

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Filière QHSE-GRI

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI

***Etude de sécurisation de l'interconnexion des  
lignes de stockage et de chargement du GNL  
des complexes GL1/Z et GL2/Z De la division LQS  
Sonatrach Arzew***

Bilel Seif Eddine ZEDDAM

Faiçal Kamel ATTALA

Proposé par H. ZEDDAM

Présenté et soutenu publiquement le 21/06/2016

**Composition du Jury :**

Président	Mme. Chahrazed BOUTEKEDJIRET,	Professeur	ENP
Rapporteur1	M. Aboubakr KERTOUS,	MA-B	ENP
Rapporteur2	M. Mohamed BOUBAKEUR,	MA-A	ENP
Examineur1	M. Amin BENMOKHTAR,	MA-A	ENP
Examineur2	M. Mohamed Tarek ATTOUCHI,	MA-A	ENP



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Filière QHSE-GRI

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI

***Etude de sécurisation de l'interconnexion des  
lignes de stockage et de chargement du GNL  
des complexes GL1/Z et GL2/Z De la division LQS  
Sonatrach Arzew***

Bilel Seif Eddine ZEDDAM

Faiçal Kamel ATTALA

Proposé par H. ZEDDAM

Présenté et soutenue publiquement le 21/06/2016

**Composition du Jury :**

Président	Mme. Chahrazed BOUTEKEDJIRET,	Professeur	ENP
Rapporteur1	M. Aboubakr KERTOUS,	MA-B	ENP
Rapporteur2	M. Mohamed BOUBAKEUR,	MA-A	ENP
Examineur1	M. Amin BENMOKHTAR,	MA-A	ENP
Examineur2	M. Mohamed Tarek ATTOUCHI,	MA-A	ENP

## **DEDICACE**

A mes parents à qui je dois tout,

A ma grande famille,

A toute personne ayant contribué à ma formation.

*Bilel Seif Eddine ZEDDAM*

## **DEDICACE**

J'ai le grand honneur de dédier ce travail à :

Ma très chère mère

Mon très cher père

Mes très chers frères

Ma chère Sœur

Tous les membres de ma famille,

Ainsi qu'à tous mes amis

*Faiçal Kamel ATTALA*

## **REMERCIEMENTS**

Nous tenons d'abord à remercier Madame C. BOUTEKEDJIRET d'avoir accepté la présidence du jury, ainsi que, Messieurs, A.BENMOKHTAR, M.T.ATTOUCHI de nous avoir fait l'honneur de faire partie de notre jury et pour le temps qu'ils sont en train de nous consacrer.

Nous aimerions remercier également toute l'équipe du complexe GL1/Z d'Arzew pour leur accueil, en particulier Monsieur Hakim ZEDDAM pour nous avoir accueillis au sein de son équipe et pour la confiance qu'il nous a accordée en suivant ce stage, ses conseils avisés nous ont guidés tout au long de ce travail. Que ce travail soit le témoignage de notre respect.

Nous remercions nos encadreurs, monsieur A.KERTOUS et monsieur M.BOUBAKEUR pour le rôle crucial qu'ils ont joué en supervisant ce projet, principalement pour le savoir qu'ils nous ont transmis et pour le temps qu'ils nous ont consacré, nous les remercions également pour les conseils, le soutien et les directives qui furent d'une importance capitale à notre compréhension et ainsi à l'aboutissement de ce projet. Nous souhaiterions remercier l'ensemble de nos professeurs de l'Ecole Nationale Polytechnique qui ont eu la politesse et la gentillesse de répondre à nos questions pendant nos études.

Un remerciement va à tous nos amis, pour leur soutien constant et pour l'atmosphère chaleureuse et rassurante qu'ils ont su créer autour de nous.

Enfin nous remercions nos deux familles, pour leur soutien moral et financier que nous considérons être une indispensable contribution à l'achèvement ce projet.

## ملخص:

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة تأمين قنوات تخزين و شحن الغاز الطبيعي المميع الرابطة بين المجمعين GL1/Z و GL2/Z لقسم التميع سونا تراك. في المقام الأول، قمنا بدراسة تحليلية للمخاطر أقيمت باستعمال طريقة (HAZOP) HAZard OPERability (HAZOP) ، متبوعة بدراسة LOPA لتحديد متطلبات الحواجز المزمع إقامتها. باستعمال برنامج PHAST قمنا بنمذجة التأثيرات الحرارية و الضغط الزائد للظواهر الخطرة. في المقام الثاني، اقترحنا نظام سلامة مجهز للتحكم في المخاطر المتعلقة بجميع طرق النقل، بالإستناد على النموذجين 61508 و 61511 للجنة الكهروتقنية الدولية. آخر مرحلة كرست لإدماج هذا النظام في النظام العام، والتحقق من مقاومة القناة للمطرقة المائية الناجمة عن التوقف الإضطرابي أثناء تفعيل الجهاز المقترح.

## الكلمات الدالة:

الغاز الطبيعي المميع، HAZOP, LOPA, PHAST ، مستوى السلامة الأمنية ، نظام سلامة مجهز، نظام إغلاق الطوارئ، المطرقة المائية.

## Abstract

This thesis aims to make a study of securing interconnection lines of storage and loading of LNG complex GL1 / Z and GL2 / Z of the LQS division of SONATRACH.

Firstly, a risk analysis study was developed using the Hazard Operability (HAZOP) method, followed by LOPA study to determine the requirements of the barriers to implement. By using the PHAST software, we modeled the thermal and the overpressure effects of the dangerous phenomenon.

Secondly, we proposed a Safety Instrumented System to control risks related to different transfer modes based on IEC 61508 and IEC 61511.

The final step is dedicated to the integration of this system into the overall system, and to check the resistance of the line towards water hammer generated by the Emergency ShutDown when the proposed SIS will be activated.

## Key words:

Liquefied Natural Gas, HAZOP, LOPA, PHAST, Safety Integrity Level, Safety Instrumented System, Emergency Shutdown, Water hammer.

## Résumé

Ce mémoire a pour objectif de faire une Etude de sécurisation de l'interconnexion des lignes de stockage et de chargement du GNL des complexes GL1/Z et GL2/Z, de la division LQS de SONATRACH.

En premier lieu, une étude d'analyse des risques a été élaborée à l'aide de la méthode HAZard OPERability (HAZOP), suivi par une étude LOPA pour déterminer les exigences des barrières à mettre en place. Par l'utilisation du logiciel PHAST, nous avons modélisé les effets thermiques et de surpression des phénomènes dangereux.

En second lieu, Nous avons proposé un Système Instrumenté de Sécurité pour maîtriser les risques liés aux différents modes de transfert en se basant sur la norme CEI 61508 et CEI 61511.

La dernière étape a été consacrée pour l'intégration de ce système dans le système globale, et de vérifier la résistance de la ligne, ayant subi un coup de bélier généré par l'arrêt d'urgence lors de l'activation du SIS proposée.

## Mots clés :

Gaz Naturel Liquéfié, HAZOP, LOPA, PHAST, Niveau d'intégrité de sécurité, Système instrumenté de sécurité, système d'arrêt d'urgence, Coup de bélier.

# TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE..... 13

## **Chapitre I** Généralités sur le Gaz Naturel Liquéfié

I.1 Introduction : ..... 19

I.2 historique du GNL : ..... 19

I.3 Caractéristique du GNL : ..... 20

I.3.1 Intérêt du GNL ..... 20

I.3.2 Propriété physique du GNL : ..... 21

I.3.3 Dangers Lies au GNL..... 22

## **Chapitre II** Etude Bibliographique sur l'Analyse et Maitrises des Risques

II.1 introduction ..... 29

II.2 HAZard OPerability (HAZOP)..... 29

II.2.1 Principe : ..... 30

II.2.2 Déroulement : ..... 31

II.2.3 Exemple de tableau HAZOP : ..... 31

II.2.4 Limites et Avantages ..... 32

II.3 LOPA ..... 33

II.3.1 Objectif de la méthode : ..... 33

II.3.2 Informations utilisées dans l'étude LOPA..... 33

II.3.3 Relation entre HAZOP et LOPA ..... 33

II.3.4 Déroulement de la méthode LOPA..... 34

II.3.5 Couche de protection : ..... 34

II.3.6 Limites et Avantage : ..... 36

II.4 Système instrumenté de sécurité..... 37

II.4.1 Conception d'un Système Instrumenté de Sécurité ..... 37

II.4.2 Mode de sollicitation ..... 39

II.4.3 Tests de système instrumenté de sécurité ..... 39

II.4.4 Niveau d'intégrité de sécurité ..... 41



### **Chapitre III** Présentation du complexe GL1/Z

III.1 Présentation de SONATRACH .....	44
III.2 Présentation du complexe GL1Z .....	44
III.2.1 Localisation et accès .....	44
III.2.2 Historique .....	45
III.2.3 Capacité de production .....	45
III.2.4 Organisation générale .....	45
III.3 Description de procès de liquéfaction de Gaz Naturel .....	47
III.3.1 Description générale .....	47
III.3.2 Trains de liquéfaction .....	47
III.3.3 Stockage et expédition.....	49

### **Chapitre IV** Analyse des risques de l'opération de transfert

IV.1 Introduction .....	56
IV.2 Etude Hazop .....	56
IV.2.1 Choix de mode de transfert .....	56
IV.2.2 Résultat de l'HAZOP .....	57
IV.2.3 Discussion des résultats de tableau l'HAZOP.....	57
IV.2.4 Corrosion des supports .....	59
IV.3 Etude LOPA .....	63
IV.3.1 Quantification des événements initiateurs et probabilité d'inflammation ....	65
IV.3.2 Analyse d'un scénario 1.1 : .....	65
IV.3.3 Résultat du LOPA : .....	68
IV.4 Analyse quantitative et simulation phast.....	69
IV.4.1 Condition météorologique .....	69
IV.4.2 La population.....	71
IV.4.3 Les scénarios de référence.....	71
IV.4.4 Fréquences d'occurrence de l'événement .....	72
IV.4.5 Fréquence d'occurrence des conséquences .....	72
IV.4.6 Modélisation des conséquences d'événement.....	74
IV.4.7 Discussions des résultats : .....	77

### **Chapitre V** Proposition de maîtrise des risques

V.1 introduction.....	82
V.2 Localisation géographique.....	82

V.2.1 Pipelines d'interconnexion : .....	82
V.3 presentation de la solution de maitrise .....	83
V.3.1 Capteurs .....	84
V.3.2 Unité de traitement .....	84
V.3.3 Actionneur .....	85
V.4 Allocation du SIL .....	87
V.4.1 Paramètre utilisé dans le calcul du SIL : .....	88
V.5 Intégration dans le système ESD globale du transfert.....	92
V.5.1 Sélecteur d'acheminement.....	92
V.5.2 Echange d'information des systèmes de contrôle.....	93
V.5.3 Matrice de cause à effet .....	94
V.5.4 Implémentation de la matrice cause à effet dans l'automate :.....	96
<b>Chapitre VI</b> Etude des effets de coup de bélier	
VI.1 Introduction .....	102
VI.2 L'origine du phénomène .....	102
VI.2.1 Causes fréquentes du coup de bélier .....	102
VI.2.2 Les conséquences du phénomène.....	103
VI.3 Description des phénomènes de coup de bélier .....	103
VI.3.1 Vitesse de propagation des ondes.....	105
VI.3.2 Les équations de propagation.....	105
VI.4 Calcul de la pression maximale dans la conduite.....	107
VI.4.1 Données physiques :.....	107
VI.4.2 Calcul de la célérité de l'onde de surpression.....	107
VI.4.3 Calcul de la surpression $\Delta P_{max}$ .....	108
VI.4.4 La pression totale dans la conduite $P_{t,max}$ .....	108
Conclusion générale .....	110
Bibliographie .....	112
Annexes .....	114

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1: Exemple de tableau HAZOP .....	31
Tableau II-2: Données élaborées au cours de l'étude HAZOP pour l'analyse LOPA .....	33
Tableau II-3: Couches de protection définies dans la méthode LOPA .....	35
Tableau II-4: Niveaux d'intégrité de sécurité selon la norme CEI 61508 .....	41
Tableau III-1: Les modes de transfert du GNL .....	51
Tableau III-2: Etat des vannes des modes de transferts.....	53
Tableau III-3: Correspondance des codes des vannes .....	54
Tableau IV-1: Répartitions des déviations.....	57
Tableau IV-2: Scénario retenue pour l'étude LOPA.....	64
Tableau IV-3: Fréquences d'occurrence pour des événements initiateurs .....	65
Tableau IV-4: Probabilité d'ignition selon le Phénomène dangereux .....	65
Tableau IV-5: Fiche de synthèse LOPA pour scénario 1.1 .....	67
Tableau IV-6: Distance des agglomérations par rapport au site.....	71
Tableau IV-7: Scénario retenu pour l'étude .....	71
Tableau IV-8: Fréquence de défaillance pour les canalisations aérienne.....	72
Tableau IV-9: Fréquence de défaillance de la ligne 30"LNG-81214-1939 .....	72
Tableau IV-10: Probabilité d'ignition instantanée pour une installation fixe.....	73
Tableau IV-11: Probabilité d'ignition en une minute .....	73
Tableau IV-12: Seuil des effets thermiques .....	75
Tableau IV-13: Seuil des effets de surpression .....	75
Tableau IV-14: Données de modélisation du scénario .....	76
Tableau V-1: Donnée de fiabilité relative aux éléments constituant le SIS .....	88
Tableau V-2: Formules de calcul de $PFD_{avg}$ issues de la norme CEI 61508-6 .....	89
Tableau V-3: Sélection d'acheminement indiquant le mode d'utilisation dans la salle de contrôle de GL1Z et GL2Z .....	92
Tableau V-4: Matrice Cause-à-effet .....	95
Tableau V-5: Les entrées de schéma grafcet .....	96
Tableau V-6: Les sorties de schéma grafcet .....	97

## LISTE DES FIGURES

Figure I-1: Volume du commerce mondial de GNL 1970-2014.....	20
Figure I-2: Chaîne du GNL .....	21
Figure I-3: Concentration à la limite du nuage visible de vapeurs de GNL en fonction de l'humidité relative atmosphérique .....	24
Figure II-1: Déroulement de la méthode HAZOP .....	31
Figure II-2: Déroulement de la méthode LOPA .....	34
Figure II-3: Différentes couches de protection suivant LOPA.....	35
Figure II-4: Schéma d'un Système Instrumenté de Sécurité .....	37
Figure II-5: Impact des tests périodiques sur la disponibilité.....	40
Figure III-1: Plan de masse du complexe GL1Z .....	46
Figure III-2: Schéma simplifié de l'interconnexion entre GL1Z et GL2Z.....	52
Figure IV-1: Chemin de transfert D .....	56
Figure IV-2: Illustration du tronçon le plus faible.....	58
Figure IV-3: Illustration des supports de la ligne 30"-LNG-81214-1939 .....	59
Figure IV-4 : Illustration des résultats de calcul .....	61
Figure IV-5: Contrainte normale de flexion .....	61
Figure IV-6: Phénomènes dangereux et leurs causes .....	64
Figure IV-7: Description du scénario 1.1 suivant la méthode LOPA .....	65
Figure IV-8: Distribution des Scénarios .....	68
Figure IV-9: Variation interannuelle de températures sur Arzew .....	69
Figure IV-10: Distribution fréquentielles des quatre classes de vitesse .....	70
Figure IV-11: Distribution des classes de vent selon les directions .....	70
Figure IV-12: Arbre d'événement d'une fuite moyenne de la ligne 30"LNG-81214-1939.....	74
Figure IV-13: Courbe de concentration du gaz dispersé .....	77
Figure IV-14: Distances des effets thermiques du feu de nappe .....	78
Figure IV-15: Distance du feu d'un flash-fire .....	78
Figure IV-16: Distances des effets de surpression du UVCE .....	79
Figure V-1: Situation des points sensibles .....	83
Figure V-2: Etat actuelle de la ligne .....	83
Figure V-3: Emplacement des détecteurs de gaz et de feu .....	84
Figure V-4: Architecture du SIS.....	85
Figure V-5: Positionnement des détecteurs et des vannes.....	86
Figure V-6: Schéma Grafcet.....	99
Figure VI-1: Subdivision de la conduite .....	104

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>AIE</b>	Agence Internationale de l'Energier
<b>ALARP</b>	<i>As Low As Reasonably Practicable</i> (aussi bas que raisonnablement possible)
<b>APCI</b>	<i>Air Products and Chemicals Inc</i>
<b>BAPE</b>	Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement
<b>BLEVE</b>	<i>Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion</i> (Vaporisation explosive d'un liquide porté à ébullition)
<b>CCPS</b>	<i>Center for Chemical Process Safety</i>
<b>DCS</b>	<i>Distributed Control System</i> (système de contrôle et de commande distribué)
<b>ESD</b>	<i>Emergency shutdown</i> (système d'arrêt d'urgence)
<b>EUC</b>	<i>Equipment Under Control</i> (équipement à protéger)
<b>GNL</b>	Gaz Naturel Liquéfié
<b>GPL</b>	Gaz de pétrole Liquéfié
<b>Grafcet</b>	Graphe Fonctionnel de Commande Etapes / Transitions
<b>HAZOP</b>	<i>HAZard and OPerability Study</i>
<b>ICI</b>	<i>Imperial Chemical Industries</i>
<b>IEC (CEI)</b>	<i>International Electrotechnical Commission</i> (commission électrotechnique internationale)
<b>IPL</b>	<i>Independent Protection Layer</i> (couche de protection indépendante)
<b>LOPA</b>	<i>Layer of Protection Analysis</i> (analyse de Couche de protection)
<b>LQS</b>	Liquéfaction
<b>MCR</b>	Multi Composant Réfrigérant
<b>MEA</b>	MonoEthanolAmine
<b>MMR</b>	Mesures de Maîtrise des Risques
<b>MooN</b>	<i>M out of N</i> (M parmi N).
<b>PDAT</b>	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
<b>PDAU</b>	Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
<b>PFD</b>	<i>Process Flow Diagram</i> (Plan de Circulation des Fluides)
<b>PFD<sub>avg</sub></b>	<i>Probability of Failure on Demand</i> (probabilités de défaillance à la demande)

<b>PFH</b>	<i>Probability of Failure per Hour</i> (probabilité de défaillance par heure)
<b>PHAST</b>	<i>Process Hazard Analysis Software Tool</i>
<b>PID</b>	<i>Piping Instrumentation Diagram</i> (Diagramme des processus & de l'instrumentation)
<b>PNB</b>	Produit National Brut
<b>RRF</b>	<i>Risk Reduction Factor</i> (Facteur de Réduction des Risques)
<b>SIF</b>	<i>Safety Instrumented Function</i> (Fonction Instrumentée de Sécurité)
<b>SIL</b>	<i>Safety Integrity Level</i> (niveau d'intégrité de sécurité)
<b>SIS</b>	<i>Safety Instrumented Systems</i> (système Instrumenté de sécurité)
<b>TRP</b>	Transition Rapide de Phase
<b>UDM</b>	<i>Unified Dispersion Model</i> (modèle unifié de dispersion)
<b>UIC</b>	Union des Industries Chimiques
<b>UVCE</b>	<i>Unconfined Vapour Cloud Explosion</i> (explosion de vapeur en milieu non confiné)

# *INTRODUCTION GENERALE*

Depuis dix ans, le commerce du Gaz Naturel Liquéfié (GNL) a presque doublé. D'après les estimations de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), il devrait plus que quintupler d'ici 2030. En 2003, un quart des échanges de gaz naturel a été réalisé sous forme de GNL, cette part pourrait augmenter à 40% d'ici 2035 [1].

L'industrie de liquéfaction de gaz naturel a facilité son transport en réduisant son volume de 600 fois. L'Algérie dispose d'une réserve de gaz considérable dans la zone de Hassi R'mel. Une partie importante de ce gaz, soit 70 %, est transportée vers la zone industrielle d'Arzew, où se situent les deux complexes GL1/Z et GL2/Z, qui forment le plus grand ensemble de liquéfaction connu sur la côte méditerranéenne.

Néanmoins le risque engendré par ce transfert est très important. En effet 24 accidents concernant les stockages de GNL et leurs lignes de transfert ont été recensés depuis 1944[2], dont deux en Algérie on cite :

- l'explosion au complexe de liquéfaction de gaz naturel de Skikda en 2004 qui a causé 23 décès [3]
- La défaillance d'une vanne en aluminium est à l'origine d'un rejet de GNL pendant environ 10 heures au complexe de liquéfaction de gaz naturel d'Arzew, en 1977 [3]

Ces catastrophes ont fait émerger une culture du risque, de la sécurité industrielle et une conscience de l'impact sur l'environnement des activités industrielles, la maîtrise des risques est devenue une préoccupation primordiale.

Les exigences sociétales actuelles imposent que les installations industrielles présentent le moins de risques possibles durant leurs utilisations. C'est dans la phase de conception que l'on doit intégrer les éléments nécessaires à la sûreté de fonctionnement de ces installations. Deux approches permettent cette diminution du risque, la prévention en minimisant la probabilité d'apparition d'un risque, et la protection en limitant les conséquences d'un dysfonctionnement.

Les moyens à mettre en œuvre pour réduire les risques sont nombreux et variés. Parmi les équipements utilisés pour réduire le risque, les Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS) qui interviennent dans le cas où le process se trouve dans des conditions dangereuses de fonctionnement. Les SIS sont utilisés dans l'industrie de transformation pour réaliser une ou

plusieurs fonctions instrumentées de sécurité SIF. Les normes IEC 61508 et IEC 61511 ont établi à travers des prescriptions relatives à la spécification, l'exploitation et la maintenance de ces systèmes.

L'implémentation des SIS dans un système nécessite la détermination préalable du niveau d'intégrité de sécurité SIL (Safety integrity Level) qui devrait être atteint par la fonction instrumentée. L'évaluation du niveau d'intégrité de sécurité est déterminée par des méthodes qualitatives et quantitatives.



## *PROBLEMATIQUE*

De nombreux accidents technologiques survenus dans le monde sont en relation avec le transport des hydrocarbures. Par conséquent, le groupe SONTARACH doit adopter une politique de prévention des risques basée sur une étude de danger approfondie afin de bien repérer et de contrôler les enjeux humains, matériels et environnementaux, ce qui n'est pas le cas pour la ligne de transfert de GNL entre les deux complexes GL1/Z et GL2/Z.

Avec ce système de transfert, le GNL de l'un des sites peut être transféré aux bacs de stockage de GNL de l'autre site. Le même système permet d'utiliser les postes d'amarrage des autres sites pour charger le GNL à bord des méthaniers. Il assure une grande flexibilité dans les cas suivant :

- Manque dans la production dans l'un des deux complexes.
- Un problème dans le quai de chargement de l'un des complexes
- Les conditions météorologiques qui empêchent l'accès du méthanier

Le transfert se fait manuellement et requière la présence d'un opérateur. Et vu que la communication se fait par radio, le transfert est considéré, comme étant non sécurisé puisqu'il y a une absence totale des équipements nécessaires à la sécurité.

SONATRACH envisage d'améliorer l'interface des pipelines entre GL1/Z et GL2/Z, pour les besoins de stockage et de chargement du GNL, et la rendre opérationnelle en toute sécurité.

A ce titre, nous allons réaliser une étude de sécurisation de l'interconnexion des lignes de stockage et de chargement du GNL des complexes GL1/Z et GL2/Z.

## ***ORGANISATION DU MEMOIRE***

Ce mémoire s'articule autour de six chapitres:

Le premier chapitre est composé d'une étude bibliographique sur le Gaz Naturel Liquéfié, où essayera de détailler les différentes caractéristiques ainsi que les dangers liés à son caractère inflammable.

Le deuxième chapitre est consacré à la description des différentes notions utilisés dans l'étude (une étude bibliographique sur l'analyse des risques), on va définir et donner la démarche de la méthode d'analyse des risques HAZOP, décrire les phénomènes dangereux susceptible d'apparaître, ensuite, on verra comment la méthode LOPA permet de déterminer le niveau d'intégrité SIL des différentes barrières à mettre en place, et en dernier, de connaître ce que s'est un SIS et quel est son utilité.

Dans Le troisième chapitre on va présenter brièvement le complexe GL1/Z, le procédé de production et les modes de transfert.

Dans Le quatrième chapitre, on va procéder à l'élaboration d'une étude HAZOP, pour analyser tous les risques liés au transfert de GNL, une étude formelle sur la corrosion des supports portant la ligne, suivi par une modélisation par le programme PHAST des effets des différents phénomènes dangereux, et de déterminer par la suite, le niveau de SIL des barrières à mettre en place.

Le cinquième chapitre représente l'essentiel de notre travail, où on va proposer un SIS permettant de justifier un niveau de risque acceptable, et on va l'intégrer dans le système d'arrêt d'urgence (emergency Shutdown globale).

Dans le dernier chapitre on s'intéressera, à l'effet de l'apparition du phénomène de coup de bélier, généré par le SIS proposé au chapitre précédent.

### ***Champs et limites de l'étude***

La présente étude est considérée comme étant, une étude de sécurisation de l'interconnexion des lignes de stockage et de chargement du GNL des complexes GL1/Z et GL2/Z de SONATRACH AVAL. Le document est établi en référence aux informations disponibles sur les deux complexes.

La présente étude porte sur les équipements et installations qui sont utilisés, dans le transport de GNL entre les deux complexes.

L'analyse des risques réalisée est orientée vers les risques qui pourraient avoir une conséquence grave sur l'environnement (accident majeur).

Cette étude doit être mise à jour périodiquement lors d'une modification significative des modalités de transfert inter-complexe.

## ***BASE DE DONNEES DE L'ETUDE :***

### ***Relatifs au site***

Les documents ayant servis de base de travail pour la réalisation de cette étude sont :

- les manuels opératoires,
- les schémas PFD,
- les schémas PID,
- OREDA
- Purple Book.

### ***Réglementation et norme***

- Loi n° 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable,
- Décret exécutif n° 06/162 du 17 Mai 2006 déclarant les zones industrielles d'Arzew respectivement des zones à risques majeurs,
- Décret exécutif n° 06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement,
- Norme IEC 61508--2000, Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques/ électroniques programmables relatifs à la sécurité
- Norme IEC 61511--2003, Sécurité fonctionnelle -système instrumenté de sécurité pour le domaine de la production par processus-,

*Chapitre I Généralités sur le Gaz Naturel  
Liquéfié*

#### **I.1 INTRODUCTION :**

Le gaz naturel liquéfié (GNL) est un gaz naturel (composé essentiellement de méthane) condensé à l'état liquide. Il jouera un rôle de plus en plus important dans l'industrie mondiale de l'énergie, car les réserves mondiales de gaz naturel sont abondantes et son état condensé facilite son transport sur de longues distances par les voies maritimes, donnant naissance à de véritables chaînes d'approvisionnement incluant les puits producteurs, les usines de traitement, les réseaux de gazoducs, les usines de liquéfaction, et les terminaux de chargement des méthaniers.

Toute manipulation du GNL dans les différentes phases (production, stockage, et transport) peut engendrer des catastrophes, liées au fait qu'il soit explosif et inflammable. Pour bien assurer la sécurisation de la ligne de transfert il nous faut connaître les caractéristiques du GNL.

Dans ce qui va suivre, nous allons traiter les propriétés physiques et chimiques du composé, et de voir où consiste sa dangerosité.

#### **I.2 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 pas question, ni de terminaux de GNL, ni de transport trans-océanique. 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 « Methane 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 arrivé à 13 milliards de mètres cubes. En 2013, le volume du commerce de GNL a totalisé 325 milliards de mètres cubes. [2]

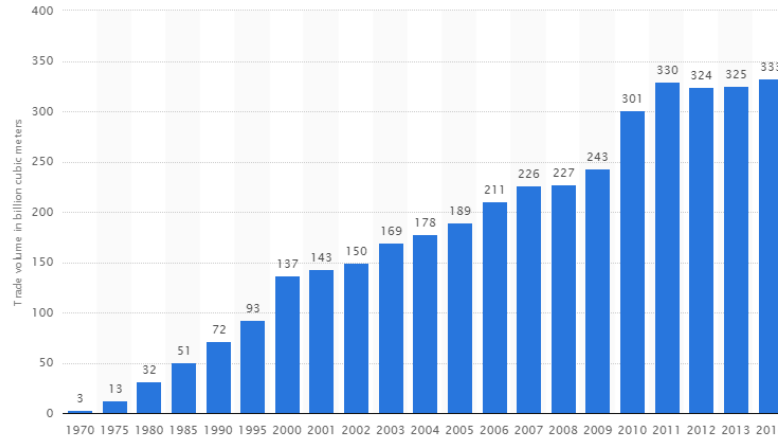


Figure I-1: Volume du commerce mondial de GNL 1970-2014  
(Source : statista.com)

### I.3 CARACTERISTIQUE DU GNL :

L'industrie du GNL utilise des technologies et des consignes de sécurité de pointe qui s'appuient sur de nombreux codes, normes et mécanismes de surveillance réglementaire pour assurer la sécurité et la fiabilité des installations de GNL. Dans cette partie on décrit les propriétés physiques et les dangers liés au caractère inflammable du GNL

#### I.3.1 Intérêt du GNL

La liquéfaction du gaz naturel réduit le volume occupé par le gaz de plus de 600 fois. Le GNL est donc une solution avantageuse par rapport au gaz naturel en phase gazeuse pour le transport et le stockage.

Une « chaîne GNL » est mise en place lorsque la construction d'un gazoduc n'est pas envisageable, le plus souvent en raison de coûts de construction trop élevés, de la distance de transport, d'une étape maritime imposée ou de contraintes géopolitiques. Plusieurs grandes étapes constituent cette chaîne GNL, de la liquéfaction du gaz naturel jusqu'à la regazéification pour fournir le gaz au consommateur final.

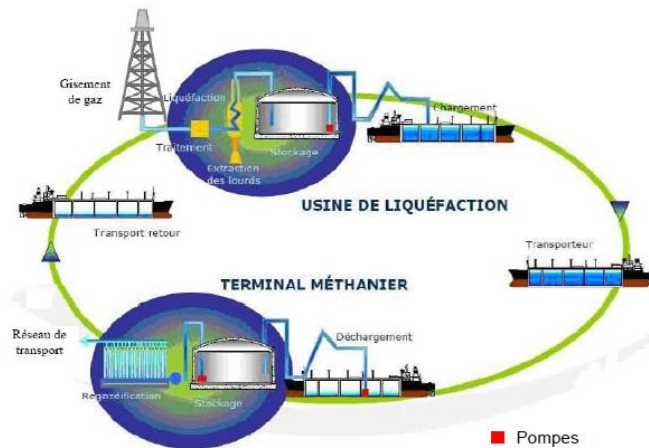


Figure I-2: Chaîne du GNL

(Source : Bureau de l'Environnement Canadien – BAPE)

### I.3.2 Propriété physique du GNL :

#### I.3.2.1 Généralité sur le GNL

Le GNL est du gaz naturel qui a été refroidi jusqu'à son point d'ébullition, de telle sorte qu'il se retrouve à l'état liquide à pression atmosphérique. Ce point d'ébullition varie avec la composition du gaz naturel, mais se situe néanmoins aux alentours de  $-160^{\circ}\text{C}$ .

Le GNL est essentiellement composé de méthane, et contient d'autres hydrocarbures tels que l'éthane, le butane, le propane, et en quantités moindres du pentane, de l'azote, de l'oxygène, du dioxyde de carbone, et des composés sulfurés. Selon la norme européenne NF EN 1160.

« Caractéristiques générales du Gaz Naturel Liquéfié », la proportion de méthane dans le mélange doit être supérieure à 75 % pour que celui-ci soit considéré comme du GNL. Cette proportion se situe le plus souvent aux alentours de 90 %.

La liquéfaction du gaz naturel est effectuée à pression atmosphérique, et le GNL est donc transporté à la pression ambiante. [2]

#### I.3.2.2 Densité du GNL

La densité du GNL dépend principalement de sa composition, mais aussi de sa température. Elle est comprise généralement entre  $430$  et  $470 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

La densité des vapeurs de GNL (c'est-à-dire la densité du gaz naturel) varie avec la température : elle décroît si la température du gaz augmente. Les vapeurs de GNL à température d'ébullition ( $-162^{\circ}\text{C}$ ) et à pression atmosphérique ont une densité d'environ  $1,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Cependant, la densité relative d'un nuage de gaz naturel pur à  $-110^{\circ}\text{C}$  est proche de 1, et à température ambiante, la densité du gaz naturel pur est d'environ 0,6. A cette température, il est donc plus léger que l'air.

Un nuage de vapeurs de GNL créé par une nappe de GNL a donc une densité initialement plus importante que celle de l'air. Peu à peu, les vapeurs vont d'une part se réchauffer et d'autre

part se mélanger avec l'air ambiant, qui, lui, va alors se refroidir donc s'alourdir. La densité d'un tel mélange sera ainsi supérieure à celle du gaz naturel pur à la même température.[4]

#### **1.3.2.3 Toxicité du GNL**

Le GNL est non toxique et non corrosif. En outre, les vapeurs de GNL sont incolores et inodores bien que le gaz naturel utilisé dans les résidences privées ait une forte odeur. Cela vient du fait qu'un gaz odorant est ajouté au gaz naturel avant son envoi dans le réseau de distribution, afin de détecter les fuites plus facilement. [4]

#### **1.3.2.4 Inflammabilité du GNL**

Les vapeurs de GNL mélangées à l'air sont inflammables dans une certaine gamme de concentration. La Limite Inférieure d'Inflammabilité (LII) et la Limite Supérieure d'Inflammabilité (LSI) du méthane sont respectivement de 5% et de 15% en volume dans l'air à une température de 25°C. Les limites d'inflammabilité des vapeurs de GNL dépendent de sa composition, mais la norme européenne NF EN 1160 considère le même domaine d'inflammabilité. [4]

La température d'auto-inflammation des vapeurs de GNL dépend de la composition exacte du GNL. Elle est très souvent de l'ordre de 540-595°C.

### **I.3.3 Dangers Lies au GNL**

#### **1.3.3.1 Dangers liés à la température cryogénique du GNL**

A cause de sa température très basse, un épandage de GNL peut endommager les structures et blesser les personnes se trouvant dans sa proximité.

En effet, les matériaux qui ne sont pas spécialement conçus pour des températures cryogéniques subissent des contraintes thermiques et deviennent cassants s'ils sont en contact avec du GNL. Un épandage de GNL peut donc fragiliser les surfaces et les connexions, et peut créer des dommages additionnels sur les structures proches de la source de fuite.

Pour ce qui est des effets sur les personnes, le liquide cryogénique et les vapeurs qu'il produit peuvent entraîner des dommages sur la peau, similaires à une brûlure (brûlure «froide»). Une exposition brève peut entraîner des dommages sur des tissus délicats comme les yeux, une exposition prolongée peut causer des gelures aussi bien que des brûlures et des dommages aux poumons. De plus, si la peau entre en contact avec un métal très froid, elle peut rester collée au métal [4].

Les dangers pour l'homme liés à la température cryogénique du GNL relèvent à priori du risque pour les travailleurs car les personnes situées à l'extérieur du complexe d'Arzew/Bethioua sont plutôt exposées aux vapeurs de GNL réchauffées par l'air ambiant.



### I.3.3.2 Dangers liés à un épandage de GNL

#### I.3.3.2.1 Rejet de GNL

Une fuite sur un équipement ou une canalisation contenant du GNL libère le produit sous forme liquide. Puisque celui-ci se trouve à son point d'ébullition et se réchauffe au contact de l'air ambiant, une partie du liquide se vaporise instantanément à la sortie de l'orifice, c'est le « flash », tandis que le reste se dirige vers le sol sous forme de gouttelettes. Une partie de ces gouttelettes peut encore s'évaporer avant d'atteindre le sol et les chutes finales des gouttelettes forment une nappe de GNL [5].

La forme et la durée de vie de cette flaque de liquide sont gouvernées par plusieurs paramètres, et en particulier :

- Le type de sol : toute la quantité de GNL présente dans la flaque s'évapore à cause des apports thermiques en provenance de l'air, du soleil et surtout du sol. Les variations du taux d'évaporation au cours du temps dépendent principalement du mode dominant de transfert de chaleur en provenance du sol, et on peut distinguer :
  - la formation d'une nappe sur la terre ou sur un revêtement thermiquement isolant (ex :béton calorifugé) : l'apport de chaleur se fait principalement par conduction, le revêtement thermiquement isolant ayant une conductivité thermique volontairement faible,
  - la formation d'une nappe sur l'eau : l'apport de chaleur se fait principalement par convection et le brassage de l'eau ainsi créé induit un échange beaucoup plus efficace qu'une conduction thermique. L'évaporation de GNL sur l'eau est donc beaucoup plus rapide que sur la terre et peut initier un phénomène particulier, appelé Transition Rapide de Phase (TRP),
- La nature du sol : les caractéristiques de porosité et de rugosité du sol influencent l'étalement de la nappe, de manière similaire à toute autre flaque de liquide,
- La présence de dispositif de rétention : un tel dispositif pose une contrainte sur la forme de la flaque (tant que celle-ci ne déborde pas). Cette contrainte a une influence non négligeable sur le taux d'évaporation car elle limite l'efficacité des échanges thermiques avec le sol en diminuant la surface de contact,
- La composition du GNL.

L'évaporation de la flaque s'arrête lorsqu'il n'y a plus de GNL et la flaque disparaît alors, laissant éventuellement derrière elle une zone gelée. Il n'y a pas de pollution du sol.

#### I.3.3.2.2 Dispersion des vapeurs de GNL

Si les vapeurs de GNL issues de l'évaporation d'une nappe ou directement dégagées par un rejet depuis un équipement ou une canalisation ne sont pas immédiatement enflammées, le GNL continue de s'évaporer et crée un nuage très froid qui reste près du sol ou de la surface de la mer.

L'humidité de l'air se condense dans le nuage à cause des basses températures qui y règnent à l'intérieur, ce qui forme des petites particules d'eau liquide ou des flocons de neige et rend le nuage visible. Cette condensation de l'humidité réchauffe le nuage de vapeurs et l'allège. Ainsi, en cas de dispersion en champ libre, un nuage de vapeurs de GNL voit sa densité diminuer au fur et à mesure qu'il s'étend et se mélange avec de l'air.

La taille du nuage est la plus grande par temps calme et décroît si la vitesse du vent augmente, le vent ayant pour rôle de disperser le gaz. Des études ont essayé de déterminer la concentration atteinte à la frontière du nuage visible. La figure I-3 montre que cette concentration dépend de l'humidité de l'atmosphère [5].

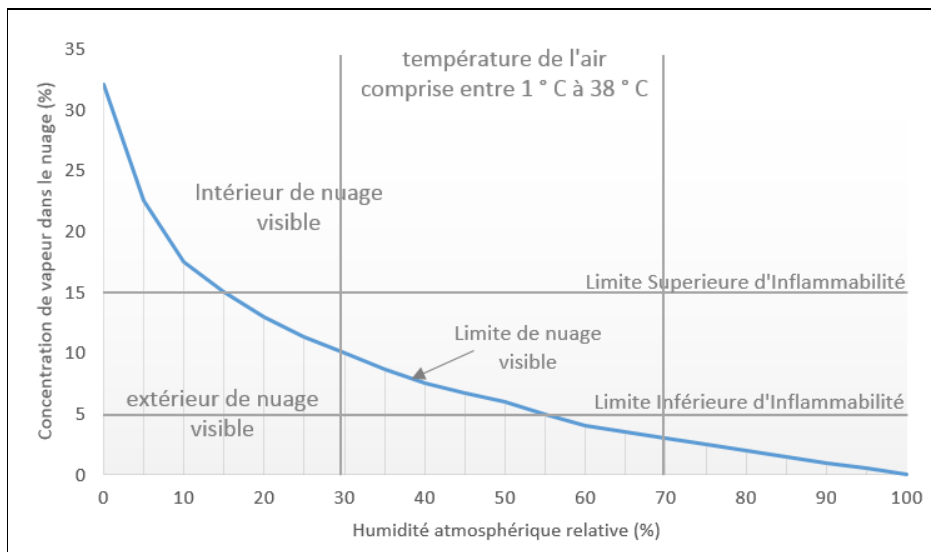


Figure I-3: Concentration à la limite du nuage visible de vapeurs de GNL en fonction de l'humidité relative atmosphérique

Ainsi, pour un taux d'humidité supérieur à 55%, la Limite Supérieure d'Inflammabilité et la Limite Inférieure d'Inflammabilité se trouvent dans le nuage visible. Cela signifie que le nuage inflammable est totalement inclus dans le nuage visible.

Dans le cas contraire, si le taux d'humidité est inférieur à 55%, le nuage inflammable peut être en partie ou en intégralité en dehors du nuage visible, donc les vapeurs peuvent être enflammées même si la source d'inflammation est éloignée du nuage visible.

Dans un environnement côtier comme l'est celui du complexe de Arzew / Bethioua, l'humidité relative est bien supérieure à la valeur de 55%. Le nuage visible représente donc une information fiable pour localiser les vapeurs inflammables de GNL.

#### I.3.3.2.3 Transition Rapide de Phase [4]

Lorsqu'une quantité importante de GNL se répand sur l'eau à un débit important, un phénomène nommé Transition Rapide de Phase (TRP) peut survenir : Le mécanisme physique d'une TRP n'est pas encore tout à fait maîtrisé, mais il est généralement expliqué par la théorie de la surchauffe.

Une TRP survient lorsque deux liquides de température différente sont subitement mis en contact, et si la température du liquide le plus chaud est sensiblement supérieure à la température de surchauffe du liquide le plus froid.

La température de surchauffe est la température maximale au-delà du point d'ébullition qu'un liquide peut atteindre dans certaines conditions (un réchauffement extrêmement rapide par exemple) sans atteindre l'ébullition.

La plus basse température augmente rapidement jusqu'à cette température de surchauffe, le liquide atteint sa limite de stabilité thermodynamique et finalement s'évapore dans un intervalle de temps très court, causant une surpression similaire à une onde de pression provoquée par une explosion.

Dans le cas d'un épandage de GNL à température cryogénique sur l'eau, la chaleur est transférée très rapidement de l'eau au GNL, faisant atteindre pour une partie du GNL la limite de surchauffe, celle-ci se convertissant alors instantanément en phase gazeuse. Une grande quantité d'énergie est relâchée durant cette transition rapide entre deux phases, et des surpressions peuvent être créées.

### **I.3.3.3 Dangers liés au caractère inflammable du GNL**

#### **I.3.3.3.1 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).

L'impact d'un feu de nappe dépend de la taille de la surface en feu, du produit qui se consume et de la durée de l'incendie.

De manière générale, les principales conséquences observées de manière récurrente sont la pollution des eaux de surface ainsi que la contamination des sols, voire des eaux souterraines, plus rarement, des blessés ou des morts. Les effets thermiques observés dépendront de la taille de la nappe ainsi que du combustible.

#### **I.3.3.3.2 Feu de nuage – Explosions - UVCE**

Lorsque du GNL se répand sous forme de nappe, s'évapore et que ses vapeurs de GNL ne rencontrent pas immédiatement de source d'inflammation à proximité, celles-ci se dispersent dans l'air en s'éloignant de la nappe.

Dès 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.

Cependant, des niveaux de surpression plus importants peuvent être atteints si la répartition des vapeurs de GNL et de l'oxygène est exactement proportionnelle à celle écrite lorsque l'on équilibre la réaction de combustion. C'est le mélange donnant le meilleur rendement. Ce phénomène est une explosion Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE), de type déflagration. Il peut mener à des pics de surpression de l'ordre de 4 à 10 bars.

#### I.3.3.3 *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 d'un équipement après inflammation.

#### I.3.3.4 *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 de proximité d'une capacité, qui réchauffe le gaz liquéfié stocké à l'intérieur, augmente sa pression, et affaiblit dans le même temps l'enveloppe 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 de proximité, s'affaiblira et cédera 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 mis sous pression.

### I.3.3.4 Autres types de dangers liés au GNL

#### I.3.3.4.1 Anoxie

Les vapeurs de GNL ne sont pas toxiques pour l'homme, mais peuvent être la cause d'asphyxie si la proportion d'oxygène n'est plus assez importante dans l'air respiré.

En effet dans le cas d'un épandage, si les vapeurs de GNL ne s'enflamment pas, leurs concentrations augmentent, 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.

Il faut noter que ce phénomène reste néanmoins limité à la zone proche du rejet car les concentrations en vapeurs de GNL requises pour abaisser la teneur en oxygène à un niveau suffisamment bas sont assez élevées.

Par conséquent, le danger relatif au phénomène d'anoxie ne concerne pas vraiment les personnes situées à l'extérieur de l'installation, mais plutôt les équipes de réponse aux situations d'urgence, qui seraient amenées à intervenir au plus près d'un rejet de GNL. Ce phénomène relève donc du risque professionnel.

#### I.3.3.4.2 Roll-over

Le GNL est majoritairement composé de méthane (souvent à 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 compositions différentes 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.

**Chapitre II** *Etude Bibliographique sur  
l'Analyse et Maitrises des Risques*

*Etude Bibliographique sur l'Analyse et Maitrises des Risques*

## **II.1 INTRODUCTION**

Flixborough, Seveso, Bhopal, Schweizerhalle: derrière ces noms et d'autres, autant de catastrophes industrielles qui ont conduit à dégager la notion d'accident majeur et à rechercher les moyens de prévenir ces accidents ou d'en limiter les conséquences s'il devait tout de même se produire.

Qu'il s'agisse d'incendies, d'explosions ou d'émissions toxiques, ces accidents peuvent faire en effet de nombreuses victimes parmi les travailleurs et la population, avec des conséquences souvent fatales, exiger l'évacuation des habitants des zones touchées, porter de graves atteintes à l'environnement. La question est à l'ordre du jour partout dans le monde. Comment prévenir les catastrophes industrielles?

La production, le stockage et l'utilisation d'une quantité toujours croissante de produits dangereux entraînent inéluctablement des risques d'accident majeur.

On s'attachera, dans ce chapitre, à présenter la méthode HAZOP (Hazard and operability study), une méthode d'analyse des risques.

Ensuite On s'intéressera à présenter la méthode LOPA (Layer of Protection Analysis) qui permet de définir les exigences minimales sur la probabilité de défaillance des barrières à mettre en place afin de réduire les risques dans le but de les rendre acceptables, parmi ces barrières se trouvent les systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS), ces dernier sont aussi détaillé dans ce chapitre.

## **II.2 HAZARD OPERABILITY (HAZOP)**

La méthode HAZOP a été développée par la société «Imperial Chemical Industries (ICI)» au début des années 1970. Elle sert à évaluer les dangers potentiels résultants des dysfonctionnements d'origine humaine ou matérielle et aussi les effets engendrés sur le système [6].

L'Union des Industries Chimiques (UIC) a publié en 1980 une version française de cette méthode dans son cahier de sécurité n°2 intitulé « Etude de sécurité sur schéma de circulation des fluides »

### II.2.1 Principe :

Cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation.

De par sa nature, cette méthode requiert notamment l'examen de schémas et plans de circulation des fluides ou schémas PID (Piping and Instrumentation Diagram).

L'HAZOP considère les modes de défaillances comme des dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (conceptuelle) des dérives est effectuée de manière systématique par la conjonction :

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

La combinaison des paramètres observés avec les mots clé précédemment définis se fait de la manière suivante : *Mot-clé + Paramètre = Dérive*

On doit aussi déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune de ces dérives et identifier les moyens existants permettant de détecter ces dérives, d'en prévenir l'occurrence ou d'en limiter les effets. [7]



### II.2.2 Déroulement :

La méthode HAZOP suit les étapes présentées dans le schéma de la figure II-1 [7]

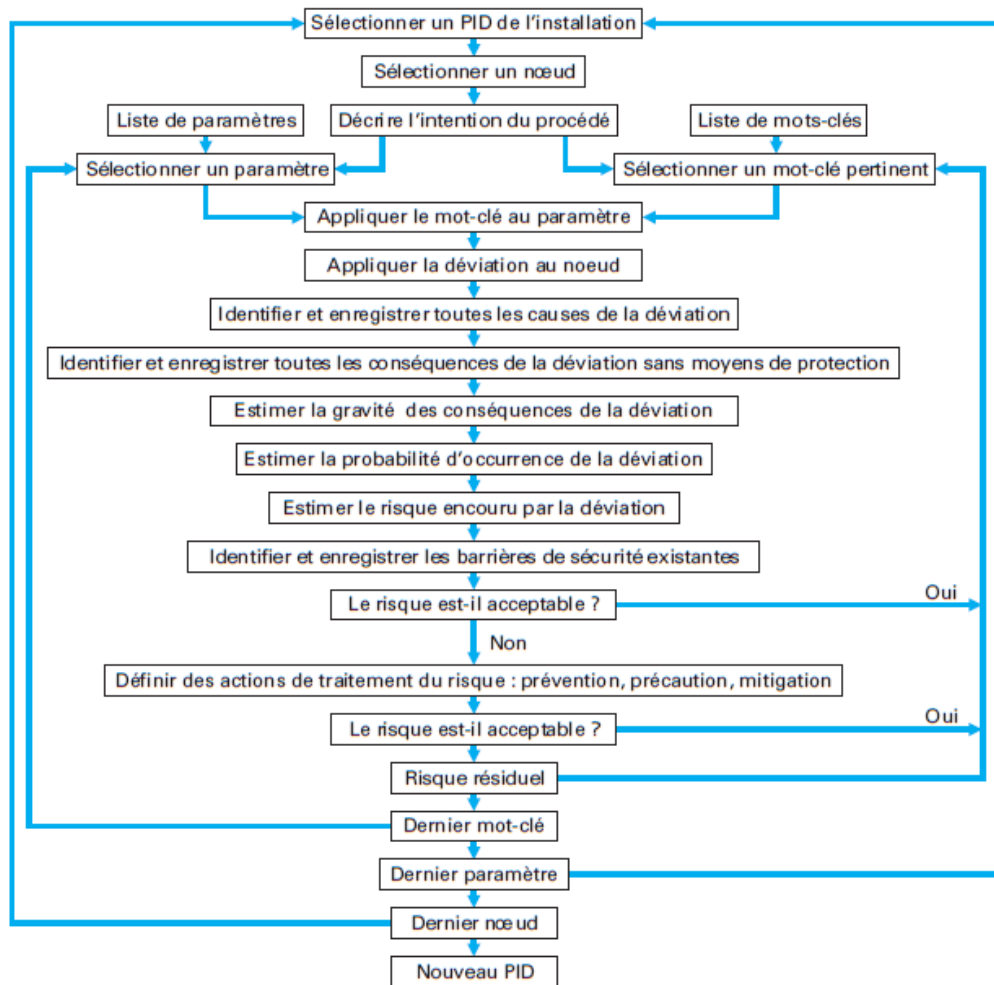


Figure II-1: Déroulement de la méthode HAZOP

### II.2.3 Exemple de tableau HAZOP :

Le tableau ci-dessous est utilisé pour l'élaboration de l'analyse HAZOP :

Tableau II-1: Exemple de tableau HAZOP

Déviation		Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Commentaire
paramètre	Mot-clé					

Mot-clé : permettent de générer de manière systématique les dérives à considérer.

Paramètres : Les paramètres auxquels sont accolés les mots-clés dépendent bien sûr 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 clé précédemment définis, permet donc de générer des dérives de ces paramètres.

Par exemple :

- Plus de et Température = « Température trop haute ».

Causes et Conséquences :

Une fois la dérive envisagée, doit identifier les causes de cette dérive, puis les conséquences potentielles de cette dérive.

Moyens de détection, Sécurités existantes :

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.

#### **II.2.4 Limites et Avantages**

L'HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes thermo-hydrauliques. (par exemple : usine de Liquéfaction de Gaz Naturel) [8]

##### **Avantages**

- Elle utilise une approche systématique et logique. Elle a des mot-guide spécifique listé et le processus en cours d'examen est divisé en sections plus petites pour l'analyse.
- Elle peut analyser une combinaison de défaillances. L'option de traiter les défaillances persistantes séquentielles peut être étudiée au résultat final.
- Elle donne un aperçu des fonctionnalités d'exploitation. Les méthodes de contrôle de fonctionnement sont entièrement étudiées pour des conditions variables potentielles dans le flux de processus entier. De cet examen, un opérateur peut facilement déduire les risques qui peuvent être présents dans l'installation.

##### **Limites de la méthode :**

- Elle a besoin d'un niveau modéré de compétences à mettre en œuvre. L'examen est un processus complet et systématique qui doit être menée de façon appropriée et enregistrée avec précision.
- Elle peut être plus lente à mettre en œuvre que d'autres méthodes. Afin de procéder à un examen de HAZOP, un chef d'équipe spécialisée est affecté à guider l'équipe d'examen tout au long du processus.

## II.3 LOPA

L'analyse des couches de protection ou LOPA (Layer of Protection Analysis) est une méthode structurée pour calculer l'objectif de réduction du risque et les niveaux SIL cible. L'analyse LOPA se déroule de manière similaire à une étude HAZOP.

Les dangers potentiels sont généralement identifiés au moyen de l'approche HAZOP et sont importés dans les fiches LOPA, afin de maintenir un lien traçable entre les deux analyses allant de l'identification des risques jusqu'à la prescription de réduction du risque et au niveau SIL cible. L'analyse LOPA peut être réalisée sous forme d'extension de la méthode HAZOP car il existe une progression naturelle de l'une à l'autre. [9]

### II.3.1 Objectif de la méthode :

La méthode LOPA est une méthode semi-quantitative [10] développée dans l'optique :

- de juger de l'adéquation entre les barrières mises en œuvre et le niveau de risque visé ;
- de statuer sur le besoin de mise en œuvre de nouvelles barrières ;
- de définir les « exigences » minimales sur la probabilité de défaillance des barrières à mettre en place dans le cas où les barrières existantes ne permettraient pas de justifier d'un risque acceptable ;
- d'évaluer la fréquence d'occurrence résiduelle d'un scénario d'accident.

### II.3.2 Informations utilisées dans l'étude LOPA

Les éléments suivants doivent être consultables par l'équipe LOPA [9] :

- Diagrammes PID pour l'installation ;
- Documentation de philosophie ou de description de procédé ;
- Procédures de fonctionnement et de maintenance existantes.

### II.3.3 Relation entre HAZOP et LOPA

Les informations requises pour la méthode LOPA figurent parmi les données recueillies et élaborées au cours de l'étude HAZOP [11]. Le tableau II-2 montre la relation entre les données requises pour l'analyse des couches de protection (LOPA) et les données élaborées au cours de l'étude HAZOP [11].

Tableau II-2: Données élaborées au cours de l'étude HAZOP pour l'analyse LOPA

Données requises pour l'analyse LOPA	Données élaboré au cours de l'étude HAZOP
Informations	Informations
Evénement à impact	Conséquence
Cause initiatrice	Cause
Couche de protection	Protections existantes
Atténuation supplémentaire requise	Nouvelles protections recommandées

### II.3.4 Déroulement de la méthode LOPA

Les principales étapes de la méthode LOPA [12] sont présentées dans la figure II-2

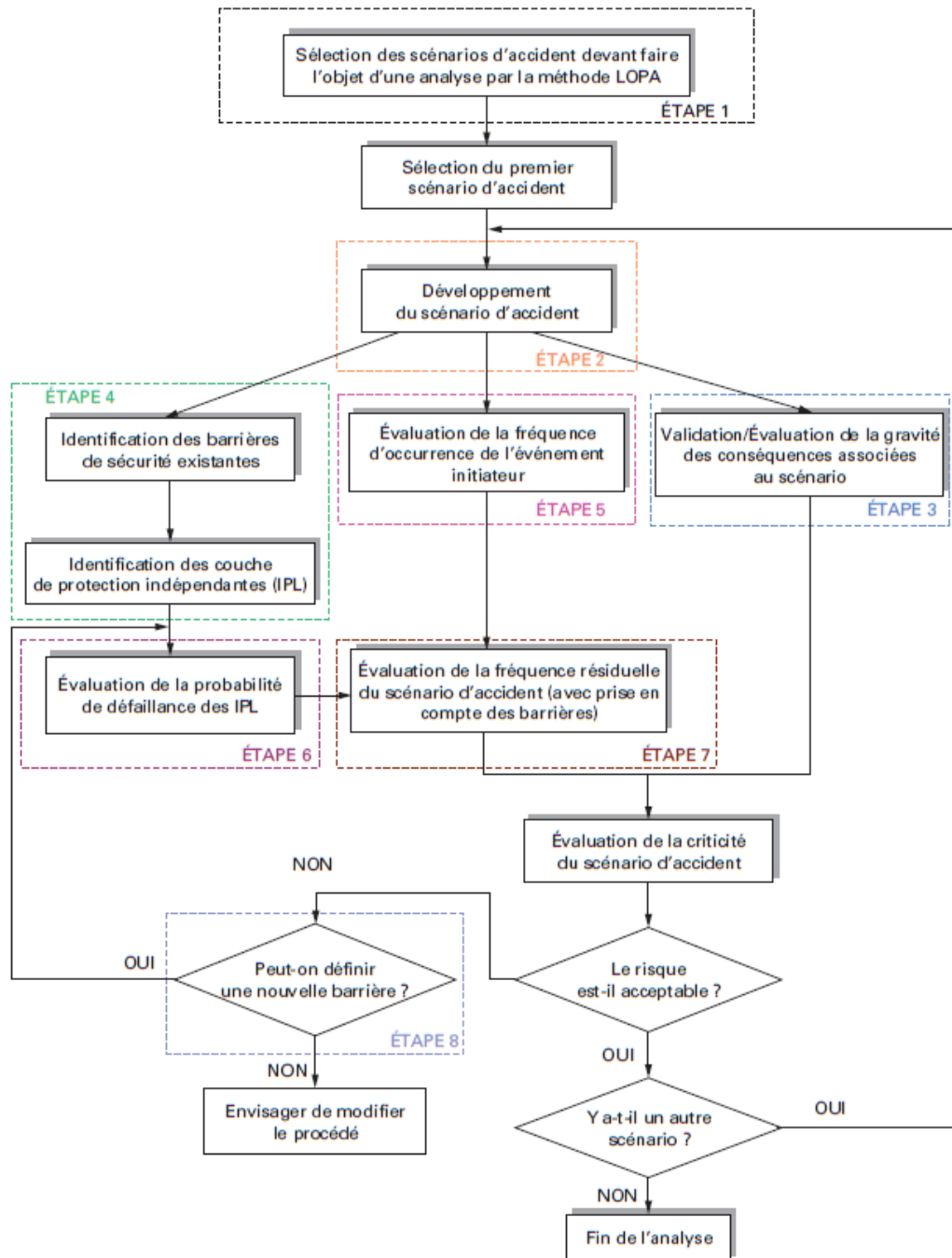


Figure II-2: Déroulement de la méthode LOPA

### II.3.5 Couche de protection :

Dans une optique de réduction des risques, les industriels sont amenés à mettre en place différentes barrières prévues, soit pour prévenir l'apparition d'un accident (barrière de prévention), soit pour en limiter les conséquences (barrière de mitigation et de protection).

À ce titre, la méthode LOPA introduit le concept de « couches de protection » présenté en figure II-3. Ce concept repose sur le principe que les moyens mis en œuvre sont nombreux et diversifiés. Ces différentes couches vont être « sollicitées » tour à tour avec pour objectif de « stopper » le déroulement du scénario d'accident ou d'en réduire les effets.

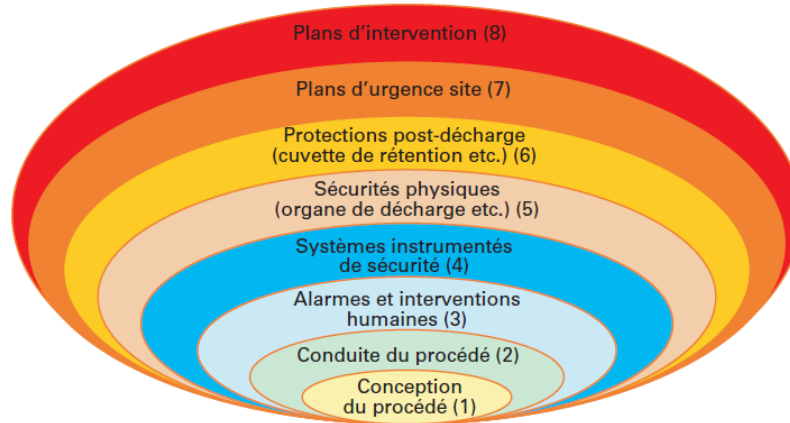


Figure II-3: Différentes couches de protection suivant LOPA

Ces huit couches peuvent être réparties en trois catégories [12] :

- les couches dites de prévention prévues pour « stopper » le déroulement de la séquence accidentelle avant l'apparition d'un événement redouté;
- les couches dites de mitigation prévues pour limiter les conséquences dans le cas où la survenue de l'événement redouté ne pourrait être évitée ;
- les couches dites de protection prévues pour « limiter » l'exposition des « cibles » vis-à-vis des phénomènes dangereux liés à la réalisation de l'événement redouté.

La répartition des différentes couches dans l'une des catégories précédentes est présentée dans le tableau suivant :

Tableau II-3: Couches de protection définies dans la méthode LOPA

Catégorie	Couches de protection
Couche de prévention	Conception du procédé Conduite du procédé Alarmes et interventions humaines
Couche de mitigation	Systèmes instrumentés de sécurité Sécurités physiques (organes de décharge, etc.)
Couche de protection	Protections post-décharge (cuvette de rétention, etc.) Plans d'urgence site Plans d'intervention

### **II.3.6 Limites et Avantage :**

LOPA a de nombreux avantages qui justifient l'investissement par la direction de l'entreprise et des analystes de risques. Cependant, les avantages ne peuvent souvent pas être pleinement appréciés. LOPA [10] :

- Nécessite moins de temps que l'analyse quantitative des risques. Cet avantage applique particulièrement à des scénarios qui sont trop complexes pour l'évaluation qualitative du risque.
- Aide à résoudre les conflits dans la prise de décision en fournissant un cadre cohérent, simplifié pour estimer le risque d'un scénario et fournit un langage commun pour discuter des risques.
- Fournit des moyens pour comparer le risque à partir d'une unité à une autre ou d'une installation à une autre, si la même approche est employée dans toute la société.
- Peut être utilisé pour aider une organisation à décider si le risque est «aussi bas que raisonnablement possible» (ALARP), qui peut également servir à satisfaire aux exigences réglementaires spécifiques.
- Fournit des jugements comparatifs des risques plus défendables que les méthodes qualitatives dues à la documentation plus rigoureuse et les valeurs spécifiques assignées à fréquence et les conséquences des aspects du scénario.
- Permet d'identifier les opérations et les pratiques qui étaient auparavant considérés comme ayant des garanties suffisantes, mais dans une analyse plus détaillée (facilitée par LOPA), les mesures de protection ne réduit pas le risque à un niveau tolérable.
- Est un outil praticable et flexible permettant de déterminer la réduction apporté par chaque mesure de réduction (IPL) en lui attribuant des probabilités de défaillance à la demande (PFD).

Cependant elle présent des limites : [10]

- Les comparaisons de risque de scénarios ne sont valables que s'ils sont basés sur les mêmes critères de tolérance au risque.
- LOPA est une méthode d'analyse quantitative à 90 %.
- LOPA est une approche simplifiée et ne doit pas être appliquée à tous les scénarios. La quantité d'effort requis pour mettre en œuvre LOPA peut être excessive pour certaines décisions fondées sur le risque et est trop simpliste pour d'autres décisions.
- Elle dépend des méthodes utilisées pour identifier les événements dangereux et d'identifier une liste de départ des causes et des mesures de protection.

## II.4 SYSTEME INSTRUMENTE DE SECURITE

Les systèmes instrumentés de sécurité sont utilisés dans les industries de transformation depuis de nombreuses années pour remplir des fonctions instrumentées de sécurité. Si l'instrumentation doit réellement être utilisée pour réaliser des fonctions instrumentées de sécurité, il est indispensable qu'elle présente des niveaux minimums de qualité et de performance.

### II.4.1 Conception d'un Système Instrumenté de Sécurité

#### II.4.1.1 Définition d'un SIS

La norme CEI 61508 [13], définit le SIS comme: « un système E/E/PE relatif aux applications de sécurité, il comprend tous les éléments du système nécessaires pour remplir la fonction de sécurité».

Et D'après la norme CEI 61511 [11], un SIS fait l'objet de la définition suivante: « un système instrumenté utilisé pour mettre en œuvre une ou plusieurs fonctions instrumentées de sécurité. Un SIS se compose de n'importe quelle combinaison de capteur(s), d'unité logique (s) et d'élément(s) terminal (aux) ».

#### II.4.1.2 Composition d'un SIS

Les SIS sont constitués de différents éléments unitaires reliés entre eux par des moyens de transmissions. Au minimum, on retrouve en série un capteur, une unité de traitement et un actionneur.

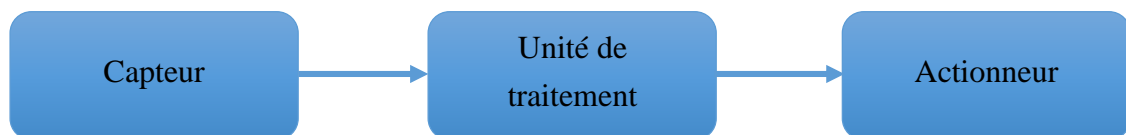


Figure II-4: Schéma d'un Système Instrumenté de Sécurité

#### a) *Capteur*

Est un équipement qui délivre, à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur, souvent électrique (tension, courant, résistance), fonction de la première et directement utilisable pour la mesure ou la commande.

Cette grandeur physique peut être la température, la pression, le niveau, le débit, la concentration d'un gaz.

#### b) *Unité de traitement*

La fonction "traitement" peut être plus ou moins complexe. Elle peut se résumer à acquérir une grandeur mesurée par un capteur et à l'indiquer. Elle peut également consister à activer la commande d'un ou plusieurs actionneurs à partir d'une fonction combinatoire des informations délivrées par différents capteurs.

*c) Actionneur*

Un actionneur peut être (vanne, moteur, servo-moteur...) transforme un signal (électrique ou pneumatique) en phénomène physique qui permet de commander le démarrage d'une pompe, la fermeture ou l'ouverture d'une vanne... Selon l'énergie motrice, on parle d'actionneur pneumatique, hydraulique ou électrique.

Enfin, l'unité de traitement est reliée aux capteurs et aux actionneurs par des moyens de transmission. Il peut s'agir de câbles électriques, de lignes téléphoniques, d'ondes hertziennes (transmission par talkie-walkie...), ou de tuyauteries (transmission pneumatique ou hydraulique).

Les capteurs, l'automate et les actionneurs sont des équipements de sécurité. Un équipement de sécurité est un élément d'un SIS qui remplit une sous-fonction de sécurité.

Exemples :

- un capteur remplit la sous-fonction "détecter du gaz",
- une vanne motorisée la sous-fonction "juguler une fuite".

Associées au traitement, l'ensemble de ces sous-fonctions permet la réalisation de la fonction instrumentée de sécurité "maîtriser une fuite".

*II.4.1.3 Redondance dans un SIS*

Pour améliorer le niveau de confiance d'un système instrumenté de sécurité, il est possible, entre autres, de la doubler totalement, ou de doubler une partie de ses composants (redondance partielle de la barrière de sécurité). Tous les éléments constituant un système instrumenté de sécurité peuvent être redondés : capteurs, unité de traitement, actionneurs et même les moyens de transmission. [11].

On peut distinguer plusieurs types de redondance :

- **la redondance active** qui est une redondance telle que tous les moyens d'accomplir une fonction requise fonctionnent simultanément.
- **la redondance passive** qui est une redondance telle qu'une partie seulement des moyens d'accomplir une fonction requise est en fonctionnement, le reste n'étant utilisé sur sollicitation qu'en cas de défaillance de la partie en fonctionnement.
- **la redondance majoritaire MooN** qui est une redondance telle qu'une fonction n'est assurée que si au moins M des N moyens existants sont en état de fonctionner ou en fonctionnement.



Les architectures les plus souvent rencontrées relatives à ce dernier type de redondance sont les suivantes :

- **1001** (M=N=1) : Cette architecture comprend un seul élément, et toute défaillance dangereuse de cet élément empêche le traitement correct de tout signal d'alarme valide.
- **1002** (M=1 et N=2) : Cette architecture comprend deux éléments connectés en parallèle de façon que chacun puisse traiter la fonction de sécurité. Ainsi, il faudrait la défaillance dangereuse des deux éléments pour qu'un signal d'alarme valide ne soit pas traité correctement.
- **2003** (M=2 et N=3) : Cette architecture comprend trois éléments connectés en parallèle avec un dispositif à logique majoritaire pour les signaux de sortie de telle sorte que l'état de sortie n'est pas modifié lorsqu'un seul élément donne un résultat différent des deux autres éléments. Il faudrait la défaillance dangereuse des deux éléments pour qu'un signal d'alarme valide ne soit pas traité correctement.

## **II.4.2 Mode de sollicitation**

### **II.4.2.1 Faible sollicitation**

La fonction de sécurité n'est réalisée que sur sollicitation, afin de faire passer l'EUC dans un état de sécurité spécifié, et la fréquence des sollicitations n'est pas supérieure à une par an.

Une barrière de sécurité est en mode de sollicitation à faible demande lorsque la fréquence des demandes d'opération n'est pas plus grande qu'une par an et pas plus grande que le double de la période des tests de révision CEI61508 [13].

### **II.4.2.2 Forte sollicitation**

La fonction de sécurité n'est réalisée que sur sollicitation, afin de faire passer l'EUC dans un état de sécurité spécifié, et la fréquence des sollicitations est supérieure à une par an [13]. Dans la plupart des cas, le mode de sollicitation est de forte demande.

### **II.4.2.3 Mode continu**

La fonction de sécurité maintient l'EUC dans un état de sécurité en fonctionnement normal en permanent [13].

## **II.4.3 Tests de système instrumenté de sécurité**

Généralement ces tests sont établis pour vérifier et contrôler le bon fonctionnement de *SIS*. Deux types de tests qui sont faits au niveau de *SIS* :

### **II.4.3.1 Test de diagnostic**

Test en fonctionnement pour détecter des défauts, les tests de diagnostic sont effectués périodiquement et automatiquement pour détecter les défauts latents cachés qui empêchent le *SIS* de répondre à une demande [13].

Les tests de diagnostic agissent au niveau composant/interne et non pas au niveau de la fonction de sécurité et permettent de détecter les erreurs aléatoires dues au matériel.

#### II.4.3.2 Proof Test

Selon la norme CEI61508 [13], le Proof test un test périodique hors ligne réalisé pour détecter des pannes dans un système de telle sorte que le système puisse être réparé afin derevenir dans un état équivalent à son état initial.

Le proof test est exécuté au niveau du système. C'est un test fonctionnel de la fonction de sécurité hors fonctionnement automatique sans perturbation de process (activité périodique devant être conduite selon une procédure afin de détecter les défauts latents qui empêchent le système de sécurité de remplir sa fonction de sécurité ; le système de sécurité entier doit être testé).

#### II.4.3.3 L'avantage des tests dans les SIS

La tendance vers l'utilisation des instruments intelligents dans les applications de sécurité est motivée par la capacité qu'offre ce type d'instruments à être diagnostiqués en ligne mais aussi au pouvoir de validation en regard des conditions environnantes [14].

Les tests périodiques assurent la détection des pannes cachées afin de maintenir la sécurité fonctionnelle prescrite. L'impact des tests périodiques sur la disponibilité est montré dans la figure suivante :

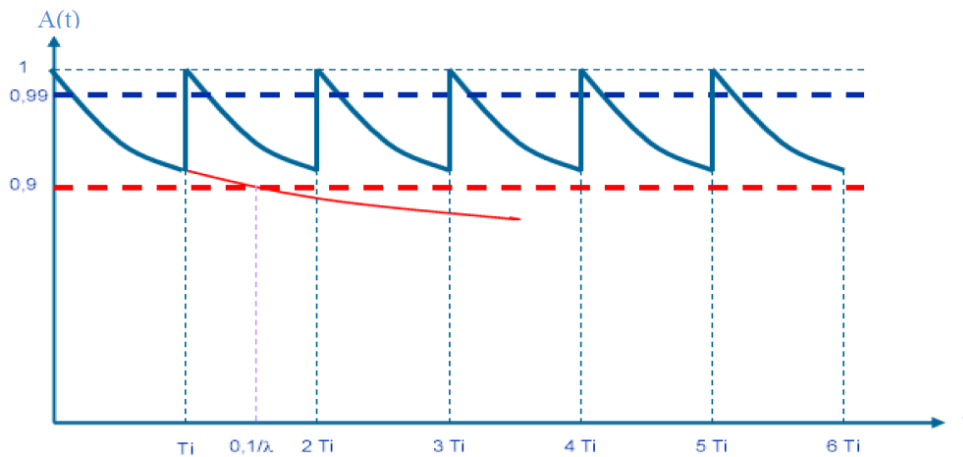


Figure II-5: Impact des tests périodiques sur la disponibilité

La figure II-5 montre bien le rétablissement de la disponibilité du système après chaque test périodique et ainsi le niveau de SIL peut être maintenu comme le préconise la norme. La métrique  $R(t)$  exprime tout simplement l'inverse de la probabilité de défaillance sur demande PFD et l'on voit bien qu'en absence de tests périodiques, la valeur de  $R(t)$  se dégrade nettement et sort de la bande  $[0,9 ; 0,99]$ , par conséquent le SIL ne peut plus être maintenu à sa valeur.

Les tests dans les éléments finaux typiquement les vannes d'arrêt se concrétisent partiellement sur une partie de la course. Ces tests partiels peuvent être pratiqués à des périodes très rapprochées afin de permettre le maintien du niveau SIL au niveau initial.

#### II.4.4 Niveau d'intégrité de sécurité

Les normes IEC 61508 [13] et IEC 61511 [11] définissent le niveau d'intégrité de sécurité (Safety Integrity Level : SIL) pour définir le niveau de réduction du risque, c'est-à-dire le niveau d'intégrité de sécurité que doit avoir le système de protection.

Plus le SIL à une valeur élevé, plus la réduction du risque est importante. Par exemple un système de SIL 4 apporte une réduction de risque entre 10000 à 100000 alors qu'un système de SIL 1 comporte un facteur de réduction de risque compris entre 10 à 100 seulement.

L'utilisation des niveaux SIL permet de prendre en compte les défaillances rares mais possibles des systèmes de sécurité en plus des défaillances inhérentes au système opérationnel menant aux événements dangereux identifiés pendant l'analyse de risque. Les SIL sont attribués aux fonctions de sécurité sur la base de l'étude des défaillances dangereuses uniquement sans tenir compte des défaillances en sécurité ou défaillances sûres.

La norme IEC 61508 [13] fixe le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) qui doit être atteint par un SIS qui réalise la Fonction Instrumentée de Sécurité (SIF). Elle donne le SIL en fonction de sa probabilité de défaillance moyenne ( $PFD_{avg}$ ) sur demande pour les SIS faiblement sollicités. Ou en fonction de probabilité de défaillance par heure (PFH) pour les SIS fortement sollicités ou agissant en mode continu. Dans ce mémoire, nous nous plaçons dans le contexte des SIS faiblement sollicités.

Il est important de souligner que le concept de SIL s'applique uniquement à un système instrumenté de sécurité (SIS) dans son intégralité et pas à un composant pris individuellement.

Le SIL est défini, selon l'IEC61508 [13], en 04 niveaux, plus le SIL est élevé, plus la disponibilité du système de sécurité est élevée,

Tableau II-4: Niveaux d'intégrité de sécurité selon la norme CEI 61508 [13]

SIL	Probabilité moyenne de défaillance à la sollicitation ( $PFD_{avg}$ )	Réduction de risque RR
1	$10^{-2} \leq PFD_{avg} < 10^{-1}$	$10 \leq RR < 100$
2	$10^{-3} \leq PFD_{avg} < 10^{-2}$	$100 \leq RR < 1000$
3	$10^{-4} \leq PFD_{avg} < 10^{-3}$	$1000 \leq RR < 10000$
4	$10^{-5} \leq PFD_{avg} < 10^{-4}$	$10000 \leq RR < 100000$

La probabilité moyenne de défaillance sur demande d'une fonction de sécurité du système instrumenté de sécurité est déterminée par le calcul et la combinaison de La probabilité moyenne de défaillance sur demande pour tous les sous-systèmes assurant ensemble la fonction de sécurité. Cela peut être exprimé par la formule suivante [13] :

$$PFD_{sys} = PFD_C + PFD_U + PFD_A$$

- $PFD_{sys}$ : est la probabilité moyenne de défaillance sur demande d'une fonction de sécurité du système instrumenté de sécurité.
- $PFD_C$ : Probabilité moyenne de défaillance sur demande du sous-système capteur.
- $PFD_U$ : Probabilité moyenne de défaillance sur demande du sous-système unité de traitement.
- $PFD_A$ : Probabilité moyenne de défaillance sur demande du sous-système actionneur.

#### **II.4.4.1 Paramètres Influant sur le calcul de SIL**

Après avoir déterminé les exigences du SIS à travers la classe SIL, il faut passer à une autre étape, c'est-à-dire définir le SIS, et plus précisément les solutions technologiques aptes à satisfaire au besoin.

La chaîne de sécurité doit remplir sa mission lors de la sollicitation, tout en évitant de provoquer des déclenchements intempestifs. La qualité de la chaîne de sécurité dépend de plusieurs critères :

- Taux de défaillance (qualité des composants, redondances).
- Facteur de mode commun ou facteur  $\beta$  (précautions d'installation, hétérogénéité et indépendance).
- Taux de Couverture (qualité et étendue des tests automatiques) et mode de traitement des défaillances détectées. Ce dernier aspect n'est pas évoqué dans les normes alors qu'il revêt une grande importance dans la bonne prise en compte des modes de fonctionnement des éléments du SIS.
- Temps moyen de réparation (remise en service après défaillance non déclenchante), avec ses corollaires que sont l'organisation de la maintenance et la gestion des pièces de rechange.
- Périodicité des tests manuels (organisation des tests, portée des tests).

En conclusion, ce chapitre nous a permis de nous introduire dans le sujet de fin d'étude à travers la mise en place de la chaîne de mesure pour sécuriser l'opération de transfert, l'analyse et la détermination du niveau de SIL exigée pour les barrières à mettre en place jusqu'à l'implantation définitive du système instrumenté de sécurité.

**Chapitre III**    *Présentation du complexe*  
 *$GL_1/\mathbb{Z}$*

### **III.1 PRESENTATION DE SONATRACH**

SONATRACH est la compagnie algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement de l'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent.

SONATRACH est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2ème exportateur de GNL et de GPL et 3ème exportateur de gaz naturel. En matière de commercialisation, le volume total des hydrocarbures vendu en 2013 est de 145,4 millions de TEP.

Elle emploie plus de 120 000 personnes dans l'ensemble du Groupe.

Aujourd'hui SONATRACH ne conçoit pas de développement économique sans un développement durable.

SONATRACH est divisée en 4 Activités : Amont ; Aval ; Transport par canalisation ; et Commercialisation

### **III.2 PRESENTATION DU COMPLEXE GL1Z**

Le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1Z relève de l'activité Aval et de la branche LQS (Liquéfaction) de l'entreprise SONATRACH.

#### **III.2.1 Localisation et accès**

Le Complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1Z est situé dans la commune de Bethioua, dans la zone industrielle d'Arzew, à environ 6 km au Sud -Est de la ville d'Arzew et à 35 km au Nord -Est d'Oran, wilaya d'Oran chef-lieu de la wilaya du même nom sur le golfe d'Oran (l'Oranais), située au Nord-Ouest de l'Algérie.

Les limites du complexe GL1Z sont :

- à l'Est, le Complexe GL2Z,
- à l'Ouest, le centre AVM NAFTAL et le projet HELIUM,
- la mer Méditerranée borde le site au Nord et à l'Est (port gazier El Djedid),
- au Sud se trouve la route d'accès principale de la Zone.

Le complexe GL1Z s'étend sur une superficie de 72 hectares. Le site s'étend sur une largeur (entre la route et la mer) d'environ 800 m et d'une longueur (le long du front de mer) d'environ 900 m. L'altitude moyenne est de 3 m.

### **III.2.2 Historique**

Aucune activité industrielle n'a été enregistrée sur le site avant la construction de GL1Z.

La date de démarrage des travaux de construction du complexe GL1Z est en 1973.

La mise en production a débuté le 20 février 1978.

### **III.2.3 Capacité de production**

Le complexe traite  $10,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  de gaz naturel par an avec production de Gaz Naturel Liquéfié et Gazoline.

#### Capacité de production :

GNL : 17 563 Millions  $\text{m}^3/\text{an}$  (contractuelle) 19 425 Millions  $\text{m}^3/\text{an}$  (installée).

Gazoline : 123 000 Tonnes/an (contractuelle) 136 000 Tonnes/an (installée).

#### Capacité totale de stockage :

3 bacs aériens de stockage GNL :  $100\,000 \text{ m}^3$  chacun.

1 sphère de gazoline de  $3280 \text{ m}^3$ .

#### Procédé utilisé

Le complexe comprend six trains de liquéfaction de gaz naturel.

Le procédé utilisé pour la liquéfaction du gaz naturel est le procédé Air-Product (APCI)

La construction du complexe a été réalisée par la société BECHTEL INC (USA)

### **III.2.4 Organisation générale**

Le site peut être divisé en 4 grandes zones :

- Au Nord Est : la zone stockage et chargement de GNL.
- A l'Est, en partie médiane : la zone production et utilités (dessalement ...).
- A l'Ouest : zone occupée par les torches, le parc déchets et stockage produits chimiques et des installations annexes (école à feu, ...).
- Au Sud, les bâtiments des services administratifs et techniques et les locaux sociaux.

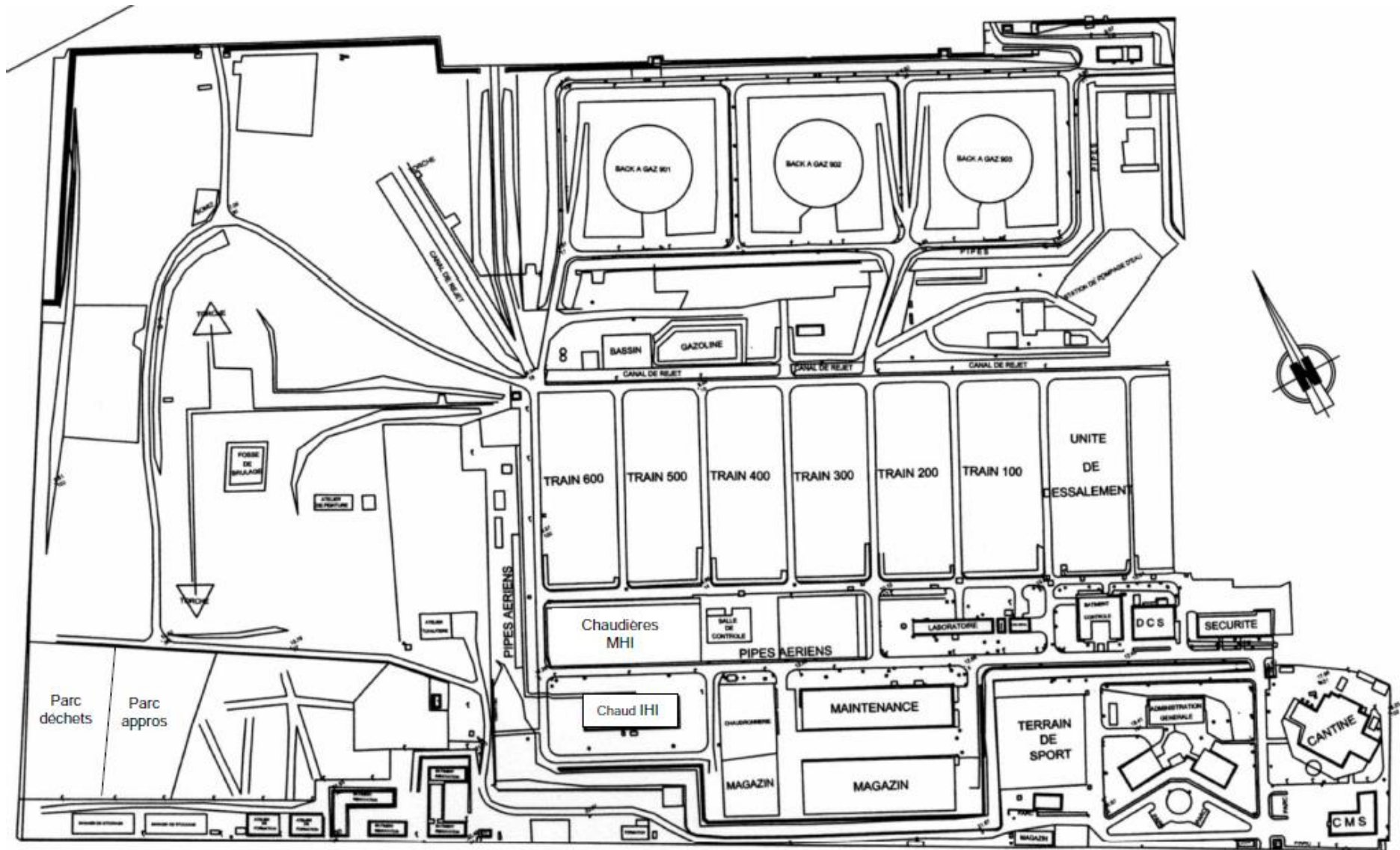


Figure III-1: Plan de masse du complexe GL1/Z



### **III.3 DESCRIPTION DE PROCES DE LIQUEFACTION DE GAZ NATUREL**

#### **III.3.1 Description générale**

Le complexe comprend les installations de réception du gaz naturel produit par les champs gaziers d'Hassi R'Mel qui se situent à 550 km au Sud d'Alger. Le gaz naturel qui alimente le complexe est transporté au moyen de deux pipelines interconnectés de 42'' de diamètre, à savoir GZ1 et GZ3. La capacité théorique totale de production du complexe est de l'ordre de 18 millions de m<sup>3</sup> par an de GNL à partir de 6 trains de liquéfaction opérés pendant 335 jours.

Après traitement dans les trains de liquéfaction, le gaz liquéfié est stocké à la température de -162°C dans trois bacs cryogéniques de 100 000 m<sup>3</sup> de capacité unitaire avant d'être exporté. Le complexe comprend des installations portuaires permettant le chargement de méthaniers dont la capacité varie entre 50 000 et 145 000 m<sup>3</sup>.

Des installations portuaires dédiées à l'exportation du GNL se situent au nord du complexe. Elles sont constituées d'une jetée équipée de deux appontements permettant le chargement des navires, et sont équipées chacune de quatre bras de chargement (diamètre 16'') pour le GNL, un bras (diamètre 12'') pour la récupération vapeur et un autre bras de chargement (diamètre 8'') pour le fuel.

#### **III.3.2 Trains de liquéfaction**

Le complexe est équipé de six trains de liquéfaction identiques. Le gaz naturel qui assure la charge du complexe est transporté par pipeline à la pression de 42 barg et est distribué vers les différents trains au travers d'un collecteur de 42'' de diamètre.

Une vanne de sécurité équipée d'un système de commande électropneumatique est installée sur la ligne d'arrivée du gaz naturel. En cas d'urgence, cette vanne commandée à distance depuis la salle de contrôle centrale et connectée au système d'arrêt d'urgence coupe l'alimentation du gaz naturel.

Le gaz naturel est envoyé dans chacun des trains sous une pression de 42 bar pour être dirigé vers la section décarbonatation où il est purifié par une solution aqueuse de MEA (mono-éthanolamine) 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 avant d'être envoyé vers la section déshydratation 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 1 ppm volume. Le gaz est ensuite envoyé vers la section de démercurisation à travers un lit de charbon actif permettant l'élimination du mercure (Hg) contenu dans le gaz. Après

séchage, le gaz est refroidi au propane avant de passer au niveau de la section de lavage pour élimination des hydrocarbures lourds.

Le procédé APCI est utilisé pour la liquéfaction du gaz.

La première étape de refroidissement est réalisée à partir du propane qui est comprimé, refroidi, condensé et déchargé dans des échangeurs au propane. La température du gaz est alors réduite à  $-26^{\circ}\text{C}$  à la pression de 40 barg (bar jauge).

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 est envoyé vers la section liquéfaction; le produit de fond, essentiellement constitué d'hydrocarbures plus lourds, est envoyé vers les sections de fractionnement.

Les hydrocarbures de fond de colonne de lavage sont fractionnés successivement au travers du dé-méthaniseur (31 bar), du dé-éthaniseur (20 bar), du dé-propaniseur (17 bar) et du dé-butaniseur (5,5 bar), dont le produit de fond est stocké dans une sphère de gazoline puis expédié vers le complexe mitoyen GL2Z.

Durant la phase de fractionnement, les produits de tête sont extraits et utilisés comme appoint vers les systèmes de refroidissement propane et MCR, sachant qu'une partie est réinjectée dans le gaz traité afin d'accroître sa capacité calorifique.

Le gaz produit de tête de la colonne de lavage est envoyé essentiellement vers l'échangeur principal pour être liquéfié. Une partie, de l'ordre de 4%, est envoyée vers un second échangeur, appelé échangeur de gaz de rejet, avant de rejoindre le ballon d'aspiration de la pompe de GNL.

La température du courant gazeux entrant dans l'échangeur principal est de  $-30^{\circ}\text{C}$  à la pression de 39 bar. Le gaz est refroidi au niveau de l'échangeur principal par du MCR jusqu'à une température de  $-148^{\circ}\text{C}$  à une pression de 25 bar. Le courant gazeux est alors dirigé vers une vanne de détente Joule - Thomson où la pression diminue jusqu'à 1,38 bar, entraînant une baisse de température jusqu'à  $-161^{\circ}\text{C}$  et la liquéfaction du gaz.

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 quant à lui envoyé vers la zone de stockage GNL par l'intermédiaire de pompes de transfert.

Le réfrigérant MCR circule dans une boucle de réfrigération au moyen de deux compresseurs centrifuges entraînés par des turbines à vapeur. La pression de sortie du premier étage de compression est de 11 bar et celle du second étage est de 42 bar.

Le contrôle et la régulation du procédé de liquéfaction sont assurés à distance par l'utilisation du système de contrôle digital DCS (Foxboro) et d'un système d'enregistrement des paramètres (Data Logger) dans une salle de contrôle centrale. Le contrôle de la détection incendie et de la détection gaz est également assuré à partir de la salle de contrôle centrale et le poste de veille de la sécurité.

### **III.3.3 Stockage et expédition**

#### ***III.3.3.1 Stockage du GNL***

Le GNL produit par les 6 trains de liquéfaction est envoyé au stockage de GL1Z. Là, il est conservé dans 3 réservoirs, 810-I-901/902/903, prêt à être expédié. Le GNL des réservoirs est pompé vers deux quais de chargement pour le transfert sur les méthaniers.

Le GNL produit, issu du ballon de flash d'azote (X06-G-07.83) est pompé par les pompes de GNL (X06-J-10.20/23) via une ligne de 20" GNL-81016 vers un collecteur commun de 24" GNL-71017 connecté aux trois réservoirs de stockage GNL (810-I-901/902/903).

Chacun des réservoirs de stockage GNL est à fond plat, à double paroi avec une capacité de stockage de 100 000 m<sup>3</sup>.

Les fondations sont constituées d'assises formées chacune d'une couronne en béton sur laquelle sont installés des piliers verticaux permettant de recevoir les bacs de stockage. Ce type de construction permet la libre circulation de l'air sous chacun des réservoirs.

La coque intérieure est constituée d'acier au nickel 9 % et a un diamètre de 65,8 mètres, avec une hauteur de 32,1 mètres. La coque extérieure est constituée d'acier au carbone et a un diamètre de 67,6 mètres avec une hauteur au sommet du dôme de 44,8 mètres. Le toit est en acier au carbone et est protégé du contact direct avec les vapeurs froides par un toit suspendu, en aluminium isolé avec de la laine minérale et de la perlite. L'espace annulaire entre les parois est rempli d'une isolation en perlite, avec un revêtement en fibre de verre sur les parois du réservoir. Cela permet de prendre en compte l'expansion/contraction de la coque intérieure, sans compacter la perlite. L'espace annulaire contient du gaz plus chaud entre le dôme et le toit suspendu. Une couche d'isolation de fibre de verre est placée en plus de la perlite dans l'espace annulaire. Le réservoir intérieur repose sur une couche d'isolation en mousse de verre et des blocs de perlite, entre les fonds de réservoir intérieurs et extérieurs.

Les réservoirs comportent 4 connexions d'azote connectées à un anneau de purge de 3", implanté dans l'espace annulaire entre les coques intérieures et extérieures.

Le GNL est stocké dans les réservoirs à 1,034 bar absolu et -163°C.

Avec les six trains en production à 100%, le temps de remplissage d'un réservoir est environ 42 heures. Le niveau maximum de remplissage dans les réservoirs de stockage est 29,52 mètres.

Les réservoirs sont entourés par des digues protectrices, avec une capacité égale au volume du réservoir en cas d'un déversement et équipés avec un système d'extinction à la mousse et des canons incendie. Les réservoirs sont connectés à un collecteur de vapeur commun. La production de vapeur par ébullition représente approximativement 2-3 % du volume des réservoirs par jour ; elle est envoyée à l'aspiration du compresseur du fuel gaz. Ce système reçoit la vapeur d'ébullition des réservoirs de stockage et la vapeur produite pendant des opérations de chargement des navires.

Une ligne d'aspiration commune de 48"GNL-81039 amène le produit GNL des réservoirs vers cinq pompes de chargement GNL (820-J-901/912/903/904/905). Ces pompes refoulent dans des collecteurs 30" GNL vers les 2 quais de chargement.

Les vapeurs produites en chargeant le GNL dans le méthanier sont collectées par les bras de retour de vapeur, 830-R-908/Quai M2, 830-R-903/Quai M3 et sont jointes à la vapeur du réservoir de drainage, 831-G-904. Cette vapeur combinée est comprimée et est renvoyée vers la ligne commune de vapeur 36"FG-81014 des réservoirs de stockage où elle est utilisée pour compenser la baisse de volume de liquide dans les réservoirs de stockage. La vapeur d'excès est renvoyée à l'aspiration des compresseurs du fuel gaz et, en cas de haute pression, la vapeur est envoyée à la torche des stockages GNL (torche boil-off).

### **III.3.3.2 Expédition**

Un collecteur commun d'aspiration de 48" fournit du GNL produit provenant des réservoirs de stockage aux cinq pompes de chargement de GNL 820-J901/902/903/904/905.

Ces pompes refoulent dans une conduite de chargement de GNL de 30". La conduite peut être utilisée pour charger un méthanier au niveau de n'importe lequel des deux quais de chargement (mais on ne peut charger qu'un méthanier à la fois), et aussi pour faire un transfert inter-complexe. Cela dépend de la fermeture ou de l'ouverture d'un jeu de vanne (trois vannes manuelle situées au niveau des lignes 30"LNG-81210-1939 et 30"LNG-81214-1939 et aussi la vanne HV-80078située dans la ligne 30"LNG-81056-1939)

Le collecteur de transfert pour GL1Z 24"LNG-81017, est raccordé à un pipeline 30"LNG-81214 qui s'étend au-delà de la limite de GL1/Z. Dans le site GL2/Z, ce pipeline est désigné LNG-21005-30". Le pipeline 30"LNG-81214 est muni de deux vannes papillon ; la première vanne est verrouillée en position ouverte, tandis que la vanne à l'extérieur des limites de batteries de GL1Z et GL2Z est verrouillée en position fermé. D'autre part, il existe dans le site GL2Z deux vannes papillon sur la conduite LNG-21005-30", l'une des vannes est verrouillée en position ouverte, tandis que l'autre vanne est verrouillée en position fermée. La conduite LNG-21005-30" aboutit dans la conduite de chargement LNG-21030-32", qui vient des pompes de chargement.

Sur le site GL1Z, un pipeline d'interconnexion (30"LNG-81210) est installé entre la conduite d'interconnexion de GNL partant de GL2Z et la conduite de chargement (30"LNG-81056). Une vanne verrouillée en position fermée (C) est installée dans cette conduite.

Sur le site GL2/Z, un pipeline d'interconnexion LNG-21139-20" est installé entre la conduite d'interconnexion de GNL partant du site GL1Z et la conduite de transfert LNG-21000-20".

#### III.3.3.2.1 Les Modes de transferts

Pour définir toute les modes de transfert, On note le chemin de chargement de navire (chemin A), on lui associer le mode de fonctionnement A.

Les pipelines d'interconnexion sont installés pour permettre d'assurer les modes d'utilisation suivant :

- Charger le GNL, provenant des bacs de GL1/Z, à bord des méthaniers amarrés à la jetée de GL2/Z
- Charger le GNL, provenant des bacs de GL2/Z, à bord des méthaniers amarrés à la jetée de GL1/Z
- Transférer le GNL des bacs de GL1/Z aux bacs de GL2/Z
- Transférer le GNL des bacs de GL2/Z aux bacs de GL1/Z

On les note respectivement par :

Tableau III-1: Les modes de transfert du GNL

Mode de transfert (position)	Transfert de GNL	
	Partant de	Aboutissant à
A	<b>BACS</b> de GL1/Z	<b>JETEE</b> de GL1/Z
B	<b>BACS</b> de GL1/Z	<b>JETEE</b> de GL2/Z
C	<b>BACS</b> de GL2/Z	<b>JETEE</b> de GL1/Z
D	<b>BACS</b> de GL1/Z	<b>BACS</b> de GL2/Z
E	<b>BACS</b> de GL2/Z	<b>BACS</b> de GL1/Z

La figure suivante représente le schéma simplifié de l'interconnexion entre GL1Z et GL2Z. Où on peut clairement voir la position des vannes qui sont représenté par des lettres.

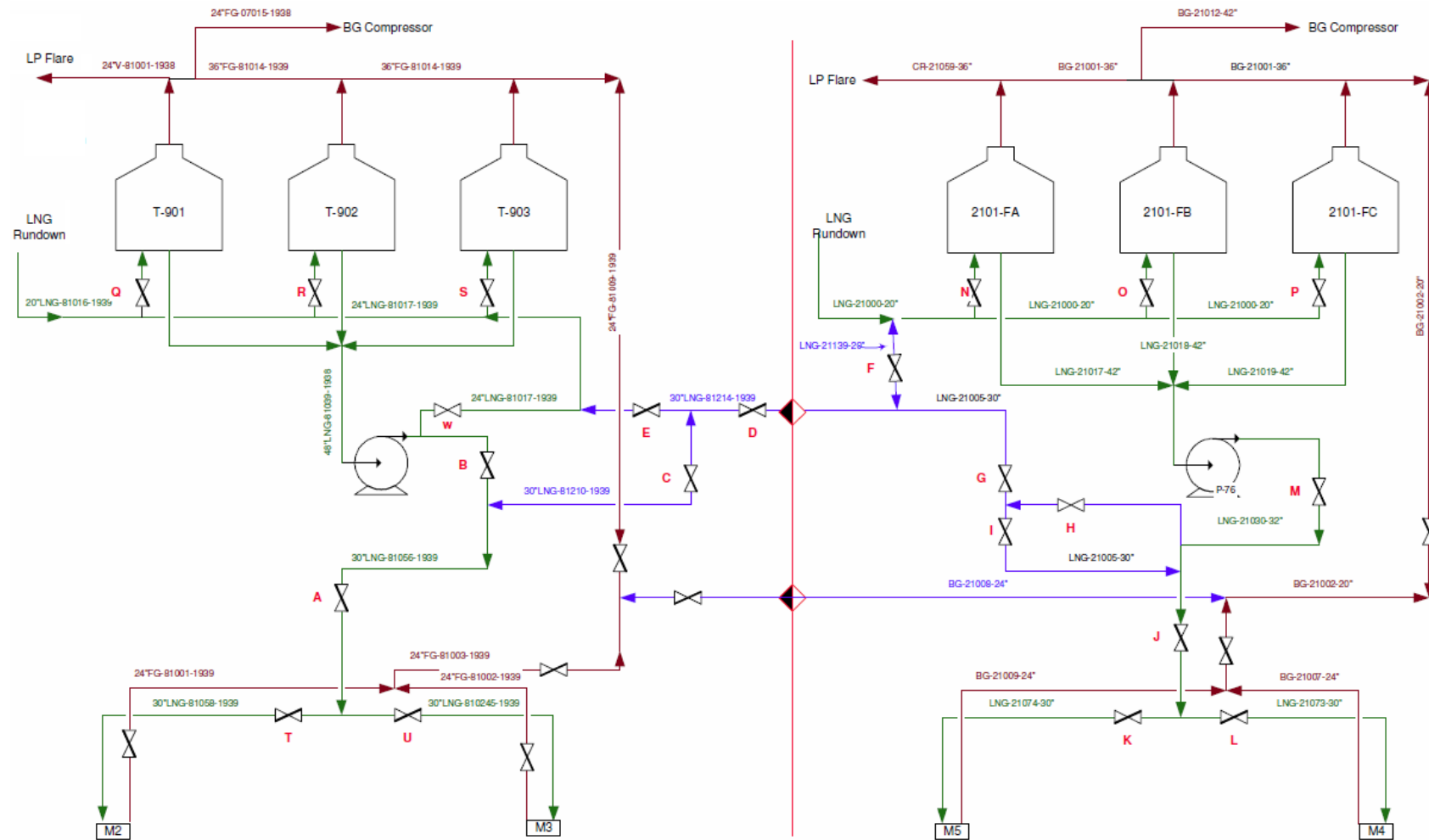


Figure III-2: Schéma simplifié de l'interconnexion entre GL1Z et GL2Z

Le tableau III-2 suivant représente l'état de ses vannes pour chaque mode de fonctionnement.

Tableau III-2: Etat des vannes des modes de transferts

sélection de l'acheminement Vanne	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
B	c	o	o	o	c	c	o	c	o	o	o	c	c	o/c	o/c	o/c	o/c	o/c	o/c	c	c	c
C	o	c	o	o	c	c	o	o	c	c	c	c	o	o/c	o/c	o/c	o/c	o/c	o/c	o	c	c
D	o/c	o/c	c	o	o	o	o/c	c	c	o/c	o/c	o/c	o/c	o	o	o	c	c	c	o/c	o/c	c
E	o/c	o/c	c	o	o	o	o/c	c	c	o/c	o/c	o/c	o/c	c	c	c	o	o	o	o/c	o/c	c

-Ouvrte = O, Fermée = C

-La sélection A n'est pas examinée car elle ne fait pas intervenir un pipeline d'interconnexion

-Quelques vannes sont indiquées comme étant O/C. Ces vannes peuvent être ouvertes ou fermées. Ceci est indifférent pour les modes d'utilisation examinés ici pour les différents pipelines d'interconnexion.

-Le transfert peut se faire vers tous les bacs ou vers un bac particulier.

- Pour les modes D et E le transfert peut se faire vers tous les bacs ou vers l'un de ces trois.

Les schémas simplifiés des modes de transfert sont présentés dans l'annexe 1

Et pour se référer au schéma PID le tableau suivant représente une correspondance entre les lettres indiqués dans la figure précédente et les codes réels des vannes avec les codes des lignes où elles se trouvent, et les références des schémas PID.

Tableau III-3: Correspondance des codes des vannes

code	Tag N° / Etat	N° de la ligne	Référence PID
A	HV-80078	30"-LNG-81058-1939	30-830-11.1
B	FV-80038	30"-LNG-81056-1939	30-820-10.5
C	NC	30"-LNG-81210-1939	30-820-10.5
D	LC	30"-LNG-81214-1939	30-820-10.5
E	LO	30"-LNG-81017-1939	30-820-10.5
F	C.S.O (6662477)	LNG-21139-20"	54d3
G	LO	LNG-21105-30"	54d7
H	LC	LNG-21026-18"	54d7
I	LC	LNG-21105-30"	54d7
J	V-2107	LNG-21030-32"	54d10
K	V-2062A V-2065A V-2070A V2073A	LNG-21094-18" LNG-21093-18" LNG-21092-18" LNG-21091-18"	54d12
L	V-2052A V-2053A V-2054A V-2055A	LNG-21089-18" LNG-21088-18" LNG-21087-18" LNG-21086-18"	54d11
M	MOV-2017A	LNG-21062-30"	54d7
N	MOV-2014A MOV-2015A	LNG-21027-20"	54d4
O	MOV-2014B MOV-2015B	LNG-21028-20"	54d5
P	MOV-2014C MOV-2015C	LNG-21029-20"	54d6
Q	JV-80007	24"-LNG-81018-1939	30-810-10.1
R	JV-80015	24"-LNG-81019-1939	30-810-10.1
S	JV-80023	24"-LNG-81020-1939	30-810-10.1
T	V-830906 V-830907 V-830909 V-830910	16"LNG-81061-1939 16"LNG-81062-1939 16"LNG-81063-1939 16"LNG-81064-1939	30-830-11.2
U	V-830901 V-830902 V-830904 V-830905	16"LNG-81065-1939 16"LNG-81066-1939 16"LNG-81067-1939 16"LNG-81068-1939	30-830-11.2
V	JV-82018 JV-82019 JV-82020 JV-82021 JV82022	10"LNG-810233-1939 10"LNG-810234-1939 10"LNG-810235-1939 10"LNG-810236-1939 10"LNG-810237-1939	30-820-10.2 30-820-10.3 30-820-10.4



**Chapitre IV** *Analyse des risques de  
l'opération de transfert*

## IV.1 INTRODUCTION

Cette étape vise à analyser les risques liés aux différents modes de transfert inter-complexe en vue d'identifier les causes et les conséquences, afin de déterminer les scénarios d'accidents majeurs et de lister les mesures de prévention et de protection en place, notre choix s'est porté sur la méthode HAZOP, au vu de son efficacité pour les systèmes thermo hydrauliques.

Du fait du caractère inflammable du GNL les phénomènes d'accident les plus probables sont les explosions et les incendies, dans ce chapitre nous avons modélisé les effets thermiques et les effets de surpression de ces phénomènes par l'utilisation du programme PHAST.

Pour juger de l'adéquation entre les barrières mis en place et le niveau de risque visé ainsi que pour définir les « exigences » minimales sur la probabilité de défaillance des barrières à mettre en place dans le cas où les barrières existantes ne permettraient pas de justifier d'un risque acceptable on a utilisé la méthode LOPA.

## IV.2 ETUDE HAZOP

### IV.2.1 Choix de mode de transfert

Notre choix sur le mode de transferts à étudier est porté sur le mode « D » qui est le transfert entre les bacs GL1/Z et les bacs GL2/Z, ce choix n'ai pas au hasard car c'est le mode le plus utiliser. La figure IV-1 ci-dessous représente le chemin traversé par le fluide GNL. voire annexe 1

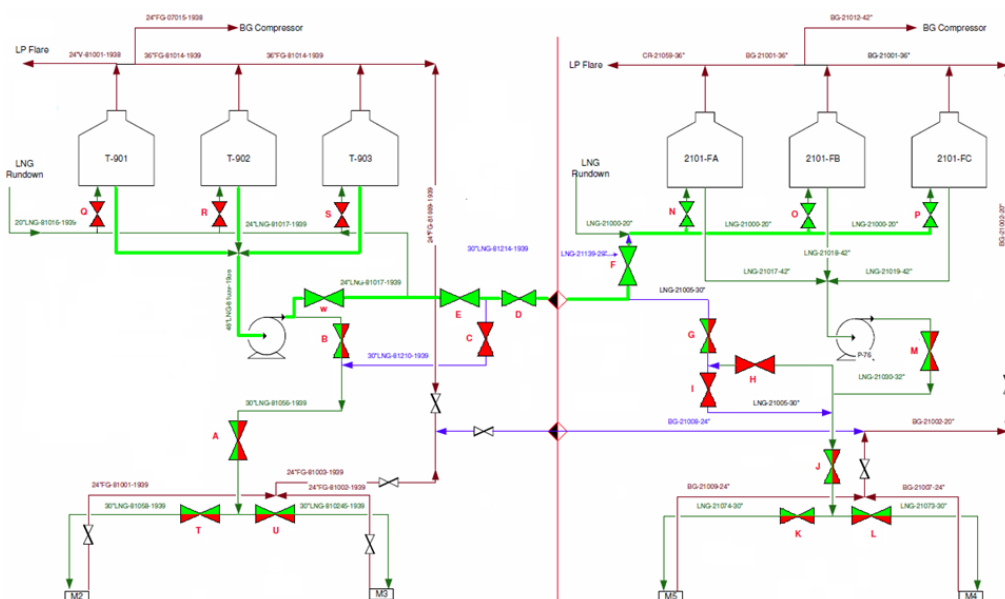


Figure IV-1: Chemin de transfert D

#### IV.2.2 Résultat de l'HAZOP

L'étude HAZOP a été réalisée sur la base des plans instrumentés (PID) des deux complexes fournis par SONATRACH. Le tableau de réalisation de l'HAZOP se trouve dans l'annexe 2

#### IV.2.3 Discussion des résultats de tableau l'HAZOP

L'analyse HAZOP a permis de mettre en évidence 21 déviation, réparties sur Les quatre nœuds :

Tableau IV-1: Répartitions des déviations

Le nœud	Nombre de déviation
Bac de stockage T901	5
Pompes de chargement ; Pompes de refroidissement	6
Ligne de transfert inter-complexe	5
Bac de stockage 2101-FA	5

##### Le Nœud N°1 et N°4 :

Le phénomène le plus dangereux dans les bacs est le Roll-Over c'est le renversement de couche, accompagné d'une évaporation importante de GNL, qui peut conduire à des augmentations de pression significatives à l'intérieur du réservoir. L'apparition de ce phénomène fait suite à deux causes :

- Le GNL en repos depuis longtemps, plus de 3 mois. Le GNL est majoritairement composé de méthane (souvent plus de 90%), mais il est également constitué par d'autres gaz, comme le butane et le propane, présent en plus faibles proportions. Ces gaz ont des propriétés physiques 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 « légère ».
- Le transfert de GNL entre les deux complexes, Les trains de production des deux complexes ne sont pas identiques donc les caractéristiques et la composition du GNL ne sont pas les mêmes .lorsqu'il y a un transfert du GNL entre les deux complexes, la différence de composition conduit à la différence de densité cette dernière peut conduire à des phénomènes de renversements de couche, « roll-over ».

La protection existe lors de la conception, le bac de stockage contient 100 thermocouples répartis sur toute sa surface interne. Si on détecte une différence de températures d'environ 10°C, entre deux thermocouple, une alarme sera déclenché dans la salle de contrôle, de ce fait l'opérateur enclenche la pompe de circulation du GNL entre les bacs pour homogénéiser le contenue.

Le Nœud N°2 :

La majorité des déviations amènent au dysfonctionnement des pompes conduisant à l'arrêt du transfert. Les mesures de sécurité existantes permettent de protéger les pompes, mais des entretiens périodiques sont nécessaires pour assurer leurs bons fonctionnements.

Le nœud N°3 :

Toutes les déviations ont des moyens de détection et de maîtrise (boucle de régulation ou de sécurité) toute au long de chemin « D » sauf le tronçon qui relie les deux complexe (30''LNG-81214-1939), aucune détection et aucune sécurité.

Figure IV-2 ci-dessous indique le tronçon le plus faible.

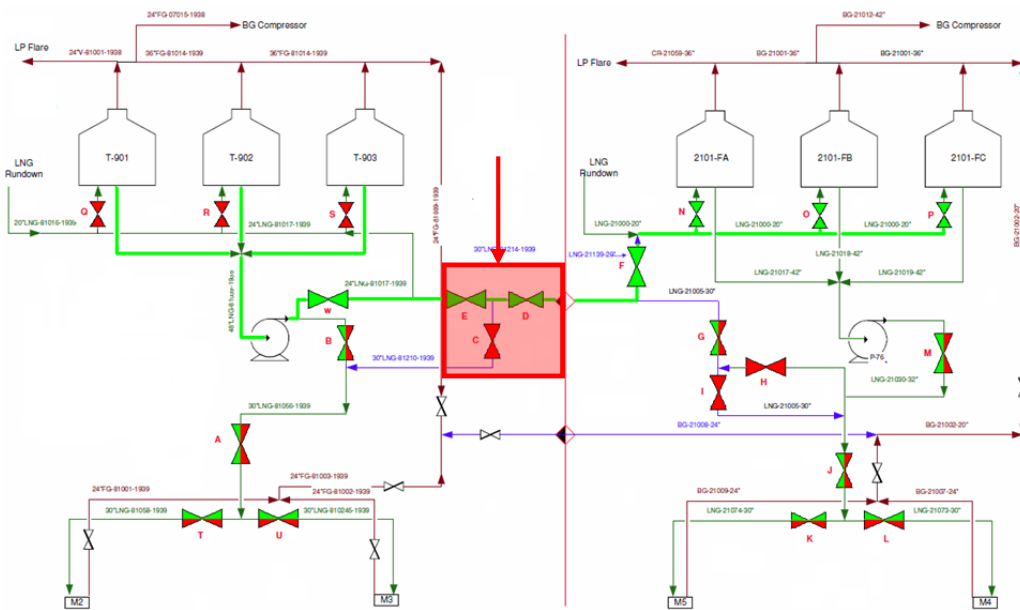


Figure IV-2: Illustration du tronçon le plus faible

Ce tronçon est commun dans tous les modes de transfert inter-complexe, ce qui signifie que l'amélioration de la sécurité de ce tronçon impliquera une sécurisation de tous les modes de transfert « B, C, D, E ».

#### IV.2.4 Corrosion des supports

L'Etat des supports de la conduite de transport présente d'autre imperfection liée à la vétusté de l'installation, s'il va y avoir une défaillance du support médian, on va être dans une configuration d'un pipe soutenu par deux supports extrêmes seulement, ce qui représente en lui-même une défaillance supplémentaire qui devrait augmenter le risque lié à l'installation, on peut présenter dans ce qui suit un aperçu succinct des répercussions de la charge sur la contrainte de flexion limite du matériau (cette configuration n'a pas été prise en compte dans les calculs des niveaux de SIL).

La ligne 30"-LNG-81214-1939 est portée sur des supports séparés entre eux par une distance  $L/2$  de 18 mètres, on a remarqué que le support médian est gravement usé (il ne porte pas convenablement la ligne).

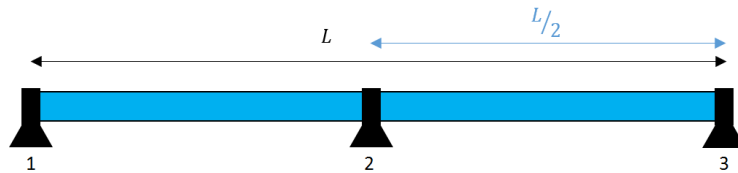


Figure IV-3: Illustration des supports de la ligne 30"-LNG-81214-1939

On veut calculer le fléchissement dans les conditions suivant :

- La conduite est remplie avec le liquide (au cours de l'opération de transfert GL1/Z)
- La distance entre support (1) et (3) est de 36 mètres (le support (2) étant usé)
- La seule force agissant sur la conduite est la force de pesanteur (charge reparti uniformément  $q$  ( $N.m^{-1}$ )).

##### IV.2.4.1 Données liées à la conduite :

Le matériau de conduite est un acier inoxydable A312 TP312 [15], le diamètre interne de la conduite est «  $d$  », l'épaisseur de la conduite est de «  $e$  », le diamètre externe de la conduite est «  $D$  », la masse volumique de l'acier inoxydable est de «  $\rho_{Al}$  », la masse volumique du GNL est d'environ «  $\rho_{GNL}$  », «  $R_e$  » la résistance pratique d'élasticité du matériau de la conduite.

$$g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$L = 36 \text{ m}$$

$$d = 0,762 \text{ m}; r = d/2$$

$$e = 6,35 \text{ mm}$$

$$D = 0,7747 \text{ m}; R = D/2$$

$$\rho_{Al} = 7930 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho_{GNL} = 450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$R_e = 205 \text{ MPa} [16]$$

**IV.2.4.2 Calcul de contrainte liée à la charge :**

- La masse d'un mètre de la conduite :

$$M = V_{AI} * \rho_{AI} + V_{GNL} * \rho_{GNL} = I * \pi * (R^2 - r^2) * \rho_{AI} + I * \pi * r^2 * \rho_{GNL}$$

Application numérique :  $M = 323,71 \text{ kg.m}^{-1}$

- Le poids d'un mètre de la conduite

$$q = M * g$$

Application numérique :  $q = 3175,58 \text{ N.m}^{-1}$

$$q \approx 3176 \text{ N.m}^{-1}$$

- Action aux appuis en A et B

3<sup>ème</sup> principe de Newton  $\vec{A} + \vec{B} + \vec{q} = 0$

En projection sur y :  $A_y + B_y - qL = 0$  avec  $A_y = B_y$  du fait de symétrie.

$$A_y = B_y = \frac{qL}{2}$$

Application Numérique :  $A_y = B_y = 57168 \text{ N}$

- Effort tranchant

$$T_{AB} = A_y - qx = 3176(18 - x)$$

$$C.L \begin{cases} x = 0 & \Rightarrow T_{AB} = 57168 \text{ N} \\ x = 36 & \Rightarrow T_{AB} = -57168 \text{ N} \end{cases}$$

- Moment fléchissant

$$M_{f_{AB}} = -A_y x + q * x \frac{x}{2}$$

$$M_{f_{AB}} = 1588 * x(x - 36)$$

– Diagramme

$$\frac{dM_{f_{AB}}}{dx} = \frac{d[1588 * x(x - 36)]}{dx}$$

$$\frac{dM_{f_{AB}}}{dx} = 3176(x - 18)$$

$$\text{pour } x = 18 \Rightarrow \frac{dM_{f_{AB}}}{dx} = 0$$

La valeur maximale pour le moment de fléchissement est alors (pour  $x = 18$ )

$$M_{f_{AB,max}} = -514512 \text{ Nm}$$

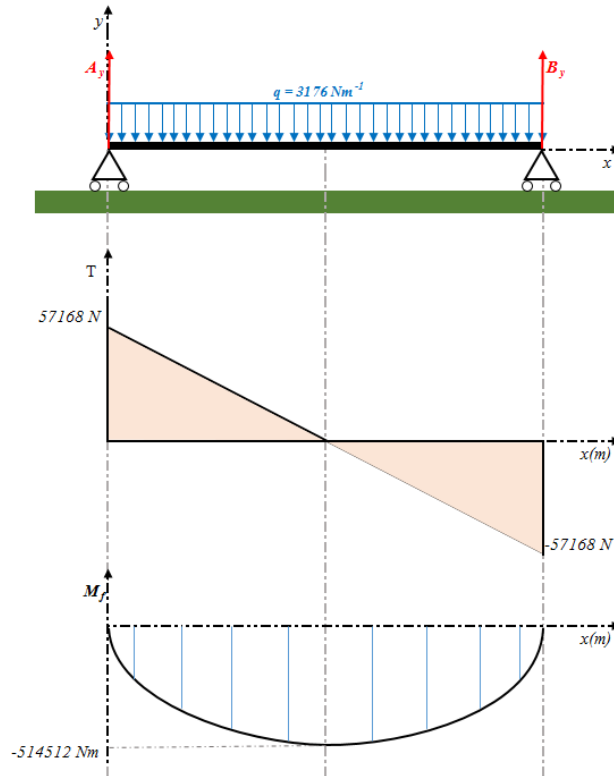


Figure IV-4 : Illustration des résultats de calcul

- Contraintes normales en flexion

Lors de la déformation, les sections droites restent perpendiculaires à la courbe moyenne,

- la fibre neutre ne subit ni allongement ni raccourcissement (contraintes nulles);
- les fibres situées au-dessus de la fibre neutre sont comprimées et supportent des contraintes de compression ;
- Celles situées au-dessous de la fibre neutre sont tendues et supportent des contraintes de traction.

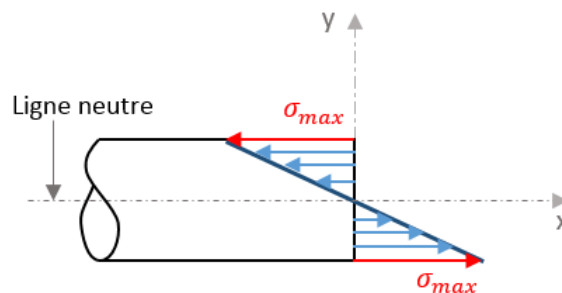


Figure IV-5: Contrainte normale de flexion

La contrainte normale maximale est exprimée :

$$\sigma_{max} = \frac{M_{fAB}}{I_z/Y_{max}}$$

– Module de flexion :

Pour la conduite :

$$\frac{I_z}{Y_{max}} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32 * D} = 2,85 * 10^{-3} m^3$$

Tel que  $Y_{max} = D/2$

– La contrainte normale maximale  $\sigma_{max}$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{f_{AB}}}{I_z/Y_{max}} = \frac{514512}{2,85 * 10^{-3}}$$

$$\sigma_{max} = 180,57 MPa$$

La contrainte normale maximale doit rester inférieure à la contrainte limite admissible liée au matériau désigné par la résistance pratique de la conduite  $R_{pe}$  :

$$R_{pe} = \frac{R_e}{s}$$

s est le coefficient de sécurité (s=1,15 pour l'acier)

$$R_{pe} = \frac{205}{1,15}$$

$$R_{pe} = 178,26 MPa$$

On remarque que  $\sigma_{max} > R_{pe}$ , ceci engendrera une déformation plastique de la conduite

#### **IV.2.4.3 Recommandation urgentes :**

- Remplacer les supports gravement usés par de nouveaux supports.
- Empêcher la corrosion uniforme en protégeant la surface de support par :
  - une solution électrochimique comme une couche de zinc galvanisé.
  - la peinture ou de l'huile de protection : Il s'agit sans conteste de la méthode de protection la plus courante des installations en acier. Les surfaces à peindre doivent être nettoyées avec soin à l'aide d'une brosse métallique, ou mieux, par projection de sable. On applique d'abord une première couche à base de zinc, puis deux couches de peinture spéciales.
- Organiser des visites régulières pour voir leur état et de détecter toute anomalie pouvant se traduire par une dégradation réelle ou potentielle des supports.



### IV.3 ETUDE LOPA

A la suite de l'étude de HAZOP, il ressort que le scénario le plus dangereux est une fuite dans la canalisation contenant du GNL va dissiper une grande quantité de gaz sous forme liquide dans l'atmosphère, une partie du liquide se vaporise instantanément à la sortie de la fissure, et crée un nuage très froid tandis que le reste se dirige vers le sol sous forme de gouttelettes en formant une nappe de GNL, de ce fait, plusieurs phénomènes dangereux sont susceptibles de se produire :

- le feu de nappe ;
- la dispersion atmosphérique ;
- l'UVCE ;
- le flash fire.

Pour pouvoir quantifier l'occurrence de certains de ces phénomènes, il est nécessaire de distinguer l'inflammation immédiate de l'inflammation retardée.

L'inflammation de la fuite auprès d'une source d'ignition, peut se produire:

- **Soit immédiatement:** il y a alors création de feu de nappe.
- **Soit de manière retardée:** dans ce cas, la fuite peut conduire à ;
  - ✓ Un UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion)
  - ✓ flash fire ( feu éclair)

Dans le cas où le nuage ne rencontre aucune source d'ignition, la fuite conduit au phénomène de dispersion atmosphérique.

#### **Les principales causes d'une fuite :**

À l'aide des données obtenues dans le cadre de l'étude HAZOP, on a tiré trois causes qui peuvent conduire à une fuite :

- Défaillance de la boucle de régulation (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038)
- Erreur Humaine : puisque le transfert se fait manuellement, le système n'est pas automatisé à la gestion de l'opération. On cite à titre d'exemple l'opérateur qui peut oublier facilement d'ouvrir la vanne aval.
- Rupture de joint statique.

Dans ce schéma on représente un regroupement des phénomènes dangereux et leurs causes initiatrices

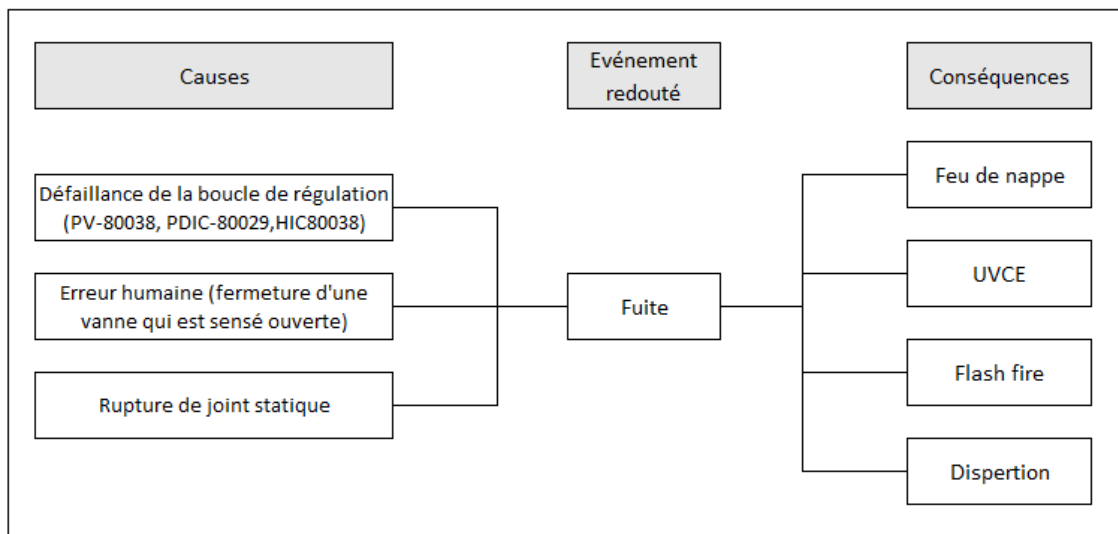


Figure IV-6: Phénomènes dangereux et leurs causes

Le tableau suivant regroupe tous les scénarios qu'on va analyser par la méthode LOPA

Tableau IV-2: Scénario retenue pour l'étude LOPA

Numéro de scenario	conséquence	cause initiatrice
1.1	<b>Feu de nappe :</b> Fuite de GNL avec ignition immédiate	Défaillance de la boucle de régulation
1.2		Erreur Humaine
1.3		Rupture de joint statique
2.1	<b>Flash fire :</b> Fuite de GNL avec ignition retardé	Défaillance de la boucle de régulation
2.2		Erreur Humaine
2.3		Rupture de joint statique
3.1	<b>UVCE :</b> Un mélange stœchiométrie résultant d'une fuite avec présence d'ignition retardée*	Défaillance de la boucle de régulation
3.2		Erreur Humaine
3.3		Rupture de joint statique
4.1	<b>Dispersion atmosphérique :</b> Fuite de GNL sans rencontrer une source d'ignition	Défaillance de la boucle de régulation
4.2		Erreur Humaine
4.3		Rupture de joint statique

\*La stœchiométrie est atteinte lorsque la répartition du combustible et du comburant est exactement proportionnelle à celle écrite lorsque l'on équilibre la réaction de combustion. C'est le mélange donnant le meilleur rendement.

### IV.3.1 Quantification des événements initiateurs et probabilité d'inflammation

#### IV.3.1.1 Fréquence des événements initiateurs

Le tableau suivant présente un extrait des fréquences des Événements initiateurs [12].

Tableau IV-3: Fréquences d'occurrence pour des événements initiateurs

Les événements initiateurs	fréquences d'occurrences (an <sup>-1</sup> )	Source
Défaillance de la boucle de régulation	0,1	CCPS
Erreur Humaine	0,01	CCPS
Rupture de joint statique	0,01	CCPS

#### IV.3.1.2 Probabilité d'inflammation

Le tableau suivant représente un calcul des probabilités d'inflammation relative à chaque phénomène dangereux en calculant les probabilités d'ignition [17].

Tableau IV-4: Probabilité d'ignition selon le Phénomène dangereux

N°	Phénomène dangereux	Condition de réalisation	Probabilité d'inflammation	Formule de calcul
1.x	Feu de nappe	Ignition immédiate	0,065	$P_{ii}$
2.x	Flash fire	Ignition retardé + mélange non stœchiométrique	0,2992	$(1-P_{ii}) * P_{ir} * (1-P_e)$
3.x	UVCE	Ignition retardé + mélange stœchiométrique	0,0748	$(1-P_{ii}) * P_{ir} * P_e$
4.x	Dispersion	Non ignition	0,561	$(1-P_{ii}) * (1-P_{ir})$

$P_{ii}$  : Probabilité d'ignition Immédiate  
 $P_{ir}$  : Probabilité d'ignition retardée  
 $P_e$  : Probabilité d'explosion (Présence d'un mélange stœchiométrique)

### IV.3.2 Analyse d'un scénario 1.1 :

Épandage du GNL suite à une fuite avec une ignition immédiate.

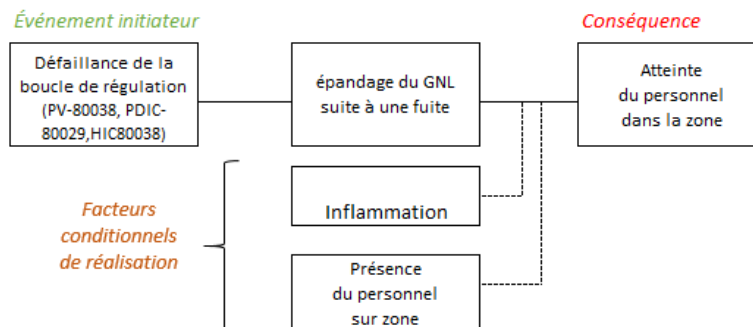


Figure IV-7: Description du scénario 1.1 suivant la méthode LOPA

La fréquence d'occurrence du scénario (ou de la conséquence) peut s'évaluer comme suit:

1. *événement initiateur du scénario*: défaillance de la boucle de régulation (PV-80038, PDIC-80029, HIC 80038). (en accord avec la valeur proposée dans [10] pour la défaillance d'une boucle de régulation gérée par un BPCS).

$$f_i = 10^{-1} \text{an}^{-1}$$

2. *Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable* :  $10^{-5}/\text{an}$

Cette valeur est spécifiée et imposée par l'entreprise pour atteindre un niveau de risque acceptable.

3. *Probabilité d'inflammation* :  $P_i = 0,065$
4.  $P_{\text{Présence}} = 0,9$  ( l'opération nécessite la présence d'au moins un opérateur et on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone).
5. *Probabilité de blessures* =1 (on suppose ici qu'un opérateur exposé au flux thermique sera systématiquement blessé, hypothèse conservative).
6. Fréquence du scénario sans les barrières :  $0,1 * 0,065 * 0,9 = 5,58 * 10^{-3}$
7. Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée : Vis-à-vis de ce scénario, aucune IPL n'est valorisable puisque l'événement initiateur à l'origine de la fuite de GNL est la défaillance de la boucle de régulation.
8. Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes :  $5,58 * 10^{-3}$
9. En se référant aux critères d'acceptabilité de l'entreprise,  $10^{-5}/\text{an}$ . La fréquence d'occurrence étant supérieure à la fréquence cible, il est alors possible de déterminer le facteur de réduction du risque (RRF) qui permettrait de rendre ce risque acceptable. Ce facteur se calcul comme suit :

$$\text{RRF} = \frac{\text{Fréquence d'occurrence calculée}}{\text{La fréquence d'occurrence}} = \frac{5,58 * 10^{-3}}{10^{-5}} = 585$$

Pour assurer ce RRF, il faut alors proposer la mise en place d'une barrière de sécurité qui soit une IPL et que la probabilité de défaillance soit donc inférieure ou égale à  $1/\text{RRF}$ . On en déduit alors que la PFD de l'IPL à proposer ne doit pas dépasser  $1,71 * 10^{-3}$ . Pour répondre cet objectif, la proposition faite est donc de mettre en place un système instrumenté de sécurité de niveau SIL 2.

Le tableau suivant représente la synthèse de ce scénario :

Tableau IV-5: Fiche de synthèse LOPA pour scénario 1.1

Numéro du scénario:1.1	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: feu de nappe	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	épanchage du GNL suite à une fuite avec une ignition immédiate		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entrainer un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	Défaillance de la boucle de régulation (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038)		1,00E-01
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'inflammation	0,065	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
Fréquence du scénario sans les barrières		5,85E-03	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	Aucune IPL vis-à-vis de ce scénario	-	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'Indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			5,85E-03
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>NON</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : <a href="#">proposition de mise en place d'une SIF permettant L'arrêter d'urgence de l'opération de transfert (Emergency Shut Down)</a>			
Notes : il est proposé de mettre en place une SIF de niveau d'intégrité <b>SIL 2</b> .			
Références (PID, etc.) : <b>30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4</b>			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : –			

La synthèse des autres scénarios se trouvent dans l'annexe 3

**IV.3.3 Résultat du LOPA :**

Sur les 12 scénarios qui ont été analysées, on a requis un niveau SIL3 pour deux scénarios, un niveau SIL2 pour deux scénarios, un niveau SIL1 pour deux scénarios et aucune exigence particulière de sécurité pour 6 autres scénarios.

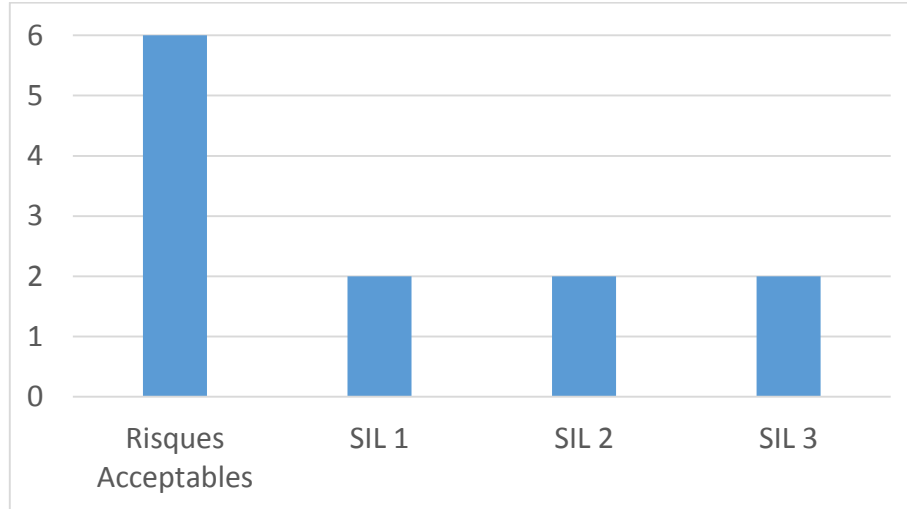


Figure IV-8: Distribution des Scénarios

Il reste six scénarios de risque non acceptable regroupé dans le tableau ci-dessous :

Niveau de SIL	Numéro de scénario	Totale
SIL1	4.2-4.3	2
SIL2	1.1 – 3.1	2
SIL3	2.1 – 4.1	2

La maîtrise de ces risques nécessite l'implantation d'un système instrumenté de sécurité de niveau SIL 3, tout en sachant qu'un SIL 3, maîtrise automatiquement les risques qui nécessitent un SIL1 ou un SIL2.

## IV.4 ANALYSE QUANTITATIVE ET SIMULATION PHAST

### IV.4.1 Condition météorologique

Etant donné la proximité de la mer, sa topographie et son altitude, la zone d'Arzew a un climat tempéré, subtropical méditerranéen. Il se caractérise par un été sec qui dure de trois à quatre mois, et des hivers doux et humides.

Les données météorologiques (statistiques climatologiques pour la période : 1985-2007) sont fournies par le Centre Climatologique National; elles proviennent de la station d'Arzew dont les coordonnées sont : [5]

Latitude : 35°49'N      Longitude : 00°16'W      Altitude : 3 mètres

Les précipitations moyennes mensuelles peuvent varier de 1 mm d'eau en saison sèche à environ 80 mm en période hivernale, Les conditions météorologiques, nécessaires pour la modélisation, sont l'Humidité, la température et le vent.

#### IV.4.1.1 Humidité

La zone côtière d'Oran se caractérise par une humidité relative de plus de 60% tout le long de l'année. L'humidité annuelle moyenne de la zone d'industrielle d'Arzew est de 76%, avec une moyenne de minimums de 70 % et une moyenne des maximums de 80 % [5].

#### IV.4.1.2 Température

A Arzew, la moyenne de température annuelle est de 19,0°C entre 1985 et 2006.

La Figure IV-9 représente la variation interannuelle de la température moyenne, une hausse significative de la température moyenne est à signaler à partir des années 90.

La température minimale la plus basse enregistrée au cours de cette période à la station d'Arzew est de 0,6°C alors que le maximum observé est de 42,5°C.

Les températures moyennes mensuelles peuvent osciller entre 1,8°C en janvier et 37°C en août [5].

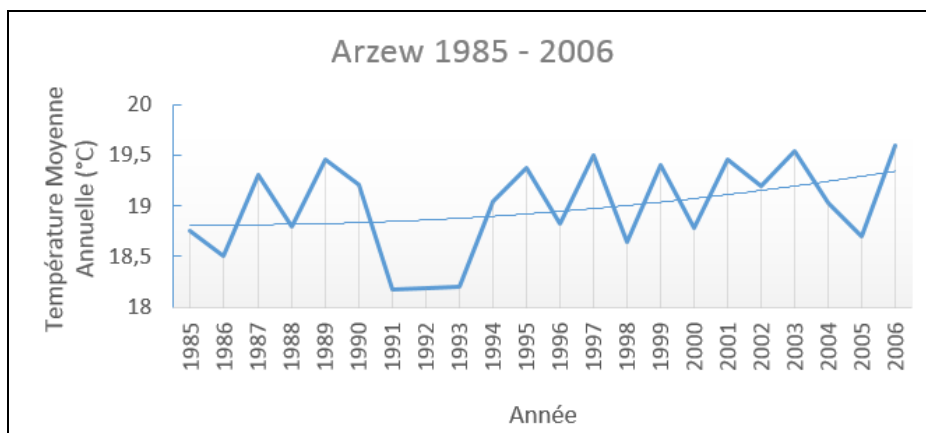


Figure IV-9: Variation interannuelle de températures sur Arzew

**IV.4.1.3 Vent**

A l'échelle annuelle, on peut dire que les vents dominants sont du secteur Ouest. Environ 2% des vents sont compris entre 11 et 16 m/s, 10% sont compris entre 6 et 11 m/s et 8% sont compris entre 1 et 6 m/s. les vitesses du vent les plus fréquentes sont celles qui sont comprises entre 1 et 6 m/s. les vitesses comprises entre 6 et 11 m/s occupent la deuxième position.

La figure IV-10 suivante représente la distribution fréquentielle des quatre classes de vitesse [5].

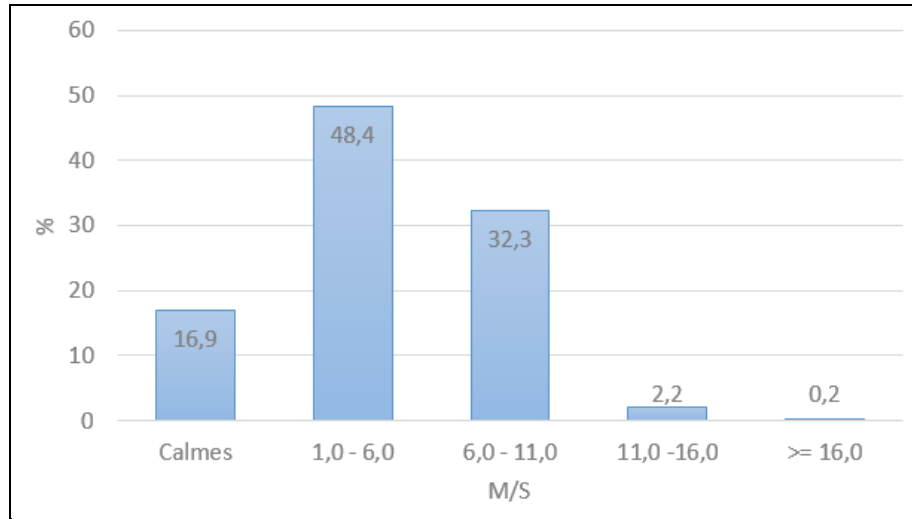


Figure IV-10: Distribution fréquentielle des quatre classes de vitesse

La figure IV-11 suivante représente la distribution de quatre classes de vent selon huit directions [5].

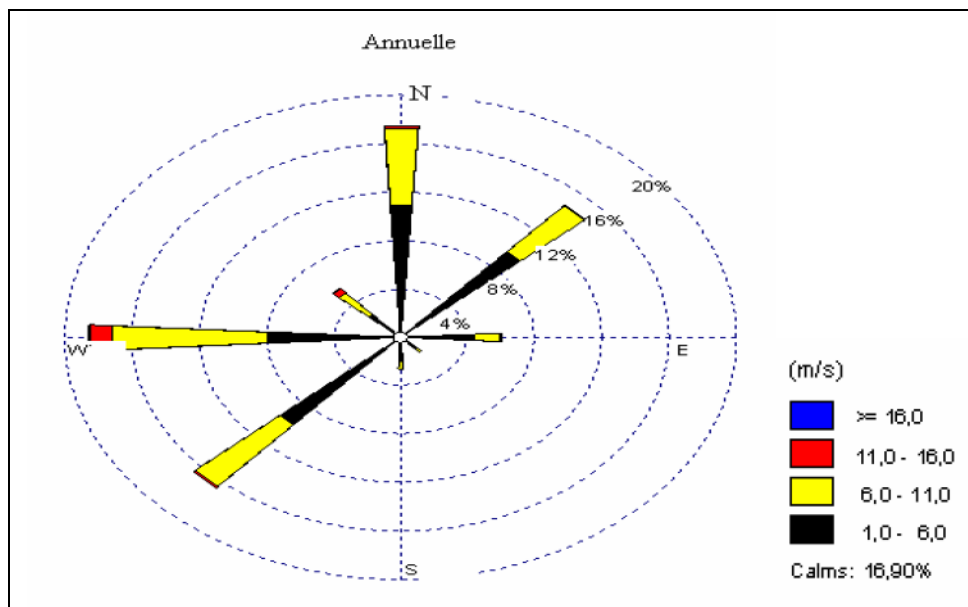


Figure IV-11: Distribution des classes de vent selon les directions



#### IV.4.2 La population

D'après le PDAU de la commune d'Arzew, le complexe GL1Z se trouve dans la zone SI-9, soit le pôle industriel pétrochimique qui s'étend sur une superficie de 2592 ha et comprend deux ports spécialisés et une plateforme industrielle. Le pôle industriel d'Arzew est situé à 42 km au nord d'Oran. Il s'étend sur environ 12 km et englobe les communes d'Arzew, d'Ain El Biya, de Bethioua et de Mers El Hadjadj.

Le tableau suivant présente la démographie des agglomérations les plus proches du site ainsi que leur distance par rapport au site [5].

Tableau IV-6: Distance des agglomérations par rapport au site

Agglomérations	Nb d'habitants	Distance par rapport au site
Bethioua	17 660	<200m
Ain El Biya	31595	2 km
Arzew	82590	5,5 km
Mers El Hadjadj	12689	7,8 km

Source : Direction de la Planification et de l'aménagement du Territoire (DPAT) 2008

Les premières habitations se situent à moins de 200 m des limites de propriété de GL1Z.

#### IV.4.3 Les scénarios de référence

A la suite de l'étude HAZOP, il a été retenu que le scénario le plus dangereux est une fuite dans la ligne qui va émettre une quantité de gaz liquéfié provoquant l'un des phénomènes dangereux cité dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-7: Scénario retenu pour l'étude

Événement redouté	conséquence
Fuite du GNL suite à une Fuite moyenne sur une bride dans la ligne 30"LNG-81214-1939	Dispersion atmosphérique ; Feu de nappe ; UVCE ; Flash Fire (feu de nuage).

#### IV.4.4 Fréquences d'occurrence de l'événement

Les calculs des fréquences de défaillances des canalisations sont basés sur des données extraites du. Handbook failure frequencies.[18]

Tableau IV-8: Fréquence de défaillance pour les canalisations aérienne

Type de défaillance	Fréquences de défaillances (/an)
Petite fuite $D_{\text{éq}}=0.1D$	$2,8*10^{-7} L/D$
Fuite moyenne $D_{\text{éq}}=0.22D$	$1,2*10^{-7} L/D$
Grande fuite $D_{\text{éq}}=0.45D$	$5,0*10^{-8} L/D$
Rupture $D_{\text{éq}}=1,0D$	$2,2*10^{-8}L/D$
L= Longueur de pipeline (m) (au moins 10 m) D= diamètre intérieur (m).	

Puisque la ligne est portée par des supports corrodés, la fréquence de la fuite moyenne est multipliée par un facteur de 10 [18].

Donc La fréquence de la fuite moyenne résultante est :

$$F = 1,2 * 10^{-6} L/D$$

Dans le tableau IV-9 on remplace la longueur et le diamètre dans la formule précédente pour obtenir la fréquence du scénario choisi :

Tableau IV-9: Fréquence de défaillance de la ligne 30"LNG-81214-1939

Longueur de canalisation (m)	Diamètre (m)	Fréquence (an <sup>-1</sup> )
350	0,762 (30")	$5.51*10^{-4}$

#### IV.4.5 Fréquence d'occurrence des conséquences

L'estimation réaliste des probabilités d'ignition est un paramètre essentiel de l'évaluation des conséquences d'accident et du niveau de risque qui leur est associé

**IV.4.5.1 Probabilité d'ignition instantanée**

Le « purple book » recommande les valeurs figurant dans le Tableau (IV-10) ci-dessous :

Tableau IV-10: Probabilité d'ignition instantanée pour une installation fixe [8]

Source		Substances		
Continué	Instantané	Liquide	Gaz (faible réactivité)	Gaz (moyenne/ fort réactivité)
< 10 kg/s	<1000 kg	0,065	0,02	0,2
10-100 kg/s	1000-10000 kg/s	0,065	0,04	0,5
> 100 kg/s	> 10000 kg/s	0,065	0,09	0,7

**IV.4.5.2 Probabilité d'ignition retardé**

Le tableau (IV-11) suivant représente les probabilités d'ignition en une minute cité dans (Purple book) avec un ajustement relative aux conditions de site.

Tableau IV-11: Probabilité d'ignition en une minute [17]

Source	Probabilité d'ignition dans une minute
<b>Source Ponctuelle</b>	
Véhicule	0,4
Torche	1,0
Four à l'extérieur	0,9
Four à l'intérieur	0,45
Chaudière à l'extérieur	0,45
Chaudière à l'intérieur	0,23
<b>Source Linéaire :</b>	
Source de transmission	0,2 par 100m
Route	0,06
Chemin de fer	0,011
<b>Source surfacique :</b>	
Installation chimique	0,9 par site
Raffinerie de pétrole brut	0,9 par site
<b>Source de population</b>	
Résidentiel	0,01 par personne
Force (employées)	0,01 par personne

Les fréquences d'occurrence de chaque phénomène dangereux sont représentées sur l'arbre d'événement, dans la figure ci-dessous. Ces fréquences sont calculées à partir de la fréquence de la fuite et les probabilités d'ignition :

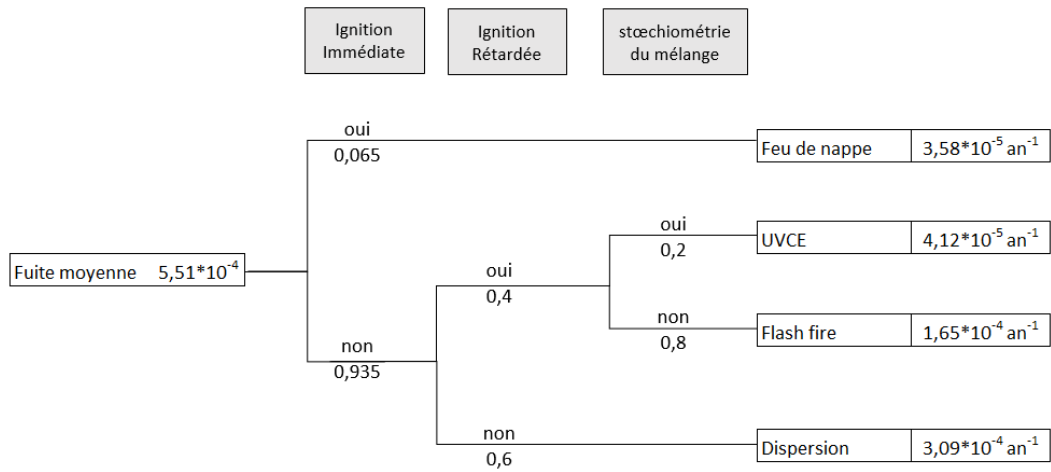


Figure IV-12: Arbre d'événement d'une fuite moyenne de la ligne 30" LNG-81214-1939

Le calcul des fréquences finales :

- Feu de Nappe (FN) =  $(5,51 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,065$
- Unconfined Vapour cloud explosion (UVCE) =  $(5,51 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,935 \cdot 0,4 \cdot 0,2$
- Flash Fire (FF) =  $(5,51 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,935 \cdot 0,4 \cdot 0,8$
- Dispersion =  $(5,51 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,935 \cdot 0,6$

#### IV.4.6 Modélisation des conséquences d'événement

L'analyse des conséquences relatives au scénario retenu sera effectuée à l'aide du logiciel PHAST (version 7.11.33.0).

Le logiciel PHAST est un outil informatique de modélisation intégrée au logiciel SAFETI. PHAST a été rigoureusement validé et vérifié. La théorie et la performance du modèle unifié de dispersion (UDM) développé par DNV ont également été analysées de façon indépendante dans le cadre des projets financés par la Communauté Européenne. Le modèle a excellé sur les plans de la théorie et de la performance et représente le standard pour l'évaluation des conséquences d'accidents [5].

**IV.4.6.1 Critères retenus pour la détermination des zones de dangers**

**IV.4.6.1.1 Effets thermiques**

Les valeurs seuils des effets thermiques de référence retenues sont [19]:

Tableau IV-12: Seuil des effets thermiques

Valeur	Effet sur l'homme	Effet sur les structures
8 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.	Seuil des effets dominos correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures.
5 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets létaux (SEL) correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine.	Seuil des destructions de vitres significatives.
3 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets irréversibles (SEI) correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine.	

**IV.4.6.1.2 Effets de surpression**

Les valeurs seuils des effets de surpression de référence retenues sont [19] :

Tableau IV-13: Seuil des effets de surpression

Valeur	Effet sur l'homme	Effet sur les structures
200 mbar	Seuil des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.	Seuil des effets dominos
140 mbar	Seuil des premiers effets létaux (SEL) correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine.	Seuil des dégâts graves sur les structures
50 mbar	Seuil des effets irréversibles (SEI) correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine.	Seuil des dégâts légers sur les structures

**IV.4.6.2 Donnée de modélisation**

Les données de modélisation du scénario rupture catastrophique de la ligne 30"LNG-81214-1939 sont représentées dans le tableau IV-14

Tableau IV-14: Données de modélisation du scénario

	Paramètre	Donnée		
Condition de transfert	Type de produits	Gaz Naturel Liquéfié		
	Etat du produit	Liquide		
	Température	-162°C		
	Débit volumique	2200 m <sup>3</sup> /h		
	Pression	6 Bar		
Scénario	Scénario	Fuite moyenne		
	Lieu de décharge	En dehors des bâtiments		
	Phase de décharge	Liquide		
canalisation	Diamètre interne	762 mm (30")		
	Longueur	350 m		
Calcul d'effets	Seuil de référence de surpression	50 mbar	140 mbar	200 mbar
	Seuil de référence de radiation	3 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>
	Température moyenne	19°C		
	Vent	6 m/s _D		
	Humidité	76 %		

**IV.4.6.3 Résultat de la modélisation**

Le résultat de la modélisation définit les différentes conséquences caractérisées par les distances de ses effets sur les personnes, les structures et l'environnement. Les plans des conséquences donnés par le PHAST comprennent en général deux types de courbes, la plume' qui représente la portée de l'événement en considérant la direction de vent la plus fréquente et l'effet qui représente la zone couverte en considérant les vents dans toutes les directions.

#### IV.4.7 Discussions des résultats :

##### IV.4.7.1 La dispersion atmosphérique

Si les vapeurs de GNL issues de l'évaporation d'une nappe ou directement dégagées par un rejet depuis la ligne ne sont pas immédiatement enflammées, le GNL continue de s'évaporer et crée un nuage très froid.

Vu la densité de vapeurs du GNL ( $d=1,5$ ) supérieure à celle de l'air ( $d=1,29$ ), Le nuage de vapeurs de GNL créé par une nappe de GNL a donc une densité initialement plus importante que celle de l'air. Peu à peu, les vapeurs vont d'une part se réchauffer et d'autre part se mélanger avec l'air ambiant, qui, lui, va alors se refroidir donc s'alourdir. Ce mélange va s'accumuler près du sol.



Figure IV-13: Courbe de concentration du gaz dispersé

Comme montrée dans la figure IV-13. Il y a trois concentrations de gaz dispersé qui peuvent être dangereuse sur des distances déterminées :

- Une Zone en rouge riche en méthane où on dépasse la limite supérieure d'inflammabilité qui s'étend sur une distance de 165 m, dans ce cas, le risque d'inflammabilité est minime.
- Une Zone en vert qui va jusqu'à 323 m de distance. Dans cette zone, les concentrations du gaz et l'oxygène se trouvent dans une proportionnalité qui peut donner naissance à un incendie si une étincelle se présente.
- Une Zone en bleu qui à 445 m, pauvre en méthane d'où sa concentration en mélange avec l'oxygène ne présente aucun risque d'inflammabilité.



#### IV.4.7.2 Effets thermiques du Feu de Nappe'

Lorsque du GNL se répand sur le sol, il forme à une nappe. 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. Ce phénomène émet des radiations dangereuses qui détermineront la distance de ses effets dangereux.



Figure IV-14: Distances des effets thermiques du feu de nappe

La figure IV-14 montre les rayons relatifs aux valeurs du seuil des effets thermiques:

- Un rayon de 60,5m pour la valeur de 3 KW/m<sup>2</sup> (zone bleu)
- Un rayon de 47,5m pour la valeur de 5 KW/m<sup>2</sup> (zone vert)
- Un rayon de 38,5 m pour la valeur de 8 KW/m<sup>2</sup> (zone rouge)

Pour voir les effets de ces radiations thermiques sur l'homme et les installations, le tableau IV-12 est à consulter.

#### IV.4.7.3 Flash Fire

Le résultat concerne un phénomène aussi caractéristique à la dispersion et à l'inflammabilité des gaz qui est le feu de flash.



Figure IV-15: Distance du feu d'un flash-fire



La boule de feu peut atteindre des distances selon la limite d'inflammabilité, comme montré dans La figure IV-15, ce phénomène est caractérisé par les limites :

- Limite supérieure d'Inflammabilité, LSI (en bleu) : peut atteindre une distance de 323 m.
- Limite Inférieure d'Inflammabilité, LII (en vert) : peut atteindre une distance de 450 m.

#### IV.4.7.4 Effets de surpression du UVCE

Un autre phénomène qui résulte de l'inflammabilité de vapeur de GNL est le UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion). Ce dernier, vient de l'effet de souffle lié à la vitesse du front de la flamme et ceci peut atteindre des distances considérables, car, il est le résultat d'une ignition retardée d'un mélange stœchiométrique.



Figure IV-16: Distances des effets de surpression du UVCE

- Un rayon de 784 m pour une pression de 50 mbars (zone bleu)
- Un rayon de 313,5 m pour une pression de 140 mbars (zone vert)
- Un rayon de 285 m pour une pression de 200 mbars (zone rouge)

Pour voir les effets de ces ondes de pression sur l'homme et les installations, le tableau IV-13 est à consulter

En conclusion, ce chapitre est considéré comme le pilier de notre étude. L'analyse des risques par la méthode HAZOP nous a permis de mettre en évidence que le maillon faible et le plus susceptible d'avoir une fuite c'est la ligne 30''LNG-81214 où il y a une absence totale des moyens de prévention et de protection.

Après l'application de la modélisation des effets des phénomènes dangereux sur le complexe par le programme PHAST, on a démontré la gravité de cette situation ou l'erreur est désastreuse.

L'analyse de risque LOPA par son approche basée sur les couches de protection, nous a aidé à confirmer la nécessité d'implémentation d'un SIS de niveau de SIL3 et qu'on a jugé indispensable pour la maîtrise des risques de l'opération de transfert.

Dans le chapitre suivant on va proposer un SIS pour assurer la réduction de risque nécessaire.

## **Chapitre V** *Proposition de maîtrise des risques*

## **V.1 INTRODUCTION**

La maîtrise des risques générés par le transfert de GNL nécessite la mise en place des Mesures de Maîtrise des Risques aussi communément appelées barrières de sécurité. Ces barrières de sécurité ont pour objectif de réduire la criticité des risques. La réduction des risques passe généralement par la prévention dont le but est de minimiser la probabilité d'apparition d'une situation dangereuse, et par la protection, dont le but est de limiter les conséquences dans le cas où la situation dangereuse n'aurait pu être évitée.

Pour réduire les conséquences d'une fuite, on a eu recours à différents types de barrières de sécurité parmi ces derniers, on s'est orienté vers les Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS).

Pour concevoir ce SIS, il est nécessaire de prendre en considération le niveau de SIL requis à atteindre, qui est fixé dans le chapitre précédent par la méthode LOPA.

Dans ce chapitre on va proposer une architecture de SIS permettant d'atteindre notre objectif en prenant en compte les paramètres de fiabilité des éléments qui composent le SIS (taux de défaillances, facteur de mode commun de défaillances, etc.) aussi la période de test du SIS

Ensuite on va entamer son intégration dans le système ESD globale de transfert.

## **V.2 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE**

### **V.2.1 Pipelines d'interconnexion :**

Le pipeline d'interconnexion (30" LNG-81214) s'étend au-delà de la limite des batteries de GL1/Z, il est d'une longueur de 60 mètre, Dans le site GL2/Z, ce pipeline est désigné (LNG-21005-30").

Le pipeline 30" LNG-81214 est muni de deux vannes papillon ; la première vanne est verrouillée en position ouverte, tandis que la vanne à l'extérieur des limites de batteries de GL1/Z et GL2/Z est verrouillée en position fermé.

Le pipeline (30" LNG-81210) d'une longueur de 10 mètre est installé entre la conduite d'interconnexion de GNL et la conduite de chargement (30" LNG-81056). Une vanne verrouillée en position fermée est installé dans cette conduite.

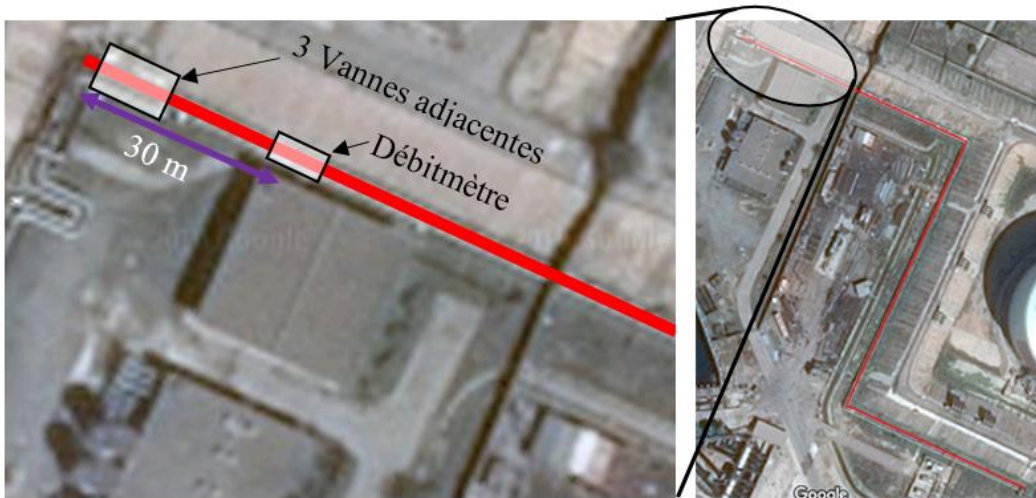


Figure V-1: Situation des points sensibles

Ces trois vannes adjacentes représentent la partie la plus faible dans la ligne d'interconnexion, chaque vanne a deux brides, et en plus il y a un débitmètre qui se trouve à 30 mètres de ces vannes, dans cette partie, il y a une grande possibilité d'avoir une fuite du fait qu'il y a huit brides (les brides sont des points très sensibles). Pour cela, on s'est focalisé sur la proposition du système instrumenté de sécurité (SIS) sur cette partie de la ligne.

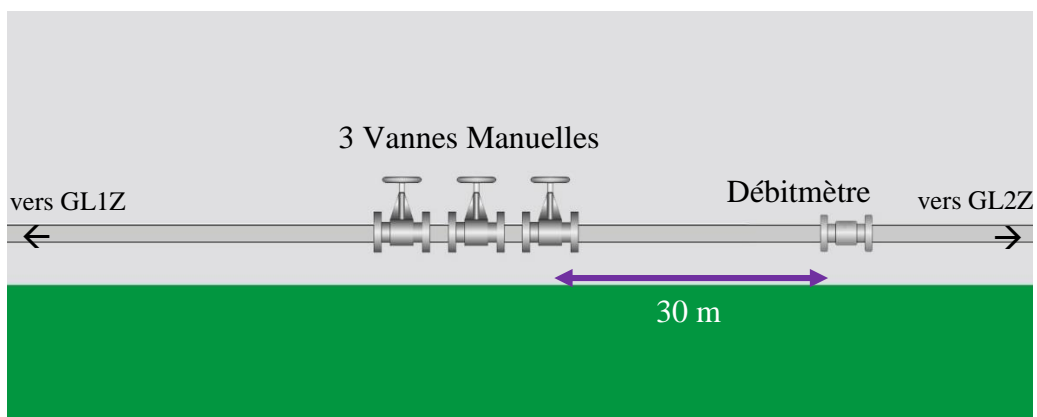


Figure V-2: Etat actuelle de la ligne

### V.3 PRESENTATION DE LA SOLUTION DE MAITRISE

Dans la proposition du SIS on prend en considération ces trois facteurs :

- La position des brides (points sensibles).
- La position des capteurs par rapport aux brides qui va minimiser le temps de la détection.
- Le niveau SIL3 exigé déjà calculé par la méthode LOPA

Les éléments constituent le SIS qu'on a proposé :

### V.3.1 Capteurs

Les capteurs vont être installés au voisinage des positions sensibles (se limitant dans notre configuration à la présence des brides) pour assurer la rapidité de la détection :

- Deux détecteurs de gaz à point sont installés au-dessous du débitmètre.
- Deux détecteurs de gaz à point sont installés au-dessous des trois vannes.

Les détecteurs sont installés au-dessous des équipements parce que le gaz dans les deux états liquide ou gazeux, est plus dense que l'air, donc il va se diriger vers le sol.

- Un détecteur de gaz de type (Path/watch)

L'architecture des détecteurs de gaz est une redondance majoritaire de type 2oo3. Elle est constituée de trois éléments de sorte que la fonction de sécurité est activée uniquement si deux éléments parmi les trois en font la demande (détecter le gaz). Cette architecture constitue un bon compromis entre la sécurité et la disponibilité.

- Détecteur de flamme avec une architecture majoritaire 1001 (architecture constituée par un seul élément).

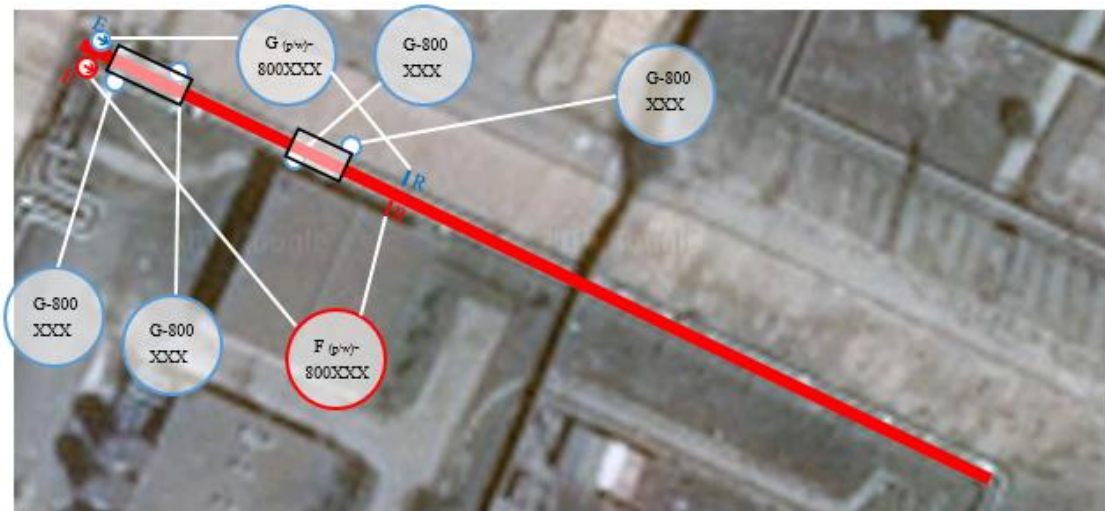


Figure V-3: Emplacement des détecteurs de gaz et de feu

### V.3.2 Unité de traitement

Les automates utilisés dans le complexe sont des anciens automates, ils ne sont pas certifiés c.-à-d. ne possèdent pas un niveau de SIL. Le complexe est entrains de réaliser un projet de changement d'automates et les remplacer par des automates certifiés niveau SIL2, ces automates ont un taux de défaillance  $\lambda = 5 * 10^{-5}$ .

Pour avoir un niveau de SIL3, on propose d'installer deux automates avec une redondance majoritaire de type 1002 (architecture constituée par deux éléments de façon à ce que chacun puisse traiter la fonction de sécurité)

### V.3.3 Actionneur

On propose d'installer deux vannes d'arrêt d'urgence, la première est placée avant les trois vannes et la deuxième juste après le débitmètre avec une redondance de logique majoritaire en 1002.

La figure en dessous représente l'architecture du SIS proposé :

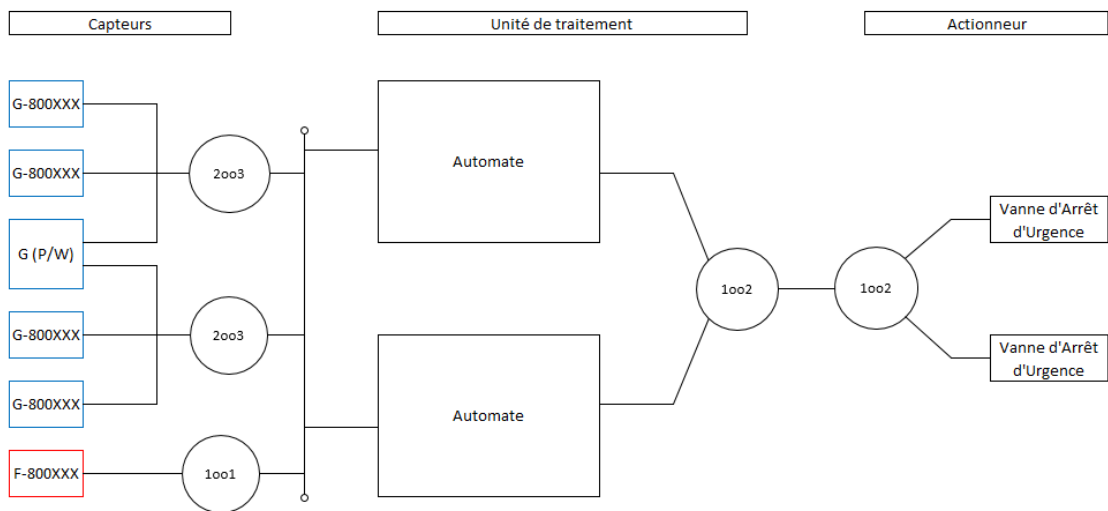


Figure V-4: Architecture du SIS

La figure V-5 représente schéma graphique du SIS pour bien illustré l'emplacement des capteurs et des actionneurs :

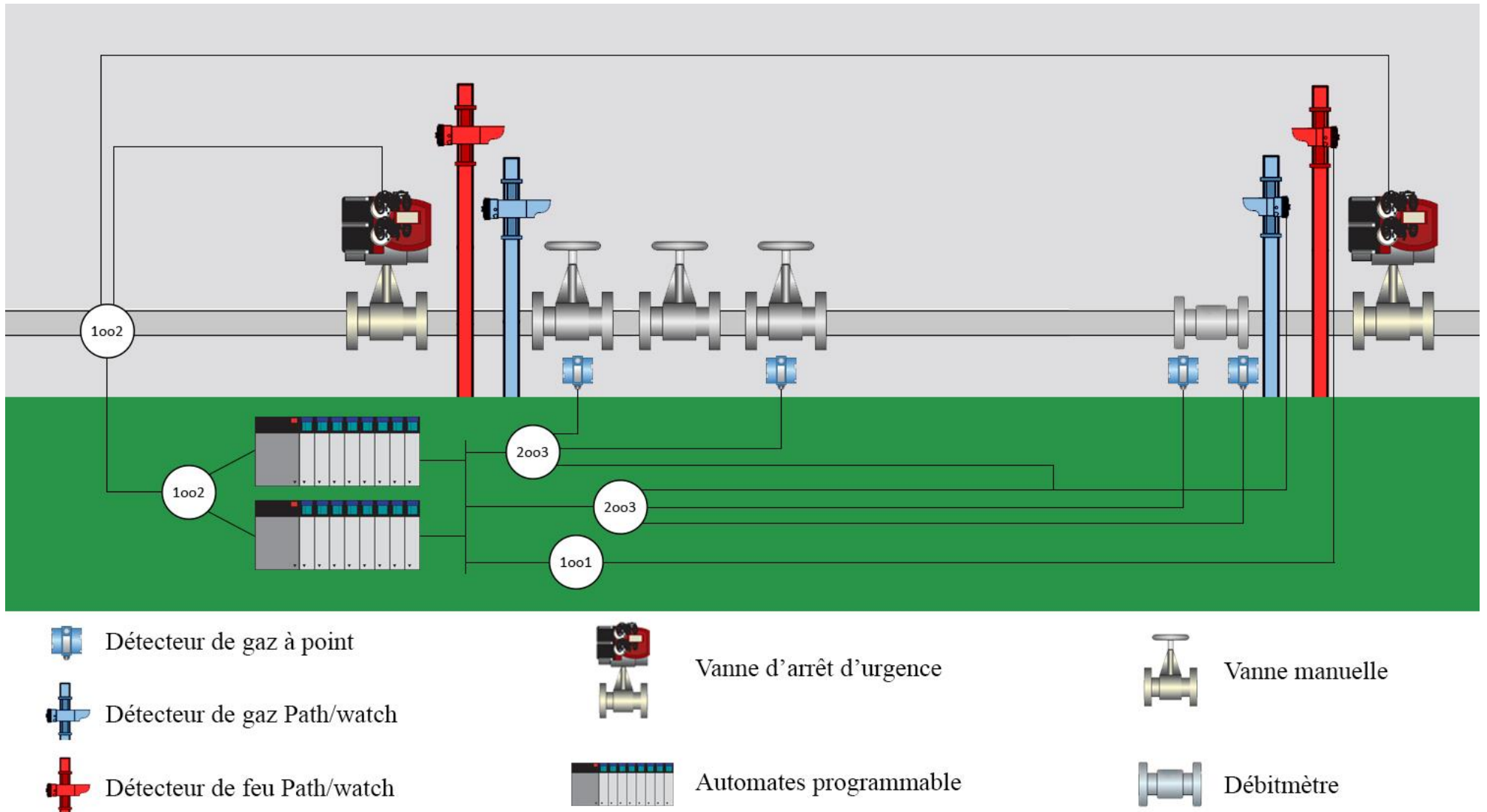


Figure V-5: Positionnement des détecteurs et des vannes



#### V.4 ALLOCATION DU SIL

Un SIS peut être représenté sous la forme d'une combinaison de plusieurs éléments. La  $PFD_{avg}$  du SIS se déduit alors par la somme des  $PFD_{avg}$  des différents éléments qui le compose. Il est exprimé comme suit :

$$PFD_{avg} = PFD_{avg}(C) + PFD_{avg}(U) + PFD_{avg}(A)$$

$PFD_{avg}$  : est la probabilité moyenne de défaillance sur demande du système instrumenté de sécurité.

$PFD_{avg}(C)$  : est la probabilité moyenne de défaillance sur demande de sous-système capteur.

$PFD_{avg}(U)$  :est la probabilité moyenne de défaillance sur demande de sous-système Unité de traitement.

$PFD_{avg}(A)$ :est la probabilité moyenne de défaillance sur demande de sous-système Actionneur.

Si le sous-système de sécurité capteur ou Actionneur dépend de plus d'un groupe de capteurs ou d'actionneurs à logique majoritaire, la probabilité moyenne combinée de défaillance sur demande du capteur ou du sous-système élément final,  $PFD_{avg}(C)$  ou  $PFD_{avg}(A)$  est donnée dans les équations suivantes, où  $PFD_{Gi}$  est la probabilité de défaillance sur demande de chaque groupe de capteurs à logique majoritaire sélectionné et d'actionneur, respectivement :

$$PFD_{avg}(C) = \sum_i PFD_{Gi}; \quad PFD_{avg}(A) = \sum_i PFD_{Gi}$$

Si le sous-système de sécurité capteur ou élément final comprend seulement un groupe à logique majoritaire alors :

$$PFD_{avg}(C) = PFD_{Gi} \quad ; \quad PFD_{avg}(A) = PFD_{Gi}$$

**V.4.1 Paramètre utilisé dans le calcul du SIL :**

Les données utilisées sont des données de fiabilité, Ces données sont spécifiques pour chaque type d'élément (les détecteurs de gaz, l'automate, et la vanne d'arrêt d'urgence) :

$TI$	intervalle du teste périodique.
$MTTR$	le temps moyen de réparation.
$\lambda$	Taux de défaillance d'un élément de sous-système.
$\lambda_D$	Taux de défaillances dangereuses (par heure) égale à 0.5 de $\lambda$ (suppose 50% des défaillances dangereuses et 50% des défaillances non dangereuses.
$\lambda_{DD}$	Taux de défaillances dangereuses détecté d'un élément de sous-système.
$\lambda_{DU}$	Taux de défaillances dangereuses non détecté d'un élément de sous-système.
$\beta, \beta_D$	Des pourcentages de défaillance de mode commun pour les systèmes redondants Parmi ces causes, on peut citer : <ul style="list-style-type: none"> <li>- les erreurs logicielles ;</li> <li>- les agressions par le milieu naturel ;</li> <li>- les perturbations engendrées par le milieu (colmatage des prises d'impulsion de capteurs) ;</li> <li>- les erreurs de maintenance.</li> </ul>
$t_{CE}$	Temps moyen d'indisponibilité équivalent d'un élément pour les architectures 1oo1, 1oo2, 2oo3.
$t_{GE}$	Temps moyen d'indisponibilité équivalent du groupe à logique majoritaire pour les architectures 1oo1, 1oo2, 2oo3.

Les valeurs de ces données ont été extraites de la base de données OREDA [20] et de la base de données de l'entreprise.

Tableau V-1: Donnée de fiabilité relative aux éléments constituant le SIS

	Mode de défaillance	$\lambda(h^{-1})$ (Taux de défaillance)	TI (h)* (Intervalle entre deux tests consécutifs)	MTTR(h)* (Durée moyenne de réparation)	Référence
Capteur	Non fonctionnement sur demande	$2,45 \cdot 10^{-6}$	4380	2	OREDA TAXONOMY n° 4.1.4.2
Automate	Défaut de l'automate	$5 \cdot 10^{-5}$	26280	24	DataSheet automate SIL2
Vanne ESD	Non fermeture sur demande	$2,6 \cdot 10^{-6}$	8760	48	OREDA TAXONOMY n° 4.4.5.1
*Ces données sont relatives à l'entreprise					

Le pourcentage de défaillances de cause commune non détectées  $\beta$  est donnée selon l'architecture des redondances majoritaires. [21]

Architecture	1oo3	1oo2	2oo3
$\beta$	2%	10%	20%

La détermination de taux de couverture des diagnostic ( $DC$ ) résulte dans la plupart des cas d'un travail d'expertise, pouvant être guidé par l'expérience ou par estimation [22]. Dans l'industrie de « Oil & Gaz » les valeurs de taux de couverture de diagnostic sont données dans le tableau suivant :

Sous-système	Capteurs	Unité de traitement	Actionneur
DC	0,90	0,99	0,60

On a utilisé les formules proposées par la norme CEI 61508-6 qui permettent d'évaluer la  $PFD_{avg}$  pour quelques redondances MooN :

Tableau V-2: Formules de calcul de  $PFD_{avg}$  issues de la norme CEI 61508-6

Architecture	$PFD_{avg}$
1oo1	$\lambda_{DU} * \left(\frac{TI}{2} + MTTR\right) + \lambda_{DD} * MTTR$
1oo2	$2 * [(1 - \beta_D) * \lambda_{DD} + (1 - \beta) * \lambda_{DU}]^2 * t_{CE} * t_{GE} + \beta_D * \lambda_{DD} * MTTR + \beta_D * \lambda_{DU} * \left(\frac{TI}{2} + MTTR\right)$
2oo3	$2 * [(1 - \beta_D) * \lambda_{DD} + (1 - \beta) * \lambda_{DU}]^2 * t_{CE} * t_{GE} + \beta_D * \lambda_{DD} * MTTR + \beta_D * \lambda_{DU} * \left(\frac{TI}{2} + MTTR\right)$
$t_{GE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} * \left(\frac{TI}{3} + MTTR\right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} * MTTR$ $t_{CE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} * \left(\frac{TI}{2} + MTTR\right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} * MTTR$ $\beta = 2 * \beta_D ; \lambda_D = \lambda_{DU} + \lambda_{DD} = \frac{\lambda}{2}; \lambda_{DU} = \frac{\lambda}{2} * (1 - DC); \lambda_{DD} = \frac{\lambda}{2} * DC$	

**V.4.1.1 Calcul du SIL pour le sous-système de sécurité capteur :**

Le sous-système capteur comprend trois groupes :

- 1<sup>er</sup> groupe : trois capteurs de gaz avec une redondance majoritaire 2003.
- 2<sup>ème</sup> groupe : trois capteurs de gaz avec une redondance majoritaire 2003.
- 3<sup>ème</sup> groupe : un capteur de gaz avec une redondance majoritaire 1001.

**Calcul du  $PFD_{avg}$  pour le 1<sup>ère</sup> groupe :**

paramètre	TI	MTTR	$\lambda$	$\beta$	$\beta_D$	DC	$\lambda_D$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DU}$	$t_{CE}$	$t_{GE}$
valeur	4380	2	2,45 $* 10^{-6}$	0,2	0,1	0,9	1,225 $* 10^{-6}$	1,013 $* 10^{-6}$	1,225 $* 10^{-7}$	221	148

Par l'application de la formule de l'architecture 2003 proposée par la norme CEI 61508-6 :

$$PFD_{avgG1} = 5,416 * 10^{-5}$$

**Calcul du  $PFD_{avg}$  pour le 2<sup>ème</sup> groupe :**

Vu que le 2<sup>ème</sup> groupe à les mêmes éléments et la même architecture que le 1<sup>er</sup>, donc le  $PFD_{avg}$  est le même.

$$PFD_{avgG2} = 5,416 * 10^{-5}$$

**Calcul du  $PFD_{avg}$  pour le 3<sup>ème</sup> groupe :**

paramètre	TI	MTTR	$\lambda$	$\beta$	$\beta_D$	DC	$\lambda_D$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DU}$	$t_{CE}$	$t_{GE}$
valeur	4380	2	2,45 $* 10^{-6}$	/	/	0,9	1,225 $* 10^{-6}$	1,013 $* 10^{-6}$	1,225 $* 10^{-7}$	221	/

Par l'application de la formule de l'architecture 1001 proposée par la norme CEI 61508-6 :

$$PFD_{avgG3} = 2,71 * 10^{-4}$$

**Le  $PFD_{avg}$  du sous-système capteur :**

$$PFD_{avg}(C) = PFD_{avgG1} + PFD_{avgG2} + PFD_{avgG3}$$

$$PFD_{avg}(C) = 5,416 * 10^{-5} + 5,416 * 10^{-5} + 2,71 * 10^{-4}$$

$PFD_{avg}(C) = 3,79 * 10^{-4}$
---------------------------------

**V.4.1.2 Calcul du SIL pour le sous-système Automate :**

Le sous-système Automate comprend seulement un groupe à logique majoritaire:

- Deux automates avec une redondance majoritaire 1002.

**Calcul du  $PFD_{avg}$  :**

paramètre	TI	MTTR	$\lambda$	$\beta$	$\beta_D$	DC	$\lambda_D$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DU}$	$t_{CE}$	$t_{GE}$
valeur	26280	24	5 $* 10^{-5}$	0,1	0,05	0,99	2,5 $* 10^{-5}$	2,475 $* 10^{-5}$	2,5 $* 10^{-7}$	155,4	111,6

Par l'application de la formule de l'architecture 1002 proposée par la norme CEI 61508-6 :

$$PFD_{avg}(U) = 3,78 * 10^{-4}$$

**V.4.1.3 Calcul du SIL pour le sous-système Actionneur (Vanne ESD) :**

Le sous-système Actionneur(Vanne ESD) comprend seulement un groupe à logique majoritaire:

- Deux vannes avec une redondance majoritaire 1002.

**Calcul du  $PFD_{avg}$  :**

paramètre	TI	MTTR	$\lambda$	$\beta$	$\beta_D$	DC	$\lambda_D$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DU}$	$t_{CE}$	$t_{GE}$
valeur	8760	48	2,6 $* 10^{-6}$	0,2	0,1	0,6	1,3 $* 10^{-6}$	7,8 $* 10^{-7}$	5,2 $* 10^{-7}$	1800	1216

Par l'application de la formule de l'architecture 2003 proposée par la norme CEI 61508-6 :

$$PFD_{avg}(A) = 2,39 * 10^{-4}$$

**V.4.1.4 Calcul du  $PFD_{avg}$  du SIS proposé :**

$$PFD_{avg} = PFD_{avg}(C) + PFD_{avg}(U) + PFD_{avg}(A)$$

$$PFD_{avg} = 3,79 * 10^{-4} + 3,78 * 10^{-4} + 2,39 * 10^{-4}$$

$$PFD_{avg} = 9,96 * 10^{-4}$$

Les résultats de la PFD calculé nous ramène à démontré le SIL réel du SIS proposé qui est un SIL3. La comparaison entre les valeurs du SIL requis et le SIL réel, nous affirme l'égalité entre les deux, de ce fait, nous pouvons conclure que le système étudié est conforme à l'égard de ce critère de performance.

## V.5 INTEGRATION DANS LE SYSTEME ESD GLOBALE DU TRANSFERT

Le système de sécurisation des lignes d'interconnexion de stockages et chargement du GNL doit assurer sa fonction dans tous les modes de transfert, en cas de situation d'urgence, le transfert devra être arrêté d'une manière sûre sans causer des problèmes pour les autres systèmes participant à l'opération de transfert.

Lorsqu'il y a une détection de gaz, le SIS proposé provoque l'arrêt d'urgence pour isoler le tronçon faible et minimiser les dégâts mais en d'autre part il faut qu'il y ait une communication avec les autres systèmes pour arrêter l'opération de transfert comme les pompes les vannes d'ouverture et fermeture des bacs.

Dans cette partie on va construire une matrice cause à effet qui regroupe toutes les actions à faire. Et vu que les actions sont de type séquentiel, un schéma Grafcet va être établi qui est un langage universel pour automates.

### V.5.1 Sélecteur d'acheminement

Des sélecteurs d'acheminement avec indicateurs devront être installés dans les salles de contrôle des complexes GL1Z et GL2Z. Ces indicateurs devront être réalisés de sorte que les salles de contrôle des deux complexes obtiennent la même information sur le mode d'utilisation lorsque l'interconnexion est mise en service.

Le tableau qui suivent indiquent la position des indicateurs à installer dans la salle contrôle des deux complexes, seul la fonctionnalité de la position A sera différent pour les indicateurs installés dans les salles de contrôle différentes.

Tableau V-3: Sélection d'acheminement indiquant le mode d'utilisation dans la salle de contrôle de GL1Z et GL2Z

HS-XXXX	Transfert du GNL		Salle de contrôle
	Partant de	aboutissons à	
A	Bac de GL1Z	Jetée de GL1Z	GL1Z
	Bac de GL2Z	Jetée de GL2Z	GL2Z
B	Bac de GL1Z	Jetée de GL2Z	GL1Z - GL2Z
C	Bac de GL2Z	Jetée de GL1Z	GL1Z - GL2Z
D	Bac de GL1Z	Bac de GL2Z	GL1Z - GL2Z
E	Bac de GL2Z	Bac de GL1Z	GL1Z - GL2Z

### V.5.2 Echange d'information des systèmes de contrôle

Pour assurer la sécurité dans les modes transfert décrit, des signaux doivent être transmis aux deux salles de contrôle et entre les deux complexes :

- Information de la position des sélecteurs d'acheminement ;
- Les signaux ESD inter-complexes ;
- Information de la position des vannes ;
- Les signaux de niveau, de pression et de température des trois bacs de GL1Z (I-901, I-902, I-903) et des trois bacs de GL2Z (2101-FA, 2101-FB, 2101-FC) ;
- Les mesures de débit de GNL transféré.

Dans les paragraphes qui suivent, on décrit brièvement les fonctions de déclenchement correspondant au mode de fonctionnement.

#### V.5.2.1 Position « A » :

Chargement dans la jetée de GL1Z à partir des bacs de GL1Z (ou des bacs de GL2Z dans la jetée de GL2Z)

- Dans ce mode, pas de transfert par le pipeline d'interconnexion, ni de transfert entre les sites. Par conséquent, la communication ou l'échange d'information entre les sites ne sont pas nécessaires.

#### V.5.2.2 Position « B »

Chargement dans la jetée de GL2Z à partir des bacs de GL1Z

- En cas d'arrêt d'urgence (ESD) dans la jetée de GL2Z pendant le chargement du GNL à partir des bacs de GL1Z dans la jetée de GL2Z, le signal ESD provenant de la jetée de GL2Z sera transmis à la salle de contrôle de GL1Z, provoquant la fermeture de la vanne d'arrêt d'urgence de pipeline d'interconnexion et le déclenchement des pompes de chargement dans le site GL1Z.
- Un signal sera transmis à la salle de contrôle des deux sites, afin que l'information appropriée soit disponible dans les deux sites.

#### V.5.2.3 Position « C »

Chargement dans la jetée de GL1Z à partir des bacs de GL2Z

- En cas d'arrêt d'urgence (ESD) dans la jetée de GL1Z pendant le chargement du GNL à partir des bacs de GL2Z dans la jetée de GL1Z, le signal ESD provenant de la jetée de GL1Z sera transmis à la salle de contrôle de GL2Z, provoquant la fermeture de la vanne d'arrêt d'urgence de pipeline d'interconnexion et le déclenchement des pompes de chargement dans le site GL2Z.
- Un signal sera transmis à la salle de contrôle des deux sites, afin que l'information appropriée soit disponible dans les deux sites.

#### V.5.2.4 **Position « D »**

Transfert du GNL des bacs de GL1Z aux bacs de GL2Z

- En cas d'arrêt d'urgence (ESD) ou déclenchement par « niveau Haut » à GL2Z pendant le transfert du GNL à partir des bacs de GL1Z vers les bacs de GL2Z, le signal ESD ou le signal de déclenchement provenant de GL2Z seront transmis à la salle de contrôle de GL1Z, provoquant la fermeture de la vanne d'arrêt d'urgence de pipeline d'interconnexion et le déclenchement des pompes de chargement dans le site GL1Z.
- Les signaux de niveau, de pression et de température des trois bacs de GL2Z (2101-FA, 2101-FB, 2101-FC) seront transmis au système de contrôle de GL1Z.

#### V.5.2.5 **Position « E »**

Transfert du GNL des bacs de GL2Z aux bacs de GL1Z

- En cas d'arrêt d'urgence (ESD) ou déclenchement par « niveau Haut » à GL1Z pendant le transfert du GNL à partir des bacs de GL2Z vers les bacs de GL1Z, le signal ESD ou le signal de déclenchement provenant de GL1Z seront transmis à la salle de contrôle de GL2Z, provoquant la fermeture de la vanne d'arrêt d'urgence de pipeline d'interconnexion et le déclenchement des pompes de chargement dans le site GL2Z.
- Les signaux de niveau, de pression et de température des trois bacs de GL1Z (I-901, I-902, I-903) seront transmis au système de contrôle de GL2Z.

Une discordance d'indication de position sur le sélecteur d'acheminement produira un signal d'arrêt d'urgence (ESD) et les pompes de chargement seront arrêtées et les vannes ESD fermées.

### **V.5.3 Matrice de cause à effet**

Selon les règles de sécurité de l'établissement une détection de gaz à 20% de LIE génère une alarme à la salle de contrôle et une détection de gaz à 40% de LIE génère une action :

- La détection de gaz à 20% de LIE doit générer des alarmes visuelles et acoustiques dans les deux salles de commande GL1Z et GL2Z.
- La détection de gaz à 40% de LIE doit générer des actions sur les différents éléments selon le mode d'utilisation « **B, C, D, E** »

Pour effectuer une maîtrise sûre de tous le système de transfert inter-complexe on a élaboré une matrice cause à effet qui va résumer toute les actions nécessaires en cas de détection de gaz pour chaque mode d'utilisation.



Tableau V-4: Matrice Cause-à-effet

Causes			Effets																
			Description	Tag No.	PID No.														
PID No.	Tag No.	Description	Signal ESD vers la fosse des pompes GL2	XS-800387	30-820-10.1														
		Signal ESD vers la Jetée GL2	XS-800385	30-820-10.1															
		Signal ESD vers les bacs de stockage GL2	XS-800386	30-820-10.1															
		Vannes du pipeline d'interconnexion	MV-800XXX	30-820-10.5															
		Vanne de sortie de pompe J-901	JV-82005	30-820-10.1															
		Vanne de sortie de pompe J-912	JV-82007	30-820-10.2															
		Vanne de sortie de pompe J-903	JV-82009	30-820-10.3															
		Vanne de sortie de pompe J-904	JV-82011	30-820-10.3															
		Vanne de sortie de pompe J-905	JV-82013	30-820-10.4															
		Pompe de chargement J-901	XS-82085C	30-820-10.2															
		Pompe de chargement J-912	XS-82086C	30-820-10.2															
		Pompe de chargement J-903	XS-82087C	30-820-10.3															
		Pompe de chargement J-904	XS-82088C	30-820-10.3															
		Pompe de chargement J-905	XS-82089C	30-820-10.4															
		Vanne de sortie du bec I-901	JV-80008	30-810-10.1															
		Vanne de sortie du bec I-902	JV-80016	30-810-10.2															
		Vanne de sortie du bec I-903	JV-80024	30-810-10.3															
		Signal ESD vers les bacs de stockage GL1	XS-800xxx	30-820-10.1															
		Signal ESD vers la Jetée GL1	XS-800xxx	30-820-10.1															

#### V.5.4 Implémentation de la matrice cause à effet dans l'automate :

Afin d'implémenter la matrice de cause à effet dans notre complexe, il nous faut passer par les automates programmable vu la matrice représente une dynamique séquentielle. On introduit alors le langage Grafcet avec qui on peut décrire au mieux les étapes à suivre. Et à partir de ce Grafcet, on génère le code avec lequel on pourra programmer l'automate.

Pour commencer, on va définir qu'es qu'un schéma Grafcet

##### V.5.4.1 Schémas Grafcet

Son nom est l'acronyme de « graphe fonctionnel de commande étapes / transitions ». Le Grafcet (Graphe Fonctionnel de Commande des Étapes et Transitions) est un mode de représentation et d'analyse d'un automatisme, particulièrement bien adapté aux systèmes à évolution séquentielle, c'est-à-dire décomposable en étapes. Il est dérivé du modèle mathématique des réseaux de Petri. Pour plus de détail sur le déroulement de l'élaboration de grafcet, se référer à l'annexe 4

##### V.5.4.2 Elaboration du grafcet

Afin d'élaborer le Grafcet, il nous faut définir les entrées et les sorties et les mémoires qu'on va utiliser au cours de cette synthèse.

##### a. Définition des entrées

On définit comme entrée, tout signal booléen qui nous donne l'état de la variable, en d'autres termes, les entrées sont tout signal provenant de capteur, état de vanne. Donc, les entrées représentent le feed-back permettant d'assurer le contrôle du système. Le tableau suivant représente les entrées utilisées.

Tableau V-5: Les entrées de schéma grafcet

Codes	Description
B	Transfert des bacs GL1 vers Jetée GL2
C	Transfert des bacs GL2 vers Jetée GL1
D	Transfert des bacs GL1 vers bacs GL2
E	Transfert des bacs GL2 vers bacs GL1
C1	Détecteur de gaz1 à point
C2	Détecteur de gaz2 à point
C3	Détecteur de gaz path/watch
C4	Détecteur de gaz3 à point
C5	Détecteur de gaz4 à point
C6	Détecteur de feu path/watch

A2	ESD du bac de stockage I-901
A3	ESD du bac de stockage I-902
A4	ESD du bac de stockage I-903
A5	ESD Fosse des pompes
A6	Signal ESD de la jetée GL1
A7	Signal ESD du bac GL2
A8	Signal ESD de la jetée GL2
A9	Signal ESD de la fosse des pompes GL2

*b. Définition des sorties*

Les sorties sont des signaux booliens qui représentent tous les éléments de contrôle, on cite les pompes, les vannes, ou bien juste un signal pour enclencher un mécanisme ou une alarme. Le tableau d'en dessous représente les sorties de l'automate.

Tableau V-6: Les sorties de schéma grafcet

Codes	Description
S1	Signal ESD vers la fosse des pompes GL2
S2	Signal ESD vers la Jetée GL2
S3	Signal ESD vers les bacs de stockage GL2
S4	Signal ESD vers les bacs de stockage GL1
S5	Signal ESD vers la Jetée GL1
V1	Vannes du pipeline d'interconnexion
V2	Vanne de sortie de pompe J-901
V3	Vanne de sortie de pompe J-912
V4	Vanne de sortie de pompe J-903
V5	Vanne de sortie de pompe J-904
V6	Vanne de sortie de pompe J-905
V7	Vanne de sortie du bec I-901
V8	Vanne de sortie du bec I-902

V9	Vanne de sortie du bec I-903
P1	Pompe de chargement J-901
P2	Pompe de chargement J-912
P3	Pompe de chargement J-903
P4	Pompe de chargement J-904
P5	Pompe de chargement J-905

c. Définition des mémoires

Vu qu'il y a une redondance dans les paramètres d'activation des états, on s'est permis de poser des signaux simplificateur qui regroupe un ensemble de sortie qu'on doit activer en même temps. On pose

$$P = \{ P1, P2, P3, P4, P5 \}$$

$$V = \{ V2, V3, V4, V5, V6 \}$$

$$L1 = \{ S1/B, S3/D, V1, P/(B + D) \}$$

Le Grafcet contient ce qu'on appelle des états  $X_i$ , qui vont être activés par des signaux  $A_i$ , mais d'après le tableau de cause à effet on a constaté que le premier état répond à des critères qu'on a établi au chapitre V. 3.1 donc on a posé le formule boolienne de  $A_1$

$$A1 = (C1.C2 + C2.C3 + C1.C3) + (C4.C5 + C4.C3 + C5.C3) + C6$$

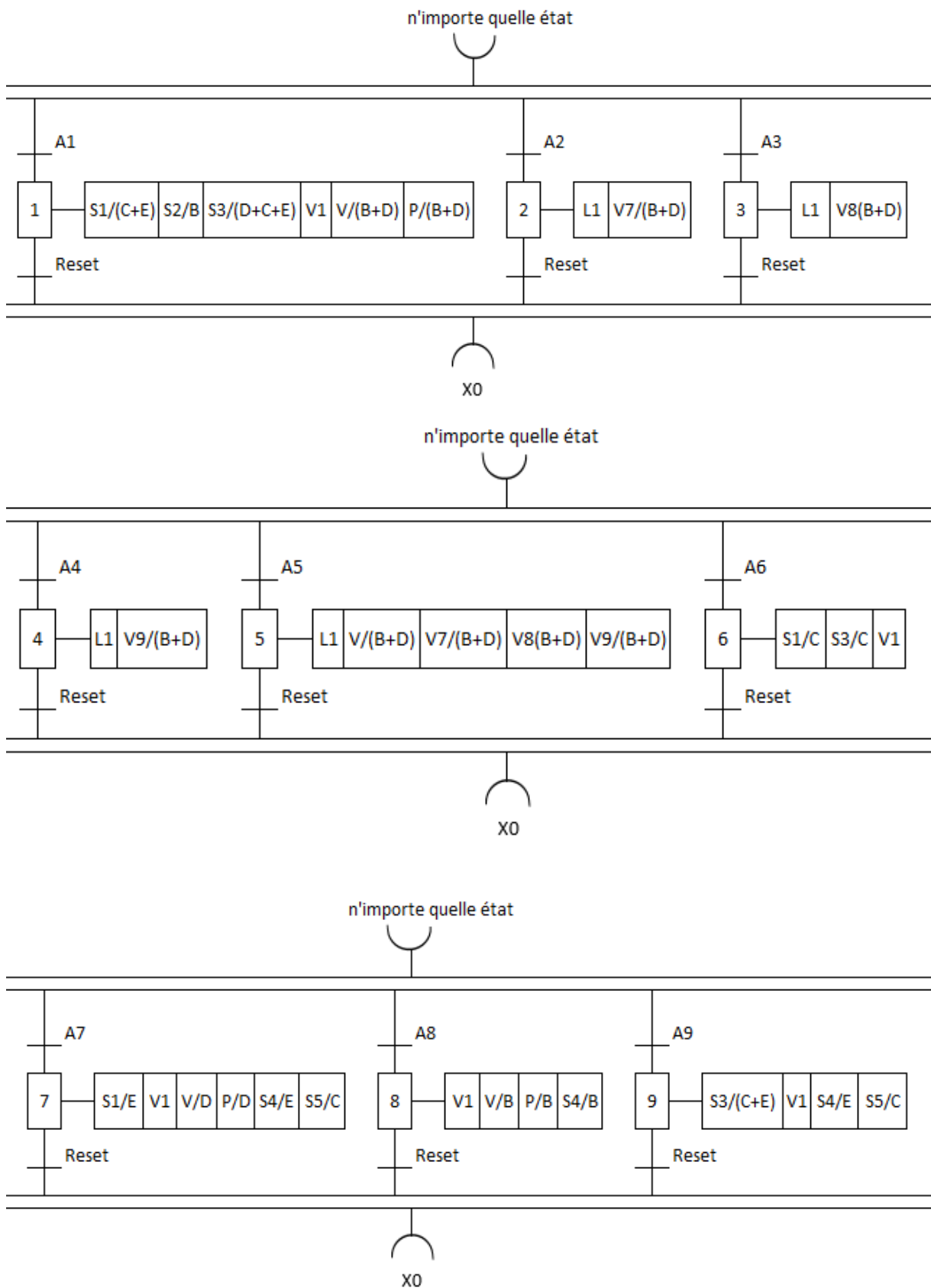


Figure V-6: Schéma Grafcet

Pour rendre l'opération de transfert inter complexe plus performante, On propose d'automatiser les trois vannes manuelles de transfert, pour qu'elles soient commandées de la salle de contrôle de GL1Z.

En conclusion, le SIS proposé permet de bien justifier un niveau de risque acceptable vu l'adéquation entre son SIL et le niveau de SIL exigé par la méthode LOPA.

L'architecture du SIS proposé constitue un bon compromis entre la sécurité et le prix, où on a cherché à atteindre une probabilité moyenne de défaillance minimale et une performance élevée en terme de sécurité avec le moins d'éléments possible qui peuvent couvrir tous les points sensibles.

Le grafcet établi à partir de la matrice cause à effet permet d'assurer la communication entre le nouveau SIS implémenté et les autres systèmes participant au transfert. Et pour ce qui est du programme de l'automate, ceci n'est pas unique, et diffère d'un automate à un autre même s'ils sont du même type. Et vu qu'on ne connaît pas le nom et la marque de l'automate, on s'est arrêté au Grafcet vu que c'est la base de toute programmation d'automates.

**Chapitre VI** *Etude des effets de coup de  
bélier*

## **VI.1 INTRODUCTION**

Le coup de bélier, qui génère des ondes de surpression et de dépression de grand amplitude, est un phénomène transitoire qui prend naissance lors du démarrage et de l'arrêt des pompes ou lors de la fermeture instantané d'une vanne de sectionnement ou des vanne d'arrêt d'urgence.

Dans ce chapitre nous allons décrire le Phénomène de coup de bélier, ensuite on donne les équations qui régissent la propagation de l'onde de surpression, à la fin nous allons calculer l'onde de surpression maximale générée lors de la fermeture des vannes d'arrêt d'urgence proposé dans le chapitre précédant

## **VI.2 L'ORIGINE DU PHENOMENE**

Lorsque l'on modifie brutalement la vitesse d'un fluide en écoulement dans une canalisation, il se produit un violent changement de pression. Ce phénomène transitoire, appelé coup de bélier, apparaît généralement lors d'une intervention sur un appareil attenant au réseau (pompes, vannes ...). Des ondes de surpression et de dépression se propagent le long de la canalisation à une vitesse «  $c$  » appelée célérité de l'onde.

### **VI.2.1 Causes fréquentes du coup de bélier**

En ingénierie d'hydraulique, les causes fréquentes occasionnant des coups de bélier sont [23]:

- L'ouverture ou la fermeture des vannes dans les conduites gravitaires en charge.
- la mise en marche ou l'arrêt des pompes sur des conduites de refoulement.
- vidange ou remplissage inadéquat de la conduite en charge.
- implosion des poches d'air suite à une cavitation.
- modification de la vitesse angulaire d'une pompe ;
- coupure électrique inopinée dans une station de pompage qui est la cause la plus fréquente du coup de bélier en hydraulique urbaine ;
- la mise en marche ou la modification de l'opération d'une turbine ;
- variation d'un plan d'eau relié à un réseau en charge ;
- vibration des accessoires de contrôle comme les vannes.



## **VI.2.2 Les conséquences du phénomène**

Les surpressions peuvent entraîner dans des cas critiques la rupture de certaines canalisations ne présentant pas de coefficient de sécurité suffisants. Les dépressions peuvent créer des poches de cavitation dangereuses pour les canalisations et pour les appareils de robinetterie [23].

Il est donc de toute première importance d'étudier des moyens propres à limiter ses effets puisqu'il en résultera une économie dans la construction des tuyaux, lesquels sont calculés notamment, pour résister à une pression intérieure donnée.

### **VI.2.2.1 Risques de Surpression**

C'est une conséquence du coup de bélier engendrée par une pression importante qui se produit à la suite d'une fermeture instantanée ou rapide d'une vanne de sectionnement ou bien à la suite d'une dépression causée par l'arrêt brusque d'une pompe. Si la pression totale c'est-à-dire la pression en régime permanent majorée de la valeur de surpression due au coup de bélier dépasse la pression maximale admissible des tuyaux il y a risques de rupture de ces derniers et déboîtement des joints.

### **VI.2.2.2 Pression négative**

C'est une conséquence du coup de bélier suite à une dépression provoquée par l'arrêt brusque d'une pompe ou d'une ouverture instantanée d'une vanne de sectionnement, si cette pression devient inférieure à 10 mCE (mètres de colonne d'eau), il se produit une poche de cavitation provoquant l'implosion de la conduite, aspiration des joints.

Une autre conséquence de la cavitation est la détérioration de l'enduit intérieur du tuyau, mais le risque le plus grave est celui d'éclatement de la conduite lors du retour à des pressions positives: les pressions obtenues à ce moment sont en effet souvent très importantes.

### **VI.2.2.3 Fatigue de la canalisation**

En régime transitoire les alternances des surpressions et dépressions qui sont une conséquence inévitable du phénomène provoquent la fatigue pour le matériau de la canalisation même si leur amplitude est faible.

## **VI.3 DESCRIPTION DES PHENOMENES DE COUP DE BELIER**

Un changement de la vitesse d'écoulement entraîne une variation de pression dans la conduite et peut mettre en péril la tenue mécanique des machines et des réseaux [24].

Ce changement de vitesse peut être provoqué par la fermeture rapide de la vanne d'arrêt d'urgence qui fait partie du SIS proposé dans le chapitre précédent. Afin d'illustrer le phénomène du coup de bélier dans l'installation du complexe, on considère un réservoir qui remplace la pompe fournissant un débit  $Q_v$  et une pression  $H_0$  équivalent à la pression de

refoulement de la pompe, l'écoulement du fluide à une vitesse  $V_0$  dans une conduite munie à son extrémité d'une vanne d'arrêt d'urgence.

Subdivisant la conduite en  $n$  tronçons très petits numérotés de 1 à  $n$  en partant de la vanne comme dans la figure VI-1.

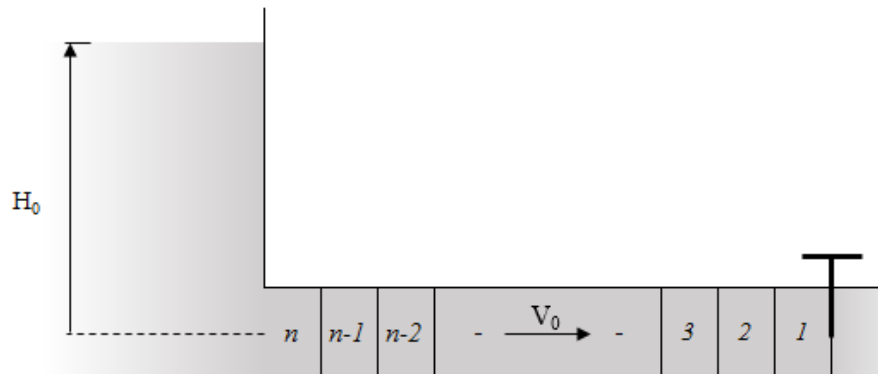


Figure VI-1: Subdivision de la conduite

Quand la vanne se ferme brusquement, le tronçon 1 voit sa vitesse passer de  $U_0$  à zéro en un temps  $\Delta t$  pratiquement nul. En accord avec la seconde loi du mouvement de Newton, on écrit :

$$F = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{m(U_0 - 0)}{\Delta t} = \infty \quad (\text{VI-1})$$

$m$  : la masse du fluide

$U_0$ : la vitesse du fluide

La force résultante et la pression tendraient vers une valeur infinie et la conduite devrait se désintégrer. Mais ce cas extrême ne se produit pas avec cette ampleur pour les raisons suivantes :

- Le changement de vitesse ne peut pas être instantané, car la fermeture de vanne requiert un certain temps.
- Le liquide se comprime et la paroi se dilate pour absorber une certaine quantité d'énergie et limiter le choc.

Le tronçon 1 qui est maintenant au repos, va arrêter le tronçon 2 qui voit sa pression augmenter et, de proche en proche, le phénomène se propage jusqu'au tronçon  $n$ .

Ainsi, l'augmentation de pression gagne tour à tour les tronçons 1, 2, 3, ...  $n$  qui voient successivement leur volume de fluide se comprimer et la paroi se dilater pour absorber le choc.

Il s'agit donc d'une onde de surpression qui remonte la conduite, de la vanne jusqu'au réservoir. A la fin de cette phase, la pression dans le tronçon  $n$  est beaucoup plus élevée que la pression  $H_0$ . Le gradient de pression fait couler le fluide de la conduite vers le réservoir et les tronçons  $n, n-1, n-2 \dots 3, 2, 1$  tour à tour se décompressent. Une onde de dépression se propage vers la vanne.

Le temps requis par le voyage Aller-retour de l'onde de choc (vanne-pompe-vanne) est  $2L/c$ ,  $L$  étant la longueur de la conduite et  $c$  la vitesse de propagation de l'onde dans la conduite. La vitesse  $c$  est aussi appelée « célérité ».

### VI.3.1 Vitesse de propagation des ondes

La célérité des ondes qui se propagent dans les conduites dépend de la compressibilité du fluide et l'élasticité du matériau de la conduite, elle se calcule par [24] ;

$$c = \sqrt{\frac{E_c}{\rho}} \quad (\text{VI-2})$$

Où :

$c$  :Célérité d'onde (m/s).

$\rho$  : la masse volumique du fluide

$E_c$  :Désigne un module d'élasticité combiné pour l'ensemble conduite-fluide :

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E_f} + \frac{D}{eE_m} \quad (\text{VI-3})$$

Où :  $D$  et  $e$  désigne respectivement le diamètre et l'épaisseur de la paroi de la conduite  
 $E_f$  le module d'élasticité du fluide.

$E_m$  le module d'élasticité du matériau de la conduite.

En intégrant l'équation VI-3 dans l'équation VI-2

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \left( \frac{1}{E_f} + \frac{D}{eE_m} \right)}} \quad (\text{VI-4})$$

### VI.3.2 Les équations de propagation

Les coups de bélier sont des surpressions et dépression qui se propagent dans une conduite quand on modifie le débit en une section S.

Les deux équations différentielles qui définissent le phénomène ont été établies en 1901 par ALLiévi.

Elles sont obtenues en appliquant à une tranche de la canalisation :

- i) le théorème des quantités de mouvement
- ii) l'équation de continuité en faisant intervenir la compressibilité du liquide et l'élasticité des parois.

Elles s'écrivent :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + g \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{g}{c^2} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

Où : U est la vitesse moyenne dans une section

H est la hauteur piézométrique

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g} \quad \text{exprimée en hauteur de fluide (m C.F, mètre de colonne de fluide)}$$

Les solutions du système des deux équations différentielles sont données par les équations d'Allievi :

$$h = h_0 + F\left(t - \frac{x}{c}\right) + f\left(t + \frac{x}{c}\right) \quad (\text{VI-5})$$

$$U = U_0 + \frac{g}{c} \left[ F\left(t - \frac{x}{c}\right) - f\left(t + \frac{x}{c}\right) \right] \quad (\text{VI-6})$$

$F$  et  $f$  sont des fonctions définies par les conditions initiales et aux limites, qui représentent deux ondes se propageant dans la conduite ; en sens inverse, avec la même célérité  $c$ .

$h_0$  et  $U_0$  sont des constantes, elles représentent respectivement la cote de la ligne piézométrique et la vitesse du fluide (vitesse uniforme dans une section) en l'absence de tout ébranlement : c'est le régime permanent initial.

La quantité  $\Delta h = h - h_0$  est l'augmentation de pression, ou surpression, qui règne à l'instant  $t$  dans une section d'abscisse  $x$ . Les surpressions ou dépressions peuvent atteindre des grandeurs assez considérables si la manœuvre de la vanne est suffisamment rapide et il peut résulter de ces chocs des accidents de rupture de la canalisation.

A cause de la viscosité, l'amplitude des ondes de pression et de dépression diminue progressivement.

Les ondes élastiques se propagent sans modification dans un milieu isotrope infini, mais sont susceptibles de réflexion et réfraction quand elles rencontrent une surface séparant deux milieux différents. En effet, quand une onde plane se propageant dans un fluide rencontre normalement une paroi solide rigide, elle se réfléchit sans changer de signe : une onde de compression se réfléchit en une onde de compression.

Si la durée de fermeture est inférieure à  $2L/c$ , on a affaire à une *fermeture brusque* et la surpression atteint la valeur la plus grande qu'elle peut prendre compte tenu des caractéristiques de la canalisation (diamètre, épaisseur des parois) et des conditions initiales  $U_0$ . A l'inverse, si la durée de fermeture est supérieure à  $2L/c$ , on a affaire à une *fermeture lente* et la surpression est diminuée par suite de l'onde réfléchie qui vient se composer avec l'onde incidente.

Dans le cas d'une fermeture brusque, la valeur de la surpression maximale est donnée par la formule de Joukowski-Alliévi [24]:

$$\Delta h_{max} = \frac{c.U_0}{g} \quad (VI-7)$$

Dans le cas contraire fermeture lente la valeur de la surpression maximale est donnée par [25]:

$$\Delta h_{max} = \frac{2L.U_0}{g.t_f} \quad (VI-8)$$

## VI.4 CALCUL DE LA PRESSION MAXIMALE DANS LA CONDUITE

### VI.4.1 Données physiques :

$L, D, e$ , Représente la longueur le diamètre et l'épaisseur de la conduite.  $E_f$  module d'élasticité du GNL,  $E_m$  module d'élasticité de l'Acier inoxydable A312 TP321 [15].  $\rho$  masse volumique du GNL,  $Q_v$  le débit volumique de transfert,  $P_i$  pression de fonctionnement au moment du transfert,  $P_{Ls}$  la pression limite de service de la conduite,  $g$  l'accélération de la pesanteur,  $t_f$  le temps de fermeture de la vanne.

$$L = 1000 \text{ m}$$

$$D = 0,762 \text{ m}$$

$$e = 6,35 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$E_f = 8,65 * 10^7 \text{ kg.f.m}^{-2} = 8,48 * 10^8 \text{ Pa} [26]$$

$$E_m = 205 * 10^9 \text{ Pa} [16]$$

$$\rho = 450 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$Q_v = 2200 \text{ m}^3 . \text{h}^{-1}$$

$$P_i = 6 \text{ bar}$$

$$P_{Ls} = 19 \text{ bar}$$

$$g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$$

$$t_f = 1,5 \text{ s}$$

### VI.4.2 Calcul de la célérité de l'onde de surpression

La célérité de l'onde de surpression est calculée par l'intégration des valeurs numériques dans l'équation VI-4 :

$$c = \frac{1}{\sqrt{450 \left( \frac{1}{8,48 * 10^8} + \frac{0,762}{6,35 * 10^{-3} * 205 * 10^9} \right)}}$$

$c = 1122,19 \text{ m.s}^{-1}$
--------------------------------

### VI.4.3 Calcul de la surpression $\Delta P_{max}$

Le temps requis par le voyage Aller-retour de l'onde de choc (vanne-pompe-vanne) est égale à :

$$\frac{2L}{c} = \frac{2 * 1000}{1122,19}$$

$$\frac{2L}{c} = 1,78 \text{ s}$$

On est dans le cas de la fermeture brusque de la vanne d'arrêt d'urgence puisque  $t_f < \frac{2L}{c}$

La vitesse du fluide  $U_0$ :

$$U_0 = \frac{Q_v}{S} = \frac{Q_v}{\pi R^2}$$

$$U_0 = \frac{2200}{3600 * \pi \left(\frac{0,762}{2}\right)^2} = 1,34 \text{ m. s}^{-1}$$

Donc la surpression maximale due au coup de bélier dans la conduite est calculée par l'intégration des valeurs numériques dans l'équation VI-7 :

$$\Delta h_{max} = \frac{1122,19 * 1,34}{9.81}$$

$$\Delta h_{max} = 153,29 \text{ m. C. GNL}$$

*m. C. GNL* : Mètre colonne GNL

La surpression maximale en bar :

$$\Delta P_{max} = \rho * g * \Delta h_{max}$$

$$\Delta P_{max} = 6,77 * 10^5 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{max} = 6,77 \text{ bar}$$

### VI.4.4 La pression totale dans la conduite $P_{T, max}$ :

$$P_{T, max} = P_i + \Delta P_{max}$$

$$P_{T, max} = 6 + 6,77$$

$$P_{T, max} = 12,77 \text{ bar}$$

En Conclusion, la valeur de la pression totale maximale générée lors de la fermeture de la vanne d'arrêt d'urgence, est inférieure à la pression limite de service  $P_{T,max} < P_{Ls}$

Ce qui signifie que s'il y aura une fuite et le SIS proposé dans le chapitre précédent fermera la vanne d'arrêt d'urgence, la surpression générée par cette action ne conduit pas à des conséquences néfastes, voir une détérioration de la conduite.

## Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire avait un double objectif. Au premier plan, il était question d'analyser les risques liés aux différents modes de transfert du GNL entre les deux complexes, puis de modéliser les effets des différents phénomènes dangereux qui peuvent apparaître, ensuite on a opté à l'application de la méthode LOPA pour déterminer les exigences minimales concernant les probabilités de défaillances des barrières de sécurité nécessaires.

en second plan, on a abordé la maîtrise des risques par une proposition d'un système instrumenté de sécurité.

Pour analyser les risques nous avons opté pour la méthode HAZOP, vu les avantages qu'elle apporte est sa spécificité aux systèmes thermo-hydrauliques. Elle nous a permis de déterminer 21 déviations.

Il y a lieu de retenir que le scénario le plus dangereux, concerne une fuite de GNL qui peut provoquer l'un des phénomènes dangereux suivant :

- Dispersion atmosphérique.
- flash-fire,
- UVCE,
- Feu de nappe,

Après la visite sur site, on a remarqué que la ligne a subi une agression par l'effet de corrosion de ces supports, cette dernière peut provoquer un fléchissement. Une étude formelle a montré que la contrainte normale maximale de flexion est supérieur à la contrainte limite admissible liée au matériau  $\sigma_{max} > R_{pe}$ , ceci engendrera une déformation plastique de la conduite, de ce fait on a proposé les solutions suivantes :

- Remplacer les supports gravement usés par de nouveaux supports.
- Empêcher la corrosion uniforme en protégeant la surface de support par :
  - o une solution électrochimique comme une couche de zinc galvanisé.
  - o la peinture ou de l'huile de protection.
- Organiser des visites régulières pour voir leur état et de détecter toute anomalie pouvant se traduire par une dégradation réelle ou potentielle des supports.

Par le biais du logiciel PHAST, une modélisation des effets des phénomènes cités a été faite, on énonce que l'onde de pression généré par UVCE atteint les bacs de stockage des deux



complexes et que les effets thermiques issus du flash-fire les atteignent aussi causant des pertes humaines.

Les résultats donnés par la méthode LOPA montrent qu'une barrière de niveau SIL3 est nécessaire afin de maîtriser les risques.

L'objectif de notre travail a été atteint par la proposition d'un SIS de niveau SIL 3, il permet d'assurer la sécurité de la ligne de transfert. La conception et le calcul du niveau de SIL de l'architecture du SIS proposé sont fait sur la base des expressions fournit par la norme CEI 61508.

Dans une situation dangereuse, le SIS déclenche l'arrêt d'urgence de l'opération du transfert donc une coordination avec les autres systèmes participant à ce transfert est nécessaire. Il serait nécessaire d'élaborer une matrice cause à effet qui assure cette coordination. Et sur la base de cette dernière on a proposé un schéma grafcet qui est le noyau de la programmation des automates.

L'arrêt d'urgence qui est une solution de notre problème principale, peut créer des effets de coups de bélier qui peuvent être néfastes pour l'installation. Ces coups de bélier attaquent les maillons faibles de l'installation, c'est-à-dire les vannes et les pompes. Après étude, le résultat du calcul de la surpression maximale est apparu inférieure à la pression limite de service. Et de ce fait, ce phénomène ne représente pas une menace pour l'installation.

On souhaiterait que la prise en compte de la solution étudiée et les recommandations émises dans ce rapport soient mises en pratique pour la maîtrise des risques au niveau de la ligne de transfert.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] World gas conference, *World LNG Report*, International Gas Union, 2014.
- [2] Valérie de DIANOUS, *Référentiels, normes et guides de bonnes pratiques pour le stockage de Gaz Naturel Liquéfié (GNL)-Installations fixes*, INERIS, 2011.
- [3] Base de données ARIA. Accidents-GNL [en ligne]. Consulté le 20/04/2016 disponible sur : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>
- [4] Saeid, M. and John, M. and Jaleel, V. and David, A.W., *Handbook of Liquefied Natural Gas* », Gulf Professional Publishing, 2014.
- [5] L. BRAZIER, *Etude de Danger, SONATRACH AVAL Complexe GL1/Z*, Bureau VERITAS, 2011.
- [6] B.Debray and S.Chaumette and S.Descouriere and V.Trommeter, *Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs*, Rapport d'étude INERIS, 2006.
- [7] M. ROYER, *Méthode d'analyse des risques-Principe*, Technique de l'ingénieur, 2009.
- [8] Dennis, P. N., *Safety and security review for process Industries, Application of HAZOP, PHA and What-If reviews*, William Andrew, 2008.
- [9] British Petroleum, *Guidance on Practice for Layer of Protection Analysis (LOPA)*, British Petroleum Group, 2006.
- [10] Crowl D.A., *Layer of Protection Analysis, simplified process risk assessment*, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 2001.
- [11] CEI-61511, *Sécurité fonctionnelle-systèmes instrumentés de sécurité pour le secteur des industries de transformation*, Diffusé par AFNOR pour SONATRACH, 2007.
- [12] Olivier, I., *Méthode LOPA : Principe et exemple d'application*, Technique de l'ingénieur, 2012.
- [13] CEI-61508, *Sécurité fonctionnelle systèmes électriques électroniques électroniques programmables relatifs à la sécurité*, Diffusé par AFNOR pour SONATRACH, 2007.
- [14] T. Nobes, *Smart instruments in protective measures, Is your product safe?*, IEE Seminar, 2004.
- [15] Projet de rénovation GL1Z, *Spécification N°. L-001, Catégorie des matériaux de tuyauteries*, BECHTEL, 1993.
- [16] American National Standard, *Standard Specification for Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Pipes*», ASTM standard, 2004.

- [17] De Haag, U. and dr. B.J.M. Ale, *Guideline for quantitative risk assessment 'Purple book' CPR18E*, Third edition, Gevaarlijke Stoffen, 2005.
- [18] HEIRMAN, J.P. *Handbook failure frequencies for drawing up a safety report*, Brussels: The Flemish Government Environment, Nature and Energy Department Environment, 2009.
- [19] Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement (BAPE), *Guide technique relatif aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes accidentels des installations classées*, 2004.
- [20] Autor, O. and S.I.M. OTOR, *Offshore Reliability Data Handbook*, SINTEF Industrial Management, 4<sup>th</sup> Edition, 2002.
- [21] Per H. and Kjell C., *Reliability Prediction Method for Safety Instrumented Systems*, SINTEF Industrial Management, 2003.
- [22] Pascal L. N., *Probabilité de défaillance dangereuse d'un système: explications et exemple de calcul*, INRS, 2002.
- [23] Munier, M., *les coups de bélier et la protection des réseaux d'eau sous pression*, Directeur de l'école nationale du génie rural des eaux et des forêts, 1980.
- [24] Roberson, A.J., *hydraulic engineering, 2ème éd*, John Wiley & Sons, Hoboken, 1998.
- [25] Dupont, A., *hydraulique urbaine, tome II*, Eyrolles, Paris, 1998.
- [26] Syahrudin, N., *LNG Loading Lines Surge Analysis for ESD System Application*, IMECS, 2011.

## **ANNEXES**

Annexe 1 : Schémas simplifiés des différents modes de transfert

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

Annexe 4 : Notion sur « Grafcet »

**ANNEXE 1**

Annexe 1 : Schémas simplifiés des différents modes de transfert

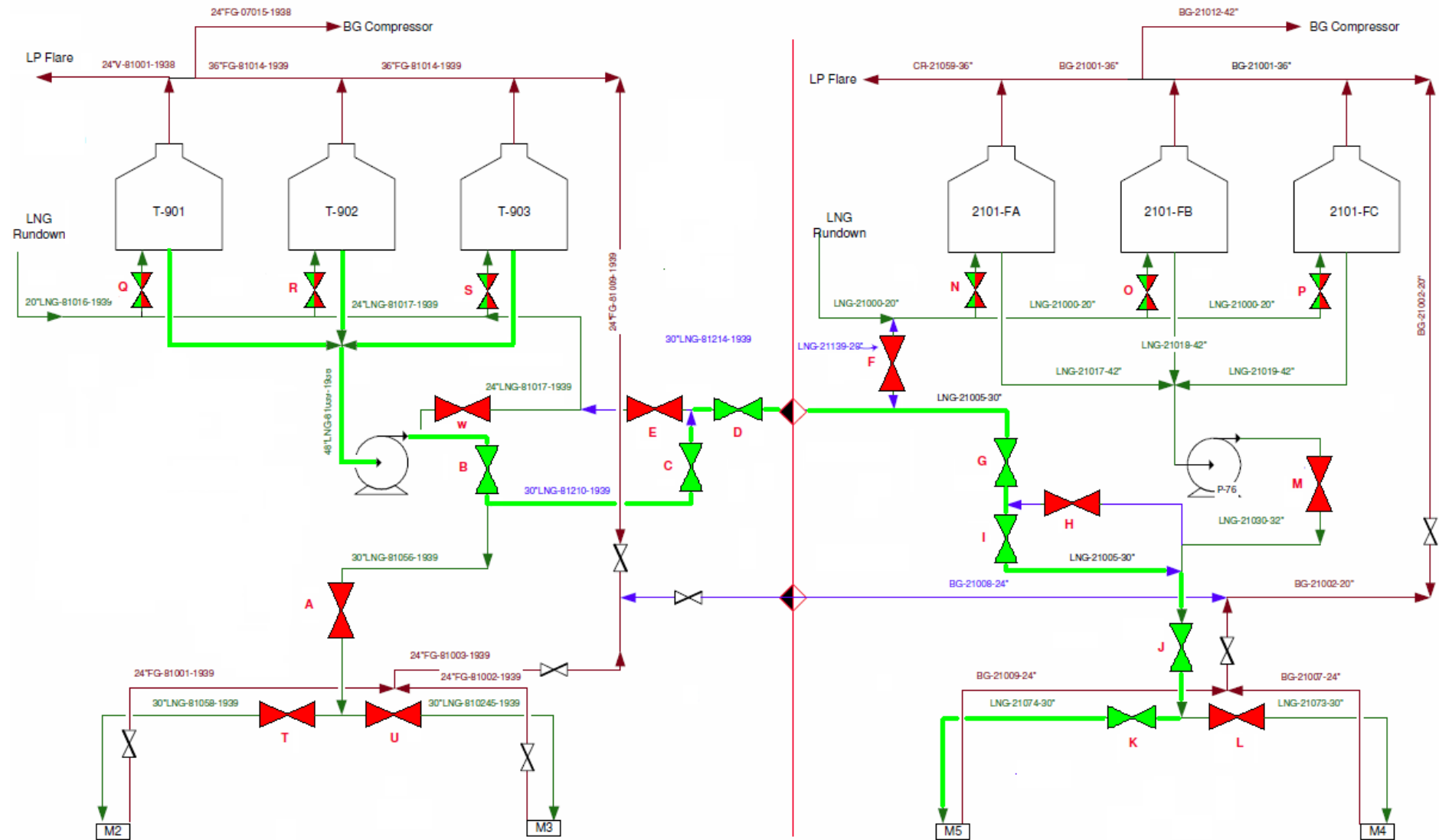


Figure 1: mode de transfert B (du Bacs GLIZ vers la Jetée de GL2Z)

Annexe 1 : Schémas simplifiés des différents modes de transfert

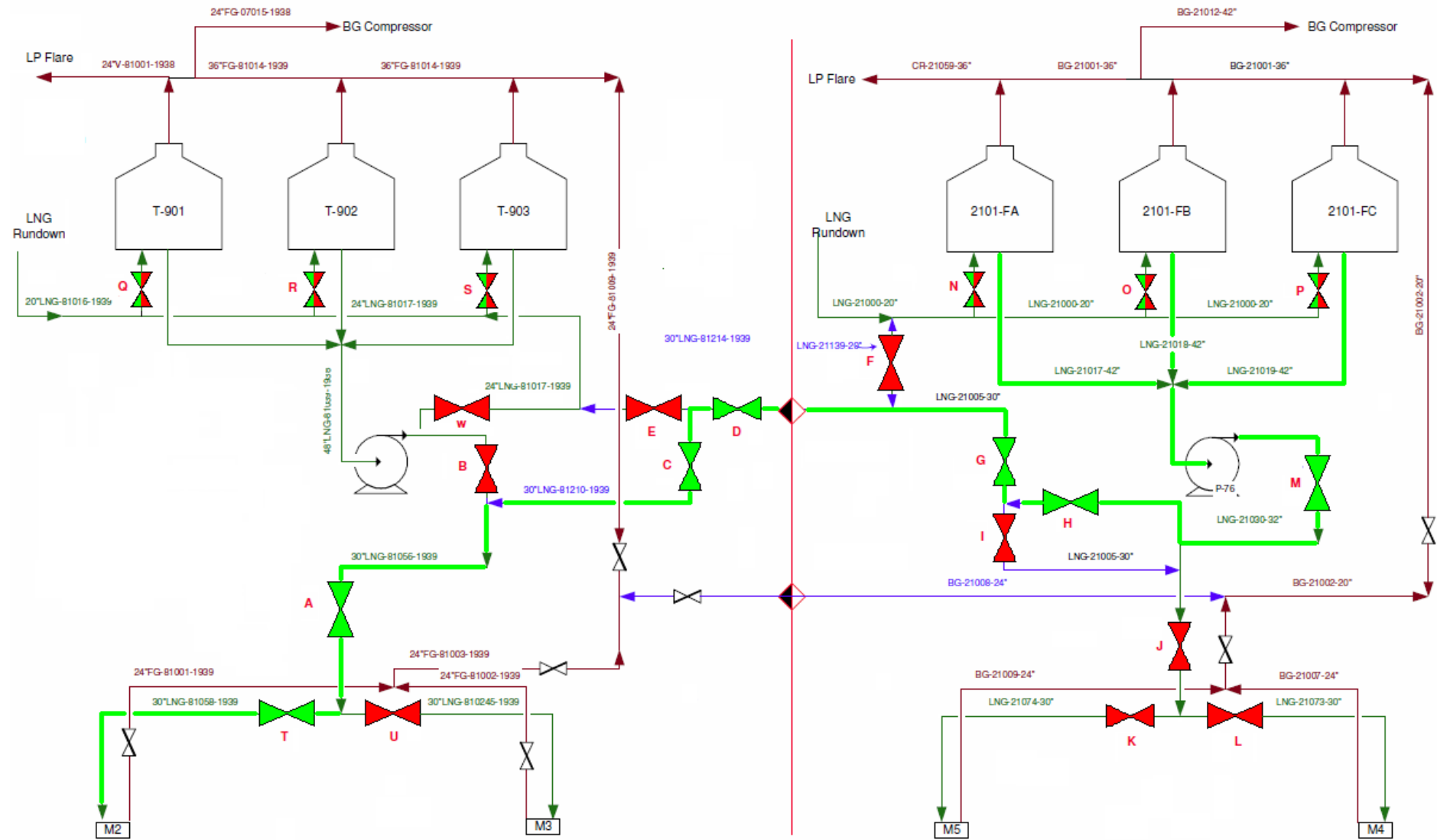


Figure 2: mode de transfert C (du Bacs GL2Z vers la Jetée de GLIZ)

Annexe 1 : Schémas simplifiés des différents modes de transfert

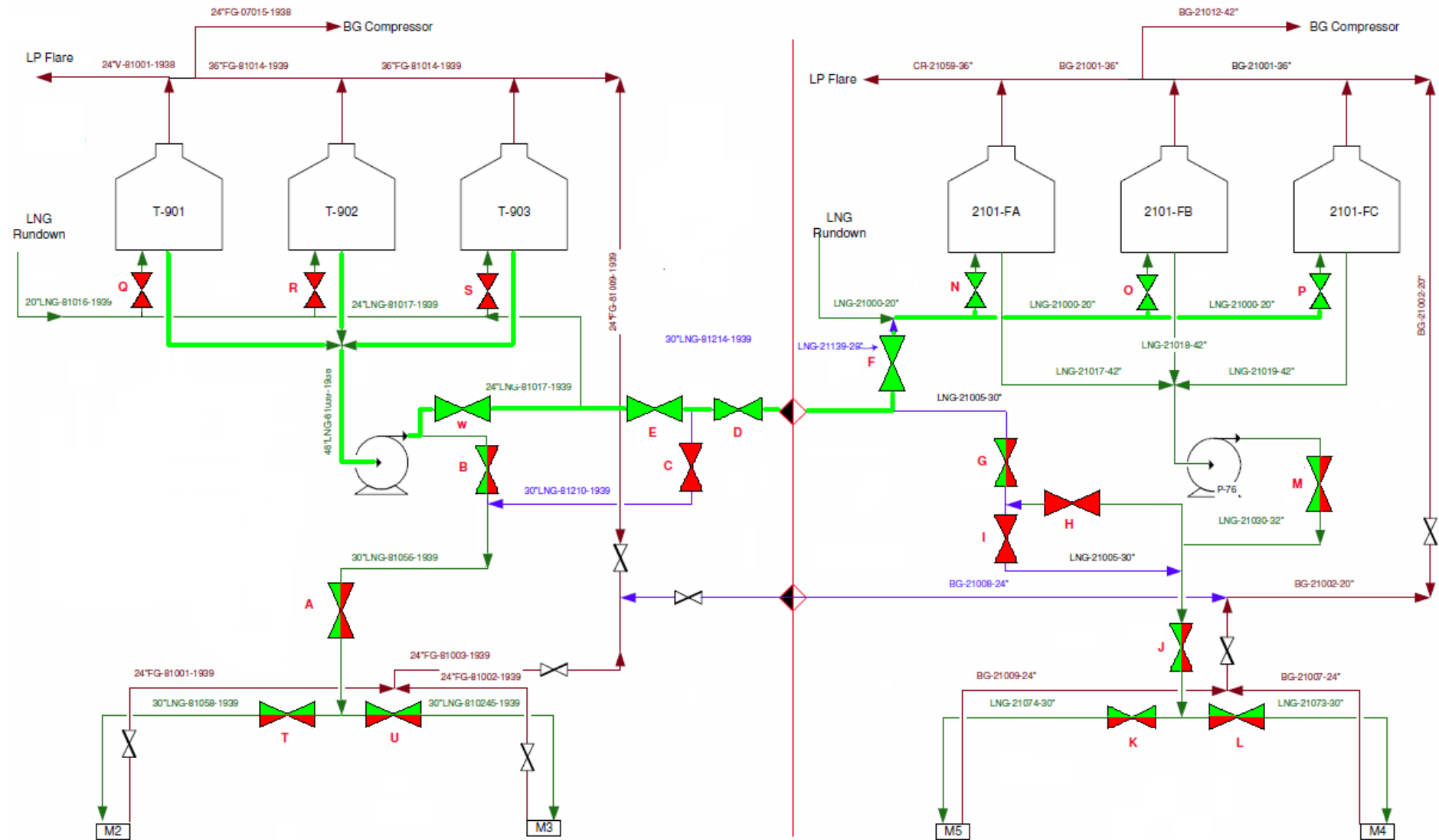


Figure 3: mode de transfert D (du Bacs GLIZ vers Bacs de GL2Z)



Annexe 1 : Schémas simplifiés des différents modes de transfert

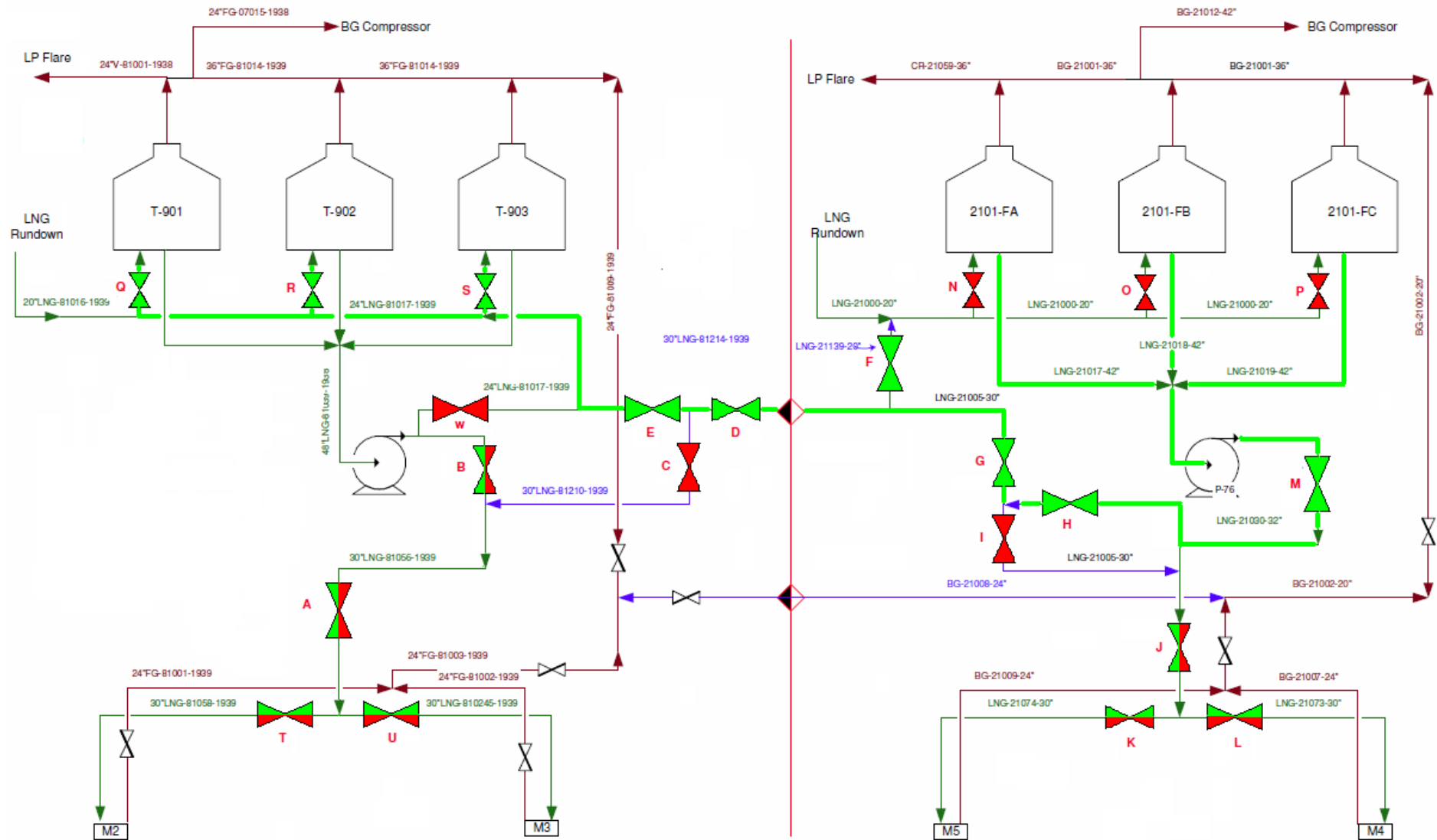


Figure 4: mode de transfert E (du Bacs GL2Z vers Bacs de GLIZ)

**ANNEXE 2**

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

Système	Mode transfert D
Nœud N°1	Bac de stockage T901
Schémas PID	30-810-10.1
Explication de paramètre de fonctionnement	Chaque bac peut contenir jusqu'à 100000 m <sup>3</sup> de GNL Pression de fonctionnement : légèrement supérieur à la pression atmosphérique à savoir 14 inchH <sub>2</sub> O/relatif équivalent à 1,034 Bar/absolue.

Déviation		Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Commentaire
Paramètre	Mot-clé					
Température	Plus de	Arrivée de GNL plus chaud (déjà survenue); Transfert thermique à travers les parois, ensoleillement (sans conséquences significatives)	Evaporation (dès 5°C de plus) Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de température sur la hauteur du Bac; Indicateur de pression	Alarme PAH-800001 + Action opérateur PIC-80025 régule PV-80025 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: PSV-800123 (69 mmbarg) PSV-800124 (62 mmbarg) PSV-800125 (62 mmbarg) Event de secours 20" (avec contre-poids)	Aucune alarme de température
		Incendie à l'extérieure	Evaporation Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de température sur la hauteur du Bac	Alarme PAH-800001 + Action opérateur. PIC-80025 régule PV-80025 vers torche BOG. Soupapes à l'atmosphère: PSV-800123 (69 mmbarg). PSV-800124 (62 mmbarg). PSV-800125 (62 mmbarg). Event de secours 20" (avec contre-poids)	Aucune alarme de température

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

Pression	Plus de	Injection de 2 GNL (GL1Z/GL2Z) de différentes compositions	Thermal over-filling. Evaporation soudaine Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de pression	Répartition du produit sur les 3 bacs de GNL (810-I-901/902/903). Procédure de brassage pour homogénéiser le produit Alarme PAH-800001 + Action opérateur PIC-80025 régule PV-80025 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: PSV-800123 (69 mmbar) PSV-800124 (62 mmbar) PSV-800125 (62 mmbar) Event de secours 20" (avec contre-poids)	GNL GL1Z plus lourd que GNL GL2Z  Transfert de 10 000 à 20 000 m3.
		GNL longtemps au repos (plus de 3 mois)	Augmentation de pression Roll-over (basculement de couches dans le réservoir) Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de pression; Indicateurs de température sur la hauteur du Bac	PIC-80025 régule PV-80025 vers torche BOG. Soupapes à l'atmosphère: PSV-800123 (69 mmbar). PSV-800124 (62 mmbar). PSV-800125 (62 mmbar). Event de secours 20" (avec contre-poids). Procédure de surveillance et d'exploitation Mesures de température sur la hauteur du bac	Déchargement des bacs tous les 2-3 jours  Réception de 10 méthaniers par mois
		Pompage de produit avec Défaillance de PIC-80025, n'ouvre pas PV-80025	Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de pression	Alarme PAH-800001 + Action opérateur Soupapes à l'atmosphère: PSV-800123 PSV-800124 PSV-800125	

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

					Event de secours 20" (avec contre-poids)	
		Elévation de température suite à un incendie à l'extérieur	Evaporation Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateur de température; Indicateur de pression	Régulateur de la pression; Arrêt d'urgence	
		Défaillance des soupapes	Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de pression	Event de secours 20" (avec contre-poids)	
	Moins de	En cours d'opération-chargeement, maintien d'aspiration par le compresseur FG (défaillance PV-247 sur deazoteur)	Risque de vide Collapse du réservoir de stockage GNL 810-I-901 Perte de confinement Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de pression	Alarme PAL-800001 + Action opérateur Alarme + Action PSSL-800001: Injection d'urgence du gaz naturel non traité par PV-20026 venant du compresseur FG Casse-vide PSV-800118/119/120/121/122	

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

Niveau	Plus de	<p>Vanne JV-80008 (motorisée) fermée</p> <p>Retard déchargement</p> <p>Défaillance d'une pompe de chargement</p> <p>Défaillance de lecture de niveau</p>	<p>Débordement du bac</p> <p>Infiltration du GNL entre les parois (Acier inox à 9% Ni et Acier carbone)</p> <p>Fragilisation de la paroi externe</p> <p>Perte de confinement</p> <p>Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL</p> <p>Risque d'une explosion, jet enflammé</p>	Indicateur de niveau	<p>Alarme LAH-80002 + Action opérateur</p> <p>Alarme LAH-800245 + Action opérateur</p> <p>Transfert inter- complexe GL2Z</p> <p>Alarme + Action LAHH-80002</p> <p>Alarme + Action LAHH-800245</p>	<p>Réduction de la production suite à la demande de la zone stockage &amp; expédition</p> <p>Les 3 bacs en communication permanente</p>
	Moins de	Perte du niveau minimum	<p>Augmentation de température de la paroi interne.</p> <p>Entassement de la perlite</p> <p>Création de pont de température avec l'extérieure.</p> <p>Apparition de plaque de givre sur paroi extérieure.</p> <p>Perte de la peinture de protection</p> <p>Corrosion.</p>	Indicateur de niveau LTDT (registre de donnée des bacs de stockage de GNL);	<p>Alarme LAL-2013A + Action opérateur; Alarme + Action LAHH-2013A</p>	<p>Le stock disponible communiqué prend en compte un niveau minimum pour le maintien en froid du bac</p>

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

Système	Mode transfert D
Nœud N°2	Pompes de chargement ; Pompe de refroidissement
Schémas PID	30-820-10.1 ; 30-820-10.2 ; 30-820-10.3 ; 30-820-10.4 ; 30-820-10.5.
Explication de paramètre de fonctionnement	5 Pompe de chargement : chacune de capacité de 2500m <sup>3</sup> /h et une pression de 7.6 Bar/absolue. 2 Pompe de refroidissement : avec une capacité de 34.5m <sup>3</sup> /h et une pression de 3,45 Bar/absolue

Déviation		Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Commentaire
Paramètre	Mot-clé					
Débit	Pas de	vanne JV 82006 en amont défaillante	Risque d'endommagement des pompes	Indicateur de pression PI-800154	alarme de basses pressions PAL-800180 + Action Opérateur	
		absence totale du GNL	Risque d'endommagement des pompes	Indicateur de pression PI-800154	alarme de basses pressions PAL-800180 + Action Opérateur	
		Moins de	fuite de gaz (sur une bride)	Risque d'incendie; Risque d'épandage de GNL.	Indicateur de niveau LI-800228	Alarme de bas niveau LAL-800228 + Action Opérateur
		vanne JV 82006 en amont partiellement fermée	Rendement faible de la pompe; Risque d'endommagement des pompes	Indicateur de pression PI-800154	alarme de basses pressions PAL-800180 + Action Opérateur	
	Plus de	vanne de régulation (JV82005) défaillante	Risque de fuite (sur une bride)	Indicateur de pression PI-800154	Soupapes à l'atmosphère: PSV 80082; PSV 800153	
	Température	Plus de	Arrivée de GNL plus chaud en amont	augmentation de pression dans les lignes; Risque de fuite	Indicateur de pression; Indicateur de température; Détecteurs de gaz; LTD (Low Temperature Detector)	Soupapes à l'atmosphère: PSV 80082; PSV 800153

*Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP*

		Incendie au niveau de fosse des pompes	évaporation du GNL; Augmentation de pression;	Détecteur de feu	4 GHF (Générateur de mousse Haut Foisonnement)	
Pression	Plus de	vanne de régulation (JV82005) défailante	Augmentation de température; évaporation du GNL; Risque de fuite (sur une bride)	Indicateur de pression; LTD (Low Temperature Detector); Détecteurs de gaz		
		Incendie au niveau de fosse des pompes	évaporation du GNL; Augmentation de pression;	Détecteur de feu	4 GHF (Générateur de mousse Haut Foisonnement)	
	Moins de	fuite de GNL	Risque d'incendie	Indicateur de pression; Détecteur de gaz; Détecteur de feu	fermeture de la vanne JV-80006 en amont	



Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

Système	Mode transfert D
Nœud N°3	Ligne de transfert inter-complexe
Schémas PID	30-810-10.1 ; 30-810-10.2 ; 30-810-10.3 ; 30-820-10.1 ; 30-820-10.2 ; 30-820-10.3 ; 30-820-10.4 ; 30-820-10.5 ; 54d3
Explication de paramètre de fonctionnement	Avec une longueur de 1500m de tuyauterie entre bac GL1/Z et bac GL2/Z, le transfert ce fait avec une pression de 7 bar à la sortie des pompes

Déviation		Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Commentaire
Paramètre	Mot-clé					
Température	Plus de	ligne non refroidie (erreur humaine)	évaporation du GNL; Augmentation de pression; Défaillances des joints et des presses et étoupe des vannes. Fuite	Détecteurs de gaz; Indicateur de température	Procédure de mise en froid; Fermeture de la vanne FV-80038 et HV-80039; Soupapes à l'atmosphère	les détecteurs de gaz sont présents sur toute la ligne sauf le tronçon de l'interconnexion
		faible isolation	évaporation du GNL; Augmentation de pression; Défaillances des joints et des presses et étoupe des vannes	Indicateur de température; Détecteurs de gaz	Fermeture de la vanne FV-80038 et HV-80039; Soupapes à l'atmosphère	
		Incendie à l'extérieure	évaporation du GNL; Augmentation de pression; Défaillances des joints et des presses et étoupe des vannes	Indicateur de température; Détecteurs de gaz; Détecteur de feu	Fermeture de la vanne FV-80038 et HV-80039; Soupapes à l'atmosphère; Arrêt d'urgence.	
Pression	Plus de	Défaillance de la vanne de régulation FV-80038	Fuite; défaillance de la pompe; rupture de la tuyauterie.	Indicateur de pression; Détecteur de gaz	Soupapes à l'atmosphère; Arrêt d'urgence des pompes de chargement.	

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

		Elévation de température suite à un incendie à l'extérieur	perte de confinement; défaillance de la pompe; rupture de la tuyauterie.	Indicateur de température; Indicateur de pression	Régulateur de la pression à travers la vanne FV-80038; Soupapes à l'atmosphère; Arrêt d'urgence des pompes de chargement.	
		givrage de la vanne	vanne bloqué (refus de fermeture ou d'ouverture de la vanne); perte de confinement; défaillance de la pompe; rupture de la tuyauterie.	Indicateur de pression; Présence permanente d'un opérateur	circuit de dégivrage J901; Soupapes à l'atmosphère	
		Coup de bélier par fermeture trop rapide de la vanne	perte de confinement; défaillance de la pompe; rupture de la tuyauterie.	Indicateurs de pression; Détecteur de gaz	les lyres présente au long de la ligne; Soupapes à l'atmosphère.	
		Pompage de produit sur vanne aval fermée (erreur humaine)	perte de confinement (Fuite); défaillance de la pompe; rupture de la tuyauterie. Défaillance de PIC-800 qui action pas la vanne PV-	Indicateurs de pression	Soupapes à l'atmosphère; Action Opérateur	
	Moins de	défaillance de pompes de chargement	Abaissement de débit de chargement	Indicateur de pression; Indicateur de débit	Démarrage de pompe de secours	
		Rupture de joint statique	Fuite du GNL	Indicateur de pression; Indicateur de débit	Démarrage de pompe de secours	
		fuite du GNL	Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL	Indicateur de pression; Détecteur de gaz	Arrêt d'urgence des pompes de chargement.	
Débit	Plus de	Défaillance de la vanne de régulation FV-80038 (100% ouvert)	Augmentation de pression; Fuite; Vibrations; Rupture de la tuyauterie	Indicateur de débit; Détecteur de gaz	Arrêt des pompes de chargement	
	Moins de	Défaillance de la vanne de régulation FV-80038 (partiellement fermée)	Vibrations; Rupture de la tuyauterie	Indicateur de débit	Arrêt des pompes de chargement	

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

Système	Mode transfert D
Nœud N°4	Bac de stockage 2101-FA
Schémas PID	54d4
Explication de paramètre de fonctionnement	Chaque bac peut contenir jusqu'à 100000 m <sup>3</sup> de GNL Pression de fonctionnement : légèrement supérieur à la pression atmosphérique à savoir 14 inchH <sub>2</sub> O/relatif équivalent à 1,034 Bar/absolue.

Déviation		Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Commentaire
Paramètre	Mot-clé					
Température	Plus de	Arrivée de GNL plus chaud (déjà survenue); Transfert thermique à travers les parois, ensoleillement (sans conséquences significatives)	Evaporation (dès 5°C de plus) Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de température sur la hauteur du Bac	Alarme PAH-2002A + Action opérateur PIC-2001 régule PV-2001 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: RV-2101-FA-1 RV-2101-FA-2 RV-2101-FA-3 Event de secours 20"	Aucune alarme de température
		Incendie à l'extérieure	Evaporation Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de température sur la hauteur du Bac	Alarme PAH-2002A + Action opérateur PIC-2001 régule PV-2001 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: RV-2101-FA-1 RV-2101-FA-2 RV-2101-FA-3 Event de secours 20"	Aucune alarme de température

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

Pression	Plus de	Injection de 2 GNL (GL1Z/GL2Z) de différentes compositions	Thermal over-filling Evaporation soudaine Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de pression	Répartition du produit sur les 3 bacs de GNL (2101-FA; 2101-FB; 2101-FC) Procédure de brassage pour homogénéiser le produit Alarme PAH-2002A + Action opérateur PIC-2001 régule PV-2001 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: RV-2101-FA-1 RV-2101-FA-2 RV-2101-FA-3 Event de secours 20"	GNL GL1Z plus lourd que GNL GL2Z  Transfert de 10 000 à 20 000 m3.
		GNL longtemps au repos (plus de 3 mois)	Augmentation de pression Roll-over (basculement de couches dans le réservoir) Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de pression; Indicateurs de température sur la hauteur du Bac	PIC-2001 régule PV-2001 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: RV-2101-FA-1 RV-2101-FA-2 RV-2101-FA-3 Event de secours 20" Procédure de surveillance et d'exploitation Mesures de température sur la hauteur du bac	Déchargement des bacs tous les 2-3 jours  Réception de 10 méthaniers par mois
		Pompage de produit avec Défaillance de PIC-2105, n'ouvre pas PV-2105	Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de pression	Alarme PAH-2002A + Action opérateur Soupapes à l'atmosphère: RV-2101-FA-1 RV-2101-FA-2 RV-2101-FA-3 Event de secours 20"	

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

		Elévation de température suite à un incendie à l'extérieur	Evaporation Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateur de température; Indicateur de pression	Alarme PAH-2002A + Action opérateur PIC-2001 régule PV-2001 vers torche BOG Soupapes à l'atmosphère: RV-2101-FA-1 RV-2101-FA-2 RV-2101-FA-3 Event de secours 20"	
		Défaillance des soupapes	Eclatement de capacité Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de pression	Event de secours 20" (avec contre-poids)	
	Moins de	En cours d'opération-chargeement, maintien d'aspiration par le compresseur FG (défaillance de PDIC-2001A qui ouvre la vanne PV-2001A sur ballon de surchauffer de vaporisat de GNL)	Risque de vide Collapse du réservoir de stockage GNL 2101-FA Perte de confinement Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateurs de pression	Alarme PAL-2004A + Action opérateur; Alarme PDALL-2079A Injection d'urgence du gaz naturel non traité par PDV-2004A venant du NG-21009 7 Casse-vide VB-2101FA-1/ FA-2/ FA-3/ FA-4/ FA-5/ FA-6/ FA-7.	

Annexe 2 : Les tableaux de l'étude HAZOP

Niveau	Plus de	Vanne MOV-2013A (motorisée) fermée  Retard déchargement  Défaillance d'une pompe de chargement  Défaillance de lecture de niveau	Débordement du bac Infiltration du GNL entre les parois (Acier inox à 9% Ni et Acier carbone) Fragilisation de la paroi externe Perte de confinement Formation d'un nuage inflammable et nappe de GNL Risque d'une explosion, jet enflammé	Indicateur de niveau	Alarme LAH-2001A + Action opérateur  Transfert intercomplexe GL2Z  Alarme + Action LAHH-2001A	Réduction de la production suite à la demande de la zone stockage & expédition  Les 3 bacs en communication permanente
	Moins de	Perte du niveau minimum	Augmentation de température de la paroi interne Entassement de la perlite Création de pont de température avec l'extérieure Apparition de plaque de givre sur paroi extérieure Perte de la peinture de protection Corrosion	Indicateur de niveau LTDT (registre de donnée des bacs de stockage de GNL);	Alarme LAL-2013A + Action opérateur; Alarme + Action LAHH-2013A	Le stock disponible communiqué prend en compte un niveau minimum pour le maintien en froid du bac

**ANNEXE 3**

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 1.1</b>			
Numéro du scénario: 1.1	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: feu de nappe	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	épanchage du GNL suite à une fuite avec une ignition immédiate		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entraîner un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	Défaillance de la boucle de régulation (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038)		1,00E-01
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'inflammation	0,065	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		5,85E-03	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	Aucune IPL vis-à-vis de ce scénario	-	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			5,85E-03
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>NON</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : proposition de mise en place d'une SIF permettant L'arrêter d'urgence de l'opération de transfert (Emergency Shut Down)			
Notes : il est proposé de mettre en place une SIF de niveau d'intégrité <b>SIL 2</b> .			
Références (PID, etc.) : 30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : -			



Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 1.2</b>			
Numéro du scénario: 1.2	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: feu de nappe	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	épandage du GNL suite à une fuite avec une ignition immédiate		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entraîner un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	Erreur humaine (fermeture d'une vanne qui est sensé ouverte)		1,00E-02
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'inflammation	0,065	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		5,85E-04	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	BPCS (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038) Composé par d'un contrôleur de pression, un automate de régulation et une vanne de régulation	0,1	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0,1	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			5,85E-05
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>oui</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : <b>niveau de risque acceptable atteint</b>			
Notes:			
Références (PID, etc.) : 30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : –			

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 1.3</b>			
Numéro du scénario: 1.3	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: feu de nappe	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	épandage du GNL suite à une fuite avec une ignition immédiate		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entraîner un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	Rupture de joint statique		1,00E-02
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'inflammation	0,065	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		5,85E-04	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	BPCS (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038) Composé par d'un contrôleur de pression, un automate de régulation et une vanne de régulation	0,1	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0,1	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			5,85E-05
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>Oui</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : <b>niveau de risque acceptable atteint</b>			
Notes :			
Références (PID, etc.) : 30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : –			

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 2.1</b>			
Numéro du scénario: 2.1	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: Flash fire	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	évaporation de la nappe du GNL suite à une fuite avec ignition retardé dans un mélange non stœchiométrique		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entraîner un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	Défaillance de la boucle de régulation (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038)		1,00E-01
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'inflammation	0,2992	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		2,69E-02	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	Aucune IPL vis-à-vis de ce scénario	-	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			2,69E-02
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>NON</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : <a href="#">proposition de mise en place d'une SIF permettant d'arrêter d'urgence de l'opération de transfert (Emergency Shut Down)</a>			
Notes : il est proposé de mettre en place une SIF de niveau d'intégrité <b>SIL 3</b> .			
Références (PID, etc.) : <a href="#">30-820-10.5 rév 7</a> ; <a href="#">30-820-10.4 rév 4</a>			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : –			

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 2.2</b>			
Numéro du scénario: 2.2	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: Flash fire	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	évaporation de la nappe du GNL suite à une fuite avec ignition retardé dans un mélange non stœchiométrique		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entrainer un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	erreur humaine		1,00E-02
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'inflammation	0,2992	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		2,69E-03	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	BPCS (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038) Composé par d'un contrôleur de pression, un automate de régulation et une vanne de régulation	0,1	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0,1	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			2,69E-04
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>Oui</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : <b>niveau de risque acceptable atteint</b>			
Notes :			
Références (PID, etc.) : <b>30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4</b>			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : –			

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 2.3</b>			
Numéro du scénario: 2.3	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: Flash fire	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	évaporation de la nappe du GNL suite à une fuite avec ignition retardé dans un mélange non stœchiométrique		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entrainer un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	Rupture de joint statique		1,00E-02
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'inflammation	0,2992	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		2,69E-03	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	BPCS (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038) Composé par d'un contrôleur de pression, un automate de régulation et une vanne de régulation	0,1	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0,1	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			2,02E-04
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>Oui</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : <b>niveau de risque acceptable atteint</b>			
Notes :			
Références (PID, etc.) : <b>30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4</b>			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : –			

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 3.1</b>			
Numéro du scénario: 3.1	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: UVCE	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	évaporation de la nappe du GNL suite à une fuite avec ignition retardé dans un mélange stœchiométrique		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entraîner un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	Défaillance de la boucle de régulation (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038)		1,00E-01
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'inflammation	0,0748	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		6,73E-03	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	Aucune IPL vis-à-vis de ce scénario	-	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			6,73E-03
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>NON</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : <a href="#">proposition de mise en place d'une SIF permettant d'arrêter d'urgence de l'opération de transfert (Emergency Shut Down)</a>			
Notes : il est proposé de mettre en place une SIF de niveau d'intégrité <b>SIL 2</b> .			
Références (PID, etc.) : <a href="#">30-820-10.5 rév 7</a> ; <a href="#">30-820-10.4 rév 4</a>			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : –			

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 3.2</b>			
Numéro du scénario: 3.2	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: UVCE	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	évaporation de la nappe du GNL suite à une fuite avec ignition retardé dans un mélange stœchiométrique		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entraîner un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	erreur humaine		1,00E-02
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'inflammation	0,0748	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		6,73E-04	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	BPCS (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038) Composé par d'un contrôleur de pression, un automate de régulation et une vanne de régulation	0,1	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0,1	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			6,73E-05
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>Oui</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : <b>niveau de risque acceptable atteint</b>			
Notes :			
Références (PID, etc.) : <b>30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4</b>			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : –			

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 3.3</b>			
Numéro du scénario: 3.3	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: UVCE	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	évaporation de la nappe du GNL suite à une fuite avec ignition retardé dans un mélange stœchiométrique		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entrainer un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	Rupture de joint statique		1,00E-02
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité d'inflammation	0,0748	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		6,73E-04	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	BPCS (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038) Composé par d'un contrôleur de pression, un automate de régulation et une vanne de régulation	0,1	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0,1	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			6,73E-05
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>Oui</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : <b>niveau de risque acceptable atteint</b>			
Notes :			
Références (PID, etc.) : 30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : –			



<b>Scénario 4.1</b>			
Numéro du scénario: 4.1	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: dispersion atmosphérique	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	évaporation d'une nappe de GNL sans ignition (immédiate et retardée)		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entrainer un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	Défaillance de la boucle de régulation (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038)		1,00E-01
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité de non inflammation	0,561	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		5,05E-02	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	Aucune IPL vis-à-vis de ce scénario	-	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			5,05E-02
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>NON</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : <b>proposition de mise en place d'une SIF permettant d'arrêter d'urgence de l'opération de transfert (Emergency Shut Down)</b>			
Notes : il est proposé de mettre en place une SIF de niveau d'intégrité <b>SIL 3</b> .			
Références (PID, etc.) : <b>30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4</b>			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : -			

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 4.2</b>			
Numéro du scénario: 4.2	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: dispersion atmosphérique	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	évaporation d'une nappe de GNL sans ignition (immédiate et retardée)		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entraîner un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	erreur humaine		1,00E-02
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité de non inflammation	0,561	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		5,05E-03	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	BPCS (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038) Composé par d'un contrôleur de pression, un automate de régulation et une vanne de régulation	0,1	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0,1	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			5,05E-04
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>NON</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : proposition de mise en place d'une SIF permettant d'arrêter d'urgence de l'opération de transfert (Emergency Shut Down)			
Notes : il est proposé de mettre en place une SIF de niveau d'intégrité <b>SIL 1</b> .			
Références (PID, etc.) : 30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : -			

Annexe 3 : Fiches de synthèse des scénarios LOPA

<b>Scénario 4.3</b>			
Numéro du scénario: 4.3	Numéro de l'équipement: 30"LNG-81214-1939	Titre du scénario: dispersion atmosphérique	
Date: 25/04/2016	Description	Probabilité	Fréquence
Conséquences/Niveau de gravité associée	évaporation d'une nappe de GNL sans ignition (immédiate et retardée)		
Fréquence "cible" pour atteindre le niveau de risque acceptable	Ce scénario peut entraîner un risque pour le personnel sur la zone --> fréquence cible d'après le critère d'acceptabilité du Complexe		1,00E-05
événement initiateur du scénario	Rupture de joint statique		1,00E-02
Condition de réalisation du scénario	-		
Facteur conditionnels de réalisation (si applicables au scénario)	Probabilité de non inflammation	0,561	
	Probabilité de présence du personnel dans la zone d'effet atteinte par le scénario (on suppose ici que pendant 90 % du temps, la présence de personnel est possible sur la zone)	0,9	
	Probabilité de blessures	1	
	Autres	-	
Fréquence du scénario sans les barrières		5,05E-03	
Barrières de sécurité respectant les critères d'indépendance explicites dans la méthode LOPA (IPL) et valeur de PFD associée	BPCS (PV-80038, PDIC-80029, HIC80038) Composé par d'un contrôleur de pression, un automate de régulation et une vanne de régulation	0,1	
Autre barrières de sécurité ne respectant pas les critères d'indépendance explicités dans la méthode LOPA	-	-	
Totale de PFD associées aux barrières de sécurité indépendantes (IPL)	-	0,1	
Fréquence du scénario avec les barrières indépendantes			5,05E-04
La fréquence « cible » permettant de justifier d'un risque acceptable est-elle atteinte ? (Oui/Non) : <b>NON</b>			
Actions requises pour atteindre le niveau de risque acceptable : proposition de mise en place d'une SIF permettant d'arrêter d'urgence de l'opération de transfert (Emergency Shut Down)			
Notes : il est proposé de mettre en place une SIF de niveau d'intégrité <b>SIL 1</b> .			
Références (PID, etc.) : 30-820-10.5 rév 7 ; 30-820-10.4 rév 4			
Identité des membres ayant participé à la revue LOPA : -			

**ANNEXE 4**

Le GRAFCET est un modèle de représentation graphique des comportements dynamiques de la partie commande, préalablement défini par ses entrées et ses sorties. Il décrit les interactions entre la partie commande et la partie opérative à partir de la frontière d'isolement.

Ce modèle est défini par un ensemble constitué :

- d'éléments graphiques de base : les étapes, les transitions et les liaisons orientées, formant l'ossature graphique du GRAFCET ;
- d'une interprétation, traduisant les comportements de la partie commande vis-à-vis de ses entrées/sorties et caractérisée par les actions associées aux étapes et les réceptivités associées aux transitions;
- de cinq règles d'évolution, définissant formellement le comportement dynamique.

## ELEMENTS GRAPHIQUES DE BASE ET INTERPRETATION

### Etape :

Elle caractérise un comportement invariant d'une partie ou de la totalité de la partie commande à un instant donné : elle correspond à une phase durant laquelle on effectue une ACTION pendant une certaine DUREE (même faible mais jamais nulle).

L'action doit être stable, c'est à dire que l'on fait la même chose pendant toute la durée d'activation de l'étape, mais la notion d'action est assez large, en particulier composition de plusieurs actions, ou à l'opposé l'inaction (étape dite d'attente).

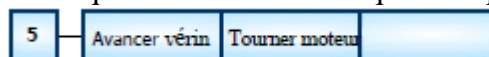
L'étape sera symbolisée par un carré et repérée par un identificateur, en général un numéro, mais pas nécessairement croissant par pas de 1, il faut simplement que deux étapes différentes n'aient pas le même numéro. L'action est représentée dans un rectangle à gauche de l'étape.



Par l'ensemble de ces étapes, le GRAFCET représente l'ensemble des comportements possibles du système.

### Remarques :

- Une ou plusieurs actions élémentaires ou complexes peuvent être associées à une étape afin de traduire "ce que doit être fait " chaque fois que cette étape est active.



- L'étape initiale (initialement active au début du fonctionnement) sera représentée par un double carré.



- Suivant l'évolution du système, une étape est soit active, soit inactive et l'ensemble des étapes actives définit la situation de la partie commande. Une étape est dite active lorsqu'elle correspond à une phase "en fonctionnement", c'est à dire qu'elle effectue l'action qui lui est associée. On représente quelquefois une

étape active à un instant donné en dessinant un point à l'intérieur ou en changeant la couleur.



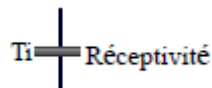
A chaque étape numéro  $i$  on associe une variable booléenne  $X_i$  tel que: si l'étape est active alors  $X_i = 1$  sinon  $X_i=0$ .

### Transition

Elle indique la possibilité d'évolution entre étapes. Chaque transition représente une et une seule possibilité d'évolution.

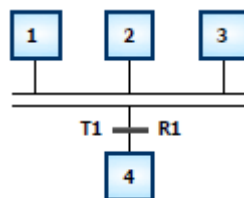
A chaque transition est associée une proposition logique appelée réceptivité qui regroupe parmi toutes les informations disponibles, uniquement celles qui sont susceptibles, à un instant donné, de faire évoluer la situation de la partie commande.

On représente une transition par un petit trait horizontal sur une liaison verticale. On note à droite la réceptivité et on peut noter à gauche un numéro de transition  $T_i$  (entier positif, indépendant des numéros d'étapes).

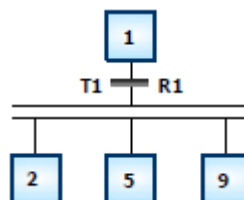


*Remarques :*

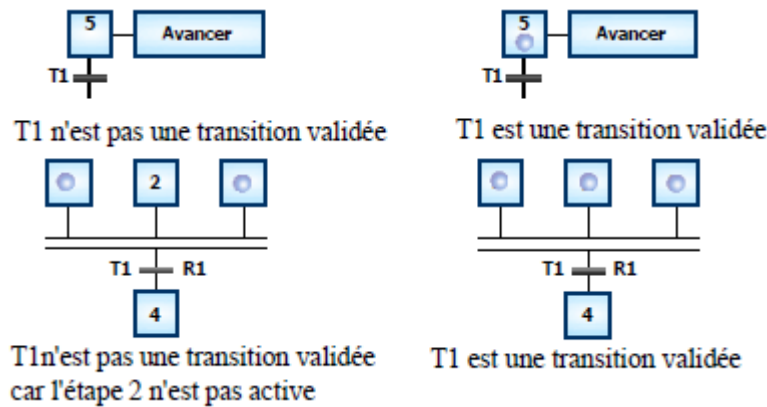
- Dans le cas de plusieurs liaisons arrivant sur une transition, on les fait converger sur une grande double barre horizontale, qui n'est qu'une représentation du dessus de la transition.



- De même le cas où plusieurs liaisons partent d'une transition (ceci représente plusieurs séquences simultanées), on utilise une grande double barre horizontale à la sortie de la transition.



- Une transition est dite validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes reliées à cette transition sont actives (toutes celles reliées directement à la double barre supérieure de la transition).



- Une transition ne sera franchie que lorsqu'elle est validée et la réceptivité qui lui est associée est vraie.

### Liaisons

Les liaisons orientées relient les étapes aux transitions et les transitions aux étapes : elles indiquent les voies d'évolution du GRAFCET. Dans le cas général, les liaisons qui se font de haut vers le bas ne comportent pas de flèches. Dans les autres cas, il faut utiliser des flèches.

## REGLES D'EVOLUTION DU GRAFCET

La modification de l'état de l'automatisme est appelée évolution, et est régie par 5 règles que nous allons détailler dans ce paragraphe.

- **Règle 1 : Situation initiale**

La situation initiale caractérise le comportement initial de la partie commande et correspond aux étapes actives au début du fonctionnement (à la mise sous tension du système).

Elle est représentée par les étapes initiales qui sont souvent des étapes d'attente pour ne pas effectuer une action dangereuse par exemple après le rétablissement de l'alimentation électrique suite à une panne du secteur.



- **Règle 2 : Franchissement d'une transition**

L'évolution de la situation du GRAFCET s'accomplit par le franchissement d'une transition, ce qui ne se produit que lorsque :

- cette transition est validée ;
- et la réceptivité associée à cette transition est vraie.

- **Règle 3 : Evolution des étapes actives**

Le franchissement d'une transition entraîne simultanément l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

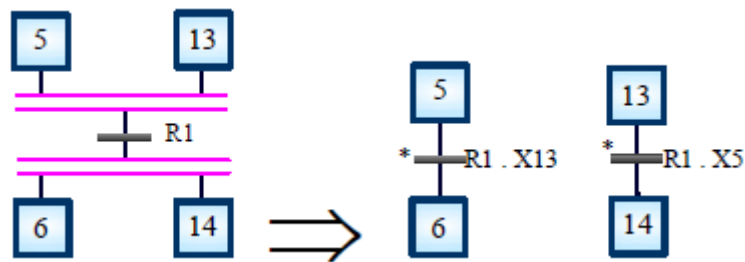
- **Règle 4 : Evolutions simultanées**

Toutes les transitions franchissables sont simultanément franchies.

Cette règle de franchissement simultané permet de décomposer un GRAFCET en plusieurs parties, tout en assurant de façon rigoureuse leurs interconnexions.

Dans ce cas, il est indispensable de faire intervenir, dans les réceptivités, les états actifs ou inactifs de l'étape  $i$  notés  $X_i$  et  $/X_i$  respectivement.

Pour mettre en évidence les franchissements simultanés, les transitions correspondantes seront repérées par un astérisque (\*).



- **Règle 5 : Activation et désactivation simultanées**

Si, au cours du fonctionnement de l'automatisme, une même étape est en même temps désactivée et activée, elle reste active.

- **Règle 6 : Durées de franchissement et d'activité**

La durée de franchissement d'une transition est considérée théoriquement comme aussi petite que l'on veut, mais non nulle, même si en pratique cette durée peut être imposée par la technologie utilisée pour la réalisation de l'automatisme.

De même, la durée d'activité d'une étape ne peut pas être nulle, mais suffisante, si besoin est, pour effectuer une action fugitive à la vitesse de la partie commande.