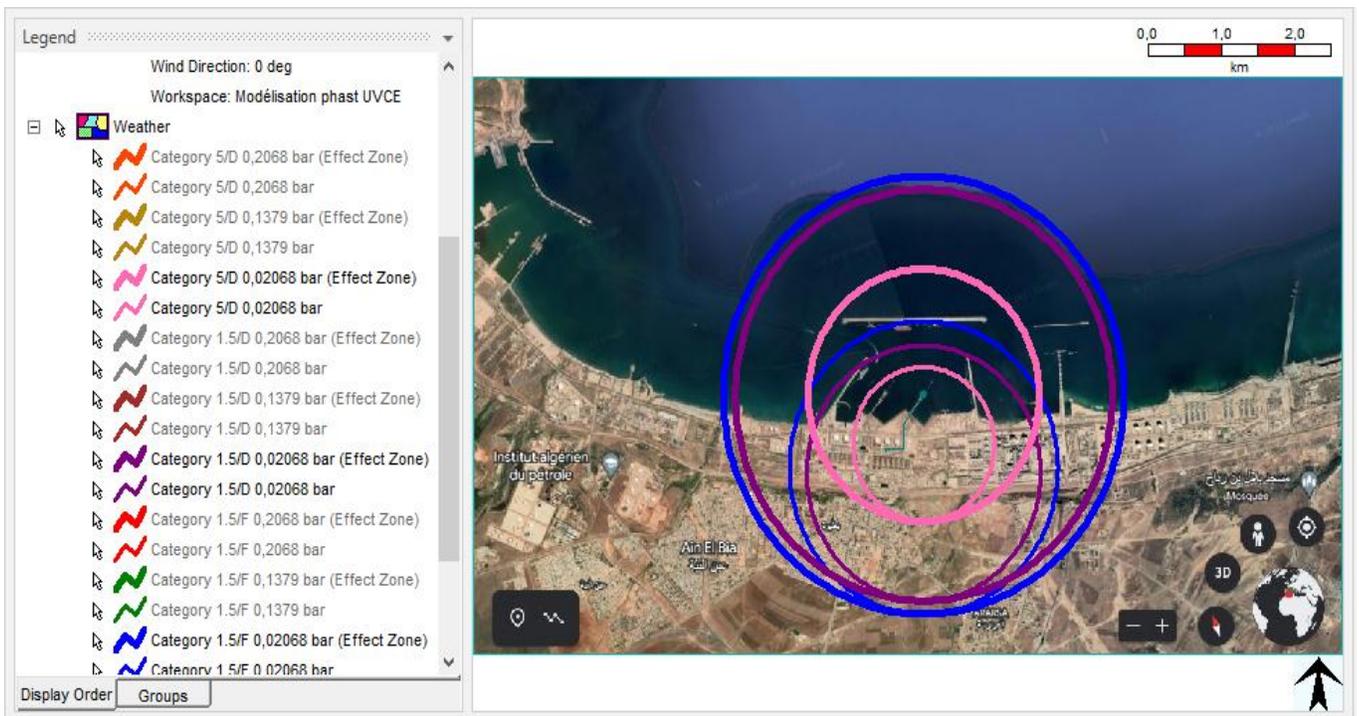
Figure 3. 9:Rayons d'explosion UVCE

du front de la flamme et ceci peut atteindre des distances considérables comme celle qui est présenté dans les figures ci-dessous. car, il est le résultat d'une ignition retardée d'un mélange stœchiométrique.

✓ **Interprétation**

Après quelques heures le GNL dispersée se vaporise en formant un nuage et lorsque la source

Figure 3. 8:L'intensité de/l'explosion UVCE d'énergie est présente,



une explosion UVCE se produit. Ce dernier cause des dégâts jusqu'à un cercle de 3,6 Km dans la catégorie de vent 1,5/F, et l'effet le plus faible d'explosion est dans le type de vent 5/D avec un rayon de 2 km d'explosion

5.3 JET FIRE

Après la réalisation du scénario, et l'utilisation des données du P&ID nous avons réalisé des cartes de jet fire ci-dessous

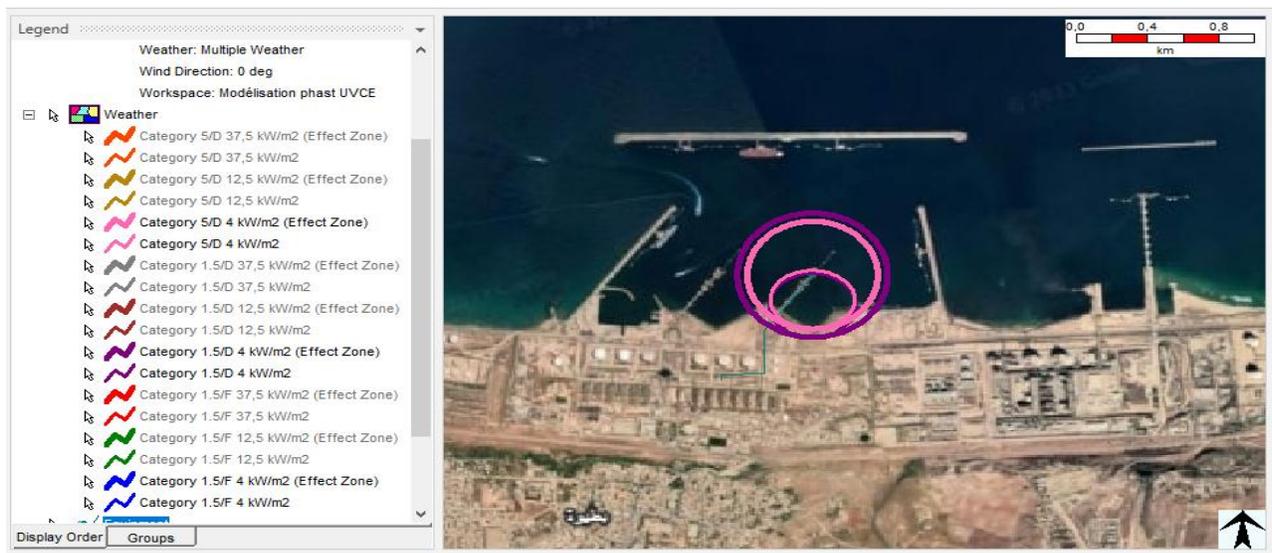


Figure 3. 10:L'intensité de JET FIRE

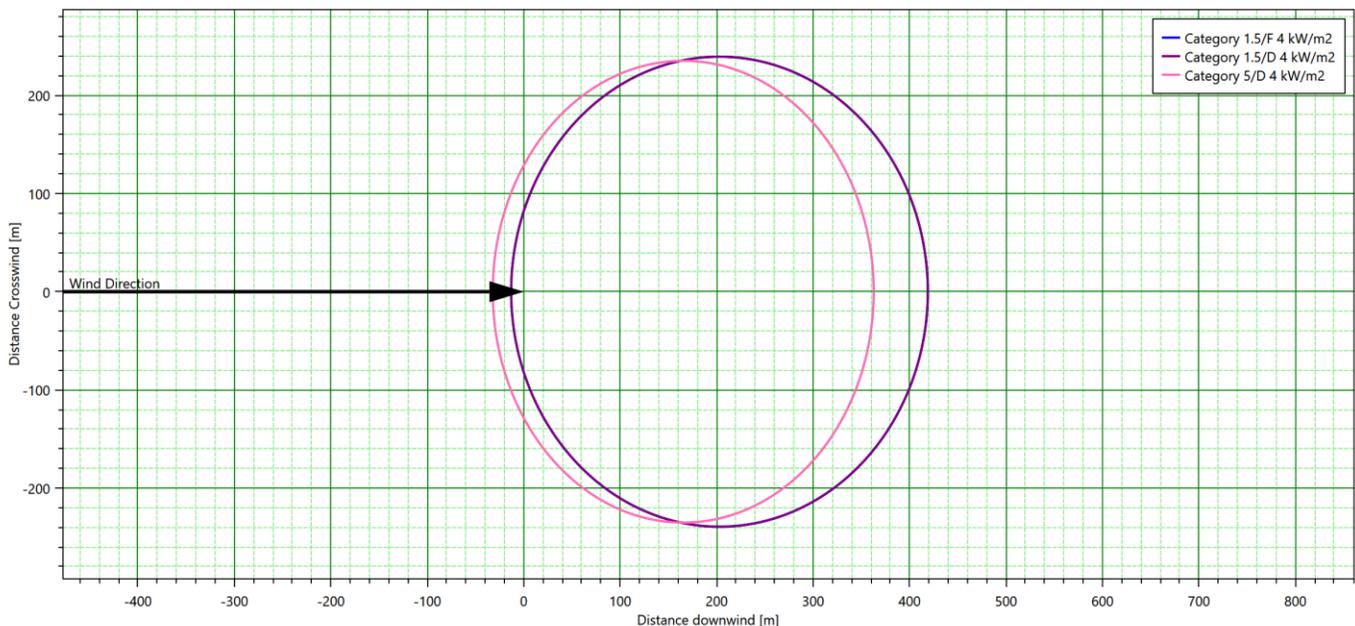


Figure 3. 11:Rayons d'intensité de JET FIRE

✓ **Interprétation**

L'explosion précédent-UVCE- peut provoquer des effets dominos , parmi ces effets le feu JETFIRE. Le graphe c'est dessus montre l'étendue de l'occurrence de cet incendie-JETFIRE- .Où le rayon de la flamme en longueur atteint 420 mètre maximum avec la direction de torche gazeux et en largeur atteint 240 mètre à droite et la même distance à gauche.

6 Mesures d'atténuations et recommandations.

La mise en œuvre des recommandations suivantes garantira que les hypothèses contenues dans l'évaluation des risques sont valides et pourra fournir des mesures potentielles de réduction des risques. Elles représentent des pratiques exemplaires pour le contrôle opérationnel et feraient partie d'un système de gestion de la HSE efficace :

- Considérer l'emplacement des rideaux d'eau autour de la zone d'étude pour stopper la dispersion des nuages de gaz (Encours de réalisation).
- Considérer la construction d'une séparation physique renforcée entre les deux complexes GL2 Z et GL1Z, afin de stopper la propagation des nuages de gaz de part et d'autre.
- Considérer la réalisation d'une banque de données du complexe étalée sur plusieurs années.
- Un programme de formation efficace est proposé pour maximiser la compétence des opérateurs (ceci devrait inclure une formation de sensibilisation au risque),
- Les meilleures pratiques de HSE sont appliquées et utilisent un système de gestion de la HSE moderne.
- Des audits réguliers garantissent des pratiques exemplaires en matière de HSE,
- Un plan d'intervention efficace en cas d'urgence, envisageant plusieurs points de rassemblement.
- Un système d'inspection et d'entretien orienté vers le risque est souhaité,
- Considérer des tests et des exercices de simulation réguliers destinés à évaluer le niveau de préparation.
- Considérer et renforcer l'assistance médicale pour des éventuels accidents majeurs,
- Considérer un contrôle rigoureux et systématique de la fuite au niveau des bras, et ce, par l'utilisation d'un explosimètre.
- Considérer un contrôle physique d'étanchéité des joints des bras pour valider leur conformité.
- Considérer un contrôle périodique du couple de serrage des bras.

Conclusion

L'analyse des risques et modélisation de scénario ont montré qu'il y a plusieurs risques important résultant une perte de confinement au niveau des bras de chargement qui peut provoquer des risques majeurs : UVCE, jet fire, feu de nappe ... etc.) , Non seulement sur le complexe GL2Z, mais aussi sur les autres complexes et sur l'agglomération proche du complexe.

Conclusion Générale

Les industries et notamment de secteur gazeux ont des risques des différentes conséquences . Les risques de fuite de GNL à travers le bras de chargement de méthanier dans l'industrie de liquéfaction du gaz naturel est parmi de ces risques qui peuvent entraîner des effets et des impacts très graves sur les travailleurs, la population riveraine, les biens et l'environnement.

Notre étude s'est intéressée à l'analyse des risques générés par le bras de chargement du GNL (zone terminal).

L'analyse APR a permis de montrer que la majorité des risques sont liées aux fuites GNL. Principalement dans le joint du bras à cause d'un: mauvais serrage , vieillissement ou défaillance de qualité de joint , et l'analyse HAZOP a montré qu'il y a plusieurs facteurs qui peuvent causer des fuites au bras de chargement tels :la surpression ,élévation de température et de débit . . .etc

La modélisation des conséquences de scénario choisi (mauvais serrage) ,donne une simulation très détaillée et des résultats réels sur les phénomènes dangereux qui peuvent apparaître .

Selon la modélisation, nous avons tirés le résultat suivant:

Les zones de Béthioua et d'Ain El Biya sont touchées par les effets thermique d'explosion catastrophique 'UVCE', est le rayon de cette explosion qui peut atteindre jusqu'à 3.6km ,donc la distance nécessaire qui doit séparer entre la zone de chargement et la zone urbaine est plus de 3.6 km au minimum.

Références bibliographiques :

CHAPITRE 1

[1] : Manuel opératoire, Département Technique du complexe GL2Z, 2007.

[2] : Mr. FLESCHE, «Conception, Construction et Exploitation des Réseaux de transport du GNL», TRAN 92.1, 1992.

CHAPITRE 2

[3] Valérie de DIANOUS, Référentiels, normes et guides de bonnes pratiques pour le stockage de Gaz Naturel Liquéfié (GNL)-Installations fixes, INERIS, 2011.

[4] : Saeid, M. and John, M. and Jaleel, V. and David, A.W., Handbook of Liquefied Natural Gas », Gulf Professional Publishing, 2014.

[5]. : Bilel Seif Eddine ZEDDAM, Modélisation des effets des phénomènes dangereux suite à une perte de confinement aux niveaux des bacs de stockage du GNL, Ecole Nationale Polytechnique, 2016.

[6] : Emmanuelle, Q.B., Fiche Simdut du GNL, GazMétroUsin LSR ,2015

[7] : Master recherche génie industrielles mémoire thème « Méthode d'analyse des Risques dans les entreprises générant des produits à risques » promotion 2008-2009

[8] : MSc S. Ameziane API ESB Risque Incendie/Explosion/moyen de lutte, Novembre 2007.

[9]: INERIS : Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle.

[10] : BERRAR Abderraouf, « Gestion des risques par l'analyse préliminaire au sein de complexe GL1/K-SONATRACH », Mémoire de fin d'étude Master, Université de Skikda, Promotion 2017.

[11] M. ROYER, "HAZOP : une méthode d'analyse des risques - Principe ," Techniques de l'ingénieur - Méthodes d'analyse des risques [en ligne], vol. TIB155DUO, no. SE4031, p. 25, Avr 2009, (consulté le 13/05/2020 à 20 : 31). Disponible sur : <https://qrgo.page.link/vr21Y>. P 68 |

[12] : Manuel d'Utilisation et de Maintenance, MUM RA 04 – 3483, 2006.

[13] : L. BRAZIER, Etude de Danger, SONATRACH AVAL Complexe GL2/Z, Bureau VERITAS, 2011.

Annexe

N°	Maille	Evénement redouté	Détail	n°	Causes	Conséquences	Mesures de prévention	Mesures de limitation des conséquences	F	G	Actions/ Remarques		
1	Bac de drainage des bras de chargement GNL 2105 F	Perte d'étanchéité externe	Surpression	1									
			Hausse de température	2									
			Corrosion interne	3	sans objet								
			Corrosion externe	4	Atmosphère saline		Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / Flash Fire	Inspection visuelle annuelle Acier Nickel	Détection gaz	2	1		
			Erosion	5	sans objet								
			Agression externe	6	Choc (mécanique, thermique)		Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / Flash Fire, feu torch	permis de travail, plan de levage Hors zone circulation	Détection gaz	2	3		
			Fuite de joint	7	Vieillessement du support, Vieillessement, mauvais serrage, défaillance qualité joint		Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / Flash Fire, feu torche	maintenance, inspection visuelle	Détection gaz	3	1		
			Fatigue	8	Contractions dilatations thermiques		Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / Flash Fire, feu torche	maintenance, inspection visuelle Acier Nickel	Détection gaz	2	1		
		Risque chimique	GNL	9	sans objet								
		Perte d'utilités	Electricité	10	Défaillance alimentation		Fermeture V2107/2108						
			Air instrument	11	Défaillance alimentation		Fermeture HV2077B (alim) + V2167 (soutirage liquide) Ouverture HV2077A (évent gaz)						

N°	Maille	Événement redouté	Détail	n°	Causes	Conséquences	Mesures de prévention	Mesures de limitation des conséquences	F	G	Actions/ Remarques	
1	Pompes de chargement de GNL2101 JA/B/C/E Pompes de maintien en froid 2103 J/JA	Perte d'étanchéité externe	Agressio nexterne	1	Choc (mécanique, thermique)	Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / FlashFire, feu torche	permis de travail, plan de levage Hors zone de circulation Soufflante d'air (ventilation zone)	Rétention, détection gaz, détection froid, détection flammes, injection de mousse HF, poudre	2	4		
				2	Inondations	Noyage de la fosse des pompes. Risque de court-circuit / électrocution	Pompes de relevage Pompes GNL étanches	Disjoncteurs sur pompes GNL	5	1		
			Fuite de joint ou garniture	3	Vieillessement prématuré du aux intempéries, défaillance qualité joint	Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / FlashFire, feu torche	maintenance	Déclenchement des pompes de relevage en cas de présence de GNL (détection de fuite GNL via LTD) Rétention, détection gaz, détection froid, détection flammes, injection de mousse HF, poudre	4	2		
		Bris du corps de pompe	Rupture d'élément tournant	4	Vibration	Sans conséquence car pompes immergées						
		Perte d'utilités	Electricité	5	Défaillance alimentation	sans conséquence						
			Air instrument	6	Défaillance alimentation	sans conséquence						
			Azote	7	Défaillance alimentation	Perte de l'injection d'azote Retour de gaz vers la boîte de jonction	PSL Alimentation par ballon d'azote de secours (ouverture manuelle)					

N°	Maille	Événement redouté	Détail	n°	Causes	Conséquences	Mesures de prévention	Mesures de limitation des conséquences	F	G	Actions/ Remarques		
1	Réservoirs de stockage GNL2101 FA/B/C	Perte d'étanchéité externe	Surpression	1							La liaison du système ESD entre GL1Z et GL2Z est HS. En cas de chargement ou de transfert inter-complexes, risque important en cas de fuite		
			Hausse de température	2									
			Corrosion interne	3	sans objet								
			Corrosio nexterne	4	Atmosphère saline + oiseaux (fientes) + EDM syst. déluge	Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / FlashFire	peinture anti corrosion, inspection visuelle annuelle Rinçage à l'eau douce	Syst. Déluge, rétention, détection gaz, détection froid, détection flammes, injection de mousse HF	2	1			
			Erosion	5	sans objet								
			Agressio nexterne	6	Choc (mécanique, thermique)	Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / FlashFire, feu torch	permis de travail, plan de levage	Rétention, syst. anti-sismique, détection gaz, détection froid, détection flammes, syst. déluge, injection de mousse HF	2	5			
			Fuite de joint	7	Vieillessement du support (ressorts à boudins) Vieillessement, mauvais serrage, défaillance qualité joint	Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / Flash Fire, feu torche	maintenance, inspection visuelle	Syst. Déluge, rétention, détection gaz, détection froid, détection flammes, injection de mousse HF	3	1			
			Fatigue	8	Contraction sdilatations thermiques	Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / FlashFire, feu torche	maintien en froid en permanence	Syst. Déluge, rétention, détection gaz, détection froid, détection flammes, injection de mousse HF	2	1			
			Débordement de bac	9	Information de niveau erronée	Rupture de l'enceinte externe Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / Flash Fire, feu torche	Bac en vase communicant LAH2002A1 (Alarme) LSHH2001A1 LSHH2001A (Alarme) Thermo-couple sur enveloppe sur toute hauteur (env. 100)	Rétention, détection gaz, détection froid, détection flammes, injection de mousse HF LSHH2001A (déclenche MOV2014A/2011/2015)	1	5	la mise en vase communicant a été mise en place contenu d'un vieillissement des MOV		
		Risque chimique	GNL	10	sans objet								

N°	Maille	Evénement redouté	Détail	n°	Causes	Conséquences	Mesures de prévention	Mesures de limitation des conséquences	F	G	Actions/ Remarques	
1	Compresseurs de vaporisation du bac de GNL 2109-JA/B/C/D/E	Perte d'étanchéité externe	Agression externe	1	Choc (mécanique, thermique)	Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / Flash Fire, feu torche	Plan de circulation Plan de levage		2	2		
			Fuite de joint	2	Vieillessement, mauvais serrage, défaillance qualité joint	Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / Flash Fire, feu torche	Maintenance Circuit étanchéité Azote Indicateurs huile lubrification		3	1		
		Bris du corps	Rupture d'élément tournant	3	Vibration	Projection missile et perforation de capacité Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / Flash Fire, feu torche	Maintenance Mesures de vibration ponctuelle TSH2011A/B/C/D/E (huile de graissage) PALL2035 (huile de graissage)		2	2		
		Perte d'utilités	Electricité	4	Défaillance alimentation	Arrêt du compresseur Sans conséquence pour la sécurité	Déclenchement du compresseur + Pompe attelée					
			Gaz d'étanchéité (Azote faible débit)	5	Défaillance alimentation	Perte du joint d'étanchéité, fuite de vapeur de GNL à l'atmosphère (débit important) Dispersion d'un nuage inflammable, UVCE / Flash Fire, feu torche		Ballon de secours d'Azote 2231-LF disposé avant chargement	2	1		
			Air instrument	6	Défaillance alimentation	Ouverture de la vanne de recyclage FV2010A/B/C/D/E anti-pompage Sans conséquence pour la sécurité						