



⋮

ASSOCIATION FRANÇAISE DU GAZ

**GUIDE DE MAITRISE DES RISQUES
TECHNOLOGIQUES
DE STATIONS SATELLITES GNL SOUMISES A
AUTORISATION**
(Version – mars 2019)



ENTREPRISES CO-FINANCEURS



eLengy



COMMANDITAIRE ET PRESTATAIRE EN CHARGE DE LA REDACTION DU GUIDE



TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	9
2. CADRE REGLEMENTAIRE	10
2.1 CONTENU	10
2.2 RUBRIQUES DE CLASSEMENT	10
2.2.1 <i>Installations de stockage</i>	10
2.2.2 <i>Installations de chargement/déchargement</i>	11
2.3 PRINCIPAUX TEXTES RÉGLEMENTAIRES APPLICABLES.....	12
2.3.1 <i>Textes applicables aux installations</i>	12
2.3.2 <i>Textes applicables aux études de dangers « installation classée »</i>	12
2.3.3 <i>Textes applicables aux études de dangers « canalisation de transport »</i>	13
2.4 CAS DES INSTALLATIONS ANNEXES.....	13
2.4.1 <i>Tuyauteries ou canalisations de liaison entre stockage fixe et appontement/quai</i>	13
2.4.2 <i>Aire de stationnement de camion-citerne GNL</i>	15
3. PROPRIÉTÉS DU GNL	16
3.1 COMPOSITION	16
3.2 PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES	16
3.3 MENTIONS DE DANGERS	17
3.4 PHÉNOMÈNES DANGEREUX POTENTIELS	17
3.4.1 <i>Généralités</i>	17
3.4.2 <i>Présentation des phénomènes dangereux</i>	17
3.4.3 <i>Données physiques disponibles</i>	18
4. TYPOLOGIE POSSIBLE DE STATION SATELLITE	22
4.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE	22
4.2 DÉFINITION DES STATIONS TYPES	23
4.2.1 <i>La Station « Usine »</i>	23
4.2.2 <i>La Station « Port »</i>	25
4.2.3 <i>La Station « Grand Port »</i>	27
4.2.4 <i>Principales caractéristiques des stations</i>	29
4.2.5 <i>Caractéristiques des réservoirs</i>	30
4.2.6 <i>Liste des principaux équipements opérationnels</i>	31
4.3 TECHNOLOGIE DES RÉSERVOIRS	32
4.3.1 <i>Cas des réservoirs pressurisés</i>	32
4.3.2 <i>Cas des réservoirs non pressurisés</i>	34
4.4 TECHNOLOGIE DES SYSTÈMES DE RÉGULATION DE PRESSION	35
4.4.1 <i>Cas des Réservoirs Sous-Pression</i>	35
4.4.2 <i>Cas des Réservoirs Sous Faible Pression</i>	35
4.5 TECHNOLOGIE DES ÉQUIPEMENTS DE TRANSFERT	36
4.5.1 <i>Pompes</i>	36
4.5.2 <i>Système de transfert par bras</i>	37
4.5.3 <i>Système de transfert par flexibles</i>	38
4.6 TECHNOLOGIE DES CANALISATIONS DE LIAISON	39
4.7 TECHNOLOGIE DES CAMIONS-CITERNES ET CAPACITÉS MOBILES.....	40
4.7.1 <i>Citerne et capacités mobiles</i>	40
4.7.2 <i>Pompe de transfert</i>	40
4.7.3 <i>Pressure Build Up Unit (PBU)</i>	40

4.7.4	Equipements de sécurité	41
4.8	TECHNOLOGIE DES WAGONS-CITERNES	41
4.8.1	Citerne	41
4.8.2	Déchargement	41
4.8.3	Equipements de sécurité	42
4.9	PERSONNEL D'EXPLOITATION	42
4.9.1	Cas de la Station « Usine »	42
4.9.2	Cas de la Station « Port » et « Grand Port »	42
5.	PRINCIPES GENERAUX DE FONCTIONNEMENT DES STATIONS	43
5.1	LA STATION « USINE »	43
5.1.1	Déchargement camion-citerne	43
5.1.2	Contrôle de la pression dans le réservoir pressurisé	47
5.1.3	Utilisation du Gaz Naturel.....	47
5.2	LA STATION « PORT »	48
5.2.1	Déchargement Méthanier.....	48
5.2.2	Ligne de transfert liquide	52
5.2.3	Remarques sur le contrôle de niveau des réservoirs	53
5.2.4	Contrôle de la pression dans les réservoirs pressurisés et la station.....	54
5.2.5	Ravitaillement (soutage) d'un navire :	54
5.2.6	Chargement de camion-citerne.....	55
5.3	LA STATION « GRAND PORT »	56
5.3.1	Gestion d'un excès de gaz	56
5.3.2	Gestion d'un manque de gaz	57
6.	RECOMMANDATIONS DE CONCEPTION.....	58
6.1	GÉNÉRALITÉS.....	58
6.2	RÉSERVOIRS	59
6.2.1	Règles de conception	59
6.2.2	Lignes de connexion des réservoirs pressurisés.....	59
6.2.3	Lignes de connexion des réservoirs non pressurisés.....	60
6.3	INSTRUMENTATION D'EXPLOITATION	61
6.3.1	Généralités	61
6.3.2	Contrôle de niveau	62
6.3.3	Contrôle de la pression.....	63
6.3.4	Température	64
6.3.5	Température, Densité, Niveau	65
6.3.6	Détecteurs de fuite.....	65
6.4	SYSTÈMES D'ARRÊT D'URGENCE DES STATIONS	67
6.4.1	Généralités	67
6.4.2	Descriptions.....	67
6.4.3	Architecture	68
6.4.4	Traitement	68
6.4.5	Organes d'isolement	69
6.4.6	Dispositifs d'arrêt d'urgence	71
6.5	SYSTÈMES DE COLLECTE DES ÉVÉNEMENTS.....	76
6.6	SYSTÈMES DE COLLECTE DE FUITE	77
6.6.1	Fonction et objectifs.....	77
6.6.2	La station « Usine ».....	77
6.6.3	Station « Port » - Stockage pressurisé.....	78
6.6.4	Station « Grand Port » - Stockage non pressurisé.....	80
6.7	SYSTÈME DE PROTECTION INCENDIE.....	81
6.7.1	Fonctions possibles	81

6.7.2	Rideau d'eau de dispersion	81
6.7.3	Générateurs et déversoirs à mousse	82
6.7.4	Arrosage à eau sur capacité.....	82
6.7.5	Arrosage en eau d'installations	83
6.7.6	Rideau d'eau de protection.....	83
6.7.7	Extincteurs pour feu de camion-citerne	83
6.8	RÈGLES DE SÉCURITÉ GÉNÉRALES	83
6.8.1	Généralités.....	83
6.8.2	Zones dangereuse et zones d'accès limité	83
6.8.3	Aires de chargement et de déchargement.....	83
6.8.4	Circulation et stationnement	84
6.8.5	Implantation des installations.....	84
7.	ANALYSE DES RISQUES	85
7.1	CONTENU	85
7.2	ACCIDENTOLOGIE	85
7.2.1	Banque de données.....	85
7.2.2	Principaux enseignements	87
7.3	MAITRISE DES RISQUES NATURELS.....	87
7.3.1	Inondation.....	88
7.3.2	Foudre	88
7.3.3	Séisme	88
7.4	ÉVÉNEMENTS REDOUTÉS.....	88
7.4.1	Rappel réglementaire.....	88
7.4.2	Liste des événements et causes possibles	89
7.4.3	Agressions sur les canalisations	92
7.4.4	Fréquences génériques	93
7.5	PROBABILITÉ D'INFLAMMATION	99
7.6	PHÉNOMÈNES DANGEREUX	100
7.6.1	Sélection.....	100
7.6.2	Modèles d'estimation des conséquences.....	101
7.6.3	Distances d'effet : scénarios de brèche.....	106
7.6.4	Distances d'effet : BLEVE.....	110
7.7	PRÉVENTION DE BLEVE DE CAPACITÉ	111
7.7.1	Objectif et stratégie	111
7.7.2	Événements initiateurs et arbre des causes.....	111
7.7.3	Campagnes d'essais réalisés sur des réservoirs pressurisés de GNL	112
7.7.4	Etude du comportement de la perlite à haute température(Essais AFG)	114
7.7.5	Modélisation du comportement d'une cuve pressurisée soumise à une agression thermique.....	115
7.7.6	Synthèse des campagnes d'essais et des modélisations	116
7.7.7	Discussion concernant la prévention du BLEVE des réservoirs pressurisés	116
7.8	EFFETS DOMINO.....	118
7.8.1	Généralités.....	118
7.8.2	Effets domino «Poste de Déchargement Camion/Wagon vers Réservoirs ».....	118
7.8.3	Effets domino «Tuyauteries/Equipements vers Réservoirs »	119
7.8.4	Effets domino sur bureau d'exploitation.....	119
7.9	ANALYSE DÉTAILLÉE DES RISQUES	119
7.9.1	Types d'analyse.....	119
7.9.2	Données de quantification	119
7.9.3	Tableaux de synthèse de l'estimation du risque - Conclusion	121
8.	MESURES DE MAITRISE DES RISQUES	131
8.1	DÉFINITIONS ET CONTENU	131

8.2	ESTIMATION DES PROBABILITÉS DE DÉFAILLANCE	131
8.2.1	<i>Cas de l'instrumentation de procédé</i>	131
8.2.2	<i>Cas de l'instrumentation de sécurité</i>	131
8.3	CAS DES MMRI	133
8.4	CAS DES STATIONS « USINE »	134
8.5	CAS DES STATIONS « PORT »	140
9.	RECOMMANDATIONS D'IMPLANTATION	148
9.1	PRÉSENTATION	148
9.2	CRITÈRES D'IMPLANTATION	148
10.	REFERENCES	155

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	: propriétés physico-chimiques du GNL	16
Tableau 2	: effets des phénomènes dangereux	18
Tableau 3	: flux émis par un jet	19
Tableau 4	: débit de combustion de feu de nappe	20
Tableau 5	: fonctions associées aux stations	30
Tableau 6	: capacités des stations	30
Tableau 7	: principaux équipements des stations	31
Tableau 8	: avantages/inconvénients des réservoirs verticaux/horizontaux	33
Tableau 9	: avantages/inconvénients des technologies non pressurisées	34
Tableau 10	: positions et actions des détecteurs	66
Tableau 11	: organes d'isolement des stations "usine"	69
Tableau 12	: organes d'isolement des stations "port"	70
Tableau 13	: boutons d'arrêts d'urgence des stations "usine"	71
Tableau 14	: détections conduisant à arrêt d'urgence en station "usine"	72
Tableau 15	: boutons d'arrêt d'urgence en station "port"	74
Tableau 16	: détections conduisant à arrêt d'urgence en station "port"	75
Tableau 17	: débits de fuite pour une station "usine"	78
Tableau 18	: débits de fuite pour une station "port"	79
Tableau 19	: fonctions de protection incendie	81
Tableau 20	: accidentologie	87
Tableau 21	: événements redoutés station "usine"	90
Tableau 22	: événements redoutés station "port" et "grand port"	92
Tableau 23	: banques de données	94
Tableau 24	: Fréquences de fuite sur réservoir de stockage GNL (source HSE)	95
Tableau 25	: fréquences génériques de fuite sur tuyauterie	96
Tableau 26	: fréquences génériques de fuite sur pompes	96
Tableau 27	: fréquences génériques de fuite sur compresseurs (source HSE)	97
Tableau 28	: fréquences génériques de fuite sur bras	97
Tableau 29	: fréquences génériques de fuite sur flexible – valeurs HSE avec décote	97
Tableau 30	: Fréquences génériques de fuite sur bras et flexible (camion, wagon, navire)	98
Tableau 31	: probabilités d'inflammation	99
Tableau 32	: phénomènes dangereux retenus dans l'étude de dangers	100
Tableau 33	: hypothèses de modélisation	106
Tableau 34	: distance d'effet station "usine"	107
Tableau 35	: distances d'effet pour station port "pressurisé"	108
Tableau 36	: distances d'effet pour station port "non pressurisé"	108

Tableau 37 : distances d'effet pour station "grand port"	109
Tableau 38 : distances de flux thermique pour jet enflammé	109
Tableau 39 : distances de flux thermique pour BLEVE	110
Tableau 40 : événements redoutés sélectionnés pour l'analyse détaillée des risques	119
Tableau 41 : station "usine" - intensité et probabilité des phénomènes dangereux	122
Tableau 42 : station "port" réservoir pressurisé - intensité et probabilité des phénomènes dangereux	123
Tableau 43 : station "port" réservoir non pressurisé - intensité et probabilité des phénomènes dangereux	123
Tableau 44 : station "grand port" - intensité et probabilité des phénomènes dangereux	124
Tableau 45 : probabilité de défaillance d'organes-type	132
Tableau 46 : liste des MMR	134
Tableau 47 : critères d'implantation pour station "usine"	151
Tableau 48: critère d'implantation pour station "port" réservoir pressurisé"	153

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : grille d'analyse "MMR".....	13
Figure 2 : dispositions réglementaires en cas de classification en tuyauterie.....	14
Figure 3 : dispositions réglementaires en cas de classification en canalisations de transport.....	15
Figure 4 : puissances thermiques de feux de nappe mesurées.....	20
Figure 5 : puissances moyennes émises de feux de nappe d'hydrocarbure sur le sol.....	21
Figure 6 : schéma de station "usine".....	24
Figure 7 : schéma de station "port" (stockage pressurisé).....	26
Figure 8 : schéma de station "grand port" (stockage sous faible pression en réservoir aérien).....	27
Figure 9 : schéma de station "grand port" (stockage sous faible pression en caisson).....	28
Figure 10 : logistique des stations.....	29
Figure 11 : conductivité de la perlite.....	32
Figure 12 : réservoir vertical.....	33
Figure 13 : réservoirs horizontaux.....	33
Figure 14 : réservoir non pressurisé type "caisson".....	34
Figure 15 : bras de soutage d'un navire (à gauche) / bras de déchargement (à droite).....	37
Figure 16: dispositifs de déconnexion d'urgence ERC (source : FMC EnergySystems).....	38
Figure 17 : dispositif de type breakaway (avant et après la déconnexion).....	38
Figure 18 : flexibles soutenus par une potence (à gauche) / déchargement de navire par un flexible (à droite).....	39
Figure 19 : flexibles cryogéniques (à gauche) / QC/DC de type Dry Disconnect Coupling (à droite).....	39
Figure 20 : wagon-citerne.....	41
Figure 21 : architecture des chaînes de détection.....	68
Figure 22 : arbre des causes du BLEVE d'un réservoir pressurisé.....	112
Figure 23 : nœud-papillon "station usine –débordement en soupape".....	125
Figure 24 : nœud-papillon « station port -débordement en soupape ».....	125
Figure 25: nœud-papillon "station usine-rupture flexible camion".....	126
Figure 26 : noeud-papillon "station port - rupture bras navire".....	127
Figure 27 : noeud-papillon "station port - rupture flexible camion pluie".....	128
Figure 28 : noeud-papillon "rupture flexible camion source".....	129
Figure 29 : noeud-papillon "station port - rupture tuyauterie soutirage".....	130
Figure 30: MMR et MMRI.....	133
Figure 31 : schéma d'implantation pour station "usine".....	150
Figure 32 : schéma d'implantation pour station "port" réservoir pressurisé.....	152

1. INTRODUCTION

Le présent guide de maîtrise de risques technologiques a été réalisé dans le cadre de l'AFG grâce aux contributions financières de certains de ses membres (les « co-financeurs » dont la liste est indiquée en page 2). Les travaux ont été menés par TECHNIP avec la participation technique des membres co-financeurs. Il s'agit donc d'un travail collectif qui a bénéficié de la pluralité d'expériences des contributeurs.

Ce guide vise à aider un porteur de projet d'une station satellite de GNL, soumise à Autorisation, à conduire son projet en faisant appel à des choix de conception, d'équipements, d'implantations et de mesures de maîtrise de risques qui garantissent un très haut niveau de sécurité.

Il a donc pour vocation de traiter d'installations qui relèvent de la Directive SEVESO du fait d'un volume de stockage en GNL supérieur ou égal à 50 tonnes¹. Ces stations requièrent l'établissement d'un Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter avec notamment une étude de dangers.

Trois (3) typologies de stations sont développées dans le guide, pour des volumes de stockage, des technologies et des choix logistiques différents :

- Station dite « usine » de 400 m³ de stockage de GNL approvisionnée par citernes routières. Il s'agit typiquement d'installations destinées à être implantées chez des industriels pour assurer leur consommation en gaz naturel.
- Station dite « port » de 5000 m³ de stockage de GNL approvisionnée par micro-méthaniers ou barges.
- Station dite « grand port » de 15.000 m³ de stockage de GNL approvisionnée par méthaniers ou barges.

Les deux derniers types d'installations sont principalement destinées à répondre à un besoin de soutage de navires dans les ports maritimes et fluviaux.

Une part importante du guide est consacrée à l'analyse et la prévention des risques. Elle comprend un recensement de phénomènes dangereux représentatifs de chaque type d'installation, une évaluation de leurs conséquences, de leur probabilité d'occurrence et une description des barrières de sécurité à mettre en place pour prévenir les accidents ou à en limiter les effets. Autant d'éléments qui constituent une étude de dangers. Les distances d'effets des phénomènes dangereux, indiquées dans le guide, ne valent, bien entendu, que pour les configurations et caractéristiques des cas étudiés et les hypothèses retenues.

Enfin le guide présente les résultats de campagnes d'essais, qui ont été conduites de manière concomitante, sur la tenue aux agressions thermiques de réservoirs pressurisés à double enveloppe. Ces essais ont d'une part permis de vérifier l'efficacité de la protection apportée par le système d'isolation des cuves et d'autre part de calibrer les modélisations de montée en température et en pression. En s'appuyant sur les résultats obtenus, le guide examine les moyens de justifier le scénario de BLEVE en case « Non partiel » de la matrice d'acceptabilité et de l'exclure des règlements d'urbanisme.

Le guide a fait l'objet d'une présentation en GT sectoriel GNL du 25 janvier 2018 à la Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.

¹ Les stations satellites de GNL de moins de 50 tonnes sont encadrées par des arrêtés types ainsi qu'un ensemble de normes. C'est notamment le cas des installations qui se sont développées au cours des dernières années en France pour répondre aux besoins d'industriels non raccordés à un réseau de gaz naturel ou de stations-service de GNL.

2. CADRE REGLEMENTAIRE

2.1 CONTENU

Ce chapitre présente le cadre réglementaire français pour les stations satellites GNL.

Afin de simplifier cette présentation, 2 types de stations satellites sont distingués :

1. La station dite « usine » est intégrée à un établissement industriel,
2. Les stations portuaires sont implantées dans un port fluvial ou maritime, relevant de l'Etat ou de collectivités territoriales.

Pour les stations portuaires, ce cadre est décrit dans la « Note relative à la réglementation applicable aux installations pour l'avitaillement des navires en GNL » émis par la DGPR en avril 2014 [1].

Ce chapitre comporte les parties suivantes :

- Les rubriques et régime de classement de la nomenclature des Installations Classées,
- Les principaux textes réglementaires applicables,
- Le cas des installations annexes,

2.2 RUBRIQUES DE CLASSEMENT

2.2.1 Installations de stockage

La rubrique et les régimes de classement sont les suivants :

Rubrique		
4718	Gaz inflammables liquéfiés de catégorie 1 et 2 (y compris GPL) et gaz naturel (y compris biogaz affiné) La quantité totale susceptible d'être présente dans les installations, y compris dans les cavités souterraines étant : 2.a. Supérieure ou égale à 50 t Quantité seuil bas au sens de l'article R511-10 : 50 t Quantité seuil haut au sens de l'article R511-10 : 200 t	A

2.2.2 Installations de chargement/déchargement

2.2.2.1 *Chargement /déchargement vers ou depuis la station-satellite*

La rubrique et le régime de classement, pour toute desserte par navire, barge, wagon-citerne ou camion-citerne, sont les suivants :

Rubrique		
1414-2a	Installations de chargement et déchargement desservant un dépôt de gaz inflammable soumis à autorisation	A

2.2.2.2 *Avitaillement de navire par bras de chargement à quai ou depuis station-satellite par bras ou flexible*

La rubrique et le régime de classement sont les suivants :

Rubrique		
1414-3	Installations de remplissage de réservoirs alimentant les moteurs ou autres appareils d'utilisation comportant des organes de sécurité (jauges et soupapes)	D (*)

(*) : avec contrôles périodiques

2.2.2.3 *Avitaillement de navires depuis souteurs ou camion-citerne à quai par flexibles*

Ces 2 types d'opérations ne relèvent pas de la nomenclature des installations classées.

Des règlements portuaires, citées dans la Note de la DGPR, sont applicables pour ces opérations.

2.3 PRINCIPAUX TEXTES REGLEMENTAIRES APPLICABLES

2.3.1 Textes applicables aux installations

Les principaux textes applicables aux installations de stockage des stations satellites sont :

- L'arrêté du 2 janvier 2008, pour les stockages à une pression absolue de vapeur supérieure à 1,5 bar,
- L'arrêté du 4 octobre 2010, pour les stockages « atmosphériques » (pression relative inférieure à 500 mbar),
- L'arrêté du 26 mai 2014, transposant la Directive Seveso 3 et abrogeant l'arrêté du 10 mai 2000.

2.3.2 Textes applicables aux études de dangers « installation classée »

Les études de dangers « installation classée » doivent être conformes à :

- L'arrêté du 29 septembre 2005, dit arrêté « PCIG », relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

La circulaire du 10 mai 2010 introduit une grille d'analyse de la justification en probabilité/gravité des mesures de maîtrise du risque (MMR) par l'exploitant d'une installation future :

GRAVITÉ des conséquences	PROBABILITÉ (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreux	NON partiel (établissements nouveaux : note 2) / MMR rang 2 (établissements existants : note 3)	NON Rang 1	NON Rang 2	NON Rang 3	NON Rang 4
Catastrophique	MMR Rang 1	MMR Rang 2 (note 3)	NON Rang 1	NON Rang 2	NON Rang 3
Important	MMR Rang 1	MMR Rang 1	MMR Rang 2 (note 3)	NON Rang 1	NON Rang 2
Sérieux			MMR Rang 1	MMR Rang 2	NON Rang 1
Modéré					MMR Rang 1

Figure 1 : grille d'analyse "MMR"

2.3.3 Textes applicables aux études de dangers « canalisation de transport »

Les études de danger « canalisation de transport » (voir § suivant) doivent être conformes à l'arrêté du 5 mars 2014 définissant les modalités d'application du chapitre V du titre V du livre V du code de l'environnement et portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz naturel ou assimilé, d'hydrocarbures et de produits chimiques.

L'arrêté fait référence au « Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport » (Guide Professionnel GESIP n°2008/01 – Janvier 2014)[2].

2.4 CAS DES INSTALLATIONS ANNEXES

2.4.1 Tuyauteries ou canalisations de liaison entre stockage fixe et appontement/quai

Deux liaisons sont ici envisageables :

1. Le déchargement de navire/barge approvisionnant la station-satellite,
2. Le chargement de navire à quai.

Outre la ligne principale en GNL liquide, ces liaisons peuvent comporter d'autres lignes telles que le retour gaz vers ou depuis le navire, la ligne de mise en froid, ...

Lorsqu'elles cheminent hors du périmètre de la station, ces lignes de liaison peuvent avoir 2 natures juridiques :

1. Etre considérées comme partie intégrante d'une installation classée constituée du stockage fixe et du poste de chargement/déchargement sur quai/appontement ; elles sont alors qualifiées de « tuyauteries »
2. Etre classées en « canalisation de transport », élément juridique indépendant délimité par un organe de sectionnement à chaque extrémité ; le poste de chargement/déchargement est alors également considéré comme une entité juridique indépendante du stockage.

La décision de classement relève du Préfet. On peut toutefois noter que le classement en « tuyauterie » demande les conditions suivantes :

- Une longueur hors site restreinte : « elle ne saurait dépasser quelques dizaines voire quelques centaines de mètres »,
- Un exploitant identique pour le stockage et le poste de chargement/déchargement,
- Un exploitant ayant la maîtrise foncière du terrain traversé, basé sur un accord foncier avec le propriétaire, lui permettant de s'y implanter sans déclaration d'utilité publique.

En matière de demande d'autorisation, les procédures sont les suivantes :

- En classement « tuyauterie », une seule demande pour l'ensemble « stockage-tuyauterie-poste »,
- En classement « canalisation de transport », 3 procédures distinctes pour les 3 entités.

La Note de la DGPR détaille ces procédures et les réglementations associées. Les procédures sont illustrées par les 2 schémas suivants extraits de la même note :

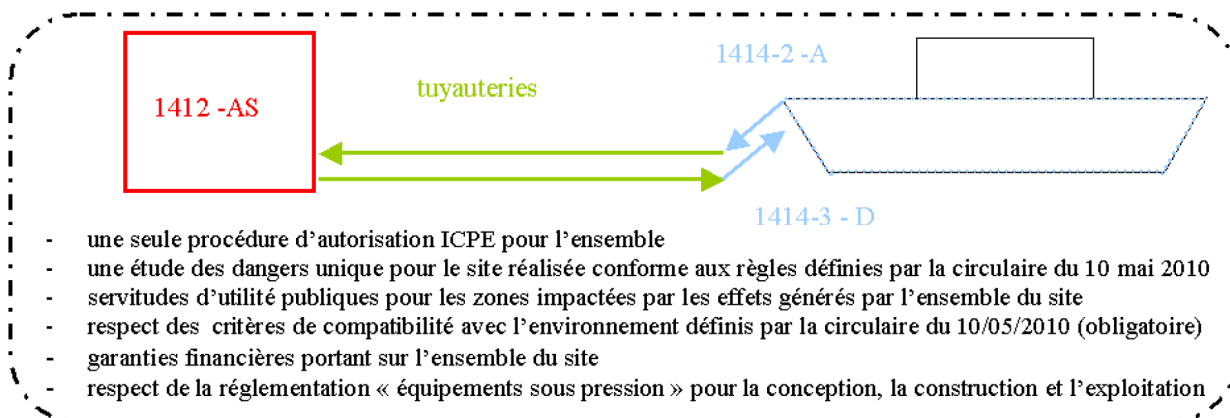


Figure 2 : dispositions réglementaires en cas de classification en tuyauterie

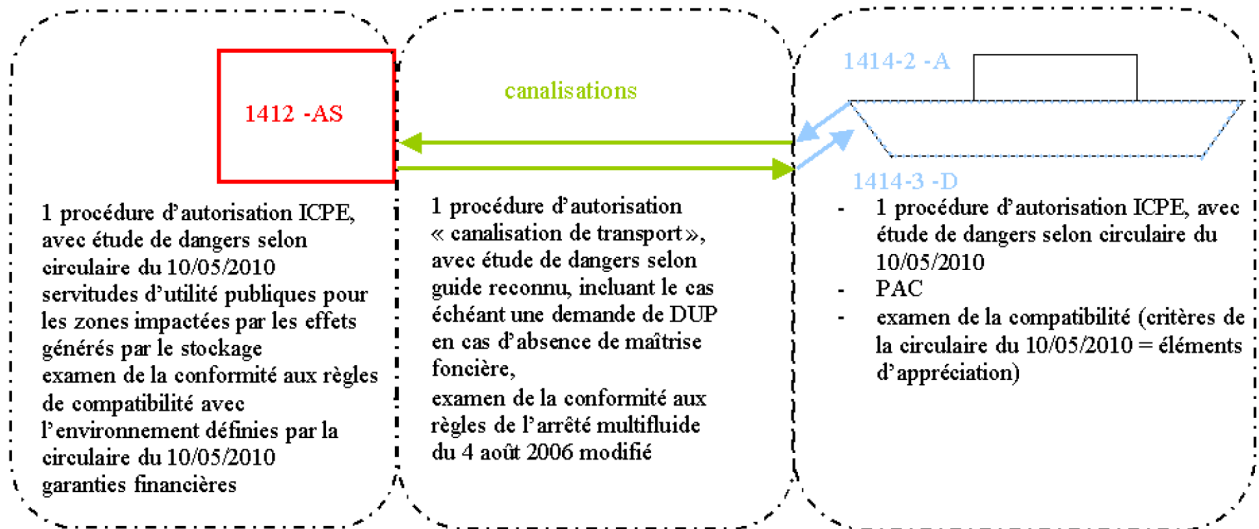


Figure 3 : dispositions réglementaires en cas de classification en canalisations de transport

2.4.2 Aire de stationnement de camion-citerne GNL

L'activité d'une station-satellite portuaire peut nécessiter une aire de stationnement de camions citernes vides ou pleins.

Si cette aire est contiguë au site de la station, elle est considérée comme une extension de ce dépôt fixe et classée comme telle.

Dans le cas contraire, cette aire est soumise aux règles relatives au transport de matières dangereuses (voir détail dans la Note DGPR).

3. PROPRIÉTÉS DU GNL

3.1 COMPOSITION

Le GNL mis en œuvre dans les stations satellites provient d'usines de liquéfaction de gaz naturel. Il ne comporte ainsi ni eau, ni CO₂. Sa composition est variable suivant le gisement de provenance. La teneur des différents composants respecte les valeurs suivantes :

- Méthane > 85 % (mol),
- C2 à C4 < 15 % (mol),
- Soufre < 0,01 % (masse)

3.2 PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

Le tableau suivant présente les principales propriétés physico-chimiques du GNL en distinguant 3 compositions :

- Méthane pur,
- GNL « léger » (méthane 97 %),
- GNL « lourd » (méthane 88 %).

	Méthane	GNL « léger »	GNL « lourd »
Point d'ébullition (°C)	-162	-161	-160
Masse volumique liquide à l'ébullition (kg/m ³)	423	431	464
Masse volumique vapeur à l'ébullition (kg/m ³)	1,81	1,80	1,76
Masse volumique vapeur à 20°C (kg/m ³)	0,67	0,69	0,78
Chaleur de combustion (MJ/kg)	50	50	49
Domaine d'inflammabilité (%)	5,0 – 15,0	4,9 – 14,9	4,4 – 14,4

Tableau 1 : propriétés physico-chimiques du GNL

3.3 MENTIONS DE DANGERS

Les mentions de danger selon le règlement CE 1272/2008 modifié (dit règlement CLP) sont les suivantes :

- H220 : gaz extrêmement inflammable,
- H224 : liquide et vapeurs extrêmement inflammables,
- H280 : contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur,
- H281 : contient un gaz réfrigéré ; peut causer des brûlures ou des blessures cryogéniques.

3.4 PHENOMENES DANGEREUX POTENTIELS

3.4.1 Généralités

Ce paragraphe permet d'introduire d'une manière générique les phénomènes dangereux que peut occasionner le GNL utilisé dans les stations satellites. Ce GNL peut être mis en œuvre selon 2 états thermodynamiques, ce qui conditionne l'apparition de certains phénomènes dangereux :

- Sous pression de vapeur saturante entre 8 bar et 11 bar rel (état « pressurisé »),
- Sous faible pression de vapeur saturante (pression relative < 150 mbar : état « non-pressurisé »).

Dans le §3.4.2, les phénomènes dangereux sont présentés de manière qualitative. Les techniques de modélisation/quantification sont en effet détaillées dans le chapitre 8 relatif à l'analyse de risques.

En complément, le §3.4.3 présente des données physiques issues de travaux antérieurs (essais,...), données participant à la quantification des phénomènes

3.4.2 Présentation des phénomènes dangereux

Les phénomènes dangereux pouvant survenir sont les suivants :

- Feu de nuage (ou flash fire) avec explosion de nuage (UVCE) en zone encombrée,
- Jet enflammé,
- Feu de nappe,
- BLEVE de capacité,
- Explosion physique par transition rapide de phase (Rapid Phase Transition : RPT),
- Roll-over.

On peut noter que ces phénomènes résultent d'une perte de confinement du GNL. Le roll-over dans un réservoir est une exception car il génère une surpression interne, événement précurseur d'une perte de confinement probable.

Le tableau suivant permet de détailler pour chaque phénomène :

- Le mécanisme physique précurseur,
- L'état thermodynamique concerné,
- Les effets produits.

A noter que l'explosion type RPT, considérée comme d'intensité modérée, ne fait pas l'objet de modélisation dans le présent Guide.

Phénomène	Mécanisme	Etat concerné	Effets
Feu de nuage	Dispersion en jet	Pressurisé	Onde de surpression (si UVCE)
	Epanchage au sol ou sur eau	Non pressurisé	Flux thermique
Jet enflammé	Dispersion en jet	Pressurisé	Flux thermique
Feu de nappe	Epanchage au sol ou sur eau	Non pressurisé Pressurisé (*)	Flux thermique
BLEVE	Rupture de capacité	Pressurisé Non pressurisé (**)	Onde de surpression Flux thermique Projectiles
Explosion RPT	Contact avec eau	Non pressurisé	Onde de surpression
Roll over	Renversement de couche en réservoir	Non pressurisé Pressurisé (***)	Surpression interne au réservoir

Tableau 2 : effets des phénomènes dangereux

(*) : épanchage possible dans le cas d'impact sur un obstacle ou de fort refroidissement par exemple.

(**) : les effets associés dans ce cas seraient réduits comparativement au cas pressurisé.

(***) : le phénomène de roll-over n'a jamais été observé dans une cuve pressurisée.

3.4.3 Données physiques disponibles

3.4.3.1 UVCE : onde de surpression

L'UVCE est un phénomène dangereux transitoire. Dans l'estimation de l'intensité de ce phénomène, la combustion du méthane, composé prépondérant du GNL, est d'une réactivité faible comparée par exemple à celle du propane. Les valeurs comparées des vitesses de combustion laminaire sont en effet les suivantes à la stœchiométrie :

- Méthane : vitesse = 0,45 m/s,
- Propane : vitesse = 0,52 m/s

A titre d'information, les corrélations issues des essais GAME/GAMES permettant d'obtenir la surpression maximale font intervenir, entre autres paramètres, la vitesse de flamme laminaire à la puissance 2,7.

Le ratio de surpression est ainsi d'environ 0,7 par rapport à une explosion de propane survenant dans des conditions analogues.

3.4.3.2 Jet enflammé : puissance thermique émise

Il faut distinguer ici :

- La puissance moyenne de la flamme, utilisée pour estimer les effets à distance de celle-ci,
- La puissance maximale, atteinte localement, à utiliser pour estimer les effets sur un objet impacté par la flamme.

L'estimation de la puissance moyenne est convenablement traitée par les modèles d'estimation de conséquences type PHAST, FRED,... présentés au §7.6.

En revanche, l'estimation de la puissance transmise sur des objets impactés doit s'appuyer sur des travaux expérimentaux, lesquels ont fait l'objet d'interprétations et de synthèses compilées dans des documents « guide ». Parmi ces documents, le plus complet et le plus récent est le « Design Guidance for Hydrocarbon Fires » (FABIG Technical Note 13, septembre 2014)[3]. Ce document distingue 3 états physiques de fluide :

1. Purement gazeux,
2. Mélange gaz + liquide,
3. Liquide type propane/butane flashant.

Pour le liquide flashant, le flux thermique émis est réduit du fait de la pression modeste et d'une vitesse de jet ralentie de la phase liquide. Pour un débit de 1 kg/s, le flux émis (radiatif + convectif) est de l'ordre de 230 kW/m². Le GNL flashant présentant des caractéristiques similaires au propane/butane, cette valeur peut être utilisée pour cette gamme de débit.

Pour les débits plus importants (> 10 kg/s), il convient d'augmenter ce flux. On retient alors la valeur-plafond de 350 kW/m² qui est un majorant classique pour les jets enflammés de GPL. Cette valeur est obtenue en augmentant la température de flamme par rapport au jet à 1 kg/s. L'émissivité de la flamme et le coefficient d'échange convectif sont supposés conservés. Il convient de noter que le flux maximal de 350 kW/m² est observé localement sur des tâches thermiques sur l'obstacle. Il ne doit pas être appliqué sur l'ensemble d'un obstacle important comme un réservoir.

Les flux émis sont présentés dans le tableau ci-après :

Débit de jet (kg/s)	Flux de rayonnement	Flux convectif	Flux maximal (local)
1	T _{flamme} = 1300 K Emissivité = 1 Flux = 160 kW/m ²	T _{flamme} = 1300 K h = 70 W/m.K Flux = 70 kW/m ²	230 kW/m ²
>10	T _{flamme} = 1470 K Emissivité = 1 Flux = 265 kW/m ²	T _{flamme} = 1470 K h = 70 W/m.K Flux = 85 kW/m ²	350 kW/m ²

Tableau 3 : flux émis par un jet

3.4.3.3 Feu de nappe : débit de combustion

Pour le méthane liquide, Mudan (1989) propose les valeurs suivantes de vitesse de régression et de débit de combustion surfacique pour un feu sur sol et sur eau :

	Sur sol	Sur eau
Vitesse (mm/s)	0,21	0,59
Débit (g/m ² .s)	89	250

Tableau 4 : débit de combustion de feu de nappe

3.4.3.4 Feu de nappe : puissance thermique émise

Les puissances thermiques mesurées lors d'essais à grande échelle apparaissent dans le graphe suivant extrait de « LNG – Risk Based Safety »[4].

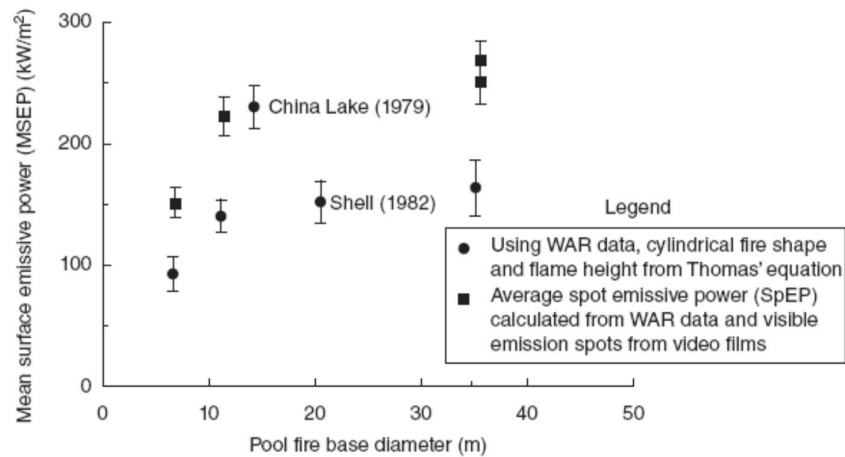


Figure 4 : puissances thermiques de feux de nappe mesurées

Dans ce graphe, les valeurs à prendre en considération sont celles repérées par « ● ». En effet, ces valeurs traitent les mesures des radiomètres (« WAR ») à l'aide du modèle de THOMAS. Or, ce modèle est celui utilisé par les outils d'estimation des effets thermiques décrits au §7 « Analyse des risques ».

SHELL[5] a construit une courbe donnant la puissance moyenne émise en fonction du diamètre de nappe. Cette courbe, cohérente avec les valeurs expérimentales précédentes, apparaît dans le graphe suivant permettant la comparaison avec les hydrocarbures classiques :

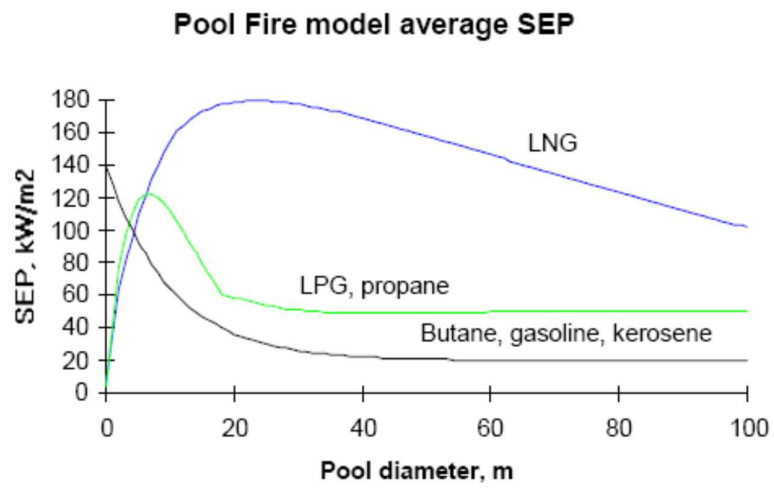


Figure 5 : puissances moyennes émises de feux de nappe d'hydrocarbure sur le sol

4. TYPOLOGIE POSSIBLE DE STATION SATELLITE

4.1 PRESENTATION GENERALE

La fonction de la station satellite GNL est d'assurer l'alimentation en GNL ou en Gaz Naturel d'un utilisateur. La station est approvisionnée en GNL et possède une capacité de stockage de GNL. Ce stockage « tampon » permet de maintenir le débit d'utilisation et de répondre sans délai aux demandes, alors que l'approvisionnement est lui discontinu. La capacité de stockage de l'installation doit être définie en fonction des rythmes et des volumes de GNL sortant utilisés d'une part et en fonction des rythmes et des volumes d'approvisionnement de GNL d'autre part.

Cette définition fait ressortir rapidement que la taille de l'installation va dépendre directement des volumes de GNL en transit. Des installations avec des volumes de stockages bien différents pourront donc exister.

Pour toutes tailles d'installation de GNL, les principes de base de conception et d'exploitation seront proches. Ils devront suivre les mêmes réglementations de conception et atteindre les mêmes niveaux de sécurité. Par contre, leurs fonctionnalités (utilisateurs), les tailles, les conséquences de risques, les opérations de fonctionnements des installations, la proximité avec le public, etc... pourront être bien différentes. Par exemple, des différences demeureront notamment en fonction de la technologie des réservoirs, ainsi que les modes d'exploitation (mode de remplissage, gestion des évaporations...).

C'est pourquoi, afin de permettre une meilleure représentation des caractéristiques des différents types d'installation, plusieurs stations satellites de GNL type peuvent être distinguées par ordre croissant de capacité et de flux mis en œuvre :

1. La station « usine »
2. La station « port »
3. La station « grand port »

Les choix des technologies envisagées (type de stockage GNL par exemple), pour chaque type de station, ne sont pas obligatoirement associés à celui-ci. Pour chaque station, les choix des technologies définis dans ce document sont bien sur représentatifs de ceux qui seraient bien adaptés à chaque type de la station envisagé. Ainsi sélectionnée, chaque technologie est décrite dans le cadre d'une station type, et permet de définir les principes de design, caractéristiques et contraintes de fonctionnement, les aspects liés à la sécurité intrinsèque de ce type de technologie.

Bien sûr, pour une station satellite, il est possible d'envisager tout type de technologie en fonction du contexte du projet, de la station, ou de l'évolution (progrès) de chacune d'entre elles, même si ce choix ne suit pas celui décrit dans ce document. Il n'en resta pas moins que les contraintes et règles de conduites et de design associés à chaque technologie décrites dans ce document demeurent.

Les stations-services pour le remplissage de tracteurs routiers seront quant à elle séparées des installations citées ci-dessus, et répondront à des réglementations différentes.

4.2 DEFINITION DES STATIONS TYPES

4.2.1 La Station « Usine »

La fonctionnalité première d'une station « usine » est de permettre une alimentation continue de Gaz Naturel à une usine ou un industriel, qui est situé dans une zone, ou une région non équipée de réseau de transport ou de distribution de gaz. Le gaz est alors acheminé à l'usine, sous forme de GNL, par camion-citerne, stocké puis vaporisé pour une utilisation dans l'usine. L'approvisionnement régulier en GNL par camion-citerne permet de maintenir la fourniture continue en gaz de l'usine.

Les volumes et les débits d'émission de GNL correspondent aux besoins de l'usine seule, et seront par conséquent limités. La station usine est donc généralement de petite taille.

De plus, pour des raisons pratiques, cette installation est généralement soumise à Autorisation suivant la réglementation dite SEVESO « seuil bas ». L'installation possède donc moins de 200 t de stockage (environ 400 m³ de GNL).

La station « usine » est par définition installée sur le site même de l'usine qui est approvisionnée en gaz.

Une station « usine » générique comporte les fonctionnalités principales suivantes :

- Un Poste de Déchargement Camion-citerne de GNL
- Un Stockage de GNL
- Des Equipements de Contrôle de Pression (Vaporiseur/Event)
- Des Pompes de Soutirage (Optionnel)
- Des Equipements de Vaporisation du GNL
- Un Poste d'Odorisation du Gaz (Optionnel)
- Une Unité de régulation de pression de gaz
- Un Poste de Comptage Fiscal du Gaz (Optionnel)
- Des Unités de Contrôle/Sécurité

La station « usine » ne requière pas la présence sur place d'opérateur en continu. Le déchargement du camion-citerne se fait par le chauffeur du camion-citerne (qui détient les formations, qualifications et autorisations appropriées pour effectuer cette opération).

Il est par contre nécessaire de suivre les paramètres d'opérations afin de pouvoir réagir en cas de problème. Le suivi peut être fait à distance dans la mesure où des inspections de contrôle régulières sont effectuées dans l'installation. Aussi, l'installation doit être fournie avec tous les systèmes de contrôle et de sécurité afin de la mettre en sécurité automatiquement si nécessaire.

Par contre, les actions et corrections suite à un problème, ainsi que tout redémarrage requièrent la présence d'un opérateur sur place, et ne pourront être effectuées à distance.

Technologie de stockage

Pour des raisons pratiques et d'opération, la technologie de stockage considérée est le réservoir pressurisé à double enveloppe/simple intégrité. Cette technologie offre une flexibilité opératoire intéressante pour ce type d'installation.

Des réservoirs pressurisés de toutes tailles, installés en parallèle, peuvent être utilisés. Cependant, le volume maximum envisageable pour un réservoir transportable par route est de 400m³.

En fonction de la taille du (des) réservoir(s), il(s) peut (peuvent) être installé(s) verticalement, ou horizontalement.

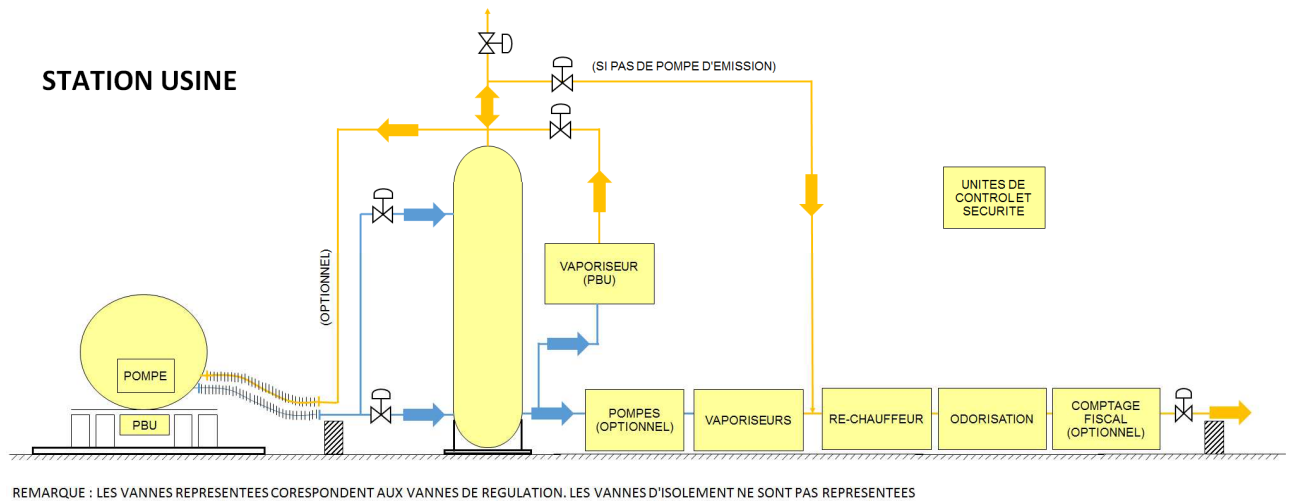


Figure 6 : schéma de station "usine"

Remarque : La plupart des camions citernes sont équipés de pompes mais pas tous. Dans ce cas, le transfert pourra être réalisé soit par différence de pression, soit par une pompe externe.

4.2.2 La Station « Port »

La fonctionnalité première d'une station « port » est d'effectuer le soutage (ravitaillement en GNL carburant) de navire ou bateau. Il est possible aussi de considérer la possibilité de charger des camions citernes de GNL à partir de la station « port ».

Les volumes de GNL à transférer aux navires peuvent être relativement importants (plusieurs centaines, voire milliers de m³). De ce fait, les volumes de GNL à stocker sur la station sont plus importants que pour une station « usine ». Ce type d'installation sera donc soumis à Autorisation suivant la réglementation dite « SEVESO seuil haut ».

Ce type de station est approvisionné par des méthaniers adaptés, de taille moyenne, qui feront le transport du GNL entre les gros sites d'approvisionnement (terminaux méthaniers par exemple) et la station. Il peut être aussi envisagé que la station soit approvisionnée en GNL par des wagons-citernes ou des camions citernes en fonction du contexte économique.

La station « port » est logiquement implantée dans une zone portuaire, maritime ou fluviale, soit à proximité directe des zones de déchargement de méthanier et de ravitaillement des navires, soit un peu à l'écart avec des lignes de transfert de GNL/GAZ entre les différentes zones.

Une station « port » générique comporte les fonctionnalités principales suivantes :

- Un Poste de Déchargement Méthaniers
- Des Lignes de Transfert de Déchargement (GNL/GAZ)
- Un Stockage GNL
- Des Equipements de Contrôle de Pression (Vaporiseur/Event/Autres)
- Des Pompes de Soutirage
- Un Poste de Comptage Fiscal du GNL (Optionnel)
- Un Poste de Ravitaillement Navire
- Des Lignes de Transfert de Ravitaillement (GNL/GAZ)
- Un Poste de Chargement Camion-citerne de GNL (Optionnel)
- Des Unités de Contrôle/Sécurité

Du fait de sa taille, la station « port » requière la présence sur place d'un opérateur en continu pour suivre les paramètres de l'usine depuis une salle de contrôle, ou son équivalent. En plus, pour effectuer les opérations à l'extérieur (déchargement de méthanier, ravitaillement de navire, remplissage de camion-citerne), la présence d'opérateurs qualifiés supplémentaires est nécessaire. Il est anticipé que le niveau d'activité de ce type de station sera assez important, et que des opérateurs devront être présents sur place la plupart du temps (y compris la nuit).

Comme pour la station « usine », les paramètres d'opération et de contrôle devront pouvoir être suivis en permanence.

Aussi, l'installation doit être fournie avec tous les systèmes de contrôle et de sécurité afin de la mettre en sécurité automatiquement si nécessaire.

Les actions et corrections suite à un problème, ainsi que tout redémarrage requièrent la présence d'un opérateur sur place, et ne pourront être effectuées à distance.

Technologique du stockage

Pour ce type de station, la technologie de stockage considérée dans le cadre du Guide, est le réservoir pressurisé à double enveloppe/simple intégrité afin de bien décrire les principes de design, caractéristiques et contraintes de fonctionnement, les aspects liés à la sécurité intrinsèque de l'installation et ce type de stockage et ces quantités de GNL.

Au vu des volumes de stockage de GNL envisagés pour ce type de station (inférieur à 5000m³), il est possible de considérer d'autres technologies de stockage comme celles dites « non pressurisée », comme cela est considéré dans le cas de la station dite « grand port », et qui peut être adapté à la station « port ».

En raison de leurs tailles, les réservoirs pressurisés sont installés horizontalement.

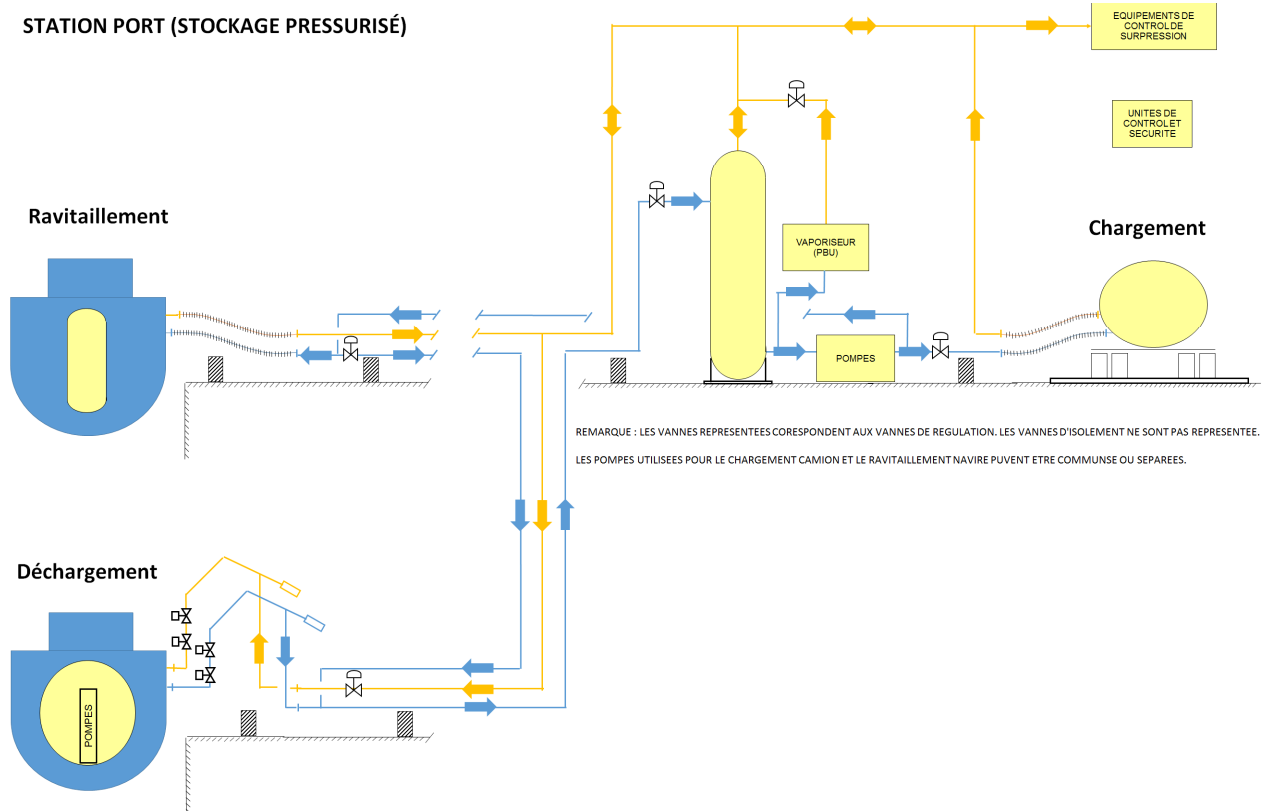


Figure 7 : schéma de station "port" (stockage pressurisé)

4.2.3 La Station « Grand Port »

La station « grand port » générique comportera les mêmes fonctionnalités que la station « port ». Par contre, celle-ci seront adaptées pour le ravitaillement de plus gros navires.

Les volumes de GNL à transférer aux navires peuvent être donc très importants. De ce fait, les volumes de GNL à stocker sur la station sont les plus grands envisagés pour ce type d'installation. Ces installations seront donc soumises à Autorisation suivant la réglementation dite « SEVESO seuil haut ».

De même, la présence d'opérateurs est nécessaire en continu (y compris la nuit).

Technologique de stockage

Pour les volumes de GNL envisagés, la technologie de stockage type pressurisé n'est plus adaptée, car il faudrait installer un trop grand nombre de réservoirs. En lieu et place, un ou plusieurs réservoirs, non pressurisé(s) et de type intégrité totale ou équivalent, est adéquat.

Ce type de réservoir, pour des questions de sécurité n'a aucune pénétration sur les côtés, ni le fond du réservoir. Toutes les connexions doivent passer par le toit. En conséquence, les pompes de soutirage de GNL devront être installées dans le réservoir (immergées).

La technologie de stockage a un impact direct sur l'opération et nécessite le maintien et le contrôle de la pression en permanence.

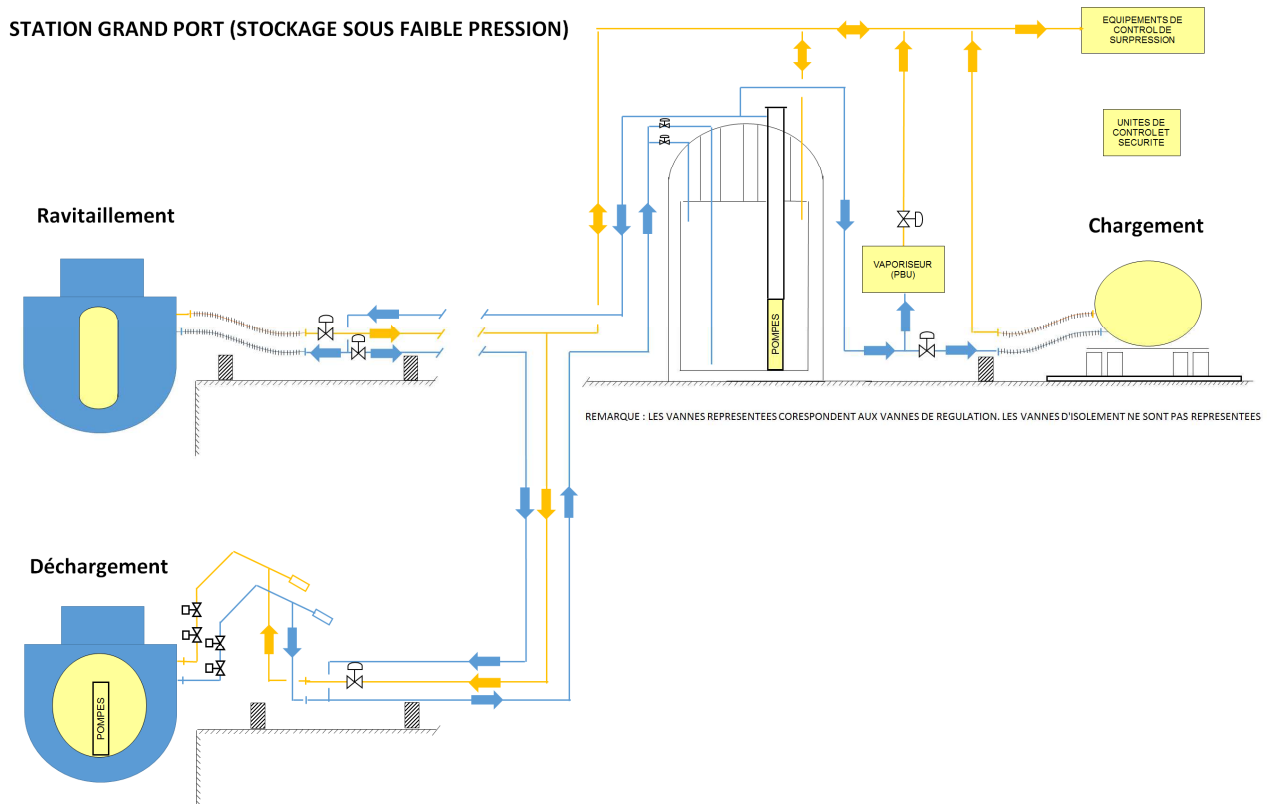


Figure 8 : schéma de station "grand port" (stockage sous faible pression en réservoir aérien)

Le dessin ci-dessus représente de manière spécifique un réservoir aérien installé sur le sol. Ceci n'est pas représentatif de toutes les solutions possibles et envisageables pour l'installation du réservoir. En effet, celui-ci pourrait être enterré, installé dans un caisson, intégré dans le quai d'accotement des navires, etc....

STATION GRAND PORT (STOCKAGE SOUS FAIBLE PRESSION)

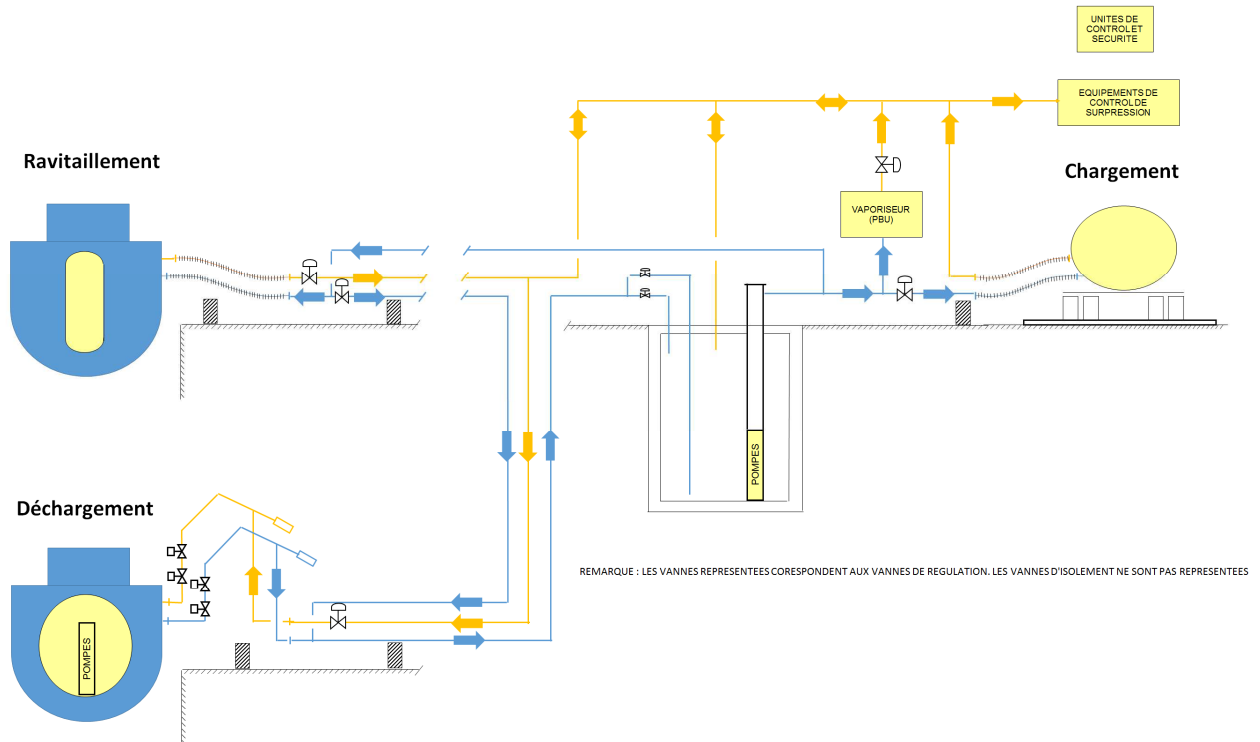


Figure 9 : schéma de station "grand port" (stockage sous faible pression en caisson)

Aussi, il peut être aussi envisagé que toute la station soit installée en mer, à l'écart du port, sous la forme d'une barge flottante ou d'une structure en béton « Gravity Based Structure, ou GBS.

4.2.4 Principales caractéristiques des stations

Les stations « usine » et « grand port » représentent les deux extrémités de la gamme des stockages en capacité et en technologie.

La station « intermédiaire », comme son nom l'indique présente des caractéristiques intermédiaires, aux stations « usine » et « port ». Technologiquement, elle ne présente pas de différence. Par soucis de simplification, elle n'est donc pas exposée plus avant dans ce document.

Les principales caractéristiques des stations envisagées, sont présentées dans le «diagramme logistique» ci-dessous. Ces principales caractéristiques sont :

- Le débit d'approvisionnement pour chaque mode.
- Le type et la capacité des réservoirs de stockage, unitaire et total.
- Les débits d'utilisation/expédition.
- Le diamètre des lignes principales sur la base d'une vitesse de circulation de 6 m/s, valeur communément admise par la Profession.

Il est important de noter que les valeurs (volumes, débits, diamètres) sont indicatives. En fonction des spécificités de chaque Project, des progrès et des développements de chaque technologie, des valeurs plus grandes, ou plus petites pourront être envisagées pour chaque option. Aussi, les technologies peuvent aussi être adaptées en fonction des options.

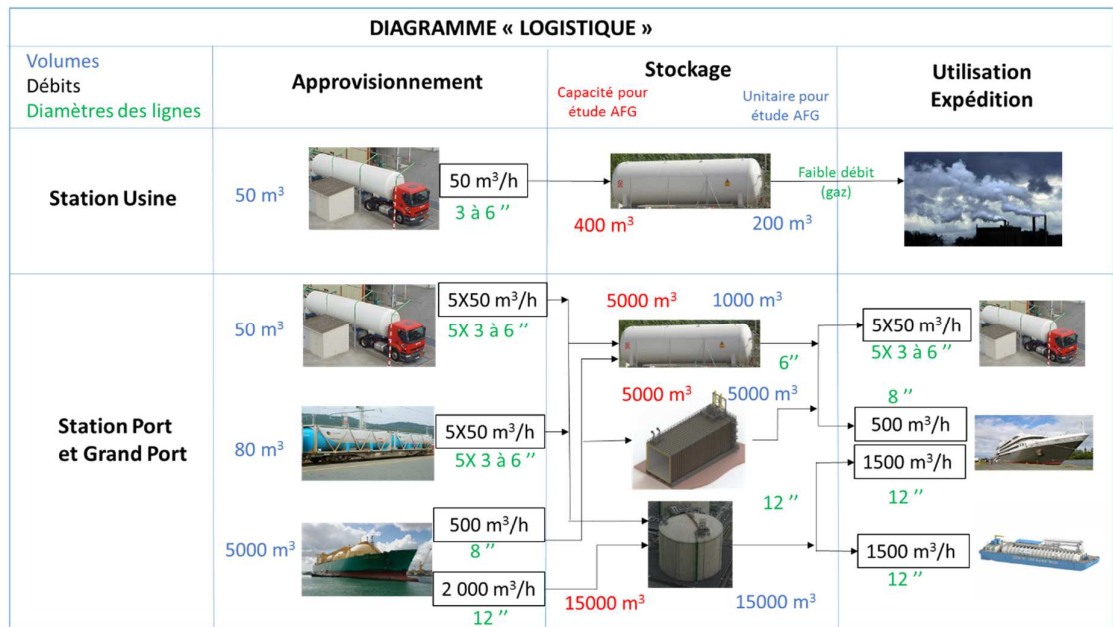


Figure 10 : logistique des stations

Le tableau ci-après résume les fonctions associées aux types de stations :

Station-satellite	Implantation	Approvisionnement	Expédition/Utilisation
Station Usine	Etablissement industriel	Camion-citerne, Container	Utilisation locale
Station Port	Zone portuaire maritime ou fluvial	Camion-citerne, Container Wagon-citerne Navire ou barge	Camion-citerne, Container Approvisionnement petit et moyen navire
Station Grand Port	Zone portuaire maritime ou fluvial	Camion-citerne, Container Wagon-citerne Navire ou barge	Camion-citerne, Container Approvisionnement grand navire

Tableau 5 : fonctions associées aux stations

4.2.5 Caractéristiques des réservoirs

Les tableaux ci-après présentent les caractéristiques des réservoirs de stockage pour les stations considérées dans le cadre du Guide.

Les caractéristiques et capacités sont des valeurs enveloppes pour chaque type de stockage.

	Capacité unitaire (m ³)	Type	Pression de service (barg)	Capacité stockage (m ³)	Observations
Station usine	200	Cylindrique pressurisé double enveloppe/simple intégrité. Horizontal ou vertical	6 - 8	2 x 200	Capacité de stockage < seuil haut SEVESO (200 t)
Station port	1000	Cylindrique pressurisé double enveloppe/simple intégrité Horizontal	6 - 8	5 x 1000	Capacité unitaire maximale pour la technologie Capacité pour chargement barge et pour approvisionnement de petit et moyen navire
Station grand port	15000	Non pressurisé Intégrité Totale ou équivalent	0,10 – 0.20	1 x 15000	Capacité unitaire minimale pour la technologie Capacité pour approvisionnement de gros navire

Tableau 6 : capacités des stations

4.2.6 Liste des principaux équipements opérationnels

Pour les 3 types de stockage, les tableaux ci-après présentent les équipements opérationnels associés à chacune des fonctions : approvisionnement-stockage-expédition.

	Approvisionnement	Stockage	Expédition
Station Usine	Transfert depuis camion-citerne : <ul style="list-style-type: none"> Pompe embarquée sur camion-citerne (cas général) ou pompe station ou transfert par pression Flexible Connexion gaz (optionnel) 	Maintien en pression : <ul style="list-style-type: none"> Vaporiseur (PBU) 	Transfert vers utilisation usine : <ul style="list-style-type: none"> Par pression du stockage (petit débit) Pompe (Optionnel) Vaporiseurs Réchauffeur
Station port	Transfert depuis navire/berge : <ul style="list-style-type: none"> Pompes embarquées Flexible ou bras Connexion gaz Ligne de refroidissement (selon longueur/diamètre) 	Maintien en pression : <ul style="list-style-type: none"> Vaporiseur (PBU) Unité de Compression ou de Liquéfaction (optionnel) 	Transfert vers ferry/berge : <ul style="list-style-type: none"> Pompe station Flexible ou bras Connexion gaz Ligne de refroidissement (selon longueur/diamètre)
	Transfert depuis camion-citerne/wagon-citerne : <ul style="list-style-type: none"> Pompes embarquées Flexible ou bras Connexion gaz (optionnel) 		Transfert vers camion-citerne : <ul style="list-style-type: none"> Pompes station Flexible ou bras Connexion gaz
Station grand port	Transfert depuis navire/berge : <ul style="list-style-type: none"> Pompes embarquées Flexible ou bras Connexion gaz Ligne de refroidissement (selon longueur/diamètre) 	Maintien en pression : <ul style="list-style-type: none"> Vaporiseur (PBU) Unité de Compression ou de Liquéfaction 	Transfert vers navire/berge : <ul style="list-style-type: none"> Pompes immergées dans réservoir Flexible ou bras Connexion gaz Ligne de refroidissement (selon longueur/diamètre)
	Transfert depuis camion-citerne/wagon-citerne : <ul style="list-style-type: none"> Pompes embarquées (sur camion) Flexible ou bras Connexion gaz (optionnel) 		Transfert vers camion-citerne : <ul style="list-style-type: none"> Pompes immergées dans réservoir Flexible ou bras Connexion gaz

Tableau 7: principaux équipements des stations

4.3 TECHNOLOGIE DES RESERVOIRS

4.3.1 Cas des réservoirs pressurisés

Les réservoirs sous pression sont du type simple intégrité, à double enveloppe :

- La première enveloppe est en acier inox cryogénique.
- La deuxième enveloppe, extérieure, est en acier carbone.

L'isolation thermique est assurée par l'espace inter-enveloppe (épaisseur : au moins 20 cm) mise sous vide et généralement remplie de perlite. La conductivité de la perlite dans les conditions normales et à haute température, et pour 3 densités de chargement, est présentée dans le diagramme ci-après provenant de l'ASTM :

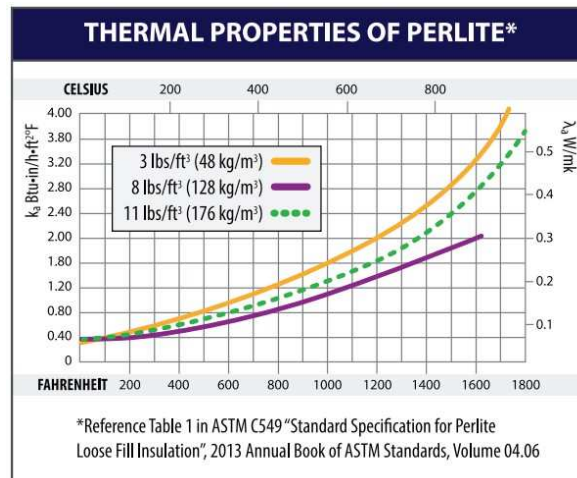


Figure 11 : conductivité de la perlite

Les réservoirs d'une station satellite peuvent être en configuration verticale ou horizontale :



Figure 12 : réservoir vertical



Figure 13 : réservoirs horizontaux

Le tableau ci-après présente une comparaison avantage/inconvénient de ces deux configurations.

	Avantages	Inconvénients
Réservoir vertical	<ul style="list-style-type: none"> • Emprise au sol • Charge hydrostatique pour alimentation pompe • Taux de vaporisation plus faible 	<ul style="list-style-type: none"> • Vulnérabilité au séisme • Vulnérabilité à l'onde de pression • Vulnérabilité des pieds (à protéger au froid et feu) • Impact visuel
Réservoir horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilité au séisme et à une onde de pression 	<ul style="list-style-type: none"> • Emprise au sol

Tableau 8 : avantages/inconvénients des réservoirs verticaux/horizontaux

Afin de minimiser les risque de fuites incontrôlées pouvant entrainer la vidange entière du réservoir vers l'extérieur, il est recommandé que toutes les sections des lignes depuis le réservoir jusqu'aux vannes d'isolement automatique de sécurité soient soudées (vannes comprises).

4.3.2 Cas des réservoirs non pressurisés

Les réservoirs de stockage sous faible pression (< 0,5 bar) sont généralement cylindriques à fond plat mais peuvent aussi avoir une forme parallélépipédique dans le cas de GBS « Gravity Based Structure » ou caisson.

La géométrie « caisson » est illustrée par la figure suivante :

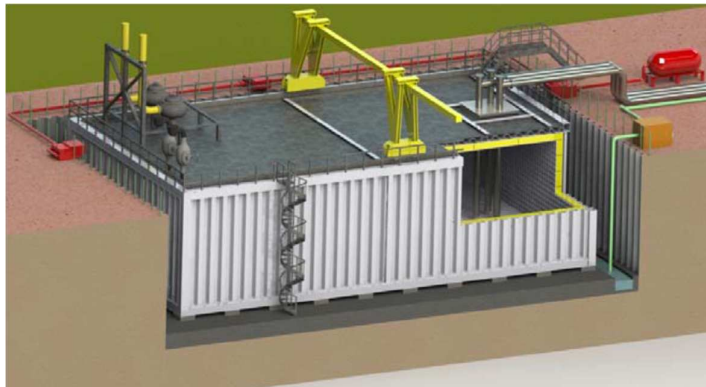


Figure 14 : réservoir non pressurisé type "caisson"

Trois technologies sont possibles, décrites dans la norme EN 1473 :

1. à double intégrité
2. à intégrité totale
3. à membrane.

Le tableau ci-après présente une comparaison avantages/inconvénients entre les 3 technologies :

	Avantages	Inconvénients
Double intégrité		<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'étanchéité au gaz dans l'enceinte secondaire (feu possible).
Intégrité totale	<ul style="list-style-type: none"> • Etanchéité au gaz de l'enceinte secondaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne tolère pas des variations de température rapide
Membrane	<ul style="list-style-type: none"> • Etanchéité au gaz de l'enceinte secondaire • Plus flexible sur des variations de température rapide 	

Tableau 9: avantages/inconvénients des technologies non pressurisées

Pour des raisons de sécurité, seuls les deux types Intégrité Totale et Membrane sont utilisés. Le réservoir à membrane s'apparente à un réservoir à intégrité totale en termes de sécurité.

4.4 TECHNOLOGIE DES SYSTEMES DE REGULATION DE PRESSION

4.4.1 Cas des Réservoirs Sous-Pression

La pression des réservoirs est choisie en fonction de l'application. Compte tenu de la technologie d'isolation (vide et perlite/super isolation), les entrées de chaleur et donc les taux d'évaporation sont extrêmement réduits. Une consommation même faible permet normalement d'éviter toute montée en pression dans le temps et donc l'ouverture des soupapes.

Divers composants permettent de contrôler la pression du réservoir :

- Système de mise en pression (PBU : Pressure Build up Unit) : il est nécessaire de maintenir une pression suffisante dans le réservoir pendant les opérations de soutirage. L'objectif est de maintenir une pression d'aspiration suffisante pour les pompes ou bien, pour les applications d'évaporation, d'obtenir une pression suffisante pour atteindre la pression de consommation de gaz requise en aval de l'installation. Le PBU est un vaporiseur à air ambiant, il permet de vaporiser du liquide et de l'envoyer dans la phase gazeuse afin d'augmenter la pression dans le réservoir. Le PBU se met en marche lorsque la pression de consigne minimum est atteinte, et s'arrête lorsque la consigne supérieure est atteinte. C'est donc un système intermittent fonctionnant sur une plage de pression déterminée. Le PBU peut être contrôlé mécaniquement ou par l'automatisme de l'installation.
- Economiseur : ce système est utilisé pour les applications d'évaporation. Il permet lorsque la pression est supérieure à une consigne de prendre du gaz directement en phase gazeuse et de l'envoyer directement au vaporiseur produit afin de réduire rapidement la pression. Comme le PBU il peut être contrôlé mécaniquement ou par l'automatisme de l'installation.
- Traitement du BOG (Boil of Gas) : Comme mentionné précédemment, les réservoirs sous pression ne montent pas en pression si l'application consomme un minimum de gaz. Néanmoins, des systèmes de traitement du BOG optionnels peuvent être installés s'il est prévu que ces minima de consommation ne seront pas atteints (phase de démarrage avec consommation réduite, saisonnalité...). Plusieurs systèmes peuvent permettre de traiter le BOG comme par exemple :
 - o Le refroidissement/liquéfaction de la phase gazeuse par une boucle d'azote. Un serpentin est implanté à l'intérieur du réservoir dans lequel de l'azote liquide circule. Les frigories apportées par l'azote liquide liquéfie le gaz et donc font baisser la pression. L'azote est libéré à l'extérieur sous forme gazeuse.
 - o Compression du BOG : il est possible d'extraire le gaz de la phase gazeuse, de le comprimer avec un compresseur et de le stocker dans des réservoirs à haute pression simple enveloppe pour une utilisation ultérieure, sur site ou en un autre point de consommation.

4.4.2 Cas des Réservoirs Sous Faible Pression

La pression de service des réservoirs à fond plat est habituellement comprise entre 0,2 et 0,3 barg. Pour contrôler la montée en pression, liée aux entrées de chaleur notamment au niveau du stockage de GNL, plusieurs solutions sont disponibles :

- Compression des BOG et envoi dans un réseau de distribution (BP) ou de transport (HP) de gaz
- Refroidissement ou liquéfaction des BOG et renvoi dans les réservoirs

La première solution implique la mise en place d'un ou plusieurs compresseurs BP ou HP en fonction de l'exutoire considéré. Elle requière de disposer d'un réseau à proximité capable de reprendre des quantités de gaz produites.

La deuxième solution implique la mise en place sur le site d'une unité de liquéfaction ou de refroidissement des gaz d'évaporation. Elle offre l'avantage de conserver l'inventaire de GNL dans le temps.

4.5 TECHNOLOGIE DES EQUIPEMENTS DE TRANSFERT

4.5.1 Pompes

En ce qui concerne le transfert de GNL, on distingue 2 grandes familles de pompes qui sont les pompes à piston, et les pompes centrifuges.

Les pompes centrifuges sont généralement utilisées pour le transfert de GNL à des pressions allant jusqu'à 20 bar, et les pompes piston quant à elles sont utilisées pour la mise en pression avant vaporisation du GNL afin d'alimenter l'utilisateur en gaz à des pressions supérieures à 20 bar.

En général dans les procédés décrits dans ce guide, les choix de pompes s'orienteront en majorité vers de pompes centrifuges que l'on pourra classer en 2 principales familles, à savoir :

Les pompes sans garniture d'étanchéité : Ce sont des pompes qui sont de manière générale immergées dans le GNL, que ce soit directement dans le réservoir, ou dans un récipient séparé, mais connecté en sa phase liquide et gaz au réservoir. Dans certains cas on peut même utiliser une pompe dite immergée à l'extérieur d'un réservoir ou d'un récipient, du moment que celle-ci est hermétiquement fermée, et ne nécessite donc pas de garniture d'étanchéité. Elles sont généralement utilisées pour des processus avec des débits plus élevés, et sont généralement maintenues en froid (stand-by) afin de favoriser un redémarrage rapide des transferts de GNL.

Les pompes avec garniture d'étanchéité : Ce sont des pompes qui ont une partie froide reliée à un moteur et dans certains cas un multiplicateur, et qui utilisent une technologie de garniture d'étanchéité mécanique ou gaz. Elles sont généralement utilisées pour des processus avec des débits plus faibles (chargement de camion-citerne) et pour lesquels un temps de mise en froid avant démarrage du transfert de GNL est permis.

Les pompes devront présenter des éléments de sécurité prenant en compte les conditions suivantes :

- La marche à sec de la pompe
- Le réchauffement de roulements en cas de défaillance
- Le réchauffement du multiplicateur
- La détection de fuite
- L'arrêt en cas de pression excessive ou de perte de pression due à une rupture de tuyauterie

Dans le cas de la pompe externe, la marche à sec devra être contrôlée à l'aide d'un capteur de température monté sur la pompe (cas de la pompe externe), celui-ci permettra aussi de valider l'étape de mise en froid de la pompe afin de garantir la présence de GNL. Un deuxième organe de sécurité qui est un capteur différentiel de pression indiquant la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe devra aussi être présent.

L'échauffement des roulements devra être contrôlé dans le cas des pompes immergées si elles sont installées dans un réservoir. Pour ce faire des capteurs de vibration seront installés sur la pompe afin de détecter une défaillance des roulements. En ce qui concerne les pompes immergées installées dans un récipient ou hermétiquement fermées l'état des roulements devra être au minimum validé par une inspection périodique (hebdomadaire au minimum) par une personne formée afin de détecter des vibrations ou des bruits anormaux. En cas de site non surveillé, des capteurs de vibrations pourraient aussi être installés.

Le réchauffement du multiplicateur dans le cas d'une pompe externe devra être contrôlé par une sonde de température qui mesure la température du multiplicateur. De plus, le multiplicateur devra être pressurisé avec un gaz inerte afin d'éviter toute fuite de gaz naturel de la partie froide vers le multiplicateur (fuite de garniture) et ainsi le risque d'explosion en cas de surchauffe.

La détection de fuite dans le cas d'une pompe externe devra être contrôlée par une sonde de température mesurant la température sur le ou les points de fuite définis par le constructeur. Cette détection de fuite aura pour but de détecter une fuite de la garniture. De manière générale, et ce pour toute les pompes, il sera recommandé d'avoir un détecteur de gaz à proximité de la pompe.

L'arrêt en cas de surpression, ou perte de pression (pompe en situation de cavitation) sera contrôlé par un capteur de pression différentielle mesurant la pression en entrée et en sortie de pompe. Si cette valeur de pression différentielle venait à sortir des limites fixées par le site, on arrêterait immédiatement la pompe.

4.5.2 Système de transfert par bras

Ce système se compose de bras métalliques articulés, installés sur un appontement pour assurer le transfert du GNL et des gaz d'évaporation entre les réservoirs de stockage du site et les cuves/soutes d'un navire.

Selon les cas les bras répondent à une fonction de :

- déchargement du GNL d'un micro-méthanier ou d'une barge vers des réservoirs de stockage de stations,
- rechargement d'un micro méthanier ou d'un navire de soutage GNL à partir des réservoirs du site,
- soutage en GNL d'un navire (bunkering) à partir des réservoirs de stockage du site.



Figure 15 : bras de soutage d'un navire (à gauche) / bras de déchargement (à droite)

Les bras articulés permettent de s'adapter aux différentes dimensions des navires et de suivre leurs mouvements horizontalement ou verticalement au quai. Ils sont habituellement constitués d'un(e) :

- Embase.
- Ensemble articulé en plusieurs parties.
- Coupleur rapide appelé également QC/DC (Quick Connect / Disconnect Coupler) qui se connecte aux traverses du navire.
- Système de déconnexion d'urgence (ERC ; Emergency Release Coupling) qui permet l'isolement du système de transfert et la libération rapide du bras.

Les figurent ci-après présentent les ERC pilotés (manuellement ou de manière automatique dans le cas où la plage opérationnelle du système de transfert est dépassée) et ceux qui se séparent sur sollicitation par traction (Breakaway coupling).

Ces dispositifs sont conçus pour minimiser la quantité de GNL ou de gaz libéré vers l'extérieur en cas de déconnexion du bras.

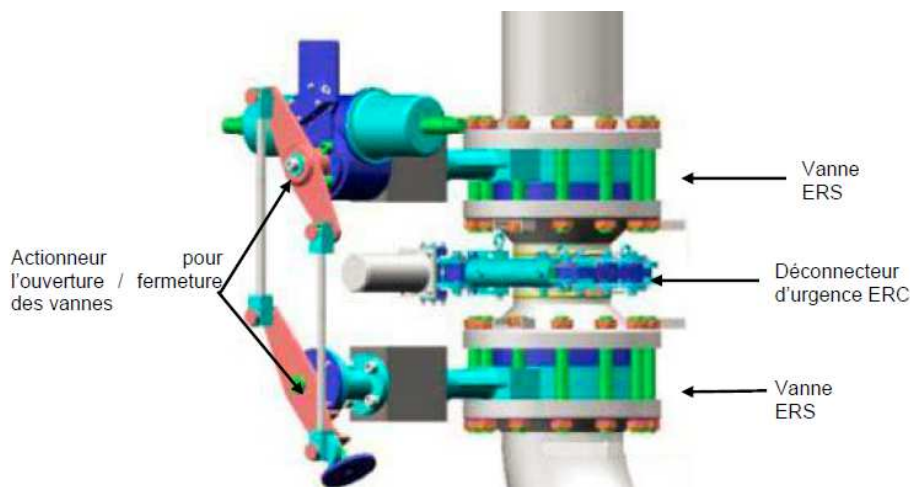


Figure 16: dispositifs de déconnexion d'urgence ERC (source : FMC EnergySystems)

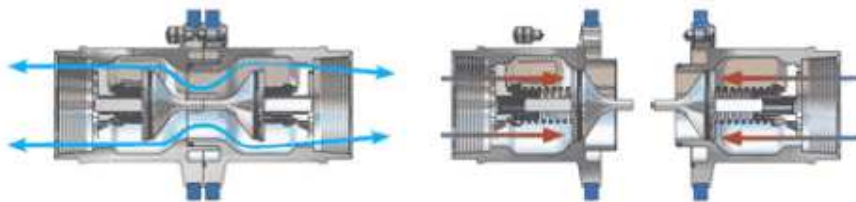


Figure 17 : dispositif de type breakaway (avant et après la déconnexion)

4.5.3 Système de transfert par flexibles

Ce sont des tuyaux flexibles cryogéniques dont la longueur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres et qui assurent la liaison entre l'installation de stockage du site et :

- une citerne routière au niveau d'un poste de rechargement
- ou un navire pour rechargement/déchargement ou soutage.

Les flexibles sont équipés à leur extrémité d'un élément de raccordement qui peut être une bride, un raccord voire un coupleur rapide de type QC/DC ou « Dry Disconnect Coupling ».

Les flexibles peuvent être équipés d'un système de déconnexion d'urgence généralement de type « break-away » couplage et parfois pilotés.



Figure 18 : flexibles soutenus par une potence (à gauche) / déchargement de navire par un flexible (à droite)



Figure 19 : flexibles cryogéniques (à gauche) / QC/DC de type Dry Disconnect Coupling (à droite)

4.6 TECHNOLOGIE DES CANALISATIONS DE LIAISON

En règle générale, les canalisations cheminent en aérien. Elles sont en acier inox avec isolation thermique polyuréthane ou polyisocyanurate.

Pour certains points singuliers (passage de route,...), les canalisations peuvent être :

- soit enterrées,
- soit dans une galerie technique.

Les canalisations enterrées sont du type « pipe in pipe » :

- Enveloppe interne en acier inox ou invar.
- Isolation thermique par « aérogel » (gel de silice).
- Enveloppe externe en acier carbone ou éventuellement en acier inox.

Remarque : Toutes canalisations enterrées devront être suffisamment isolées thermiquement pour prévenir le risque de gel du sol. Aussi, elles devront résister aux infiltrations d'eau, voire à une submersion totale.

Les canalisations en galerie technique sont à simple enveloppe, ou à double enveloppe sous vide (technologie similaire à celles des réservoirs sous pression). Ce type de canalisation peut être rigide ou flexible :

Simple enveloppe :

- Enveloppe en acier inox ou invar.
- Isolation thermique par « aérogel », polyuréthane ou polyisocyanurate.

Double enveloppe :

- Enveloppe interne en acier inox ou invar.
- Isolation thermique par perlite + vide.
- Enveloppe externe en acier carbone ou éventuellement en acier inox

Remarque : La galerie technique (dans un tunnel) devra avoir une ventilation (naturelle ou forcée) pour prévenir l'accumulation d'une poche de gaz.

4.7 TECHNOLOGIE DES CAMIONS-CITERNES ET CAPACITES MOBILES

4.7.1 Citerne et capacités mobiles

Les citernes et capacités mobiles type iso-conteneur sont à double enveloppe :

- Enveloppe interne en acier inoxydable.
- Isolation thermique constituée de feuilleté PET/aluminium.
- Enveloppe externe en acier carbone ou acier inoxydable.

4.7.2 Pompe de transfert

La plupart des camions citernes sont équipés de pompe de transfert de GNL permettant de vider la citerne.

Il existe cependant des camions citernes et iso-conteneurs non équipés de pompe. Dans ce cas, le transfert de GNL peut se faire par différence de pression ou par l'utilisation d'une pompe externe.

4.7.3 Pressure Build Up Unit (PBU)

Les camions citernes sont équipés d'un petit vaporiseur de GNL qui permet de maintenir la pression dans la citerne en vaporisant du liquide et en l'injectant dans la phase gazeuse si la pression venait à trop baisser. Pour les équipements de transport équipés de pompes, cela permet de maintenir une pression d'aspiration suffisante pour assurer le bon fonctionnement de la pompe. Pour les équipements réalisant le dépotage par transfert de pression, le PBU est de taille plus importante afin de créer un différentiel de pression suffisant avec le réservoir récepteur.

4.7.4 Equipements de sécurité

Les principaux équipements de sécurité embarqués sur le camion-citerne et contribuant à la sécurité de la station-satellite sont les suivants :

- Interlock associé au frein à main du camion-citerne,
- Mise à la terre autorisant le chargement ou déchargement (interlock avec vannes camion-citerne, pompe du camion-citerne),
- Système « homme mort » arrêtant la pompe et fermant les vannes du camion,
- Soupapes de protection de la citerne

En complément, il est recommandé de disposer des mesures suivantes :

- Arrêt pompe camion et vannes d'isolement camion actionnables à distance à partir de la station,
- Capteur de pression sur ligne de chargement arrêtant le remplissage d'une citerne.

4.8 TECHNOLOGIE DES WAGONS-CITERNES

4.8.1 Citerne

Les citernes, jusqu'à 110 m³ de capacité, sont à double enveloppe :

- Enveloppe interne en acier inoxydable.
- Isolation thermique constituée de feuillets PET/aluminium.
- Enveloppe externe en acier carbone ou acier inoxydable.



Figure 20 : wagon-citerne

4.8.2 Déchargement

Le déchargement de GNL est effectué par pompe externe ou différence de pression.

4.8.3 Equipements de sécurité

Les principaux équipements de sécurité embarqués sur le wagon et contribuant à la sécurité de la station-satellite sont les suivants :

- Mise à la terre autorisant le chargement ou déchargement (interlock avec vannes wagon-citerne, pompe de station),
- Arrêt pompe station et vannes d'isolement wagon actionnables à distance à partir de la station,
- Soupapes de protection de la citerne

4.9 PERSONNEL D'EXPLOITATION

4.9.1 Cas de la Station « Usine »

La station « usine » ne dispose pas de personnel affecté en permanence.

Le chauffeur du camion-citerne procède seul aux opérations suivantes :

- Calage du camion-citerne
- Mise à la terre du camion-citerne,
- Connexion du flexible,
- Déchargement du camion-citerne
- Après arrêt de la pompe, fermeture des vannes,
- Chasse et purge du flexible,
- Déconnexion du flexible.

4.9.2 Cas de la Station « Port » et « Grand Port »

Lors des heures d'ouverture, la station dispose d'au minimum 2 personnes présentes sur le site dont une personne présente en permanence au bureau d'exploitation.

Lors des opérations de chargement ou de déchargement navire, 2 personnes supplémentaires sont présentes au quai/appontement.

De nuit, lorsqu'il n'y a pas de mouvement de GNL, le site peut être télésurveillé sans présence de personnel. Si une personne est présente en permanence, notamment pour suivre les paramètres de la station, cette personne est habilitée à actionner les arrêts d'urgence locaux ou depuis le bureau d'exploitation.

5. PRINCIPES GENERAUX DE FONCTIONNEMENT DES STATIONS

Ce chapitre décrit les opérations de fonctionnement le plus couramment effectuées sur les stations.

Les opérations sont décrites de manière générique. L'approche opératoire pourrait différer suivant les spécificités et les équipements présents dans les installations mais le but principal de ce chapitre est de mettre en avant les principes généraux de fonctionnement et les risques potentiels associés à ces opérations.

Ces notions devront être prises en compte pour les futures installations.

5.1 LA STATION « USINE »

5.1.1 Déchargement camion-citerne

5.1.1.1 Conception générale

Le GNL est transféré dans le(s) réservoir(s) depuis le camion-citerne généralement en utilisant la pompe du camion-citerne (plus rarement par différentiel de pression entre le camion-citerne et le réservoir). Le camion-citerne est connecté à la ligne de remplissage du (des) réservoir(s) par un flexible cryogénique (ou éventuellement un bras rigide liquide). La présence d'un flexible gaz n'est pas nécessaire car les camions sont généralement équipés d'une PBU qui permet de vaporiser une partie du GNL pour maintenir la pression dans leur citerne lors du dépotage.

Cette opération est contrôlée depuis la zone de déchargement camion-citerne, par le chauffeur lui-même.

Il est attendu, que pour ce type d'installation, la zone de déchargement du camion-citerne soit située à proximité directe du stockage. La conception de l'installation devra prendre en compte les risques de collisions associés aux manœuvres du camion-citerne. L'accès du camion-citerne devra être facilité au maximum, le(s) réservoir(s) de GNL protégé(s). Suivant les conclusions de l'étude de dangers la présence d'une protection (muret) entre le stockage et la zone d'accès du camion-citerne peut se justifier.

Pour faciliter les actions menées par le chauffeur lors du dépotage, il est recommandé de regrouper les commandes des équipements de la station au même endroit, à proximité immédiate. Cela peut prendre la forme d'un pupitre.

Le pupitre devra avoir au minimum les fonctionnalités suivantes :

- Un voyant (vert) de permission à poursuivre l'opération
- Un bouton poussoir d'ouverture ou de fermeture du système vapeur (si utilisé)
- Un bouton poussoir ou switch d'ouverture ou de fermeture du système liquide
- Un bouton poussoir d'arrêt d'urgence.

5.1.1.2 Opérations préparatoires

Le système mis en place doit minimiser au maximum les risques de trop plein du (des) réservoir(s) de la station. Il est recommandé de mettre en place un premier seuil d'alarme visuelle et/ou sonore (ex gyrophare) avant le déclenchement d'un arrêt d'urgence sur niveau très haut. En plus de ces systèmes d'arrêt d'urgence sur détection de niveau haut, il est recommandé que la station soit capable de fournir les informations importantes au chauffeur avant le début du déchargement telles que le niveau de GNL dans les réservoirs de la station (pour permettre au chauffeur de vérifier qu'il peut effectivement dépoter la quantité prévue) ou encore la pression du ciel gazeux des réservoirs.

Quand le camion-citerne arrive au poste de déchargement, le chauffeur doit couper son moteur. Cette opération permet de supprimer une source d'inflammation d'un nuage de gaz. Par contre, dans certains cas, il est nécessaire que le moteur du camion-citerne reste en fonctionnement pour actionner les différents éléments utilisés pendant le déchargement. Dans ce cas, le moteur doit être redémarré. Le camion-citerne doit être conforme aux prescriptions de l'ADR et compatible avec un site contenant des Gaz inflammables. De manière générale, le camion-citerne devra avoir les certifications et autorisations pour accéder à l'usine et effectuer son déchargement.

La station doit de toute manière posséder des détecteurs de présence de gaz, froid et flamme afin de pouvoir arrêter d'urgence toute opération au besoin.

Avant toute opération, le chauffeur doit ensuite connecter son camion-citerne à la terre. Cette action doit être associée au « permissif » pour continuer toute opération. Le système de contrôle et de sécurité de l'installation ne permet pas l'ouverture d'une vanne motorisée de la station (utilisée pour le déchargement camion-citerne) s'il n'y a pas la confirmation (via un signal) que la terre est bien branchée. Le voyant vert du « permissif » doit alors s'activer.

Le chauffeur du camion-citerne doit connaître les risques et conséquences associés à une exposition ou un contact direct de GNL sur la peau. Le chauffeur doit au minimum revêtir des vêtements de protections. Il convient de protéger les yeux par un masque facial et des gants cryogéniques.

Ensuite, comme il n'y a pas de présence humaine permanente sur la station, le chauffeur doit faire une inspection visuelle rapide de l'installation pour s'assurer de son état normal (exemple : absence de fuites, nuage de gaz, son étrange,...).

5.1.1.3 Connexions

Il est nécessaire d'avoir au moins une connexion pour le transfert de GNL (liquide). Une connexion supplémentaire est aussi possible pour permettre l'équilibrage de pression (vapeur), par contre son utilisation dépendra de la manière dont est contrôlée la pression du réservoir et du camion-citerne.

Si les connexions sont fournies par la station, elles sont installées et connectées côté station en permanence. Même s'il y a des vannes d'isolement en amont (côté station), avant que le chauffeur du camion-citerne ne les opère, il est recommandé de s'assurer que celles-ci ne sont pas pressurisées (par exemple par lecture d'un manomètre si présent). Une fois cette vérification faite, le chauffeur du camion-citerne va pouvoir brancher les flexibles cryogéniques (ou bras rigide) sur le camion-citerne aux emplacements prévus à cet effet.

Si les connexions sont fournies par le camion-citerne, la technologie utilisée est uniquement flexible. Côté station, un manifold sera prévu pour connecter les flexibles. Une fois cette vérification faite, le chauffeur du camion-citerne va pouvoir brancher les flexibles cryogéniques suivant la procédure de connexion prévue. Si une alimentation en azote est disponible, il est préférable de purger le(s) flexible(s) à l'azote au préalable, avant toute connexion. Cette phase de purge permet de chasser l'air et l'humidité des flexibles et éviter de les envoyer vers le réseau gaz de la station. En effet, une humidité importante peut entraîner un gel des installations et/ou provoquer avec le temps des problèmes d'exploitation (corrosion).

5.1.1.4 Déchargement

Une fois les vérifications préliminaires réalisées, la pompe de transfert du camion-citerne peut être mise en froid avant de commencer le dépotage. Pour permettre le transfert de GNL, le chauffeur active le bouton poussoir d'ouverture du système liquide. Comme pour l'équilibrage vapeur, les vannes d'isolement du système liquide s'ouvrent automatiquement, suivant une rampe prédéfinie d'augmentation de débit progressive pour permettre une mise en service sans à-coups (mise en froid, remplissage) du système et éviter ainsi des problèmes associés à un démarrage trop rapide (choc thermique, coup de béliers, saut de pression, cavitation, etc...).

Pendant le déchargement du camion-citerne, la pression dans le(s) réservoir(s) est maintenue en remplissant ceux-ci soit par en haut, soit par en bas. En remplissage par le haut, le GNL froid du camion-citerne a tendance à condenser les vapeurs chaudes et ceci contribue à baisser la pression.

La fin normale du chargement est initiée par le chauffeur quand les volumes de transfert prévus initialement sont atteints ou automatiquement par arrêt de la pompe de transfert sur détection d'absence de liquide à l'aspiration (citerne vide). Les vannes d'isolement des systèmes liquides et vapeurs se ferment progressivement suivant une rampe prédéfinie de réduction de débit progressive pour permettre un arrêt sans à-coups.

Il est recommandé que le chauffeur ne puisse pas relancer le déchargement sans réinitialiser le système de contrôle afin d'éviter toutes mauvaises opérations/manipulations.

5.1.1.5 Niveaux d'arrêt d'urgence

Voir chapitre 6.4

Un premier niveau d'arrêt d'urgence du déchargement peut être activé par :

- Niveau(x) haut(s) (1^{er} seuil) dans le(s) réservoir(s) de la station atteint.
- Pression(s) haute(s) (1^{er} seuil) dans le(s) réservoir(s) de la station atteint.
- Problème pompe
- Arrêt d'urgence de la station (déclenchement automatique)
- Activation du bouton poussoir d'arrêt (déclenchement manuel)
- Alarme sur détection gaz

Un deuxième niveau d'arrêt d'urgence du déchargement peut être aussi activé par :

- Niveau(x) haut(s) (2^{ème} seuil) dans le(s) réservoir(s) de la station atteint.
- Pression(s) haute(s) (2^{ème} seuil) dans le(s) réservoir(s) de la station atteint
- Détection de gaz/feu dans la station.
- Détection froid

En cas d'arrêt d'urgence, les vannes d'isolement des systèmes liquides et vapeurs se ferment rapidement. Il est également recommandé de fermer les vannes du camion sur déclenchement d'un arrêt d'urgence.

5.1.1.6 Déconnexion et purge

Une fois les vannes d'isolement de la station fermées, il n'est pas possible de débrancher les flexibles (bras) directement, car ceux-ci sont encore pressurisés, froids et pleins de liquide. Afin de minimiser les volumes pris entre les dernières vannes d'isolement de la station et le camion-citerne, il est recommandé que ces dernières soient situées au plus près des flexibles (bras).

Après avoir fermé les vannes de la station, le chauffeur doit patienter avant de fermer les vannes du camion-citerne car le GNL présent dans le flexible (bras) aura tendance à se vaporiser et si le flexible (bras) est complètement isolé, la pression opératoire va y monter. Il est donc nécessaire que le flexible (bras) « respire » vers le camion-citerne, jusqu'à ce que le GNL soit entièrement vaporisé. Le flexible (bras) doit être équipé (entre la dernière vanne d'isolement de la station) d'une soupape de protection au cas où le chauffeur de camion-citerne venait à fermer la vanne du camion-citerne trop tôt. Aussi, un indicateur local de pression installé entre flexible et vanne est recommandé pour informer le chauffeur.

Le chauffeur devra attendre pour permettre au GNL de se vaporiser entièrement, ensuite, il pourra fermer doucement la vanne d'isolement du camion-citerne en regardant (sur l'indicateur local de pression) que la pression ne remonte pas. Il faut alors dépressuriser complètement les flexibles (ou bras) vers un événement. Si le site dispose d'une alimentation en azote, la purge à l'azote doit être favorisée. Les volumes éventés mis en jeu sont ainsi très faibles, correspondant au volume interne des flexibles (ou bras).

Ensuite, le chauffeur peut débrancher les flexibles (bras), les repositionner sur leurs supports ou les ranger dans son camion-citerne, déconnecter la prise de terre et quitter la station.

5.1.2 Contrôle de la pression dans le réservoir pressurisé

Une fois le remplissage du réservoir terminé, le GNL encore froid va avoir tendance à se réchauffer dans le temps, ce qui se traduira par une augmentation de pression lente et constante dans le réservoir. Or, en même temps, le GNL est soutiré pour les besoins de l'usine, ce qui entraîne dans ce cas une baisse de pression dans le réservoir. La perte de pression due au soutirage est normalement plus importante que l'augmentation de pression due au réchauffement, et il est en fait nécessaire de maintenir la pression pour éviter que celle-ci ne descende trop.

En cas de pression trop basse, le maintien de la pression est effectué en vaporisant un peu de GNL et en le retournant au réservoir sous forme de gaz. C'est le système de « Pressure Build Up » (PBU). Il est à noter que ce type de vaporiseur est souvent de type à air ambiant, avec des tubes et ailettes en aluminium. L'aluminium est un matériau que ne résiste pas aux températures élevées qui peuvent être rencontrées pendant un incendie. Il est donc nécessaire de fournir des vannes d'isolement automatiques entre le réservoir et le vaporiseur pour éviter tout risque de fuite incontrôlée vers l'extérieur si un tube (ou plusieurs) de l'échangeur venait à céder.

En cas de pression haute dans le réservoir, une connexion directe entre le ciel gazeux et la ligne de livraison gaz aval peut être réalisée.

Dans le cas où la pression du réservoir venait à augmenter malgré tout au-delà des valeurs autorisées par l'opération et les équipements, l'excès de gaz devra pouvoir être envoyé en toute sécurité à un événement via une vanne de contrôle, ou si insuffisant, par des soupapes en dernier recours.

5.1.3 Utilisation du Gaz Naturel

La pression d'utilisation du gaz naturel dans les usines est généralement basse (inférieure à 4 barg). On peut dans ce cas utiliser la pression du réservoir, pour envoyer le gaz (une fois vaporisé) à l'usine.

Avant son envoi à l'usine, le GNL est vaporisé et la température maintenue positive pour éviter des problèmes de gel et de condensation de l'humidité de l'air à l'extérieur de la conduite de distribution. La technologie la plus couramment utilisée pour vaporiser le GNL est constituée de vaporiseurs à air ambiant. Pendant leur fonctionnement, ceux-ci ont tendance à geler, c'est pourquoi, deux batteries de vaporiseurs, fonctionnant chacune en alternance, sont nécessaires afin de permettre le dégel d'une batterie pendant que l'autre fonctionne (et prend en glace) dans le cas de stations fonctionnant en continu. Le gaz sort des vaporiseurs environ une quinzaine de degrés en dessous de la température ambiante.

Il est nécessaire de s'assurer que le gaz soit fourni à une température positive. Un réchauffeur (souvent électrique) est donc fourni pour remonter la température du gaz, si nécessaire, en sortie des vaporiseurs.

Ensuite, comme le gaz naturel est incolore et inodore, pour des mesures de sécurité, il est recommandé de l'odoriser avant son envoi vers l'usine.

5.2 LA STATION « PORT »

Le mode de fonctionnement général de la station « port » est plus complexe que celui de la station « usine », cela étant dû aux opérations plus variées et plus fréquentes.

5.2.1 Déchargement Méthanier

5.2.1.1 Conception générale

Le GNL est transféré dans le(s) réservoir(s) (depuis le méthanier) en utilisant les pompes du méthanier.

Le GNL est envoyé au(x) réservoirs par l'intermédiaire d'une ligne de transfert, qui est plus ou moins longue suivant la proximité (ou pas) de la zone de déchargement du méthanier et de la zone de stockage.

Un poste de déchargement est implanté à l'endroit (quai ou appontement) où le méthanier est amarré, pour assurer l'interface et la sécurité entre le navire et la ligne de transfert.

De manière générale, le méthanier doit être compatible avec le poste de déchargement de la station. Il doit posséder les certifications et autorisations requises pour y accéder. Aussi, l'approche au port doit se faire sous le couvert des autorités portuaires.

Le méthanier est connecté au poste de déchargement par des flexibles cryogéniques (ou éventuellement des bras rigides).

Suivant la technologie embarquée du méthanier, ce dernier aura besoin de recevoir (ou pas) des vapeurs de gaz naturel pour pouvoir maintenir la pression opératoire de ces cuves. La station « port » dispose donc d'une ligne de vapeur, qui retourne de la vapeur depuis la zone de stockage jusqu'au navire (via un deuxième flexible ou bras rigide cryogénique), en fonction des besoins du navire. Comme la pression opératoire des réservoirs « pressurisés » de ce type de station est maintenue largement au-dessus de celle du méthanier, ceci facilite la mise en place d'un débit de retour gaz depuis les réservoirs jusqu'au méthanier (free flow). Le débit devra être contrôlé avec une vanne de contrôle (située côté navire).

L'opération de déchargement est pilotée depuis le méthanier, par l'équipe du navire, sous le contrôle de l'équipe de la station.

Par contre, les vannes et équipements côté station sont exploités par l'équipe de la station. Cela peut être fait depuis la salle de contrôle de la station mais d'un point de vue pratique, si le poste de déchargement est très éloigné de la station, il est conseillé de pouvoir aussi opérer les vannes du poste de déchargement localement. Un pupitre de contrôle peut ainsi être fourni avec les fonctionnalités suivantes :

- Un voyant (vert) autorisant la poursuite de l'opération (« permissif »)
- Un bouton poussoir d'ouverture ou de fermeture du système vapeur
- Un bouton poussoir d'ouverture ou de fermeture du système liquide
- Un bouton poussoir d'arrêt d'urgence.

Enfin, le poste de déchargement est équipé de détecteurs de gaz et de température froide, connecté directement au système de sécurité afin de déclencher un arrêt d'urgence automatique du déchargement.

5.2.1.2 Opérations préparatoires

Comme pour la station « usine », le système mis en place doit prévenir les risques de trop plein du (des) réservoir(s) de la station. En plus des systèmes d'arrêt d'urgence sur détection de niveau haut, il est recommandé que la station soit capable de fournir les informations importantes au méthanier avant le début du déchargement. Par exemple, d'après les niveaux de(s) réservoir(s), il est facile de calculer le volume disponible restant et qui peut être déchargé. Malgré tout, le méthanier doit se conformer aux instructions de l'équipe de la station « port » tout au long de l'opération de déchargement.

Quand le méthanier arrive au poste de déchargement, celui-ci est amarré correctement par les équipes du port et du navire. Cette opération est très importante car le positionnement du navire doit répondre aux conditions suivantes :

- Etre positionné correctement en face du poste de déchargement
- Ne pas risquer de se déplacer ou risquer une rupture d'amarres pendant l'opération de déchargement.

De plus, les flexibles (ou les bras) cryogéniques utilisés pour le transfert sont équipés de systèmes de déconnexion d'urgence (« break away ») (ou PERC) afin de pouvoir se dissocier du méthanier automatiquement, sans être arrachés, si le navire venait à se déplacer intempestivement pendant le déchargement.

Avant toute opération, un câble de communication / ESD doit être connecté entre le méthanier et le poste de déchargement. Ce câble est conforme aux standards internationaux et doit être compatible avec le méthanier. La fonction de ce câble est de :

- Permettre une communication téléphonique entre le méthanier et la station,
- Permettre un arrêt d'urgence du déchargement du méthanier depuis la station (arrêt des pompes du navire et fermeture des vannes d'isolement du méthanier),
- Réciproquement, permettre un arrêt d'urgence du déchargement du méthanier depuis celui-ci (fermeture des vannes d'isolement de la station).

Lorsque des flexibles sont utilisés, ceux-ci peuvent être fournis soit par le méthanier, soit par la station. Dans ce dernier cas, ils sont normalement désinstallés entre deux opérations et remisés alors dans un lieu approprié.

5.2.1.3 Connexions

Avant de connecter les flexibles (ou les bras), il est nécessaire de s'assurer que les manifolds en amont (coté station) et en aval (coté méthanier) ne soient pas pressurisés.

Une fois cette vérification faite, les opérateurs de la station et du navire vont pouvoir brancher les flexibles cryogéniques (ou bras rigides) sur le méthanier aux emplacements prévus à cet effet. Au vu de la taille et du poids des flexibles, un système de levage peut s'avérer nécessaire.

Ensuite, il est nécessaire de purger l'air contenu dans le flexible vers un évent (cela ne concerne pas les bras rigides) grâce à la pression d'opération du méthanier). Si une alimentation en azote est disponible, il est préférable de prévoir une purge à l'azote. Il est important que cette phase de purge soit effectuée car on ne peut pas autoriser l'envoi d'air dans le réseau vapeur de la station, ni celui du méthanier. De plus, l'humidité de l'air va geler, et peut provoquer avec le temps des problèmes d'exploitation.

Il est recommandé de vérifier, avant d'aller plus loin dans la procédure, que les systèmes ESD et de communication entre le méthanier et la station soient bien fonctionnels (via le câble de communication entre le méthanier et la station). Des tests ESD dit « chauds » (car réalisés avant la mise en froid) sont effectués systématiquement, depuis le méthanier et la station et permettent de s'assurer du bon fonctionnement des systèmes (Réception du signal ESD et fermeture des vannes de barrage). Sont également réalisés des tests des moyens de communication entre la terre et le navire ainsi que la revue et la signature de « safety checklist » (liste de contrôle sécurité).

Afin de maintenir une certaine pression dans les cuves du méthanier lors du déchargement, une liaison vapeur entre le navire et le(s) réservoir(s) de la station est établie. Le retour vapeur vers le méthanier ne permet donc le transfert de vapeur vers le méthanier que si la pression de celui-ci venait à trop baisser. Une vanne et un système de régulation de contrôle de pression sont installés pour cet effet à bord du navire. En cas de problème, une détection haute de pression en aval, coté méthanier de la vanne de contrôle, empêche l'ouverture de celle-ci. De plus, des soupapes de protection en cas de surpression, connectées à un évent, doivent être installées en aval de la vanne de contrôle.

5.2.1.4 Déchargement

La mise en route des lignes cryogéniques de grande taille doit faire l'objet d'une procédure de préparation rigoureuse car des mises en froid trop rapides peuvent entraîner des coups de béliers, des déplacements des lignes en dehors de leurs supports, voire des dommages irrémediables.

Dans la même mesure, il est nécessaire de mettre en froid les flexibles (ou bras rigide), et les lignes de transfert du méthanier. Ceci est fait en établissant un petit débit de GNL en utilisant des by-pass des vannes d'isolement, prévus à cet effet. La pratique la plus courante est de mettre en froid avec le GNL du méthanier, mais il est aussi envisageable que cela soit fait avec le GNL de la station.

Une fois le système liquide en froid (flexibles ou bras, ligne de transfert de la station et les lignes du méthanier), la procédure de déchargement peut continuer.

Conformément aux recommandations du SIGTTO des tests ESD dits « froids » peuvent être réalisés pour s'assurer du bon fonctionnement des systèmes d'arrêt d'urgence en condition froide (notamment fermeture des vannes ESD dans les temps impartis).

Pour lancer le déchargement, l'équipe du méthanier démarre une première pompe de transfert et augmente le débit progressivement. Au bout d'un certain temps, si tout est normal et après accord de l'équipe de la station, une deuxième pompe peut être démarrée et le débit augmenté progressivement. Suivant la taille des pompes du méthanier, et le débit nominal de déchargement final requis de la station, plusieurs pompes peuvent être nécessaires. Il faut alors démarrer les pompes supplémentaires les unes après les autres, avec un intervalle de temps adapté.

Pendant le démarrage des pompes du méthanier, au fur et à mesure que le débit de déchargement augmente, la pression des citernes du méthanier commence à baisser. Le système de retour vapeur commence alors à retourner de la vapeur au méthanier (via la vanne de contrôle de pression).

Pendant le déchargement du méthanier, la pression dans le(s) réservoir(s) de la station augmente. Dans le cas où la pression du réservoir venait à augmenter au-delà des valeurs autorisées par l'exploitation, l'excès de gaz doit pouvoir être envoyé vers une torche (si torche existante) ou à un évent via une vanne de contrôle, ou si insuffisant, par des soupapes de manière ultime.

La fin normale du déchargement est initiée par l'arrêt progressif des pompes du méthanier en coordination avec l'équipe de la station. Comme pour le début du déchargement, les pompes sont arrêtées les unes après les autres, progressivement suivant une rampe régulière de réduction de débit.

L'arrêt normal est initié soit par le système du méthanier soit par le système de la station, en fonction des seuils prédéfinis:

- Volumes de transfert prévu initialement atteint
- Demande de la station.

Une fois toutes les pompes arrêtées, les vannes d'isolement des systèmes liquides et vapeurs sont fermées progressivement (coté station uniquement).

5.2.1.5 Niveaux d'arrêt d'urgence

Voir chapitre 6.4

Un premier niveau d'arrêt d'urgence du déchargement peut être actionné par :

- Niveau(x) haut(s) (1^{er} seuil) dans le(s) réservoir(s) de la station atteint
- Pression(s) haute(s) (1^{er} seuil) dans le(s) réservoir(s) de la station atteint
- Pression basse dans les citernes du méthanier
- ESD de la station
- ESD du méthanier
- Problème pompe
- ESD1 pour des bras rigides (ou flexibles selon technologie et diamètre)
- Activation du bouton poussoir d'arrêt d'urgence

Un deuxième niveau d'arrêt d'urgence du déchargement peut être aussi actionné par :

- Niveau(x) haut(s) (2^{ème} seuil) dans le(s) réservoir(s) de la station atteint
- Pression(s) haute(s) (2^{ème} seuil) dans le(s) réservoir(s) de la station atteint
- Détection de gaz/chaleur dans la station
- Détection froid
- ESD2 pour des bras rigides.

En cas d'arrêt d'urgence, les vannes d'isolement des systèmes liquides et vapeurs se ferment rapidement. En cas d'ESD2 pour les bras rigides, le système de PERC se déclenche.

5.2.1.6 Déconnexion et purge

Une fois les vannes d'isolement de la station fermées, il n'est pas possible de débrancher les flexibles (bras) directement, car ceux-ci sont encore pressurisés, froid et pleins de GNL. Afin de minimiser les volumes pris entre les dernières vannes d'isolement de la station et le méthanier, il est recommandé que ces dernières soient situées au plus près des flexibles (bras).

Après avoir fermé les vannes de la station, l'équipe du méthanier doit permettre au flexible (bras) de « respirer » vers le navire jusqu'à ce que le GNL résiduel soit entièrement vaporisé. Le flexible (bras) doit donc être équipé (en aval de la dernière vanne d'isolement de la station) d'une soupape de protection au cas où l'équipe du méthanier venait à fermer la vanne du méthanier trop tôt. Aussi, un indicateur local de pression installé au même endroit est recommandé pour informer les équipes.

Une fois le GNL résiduel vaporisé, il est possible de fermer doucement la vanne d'isolement du méthanier en regardant (sur l'indicateur local de pression) que la pression ne remonte pas. Il faut alors ouvrir une vanne manuelle (une par flexible ou bras) pour dépressuriser complètement celui-ci vers un évent. Si le site dispose d'une alimentation en azote, la purge à l'azote doit être favorisée. Les volumes éventés mis en jeu sont ainsi faibles.

Ensuite, les équipes pourront déconnecter les flexibles (bras), les repositionner sur leurs supports ou les remiser.

5.2.2 Ligne de transfert liquide

Entre deux déchargements de méthanier, la question peut se poser de savoir comment est maintenue la ligne de transfert de GNL.

Pour des raisons de sécurité, il est préférable de vider la ligne de son contenu et de la remettre en service que lorsque nécessaire. Si la ligne de transfert est très courte, et que la fréquence des déchargements de méthaniers est faible, cela est en effet une solution possible. C'est ce qui est fait par exemple avec les lignes et manifold des méthaniers. Pour être vidée, la ligne doit être fournie avec un système de drainage, avec pompe et ligne dédiée, qui envoie le GNL au réservoir. En outre, 24h avant le déchargement suivant, la ligne peut être remise en froid par ce petit débit suivant une procédure bien établie.

Par contre, si la ligne est très longue, les volumes de GNL à traiter (drainer) sont plus importants. Il est alors plus long et difficile de vider entièrement la ligne d'une part, et de la remettre en service d'autre part. Dans ce cas, il est plus facile de laisser le GNL dans la ligne et deux options sont alors possibles :

1. **Laisser le GNL se réchauffer doucement dans la ligne.** Cela entraîne une augmentation progressive de la pression de la ligne, mais celle-ci est laissée en respiration avec les réservoirs de la station. Pour le déchargement suivant, le GNL chaud est chassé sous pression vers les réservoirs au début du chargement, doucement au fur et à mesure que le débit de déchargement est augmenté depuis le méthanier.

Pour des systèmes non-pressurisés cette procédure n'est pas recommandée car elle se traduit par la formation de poches de gaz dans la ligne. Avant toute remise en service, il faut alors remettre en froid la ligne, s'assurer qu'elle soit bien remplie complètement pour éviter des phénomènes de « cout de bélier » qui pourraient endommager la ligne et ses supports.

Cette pratique est vraiment intéressante pour les systèmes de stockages pressurisés, car la formation de poches de gaz dans la ligne est très réduite grâce à la mise sous pression. La remise en service est ainsi plus rapide.

2. **Maintenir un débit de GNL dans la ligne pour éviter que celle-ci ne se réchauffe.** Cela nécessite l'installation d'une deuxième « petite » ligne afin d'envoyer le GNL froid jusqu'au poste de chargement et permettre ainsi de maintenir un petit débit de retour vers les réservoirs. Afin d'éviter d'inverser le débit dans une grosse ligne, la conception est telle que la ligne de transfert voit toujours du GNL en circulation dans la même direction. Pendant le déchargement d'un méthanier, il n'est pas nécessaire d'arrêter la recirculation, le débit circulant venant s'ajouter à celui de déchargement. Le flux n'est ainsi jamais arrêté, quelle que soit les phases d'opération et de transition. Cette pratique est beaucoup plus sûre d'un point de vue opératoire : elle réduit les risques de mauvaise opération. Par contre, elle nécessite l'installation d'une petite ligne de GNL supplémentaire nécessaire pour établir la circulation.

5.2.3 Remarques sur le contrôle de niveau des réservoirs

Comme indiqué dans les paragraphes au-dessus, la manière dont est maintenue la ligne de transfert, entre deux déchargements de méthanier, peut différer d'un site à l'autre.

Dans tous les cas, il faut prévoir un volume de stockage de GNL libre pour accommoder et absorber des volumes de GNL supplémentaires, résultant de la gestion de la ligne de transfert.

Par exemple, si à la fin du déchargement du méthanier, tous les réservoirs étaient pleins à leur maximum autorisé, le niveau pourrait encore augmenter si du GNL contenu dans la ligne de transfert (par drainage, ou par respiration) venait à s'y ajouter. Il y a risque de trop-plein.

A l'inverse, si la ligne de transfert a été drainée, il faut qu'il reste suffisamment de GNL dans les stockages de la station pour la remettre en froid, et la remplir.

Des indications et instructions claires (niveaux des stockages de la station minimum et maximum autorisés avant et à la fin des déchargements, niveau libre pour la ligne de transfert), doivent permettre aux opérateurs de maîtriser ces phases transitoires sans générer de problèmes d'exploitation.

5.2.4 Contrôle de la pression dans les réservoirs pressurisés et la station

Contrairement à la station « usine », les opérations de soutirage de GNL des réservoirs sont intermittentes, avec des périodes sans aucune activité. Aussi, pendant le déchargement d'un méthanier, les débits et volumes de gaz à absorber sont beaucoup plus importants. De la même manière, pendant le chargement d'un camion (voir ci-dessous), des volumes de gaz plus importants, de manière ponctuelle, doivent être traités.

Pour les réservoirs pressurisés, l'opération utilise la flexibilité opératoire des réservoirs, en laissant monter la pression si nécessaire, pour absorber le gaz. Dans le cas où cela ne serait plus possible, il faudrait éventer le gaz. Dans le cas où les mises à l'évent deviennent des opérations chroniques, des solutions alternatives sont à prévoir :

1. Envoi du gaz à un réseau de gaz naturel local, basse pression (cette solution nécessite l'utilisation d'un réchauffage et une odorisation du gaz)
2. Envoi du gaz à un réseau de gaz naturel grande distribution, moyenne ou haute pression (cette solution nécessite l'utilisation d'un compresseur, réchauffeur d'appoint et odorisation)
3. Reliquéfaction du gaz en GNL.

Dans le cas où la pression du réservoir venait à augmenter malgré tout au-delà des valeurs autorisées par l'opération, après toutes les mesures préalables, l'excès de gaz devra alors pouvoir être envoyé à un évent voire à une torche.

Comme pour la station « usine », le contrôle vis-à-vis d'une pression trop basse peut être effectué en vaporisant un peu de GNL et en le retournant au réservoir sous forme de gaz. C'est le système de « Pressure Build Up » (PBU). Il est à noter que ce type de vaporiseur est souvent de type à air ambiant, avec des tubes et ailettes en aluminium. L'aluminium est un matériau que ne résiste pas aux températures élevées qui peuvent être rencontrées pendant un incendie. Il est donc nécessaire de fournir des vannes d'isolement automatique entre le vaporiseur et le réservoir pour éviter tout risque de fuite incontrôlée vers l'extérieur si un tube (ou plusieurs) de l'échangeur venait à céder.

5.2.5 Ravitaillement (soutage) d'un navire :

Le GNL est transféré depuis les réservoirs de la station en utilisant la(les) pompe(s) de celle-ci.

Comme pour le déchargement de méthanier, le système doit fournir :

- Lignes de transfert (liquide/gaz)
- Poste de ravitaillement
- Un câble de communication entre le navire et le poste de déchargement, transmettant notamment des informations sur le niveau de réservoir en chargement.

Il est anticipé que les connexions entre le navire et le poste de ravitaillement se fassent par flexibles (ou bras), fournis par la station. Ces flexibles possèdent un système de déconnexion d'urgence.

Le poste de ravitaillement doit posséder des détecteurs de présence de gaz, froid et feu afin de pouvoir arrêter d'urgence toute opération au besoin.

L'opération de ravitaillement est contrôlée par les équipes de la station, sous la supervision des équipes du navire. Un opérateur de la station au minimum doit être présent sur le poste de ravitaillement.

L'opération n'est pas détaillée ici car elle suit les mêmes principes que le déchargement d'un méthanier, même si bien sûr il s'agit d'envoyer le GNL vers le navire en utilisant les pompes de la station (et non l'inverse comme pour le déchargement d'un méthanier).

5.2.6 Chargement de camion-citerne

Le GNL est transféré depuis les réservoirs de la station vers des postes de chargement en utilisant la(les) pompe(s) de celle-ci.

Comme pour le déchargement de camion-citerne, le système comporte :

- Ligne de transfert (liquide/gaz)
- Poste de chargement
- Un pupitre de contrôle (conseillé).

Le poste de chargement doit posséder des détecteurs de présence de gaz, froid et feu afin de pouvoir arrêter d'urgence toute opération au besoin.

Aussi, un Bouton Arrêt Urgence devra être disponible à proximité immédiate pour arrêter l'opération si nécessaire.

L'opération de ravitaillement est contrôlée par le chauffeur du camion-citerne, sous la surveillance des équipes de la station. Un opérateur de la station au minimum doit être présent dans la station.

Pendant le chargement camion, une partie du GNL transféré se vaporise au contact de la citerne encore chaude. Il est donc nécessaire :

- D'augmenter le débit de transfert très progressivement pour éviter d'abimer la citerne par choc thermique, ainsi que générer une surpression.
- Retourner la vapeur générée vers la station (via une connexion vapeur entre le camion et la station) pour maintenir la pression de la citerne aux niveaux d'opération recherchés.

L'opération n'est pas détaillée davantage car elle suit les mêmes principes que le déchargement d'un camion-citerne.

5.3 LA STATION « GRAND PORT »

Le mode de fonctionnement général de la station « grand port » suit les mêmes principes que celui pour la station « port ». Les différents principes généraux de fonctionnements seront similaires.

La différence fondamentale est le type de stockage utilisé, qui dans ce cas est intégrité à totale (cuve autoportante ou membrane), non pressurisé. Cela se traduit par la nécessité de maintenir la pression du réservoir basse et relativement constante pendant les différentes opérations.

Deux cas de figure se présentent dans la gestion de la pression du stockage :

- Excès de gaz : la pression a tendance à monter dans les réservoirs
- Manque de gaz : la pression a tendance à baisser dans les réservoirs

Dans le cas où la ligne de transfert est maintenue en froid entre deux déchargements, laisser la ligne statique « respirer » vers le réservoir (basse pression) n'est pas recommandé. En effet, à cause du manque de pression, des poches de gaz pourraient se former et engendrer des montées en pression dans le réservoir, notamment pendant la mise en route du déchargement suivant. Dans ce cas, il est recommandé de maintenir la ligne froide en établissant un flux circulant de GNL.

5.3.1 Gestion d'un excès de gaz

La nature du stockage cryogénique implique que, et ce malgré la très bonne isolation thermique du réservoir et des lignes de transfert GNL, il y a toujours une vaporisation progressive et lente du GNL stocké. Ces gaz d'évaporation, dit Boil Off Gas (BOG), doivent être repris par un système de récupération pour éviter que la pression ne monte dans le réservoir.

Aussi, en plus, certaines opérations conduites dans la station peuvent entraîner la formation rapide de plus gros volumes de BOG. Par exemple, le chargement d'un camion-citerne génère systématiquement de plus gros volumes de gaz.

Il n'est pas envisageable que ce gaz soit envoyé à l'atmosphère. Une utilisation de ce dernier doit être donc considérée. Il est donc nécessaire d'installer un système robuste de reprise du BOG, qui puisse s'adapter rapidement à des variations de débit rapides et importantes.

Cela implique l'utilisation de :

- Soit de compresseur(s) de reprise du BOG et envoi sur un réseau de gaz (basse pression ou grande distribution) (cette solution nécessite l'utilisation d'un réchauffage d'appoint et une odorisation du gaz)
- Soit une unité de Reliquéfaction du BOG

Dans les deux cas, la régulation de la pression du stockage s'effectuera en adaptant les volumes de gaz envoyé au système de reprise du BOG.

Un excès de gaz peut aussi être la conséquence d'évènements particuliers tel que l'arrêt intempestif du système de reprise du BOG, etc... Les principes de maintien de la pression du stockage, ainsi que les protections, seront de ce fait identiques à ceux utilisés sur les terminaux méthaniers d'import de GNL, tel que défini dans la norme EN1473.

5.3.2 Gestion d'un manque de gaz

A l'inverse de précédemment, certaines opérations ou événements peuvent conduire à une demande en gaz naturel.

Comme pour la station « port », le déchargement d'un méthanier, nécessite de retourner du gaz au navire.

Le retour de gaz au méthanier, pendant son déchargement, est plus sensible que pour la station « port » car il y a moins de pertes de charge disponibles dans la ligne de retour gaz entre les réservoirs de la station et le méthanier. Cela veut dire que le diamètre de la ligne doit être augmenté d'autant pour permettre le retour du gaz (et limiter les pertes de charge). Aussi, la pression des réservoirs de la station devra être maintenue légèrement supérieure (typiquement 50/100 mbar) au-dessus de celle du méthanier pour permettre l'établissement du débit vers le méthanier.

Remarque : la technologie de stockage des méthaniers considérés est non pressurisée. Dans le cas où un méthanier pourvu de la technologie de stockage pressurisé venait à la station, le retour vapeur ne serait plus possible sans l'utilisation d'un compresseur.

Les volumes générés dans le stockage, et ceux retournés au méthanier sont bien sûr équivalents car ils correspondent aux mêmes volumes de transferts de GNL. Par contre, une fois le gaz retourné au méthanier, il y a souvent un excédent qui correspond à du GNL vaporisé à cause des entrées de chaleurs (à travers l'isolement thermique du réservoir et des lignes de transfert, l'énergie des pompes de transfert, les différences de pressions et de températures entre le réservoir de la station et les cuves du navire). Cet excédent de gaz doit être évacué comme mentionné dans le chapitre précédent.

Un manque de gaz peut également être envisagé à la suite d'événements particuliers tels que l'emballement intempestif du système de reprise du BOG, des pompes de transfert, un orage, etc... Les principes de maintien de la pression du stockage, ainsi que les protections, seront de ce fait identiques à ceux utilisés sur les terminaux méthanier d'import de GNL, tel que défini dans la norme EN1473.

6. RECOMMANDATIONS DE CONCEPTION

6.1 GENERALITES

Les stations satellites, quelque soient leurs tailles ou fonctions, devront être conçues de manière à permettre une opération facile mais aussi, assurer une sécurité optimum des personnes et des biens.

L'industrie a développé des règles de conceptions, traduites sous forme de norme.

Au minimum, les stations satellites devront suivre les recommandations des normes suivantes :

- EN 1127-1 : Atmosphères explosives - Prévention et protection contre l'explosion - Concepts de base et méthodologie - Partie 1 : Notions fondamentales et méthodologie
- EN 1473 : Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié - Conception des installations terrestres
- EN 1474 : Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié - Conception et essais des bras de chargement/déchargement
- EN 12066 : Installations et équipements de gaz naturel liquéfié - Essai des revêtements isolants des cuvettes de rétention de gaz naturel liquéfié
- EN 13645 : Installations et équipements de gaz naturel liquéfié - Conception des installations terrestres d'une capacité de stockage comprise entre 5 t et 200 t
- EN 14620 : Conceptions et fabrication de réservoirs en acier à fond plat, verticaux, cylindriques, construits sur site, destinés au stockage des gaz réfrigérés, liquéfiés, dont les températures de service sont comprises entre -5 °C et -165 °C.
- EN 16903 : Pétrole et industries du gaz naturel – Caractéristiques du GNL influant sur la conception et le choix des matériaux
- EN 60079-10 : Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses - Partie 10 : Classification des régions dangereuses
- ENV 1991-2-2 : EUROCODE 1 Bases de calcul et action sur les structures - Partie 2-2 : Actions sur les structures exposées au feu
- ENV 1992-1-1 : EUROCODE 2 Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : Règles générales et règles applicables pour les bâtiments.
- ENV 1992-1-2 : EUROCODE 2 Calcul des structures en béton - Partie 1-2 : Règles générales - Structures en béton au regard du feu.
- ENV 1993-1-1 : EUROCODE 3 Calcul des structures en acier - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.
- ENV 1993-1-2 : EUROCODE 3 Calcul des structures en acier - Partie 1-2 : Règles générales - Calcul du comportement au feu.
- ENV 1994-1-1 : EUROCODE 4 Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.
- ENV 1994-1-2 : EUROCODE 4 Calcul des structures mixtes acier-béton - Partie 1-2 : Règles générales - Calcul du comportement au feu.

6.2 RESERVOIRS

6.2.1 Règles de conception

Les règles de conception des réservoirs pressurisés doivent suivre les recommandations définies dans l'EN13645 (Conception des installations terrestres d'une capacité de stockage comprise entre 5 t et 200 t).

Les règles de conception des réservoirs de grande taille sous faible pression doivent suivre les recommandations définies dans l'EN1473 (Conception des installations terrestres) et l'EN14620 (Conceptions et fabrication de réservoirs en acier à fond plat).

6.2.2 Lignes de connexion des réservoirs pressurisés

6.2.2.1 Remplissage

Dans la station « usine », les réservoirs disposent d'une double alimentation : en phase liquide et en phase gazeuse. Ce dispositif permet en effet au chauffeur du camion-citerne d'ajuster la pression finale du réservoir après remplissage.

Dans la station « port », le remplissage s'effectue uniquement par la phase gazeuse du réservoir.

6.2.2.2 Equilibrage

Si plusieurs réservoirs sont installés en parallèle, il est recommandé que ceux-ci soit connectés entre eux pour les parties liquide et vapeur, afin d'équilibrer leurs niveaux de liquide et de pression. Le design doit permettre d'utiliser tous les réservoirs comme un réservoir unique. Par contre, par mesures de sécurité, chaque réservoir doit pouvoir être isolé individuellement, si nécessaire.

6.2.2.3 Soutirage

Dans la station « usine », les débits d'utilisation étant faible, il peut être recommandé d'installer un limiteur de débit sur le piquage de soutirage.

6.2.3 Lignes de connexion des réservoirs non pressurisés

6.2.3.1 Remplissage

Pour des raisons de sécurité, toutes les connexions se font par le haut du réservoir. Il n'y a aucune pénétration de ligne ou autre insertion sur les côtés, ni le fond du réservoir.

Les réservoirs disposent d'une double alimentation : en phase gazeuse ou en phase liquide (avec une ligne spécifique qui descend par l'intérieur, depuis le haut jusqu'au au fond du réservoir) pour éviter des phénomènes de stratification du GNL.

6.2.3.2 Equilibrage

Si plusieurs réservoirs sont installés en parallèle, il est recommandé que ceux-ci soit connectés entre eux pour la partie vapeur, afin d'équilibrer leur niveau de pression. Par contre, par mesures de sécurité, chaque réservoir doit pouvoir être isolé individuellement, si nécessaire.

6.2.3.3 Soutirage

Il est nécessaire d'installer des pompes immergées pour soutirer le GNL, depuis l'intérieur de réservoir. Chaque pompe est installée dans une conduite ouverte au fond du réservoir et connectée en haut à la ligne de transfert de GNL.

Le réservoir pourra être équipé de plusieurs pompes si nécessaires, avec autant de conduites à l'intérieur.

6.3 INSTRUMENTATION D'EXPLOITATION

6.3.1 Généralités

6.3.1.1 Réservoirs pressurisés

L'instrumentation doit permettre la mise en service, l'exploitation et la mise hors service du réservoir de GNL en toute sécurité. Elle doit renseigner au minimum les paramètres suivants avec deux systèmes indépendants dont l'un assure une indication continue:

- Niveau du liquide.
- Pression.

La maintenance de l'instrumentation doit être possible pendant le fonctionnement normal du réservoir.

Toutefois, quand la mise hors service est requise, l'instrumentation doit présenter une redondance suffisante :

- Les détecteurs de seuil d'alarme qui ont des fonctions de sécurité (pression, niveau du GNL, etc.) doivent être indépendants des séquences de mesure
- L'instrumentation liée à la sécurité et au fonctionnement, pour laquelle la maintenance nécessite le démontage du réservoir, doit avoir une redondance suffisante
- Les mesures doivent être transmises au lieu de contrôle
- Les alarmes doivent être transmises directement à l'opérateur qui peut se trouver sur place ou sur un site éloigné (bureau d'exploitation,...).

6.3.1.2 Réservoirs non pressurisés

Les mêmes recommandations que pour les réservoirs sous pressions s'appliquent pour les réservoirs non pressurisés.

De plus, au vu de la technologie des réservoirs, l'espace d'isolement entre les deux parois peut être équipé de sondes de température.

L'instrumentation doit aussi fournir un densimètre pour la prévention de basculement de couches (roll-over).

6.3.2 Contrôle de niveau

6.3.2.1 Réservoirs pressurisés

Des dispositifs de mesure de niveau de liquide indépendants et de précision élevée sont recommandés comme moyens de protection contre le risque de débordement plutôt qu'un système de trop-plein.

Les réservoirs doivent être dotés d'une instrumentation qui permet de contrôler le niveau du GNL et de prendre les mesures de prévention nécessaires. Cette instrumentation doit notamment pouvoir:

- Mesurer en continu le niveau du liquide au moyen d'un système de fiabilité appropriée, ce système devant comporter deux alarmes de niveau haut et très haut
- Une détection de niveau très haut qui doit être basée sur une instrumentation de fiabilité appropriée, indépendante du système de mesure de niveau précédent. Elle doit, en cas d'activation, mettre en œuvre la fonction de fermeture des vannes de remplissage sur les lignes d'alimentation et de recirculation.

Si l'analyse de risque le demande, le dimensionnement des soupapes au débit liquide de remplissage peut constituer une mesure de prévention de dommage structurel au réservoir.

Si une tuyauterie de trop-plein est montée, elle doit traverser l'enceinte du réservoir à une hauteur au moins égale à celle du niveau de l'alarme "niveau très haut". Une sonde de température doit détecter la présence de liquide dans la tuyauterie et actionner l'ouverture d'une vanne et l'évacuation vers un emplacement sûr.

6.3.2.2 Réservoirs non pressurisés

Les mêmes recommandations que pour les réservoirs sous pressions s'appliquent pour les réservoirs sous faible pression. Toutefois, en raison de la faible résistance à la pression, l'analyse de risque peut conduire à doubler de manière indépendante, le système de mesure de niveau.

6.3.3 Contrôle de la pression

6.3.3.1 Instrumentation des réservoirs pressurisés

Le réservoir doit disposer d'une instrumentation, installée de manière permanente aux endroits appropriés, permettant de contrôler la pression comme suit :

- Une mesure en continu de la pression
- Une détection de la pression « trop haute », par une instrumentation indépendante des systèmes de mesure en continu de la pression. Elle doit activer l'arrêt des opérations en cours (déchargement camion-citerne, méthanier, etc...), des équipements (pompes).

Pour prévenir des risques associés aux changements de pression atmosphériques, l'instrumentation utilisée pour les détections devra être effectuée en unité de mesure relative.

6.3.3.2 Instrumentation des réservoirs non pressurisés

Les mêmes recommandations que pour les réservoirs sous pressions s'appliquent pour les réservoirs sous faible pression.

De plus, il est nécessaire d'installer :

- Une mesure de la pression différentielle entre l'espace d'isolement et l'intérieur de l'enceinte primaire lorsqu'ils ne sont pas en communication. Pour cela, doivent être installés soit des capteurs de pression différentielle, soit des capteurs de pression séparés dans l'espace d'isolation thermique.
- Une détection « pression trop basse », par une instrumentation indépendante des systèmes de mesure en continu de la pression. Elle doit activer l'arrêt des machines (pompes, compresseur de gaz d'évaporation,...) et l'injection automatique du gaz service.

6.3.3.3 Dispositifs de contrôle en cas de pression haute

La pression des réservoirs devra être maintenue entre les valeurs d'opération autorisées.

Le contrôle de la pression se fera par l'intermédiaire de vannes automatiques, qui permettent le délestage de gaz (en cas de pression trop haute), ou un apport de gaz (en cas de pression trop basse).

Le délestage de gaz opérationnel (de contrôle, hors protection ultime) ne peut pas être envoyé à l'atmosphère que s'il s'agit d'épisodes très occasionnels. Les volumes de gaz éventés à l'atmosphère doivent être le plus réduit possible. Le délestage à l'atmosphère n'est acceptable que pour les petites installations (type usine). Les installations plus importantes doivent considérer des dispositifs du type :

- délestage par envoi du gaz vers des réseaux ou des utilisateurs,
- refroidissement de la phase gaz (par échangeur à azote liquide, par exemple),
- refroidissement de la phase liquide (par cycle de Brayton, par exemple),
- ...

Le ciel gazeux des réservoirs (quel que soit leur technologie) doit être relié au système d'évent, via des soupapes de sécurité ou éventuellement des disques de rupture, pour évacuer le gaz dans les situations ultimes suivantes :

- L'évaporation due à un apport thermique
- Le mouvement dû au remplissage
- Un flash lors du remplissage
- Les variations de la pression atmosphérique
- Le recyclage d'une pompe
- Un débordement dans l'espace inter paroi pour les réservoirs non pressurisés
- Le phénomène de roll over pour les réservoirs non pressurisés
- Un incendie.

Le réservoir doit comprendre au moins deux soupapes de surpression. Elles peuvent rejeter directement à l'atmosphère sauf lorsque l'émission gazeuse en cas d'urgence conduit à une situation inacceptable. Dans ce cas, les soupapes doivent être reliées au réseau de torche ou au système d'évent. Le dimensionnement des deux organes de sécurité doit être défini en supposant que l'un d'entre eux est hors service.

En alternative, il est aussi possible d'installer seulement une soupape de surpression et un disque de rupture (en place des deux soupapes). Par contre, les retours d'expérience montrent des difficultés d'opération et de fiabilité de ces systèmes. Ils ne sont, par conséquent, pas recommandés.

Afin de limiter au maximum les ouvertures de soupapes, ou rupture de disque, il est recommandé que le système de contrôle soit fourni avec une vanne de délestage à l'évent réduisant la pression avant ouverture des soupapes (voir §6.5).

6.3.3.4 Dispositifs de contrôle en cas de pression basse

En cas de pression basse, le gaz d'apport peut être généré en vaporisant du GNL par l'intermédiaire d'une unité de PBU (pressure build up). Cette unité est constituée de vaporiseur à air ambiant. Ce vaporiseur est installé sur un piquage de la ligne de soutirage avec un retour en phase gazeuse du réservoir. Ce vaporiseur comportant des pièces en aluminium vulnérables en cas d'incendie, la ligne de vaporisation doit être équipée de vannes d'isolement commandables à distance.

6.3.4 Température

Un réservoir non pressurisé doit disposer d'une instrumentation installée de manière permanente, aux endroits appropriés permettant de mesurer la température :

- Du liquide à différentes hauteurs, la distance verticale entre deux sondes de température consécutives ne devant pas excéder 2 m
- De la phase gazeuse.

De plus, les réservoirs du type intégrité totale doivent avoir des mesures de températures:

- De la paroi et du fond de l'enceinte primaire
- De la paroi et du fond de l'enceinte secondaire.

6.3.5 Température, Densité, Niveau

Pour les réservoirs non pressurisé, la température et la masse volumique du GNL doivent pouvoir être mesurée sur la totalité de la hauteur de liquide.

Cet instrument dit LTD (« Level, Temperature, Density ») doit fournir le profil de température et de densité du GNL dans le réservoir, en fonction du niveau.

Cet instrument est utilisé pour détecter la formation de strates de GNL et prévenir un roll over qui pourrait en résulter.

6.3.6 Détecteurs de fuite

6.3.6.1 Généralités

Ce paragraphe permet de lister les types de détecteur adaptés aux fuites possibles de GNL sur les équipements et les canalisations.

Dans les zones associées aux équipements, les détecteurs présentés sont des détecteurs de champs (ou d'ambiance).

Pour les canalisations, des détecteurs en ligne (pressostat, débitmètre,...) peuvent également être envisagés. Ils ne sont pas présentés ici car leur mise en œuvre dans une chaîne de sécurité peut poser problème sur des canalisations à fonctionnement intermittent.

6.3.6.2 Types de détecteurs sur zone/équipements

De manière systématique, ces zones sont équipées de 3 types de détecteurs:

1. Les capteurs catalytiques (« explosimètre ») ou IR ponctuel,
2. Les capteurs de basse température,
3. Les détecteurs de flamme UV/IR ou IR3.

Dans certaines zones particulières (zone à confinement, surveillance périmétrique,...), des capteurs à faisceau IR peuvent être utilisés.

6.3.6.3 Types de détecteur sur canalisations

Certaines canalisations sont de longueur telle qu'elles ne peuvent être couvertes par des détecteurs de zone associée aux équipements. C'est le cas en particulier pour les canalisations de transport, selon le terme réglementaire, cheminant hors du site. Ces canalisations peuvent être équipées de fibre optique permettant de détecter une fuite par chute de température.

Les canalisations transportant du GNL à faible pression disposent d'une 2^{ème} détection par capteurs catalytiques ou IR installée dans les compartiments de pipeways quand ils existent.

En des points singuliers comme les passages de route, les canalisations, à double enveloppe sous vide, disposent d'un capteur de pression assurant une détection de fuite.

6.3.6.4 Positions et actions des détecteurs

Le tableau ci-après présente l'implantation possible de détecteurs dans les stations. Il s'agit d'un dénombrement à minima car le nombre et l'implantation doivent faire l'objet d'une étude spécifique.

Les actions sont définies comme étant des arrêts d'urgence (AU) partiel ou général tels que décrit au §6.4.

Emplacements	Nombre	Type	Actions (AU partiel/général)	Observations
STATION « USINE »				
Poste dépotage camion-citerne	2	CGA, TE, FL	Général	
Réservoirs	2	CGA, TE, FL	Général	
Réchauffeurs	1	CGA, TE, FL	Général	
STATION « PORT »				
Poste de déchargement barge/navire	2	CGA, TE, FL	Partiel	
Canalisation navire-stockage	1 1/compartiment 1/passage route	FO CGA, TE PR	Partiel	Pour GNL faible pression
Poste de dépotage camion-citerne	2	CGA, TE, FL	Partiel	
Poste de dépotage wagon-citerne	2	CGA, TE, FL	Partiel	
Réservoirs sous pression (cuvette)	2	CGA, TE, FL	Général	
Réservoir sans pression (manifold)	2	CGA, TE, FL	Général	
Unité de réfrigération	2	CGA, TE, FL	Partiel	
Postes de chargement camion-citerne	1/poste	CGA, TE, FL	Partiel	
Poste de chargement barge/navire	2	CGA, TE, FL	Partiel	
Bureau d'exploitation	1	CGA	Général	A l'entrée d'air de climatisation
CGA : Capteur gaz catalytique ou infra rouge, TE : température, FL : flammes, FO : fibre optique, PR : pression				

Tableau 10 positions et actions des détecteurs

6.4 SYSTEMES D'ARRET D'URGENCE DES STATIONS

6.4.1 Généralités

Les principaux objectifs des systèmes de sécurité sont de protéger le personnel, le matériel et l'environnement en cas d'urgence tels que fuite de gaz ou GNL, incendie, problèmes opérationnels potentiellement dangereux, etc... L'utilisation d'isolement d'urgence, d'arrêt automatique d'équipements et d'opérations, de soupapes de dépressurisation fournit les moyens d'atteindre ces objectifs.

Un système d'arrêt d'urgence de sécurité automatique distinct du système contrôle procédé doit être prévu.

Un système d'arrêt d'urgence doit être installé pour éviter la rupture fragile des canalisations sous l'effet de températures basses en aval des équipements.

6.4.2 Descriptions

Par système d'arrêt d'urgence, on désigne les dispositifs de mise en sécurité des stations par fermeture des vannes d'isolement, arrêt des pompes de transfert, des compresseurs,... Ces systèmes disposent de 2 modes :

1. Automatisés par des capteurs de détection de fuite ou de flammes et certains capteurs d'anomalie,
2. Actionnés par les opérateurs (coup de poing ou bouton d'arrêt d'urgence : BAU).

Les arrêts d'urgence (AU) peuvent être :

- Partiel quand ils n'agissent que sur une partie ou une fonction partielle des installations,
- Général quand ils agissent sur toute la station y compris les postes de chargement/déchargement.

Le choix de se limiter à un AU partiel est guidé par les considérations suivante :

- L'incident à traiter peut être mineur et concerner un équipement spécifique (exemple-type : défaut d'étanchéité de flexible au poste de dépotage camion-citerne),
- L'incident peut être grave mais ne concerner qu'une zone géographiquement éloignée et non la station entière (exemple-type : poste de chargement/déchargement navire).

Remarque : les AU sont généralement précédés par une alarme (sans action), activée avec un seuil inférieur, afin de prévenir à l'avance qu'une déviation par rapport aux bonnes conditions d'opérations est en train de se produire.

6.4.3 Architecture

Les systèmes AU sont constitués d'une chaîne de 3 blocs :

1. Bloc « détection » incluant la détection par un opérateur,
2. Bloc « traitement »,
3. Bloc « isolement/actions de mise en sécurité ».

Cette chaîne est illustrée par le schéma suivant :

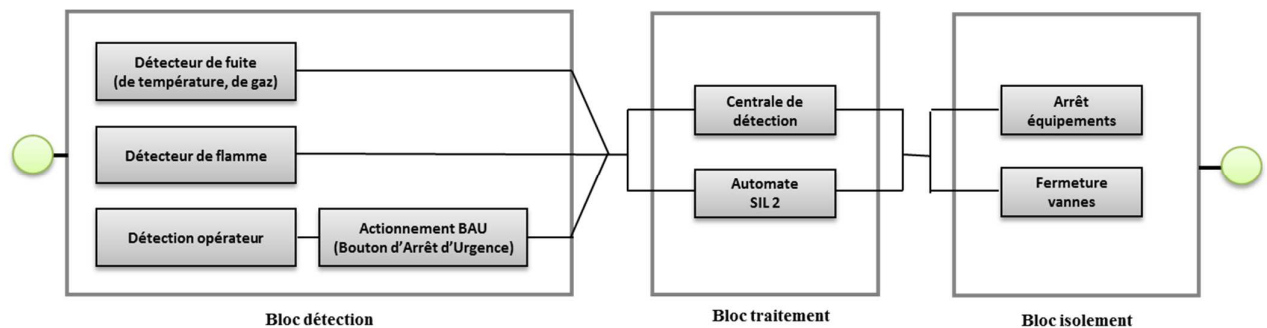


Figure 21 : architecture des chaînes de détection

Les paragraphes suivants détaillent chaque élément des blocs.

6.4.4 Traitement

Deux types d'unités de traitement sont possibles :

- Une centrale de détection,
- Un automate de sécurité.

Si l'analyse de risque montre la nécessité de disposer de 2 mesures techniques indépendantes de « détection-isolement » pour exclure un scénario, il est nécessaire de disposer de ces 2 unités en parallèle.

Dans le cas contraire ; lorsque par exemple les rejets prolongés sont acceptés, une seule unité est suffisante.

L'automate est de niveau de SIL « 2 » pour ne pas pénaliser la fiabilité de la chaîne complète.

6.4.5 Organes d'isolement

6.4.5.1 Généralités

Le tableau ci-après liste les vannes commandées par les arrêts d'urgence ainsi que leurs caractéristiques principales :

- Type d'organe : boule,...
- Motorisation : électrique, pneumatique,...
- Sécurité positive : la vanne se met en position d'isolement en cas de perte de la motorisation,
- Sécurité feu (commande) : la vanne soumise à un feu de GNL conserve sa capacité de commande pendant un laps de temps,
- Sécurité feu (étanchéité) : la vanne soumise à un feu de GNL conserve son étanchéité pendant un laps de temps.

Lorsque le site le permet, les vannes d'isolement sont pneumatiques de manière à faciliter une sécurité positive (la vanne possède une position « fail safe »).

Le gaz naturel (appelé aussi gaz service) peut être utilisé pour la motorisation de vannes pneumatiques.

6.4.5.2 Cas de la station « Usine »

Les principales caractéristiques sont présentées ci-après :

	Type	Motorisation	Sécurité positive	Sécurité feu
Vanne camion-citerne		Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vanne remplissage liquide (avec clapet anti-retour accolé)	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vanne remplissage gaz	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vanne soutirage liquide	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique

Tableau 11: organes d'isolement des stations "usine"

6.4.5.3 Cas de la station « Port »

Les principales caractéristiques sont présentées ci-après :

	Type	Motorisation	Sécurité positive	Sécurité feu
Vanne navire/berge		Electrique ou Pneumatique		
Vanne poste de déchargement navire/berge	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vanne arrivée stockage	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vanne camion-citerne/wagon-citerne	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vanne poste de déchargement camion-citerne/wagon-citerne	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vanne remplissage (avec clapet anti-retour accolé)	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vannes soutirage liquide (doublées)	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vannes expédition camion-citerne/navire/berge	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vanne poste de chargement navire/berge	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique
Vanne poste de chargement camion-citerne	Boule	Electrique ou Pneumatique	Oui	Oui par flexible fusible pour pneumatique

Tableau 12 : organes d'isolement des stations "port"

6.4.6 Dispositifs d'arrêt d'urgence

6.4.6.1 La station « Usine »

Chaque équipement devra pouvoir être arrêté et isolé automatiquement par coupure électrique si applicable (réchauffeur électrique) ou par fermeture des vannes appropriées (réservoirs, vaporiseurs, etc...) sur :

- Détection automatique d'anomalie opérationnelle ou d'équipement
- Activation manuelle du chauffeur (bouton d'arrêt d'urgence : BAU)
- Détection de fuite.

Les BAU sont disposés à minima aux emplacements suivants :

- 2 BAU au poste de déchargement camion-citerne
- 2 BAU à proximité du (des) réservoir(s)
- 1 BAU à proximité du réchauffeur

Le tableau ci-après présente les emplacements des BAU et leur fonction d'AU « partiel » ou « général » :

Emplacements	Nombre	Type	Actions (isolement)	Actions (arrêt)
Poste de déchargement camion-citerne	1	Partiel	Vannes Poste Vannes Réservoir(s) (remplissage)	
	1	Général	Toutes Vannes	Réchauffeur électrique
Réservoir(s)	2	Général	Toutes Vannes	Réchauffeur électrique
Vaporiseurs	1	Partiel	Vannes Unité Vanne Départ Gaz	Réchauffeur électrique Odorisation
Réchauffeur, odorisation, comptage gaz	1	Partiel	Vannes Unité Vanne Départ Gaz	Réchauffeur électrique Odorisation

Tableau 13 : boutons d'arrêts d'urgence des stations "usine"

Le tableau ci-après présente les détections principales (non exhaustives) conduisant à un AU et leur fonction « partiel » ou « général » :

Détection	Nombre	Type	Actions (isolement)	Actions (arrêt)
Niveau Très Haut Réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partiel	Vannes Poste	
Niveau Très Très Haut réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partiel	Vannes Poste Vannes Réservoir(s) (remplissage)	
Pression Très Haute Réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partiel	Vannes Poste	
Pression Très Très Haute Réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partiel	Vannes Poste Vannes Réservoir(s) (Remplissage)	
Pression Très Basse Réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partiel	Vannes Poste	
Pression Très Très Basse Réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partiel	Vannes Poste Vannes Départ Gaz de la station Vannes Réservoir(s) (Départ Liquide)	

Tableau 14 : détections conduisant à arrêt d'urgence en station "usine"

6.4.6.2 La station « Port » et « Grand Port »

Comme pour la station « usine », la station devra pouvoir être arrêtée automatiquement sur :

- Détection automatique d'anomalie opérationnelle ou d'équipement
- Activation manuelle des opérateurs (bouton poussoir d'arrêt d'urgence)
- Détection de fuite.

A la différence de la station « usine », la station « port » nécessite une interface avec le méthanier. Les mesures de sécurités associées au déchargement devront être installées :

- Poste de déchargement équipé des vannes d'arrêt d'urgence automatique
- Câble de communication/AU (tel que recommandé par le SIGTTO et rendu obligatoire par les codes et normes) entre le méthanier et la station pour déclencher un arrêt d'urgence du déchargement si besoin.
- Système de break-away sur les flexibles ou PERC sur les bras.

Les AU intervenant sur le méthanier et les bras ont 2 niveaux d'action selon l'ampleur de la déviation/anomalie détectée.

La station peut être étendue sur plusieurs zones (zones de stockage, ligne de transfert zone de déchargement, zone d'approvisionnement et ligne de transfert associée, zone de chargement camion-citerne). Pour éviter un effet domino en cas d'incident, chaque zone devra pouvoir être isolée/arrêtée si nécessaire individuellement et automatiquement.

Le tableau ci-après présente les emplacements des BAU et leur fonction « partielle » ou « générale » :

Emplacements	Nombre	Type	Actions (isolement)	Actions (arrêt)
Poste de déchargement navire	2	Partielle	Vannes Navire Vannes Poste Vannes Arrivée Station Vannes Réservoir(s) (remplissage)	Pompes Méthanier
Poste de déchargement wagon-citerne	2	Partielle	Vannes Poste Vannes Réservoir(s) (remplissage)	
Poste de déchargement camion-citerne	2	Partielle	Vannes Poste Vannes Réservoir(s) (remplissage)	
Réservoir(s)	2	Générale	Toutes Vannes	Tout équipement
Compresseur(s) ou Unité de réfrigération	1	Partielle	Vannes unité Vanne phase gaz réservoir	Unité de réfrigération
Postes de chargement camion-citerne	1/poste	Partielle	Vanne poste Vannes soutirage réservoir	Pompes de la station
Poste d'approvisionnement navire	2	Partielle	Vannes Navire Vannes Poste Vannes Départ Station Vannes soutirage réservoir	Pompes de la station
Bureau d'exploitation	1 par zone 1	Partielle Générale	Isolement Zone Toutes Vannes	Equipement Zone Tout équipement

Tableau 15 : boutons d'arrêt d'urgence en station "port"

Le tableau ci-après résume les détections principales (non exhaustif) conduisant à un AU et leur fonction « partiel » ou « général » :

Détection	Nombre	Type	Actions (isolement)	Actions (arrêt)
AU1 Navire	1	Partielle	Vannes Poste	Pompes Méthanier
AU2 Navire	1	Partielle	Vannes Poste Vannes Arrivée Station	Pompes Méthanier
AU1 Bras	1	Partielle	Vannes Poste	Pompes Méthanier
AU2 Bras	1	Partielle	Vannes Poste Vannes Arrivée Station	Pompes Méthanier
Niveau Très Haut Réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partielle	Vannes Postes (méthanier, camion-citerne, wagon-citerne)	Pompes Méthanier
Niveau Très Très Haut réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partielle	Vannes Postes (méthanier, camion-citerne, wagon-citerne) Vannes Réservoir(s) (remplissage)	Pompes Méthanier
Pression Très Haute Réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partielle	Vannes Postes (méthanier, camion-citerne, wagon-citerne, navire)	Pompes Méthanier Pompes de la station
Pression Très Très Haute Réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partielle	Vannes Postes (méthanier, camion-citerne, wagon-citerne, navire) Vannes Réservoir(s) (Remplissage)	Pompes Méthanier Pompes de la station
Pression Très Basse Réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partielle	Vannes Postes (méthanier, camion-citerne, wagon-citerne, navire)	Pompes Méthanier Pompes de la station
Pression Très Très Basse Réservoir(s)	1 (par réservoir)	Partielle	Vannes Postes (méthanier, camion-citerne, wagon-citerne, navire) Unité de contrôle de surpression Vannes Réservoir(s) (Départ Liquide)	Pompes Méthanier Pompes de la station Tout équipement de l'unité
Unité de contrôle de surpression		Partielle	Unité	Tout Equipement de l'unité

Tableau 16 : détections conduisant à arrêt d'urgence en station "port"

6.5 SYSTEMES DE COLLECTE DES EVENTS

Pour des raisons opératoires ou de sécurité, il est nécessaire dans certain cas d'avoir à éventer du gaz. Par exemple, en cas de surpression dans les réservoirs, l'excès de gaz doit être éventé, soit par l'intermédiaire d'un système de contrôle, soit par des soupapes en dernier recours, afin d'empêcher une rupture mécanique de la cuve.

Le gaz doit être éventé par l'intermédiaire d'un évent, ou éventuellement une torche pour les très grosses installations (si les volumes de gaz libérés deviennent trop importants).

Aussi, si des gouttelettes de liquides sont présentes avec le gaz, le système de collecte doit pouvoir les séparer et ne pas les envoyer à l'atmosphère avec le gaz. Il est alors nécessaire d'installer des systèmes de séparation liquide-gaz en amont de l'évent tel qu'un ballon séparateur.

Les fonctionnalités de(s) événements et torches sont :

- récupérer les volumes de gaz pour que ceux-ci ne soient pas libérés dans l'atmosphère de manière aléatoire à travers tout le site de la station,
- récupérer les volumes de gaz pour que ceux-ci soient libérés dans l'atmosphère à des endroits précis, localisés et contrôlés,
- éviter la dispersion de gouttelette liquide de GNL à travers le site
- favoriser la dispersion du gaz pour atteindre des concentrations inférieures aux limites d'inflammabilités.

Les objectifs de sécurité sont de plusieurs natures :

1. prévenir des effets domino en empêchant d'envoyer un nuage de gaz inflammable dans une zone, ou au contact d'équipements ou engins qui pourraient entraîner son inflammation,
2. prévenir des effets domino en empêchant d'envoyer un nuage de gaz inflammable dans une zone, ou vers le sol, où du personnel pourrait être présent,
3. empêcher d'envoyer du gaz à l'extérieur de l'enceinte de la station avec des concentrations supérieures aux limites d'inflammabilités
4. empêcher la formation d'une « pluie » de gouttelette d'hydrocarbure vers des zones ou personnes physiques.

Le système de collecte d'évent peut être constitué de un seul évent commun (ou une torche) ou de plusieurs petits événements répartis sur le site. Dans tous les cas, son(leurs) orientation(s) doit(doivent) répondre aux fonctionnalités et objectifs cités ci-dessus.

Aussi, aucun élément pouvant provoquer un blocage intempestif ne peut être installé entre le dernier organe de sécurité (typiquement une soupape) et la sortie de l'évent (ou torche).

L'évent (ou torche) devra aussi être protégé (pour empêcher) par son design contre l'accumulation d'eau (de pluie) dans les collecteurs, ni de la construction de nid d'oiseau ou d'animaux, etc... pouvant obstruer la sortie de l'évent.

6.6 SYSTEMES DE COLLECTE DE FUITE

6.6.1 Fonction et objectifs

En raison de la présence très fréquente de calorifuge au contact de paroi contenant du GNL, une brèche peut conduire à un épandage liquide important même en cas de flash sous pression. Le système de récupération de fuite est ainsi destiné à :

- récupérer des fuites de GNL pouvant survenir en des emplacements choisis des installations, et notamment sur les capacités fixes et mobiles,
- retenir ces fuites localement à l'aplomb de la brèche ou dans une capacité déportée.

Les objectifs de sécurité sont de 2 natures :

1. réduire l'extension d'une nappe ainsi la taille d'un nuage inflammable,
2. prévenir la formation d'un feu de nappe générant un flux intense et prolongé sur une capacité de GNL (réservoirs, citerne,...).

Le dimensionnement d'un tel système nécessite donc la définition préalable de scénarios de brèche sur phase liquide et d'examiner les conditions et le délai d'isolement pour ces scénarios. Ce point doit faire l'objet de l'analyse des risques de l'Etude de dangers. En particulier, il convient d'examiner les fuites par tous les piquages qui ne sont pas isolables par 2 organes d'isolement : clapet et/ou vanne commandable à distance. Pour ces fuites en effet, il doit être considéré une vidange complète de la capacité.

6.6.2 La station « Usine »

6.6.2.1 Aires de récupération

Une cuvette, généralement en béton, avec forme de pente vers un caniveau est installée :

- Pour des réservoirs verticaux, sur l'emprise au sol des réservoirs et des vaporiseurs,
- Pour les réservoirs horizontaux, à l'aplomb des équipements annexes (vaporiseurs,...) rassemblés à proximité d'un fond et sur une profondeur de 3 m au minimum sur la longueur du réservoir,

Le poste de dépotage est ceinturé par un caniveau de récupération en béton.

6.6.2.2 Capacité de rétention

Les caniveaux précédents conduisent à une cuvette de rétention déportée en béton. Ces caniveaux sont couverts de panneaux légers.

Afin de guider le dimensionnement de cette cuvette, le tableau suivant présente pour une installation-type les capacités de GNL présentes, les scénarios de fuite possibles et les organes d'isolement disponibles :

Capacités	Brèche (rupture)	Diamètre (mm)	Débit liquide brèche (L/s)	Isolement à distance
Réservoir (200 m ³)	Ligne de chargement	80	28	Vanne + clapet
	Ligne d'utilisation	25	13	Vanne
	Piquage vaporiseur	25	13	Vanne
Camion-citerne (50 m ³)	Flexible	65 à 80	28	Vanne camion

Tableau 17 : débits de fuite pour une station "usine"

A minima, la cuvette déportée est dimensionnée pour recevoir :

- 20 % de la capacité du réservoir,
- la capacité d'une citerne routière, éventuellement réduite du volume vaporisé.

Cette capacité peut être augmentée selon le débit de fuite pouvant provenir d'un réservoir, par exemple du piquage vaporiseur. Ce débit doit être comparé au débit d'évaporation dans la cuvette. La surface de la cuvette résulte en effet d'un compromis entre :

1. Une surface minimale si l'on désire réduire par évaporation le volume à récupérer provenant d'un réservoir,
2. Une surface maximale si l'objectif prioritaire est de réduire les effets sur les installations voisines d'une inflammation de nuage ou d'un feu de cuvette.

Le débit d'évaporation peut être réduit au maximum par un dispositif du type écran flottant.

Lorsque la cuvette est étanche, le point bas est équipé d'une pompe à eau pluviale. Cette pompe est dite « sacrificielle » car elle serait endommagée par une fuite de GNL.

6.6.3 Station « Port » - Stockage pressurisé

6.6.3.1 Aires de récupération

Pour les réservoirs, une cuvette en béton avec forme de pente vers un caniveau est installée à l'aplomb des équipements annexes (vaporiseurs,...) rassemblés à proximité d'un fond et sur une profondeur de 5 m au minimum sur la longueur des réservoirs.

Le poste de dépotage camion-citerne est ceinturé par un caniveau de récupération en béton.

Les postes de dépotage wagon-citerne sont équipés d'une cuvette longeant la voie et ayant pour largeur minimale la distance entre bride wagon-citerne et bride tuyauterie du stockage. Cette cuvette est connectée à un caniveau en béton.

6.6.3.2 Capacité de rétention

Les caniveaux précédents conduisent à une cuvette de rétention déportée en béton. Ces caniveaux sont couverts de panneaux légers.

Afin de guider le dimensionnement de cette cuvette, le tableau suivant présente pour une installation-type les capacités de GNL présentes, les scénarios de fuite possibles et les organes d'isolement disponibles :

Capacités	Brèche (rupture)	Diamètre (mm)	Débit liquide brèche (L/s)	Isolement à distance
Réservoir (1000 m ³)	Ligne de chargement	80	28	Vanne + clapet
	Ligne de soutirage	150	114	Vanne + vanne
	Piquage vaporiseur	25	13	Vanne
Camion-citerne ou wagon-citerne (50 m ³)	Flexible	80	28	Vanne camion-citerne /wagon-citerne

Tableau 18 : débits de fuite pour une station "port"

A minima, la cuvette déportée est dimensionnée pour recevoir :

- 20 % de la capacité du réservoir,
- la capacité d'une citerne routière ou d'un wagon, éventuellement réduite du volume vaporisé.

Cette capacité peut être augmentée selon le débit de fuite pouvant provenir d'un réservoir, par exemple du piquage vaporiseur. Ce débit doit être comparé au débit d'évaporation dans la cuvette. La surface de la cuvette résulte en effet d'un compromis entre :

1. Une surface minimale si l'on désire réduire par évaporation le volume à récupérer provenant d'un réservoir,
2. Une surface maximale si l'objectif prioritaire est de réduire les effets sur les installations voisines d'une inflammation de nuage ou d'un feu de cuvette.

Le débit d'évaporation peut être réduit au maximum par un dispositif du type écran flottant.

Lorsque la cuvette est étanche, le point bas est équipé d'une pompe à eau pluviale. Cette pompe est dite « sacrificielle » car elle serait endommagée par une fuite de GNL.

6.6.4 Station « Grand Port » - Stockage non pressurisé

6.6.4.1 Aires de récupération : cas des capacités

Le réservoir étant à double confinement ou intégrité, la seule aire de récupération correspond au manifold situé soit au sommet du réservoir, soit sur une plate-forme à proximité. La cuvette de récupération métallique est connectée à une tuyauterie d'évacuation dimensionnée pour le cas d'une petite fuite prolongée. La dimension de la brèche correspondant à cette petite fuite est déterminée par l'analyse des risques.

Les postes de chargement ou de déchargement de camion-citerne sont ceinturés par un caniveau de récupération en béton.

Les postes de dépotage wagon-citerne sont équipés d'une cuvette longeant la voie et ayant pour largeur minimale la distance entre bride wagon-citerne et bride tuyauterie du stockage.

6.6.4.2 Aires de récupération : cas des canalisations desservant les postes de chargement

Le GNL alimentant ces postes circule à une température proche de son ébullition. Afin d'éviter un épandage incontrôlé, la meilleure technologie est de disposer les canalisations dans un « pipeway » à parois latérales en béton situé au-dessus du sol ou en décaissé. Le sol est en terrain naturel. Ces pipeways sont compartimentés avec une capacité de chaque compartiment déterminée par l'analyse de risque. Le volume nécessaire dépend en effet du temps de réponse du système de détection-isolément dans les compartiments.

6.6.4.3 Capacités de rétention

La tuyauterie d'évacuation d'une fuite sur le manifold est connectée au compartiment du pipeway de canalisations le plus proche du réservoir.

Les caniveaux desservant les postes de chargement et déchargement de camion-citerne /wagon-citerne conduisent à une cuvette de rétention déportée en béton ayant la capacité d'une citerne. Ces caniveaux sont couverts de panneaux légers.

Le débit d'évaporation dans cette cuvette peut être réduit au maximum par un dispositif du type écran flottant.

Le point bas de la cuvette, si celle-ci est étanche, est équipé d'une pompe à eau pluviale.

6.7 SYSTEME DE PROTECTION INCENDIE

6.7.1 Fonctions possibles

Le tableau ci-après présente pour tous les types de station :

- les fonctions pouvant être assurées par un système de protection incendie,
- le type d'équipements assurant ces fonctions.

Fonctions	Equipements
Dilution/dispersion nuage	Rideau d'eau
Prévention allumage cuvette GNL	Déversoirs à mousse
Mitigation feu de cuvette GNL	Déversoirs à mousse
Extinction feu de camion- citerne	Extincteur mobile
Refroidissement de capacités	Arrosage à eau
Protection bureau exploitation, local instrumentation	Arrosage à eau
Protection installations voisines	Rideau d'eau Arrosage à eau

Tableau 19 : fonctions de protection incendie

Les paragraphes suivants fournissent des guides de décision pour ces dispositifs de protection incendie. La mise en place de ces dispositifs dépend de la conclusion de l'analyse des risques de l'Etude de dangers.

6.7.2 Rideau d'eau de dispersion

Un rideau d'eau a la capacité de diluer un nuage de vapeur sous sa concentration inflammable. Cette dilution s'effectue par l'air entraîné par les gouttelettes d'eau.

Ce dispositif n'a d'efficacité que si le nuage se présente à une vitesse faible. Il est inefficace sur les émissions en jet. En conséquence, il est surtout utile en cas d'épandage important de GNL sous faible pression générant un nuage à cinétique relativement lente. Il permet ainsi d'éviter une dérive du nuage vers une zone à point d'inflammation ou à présence de personnes (voie de circulation,...).

6.7.3 Générateurs et déversoirs à mousse

Des déversoirs à mousse équipant une cuvette de GNL ont une double fonction :

1. Prévenir une inflammation par formation d'un tapis de mousse,
2. Limiter le flux thermique.

Ce dispositif est réservé aux installations de grande dimension qui nécessite une cuvette déportée profonde et/ou de grande superficie. Pour une telle cuvette, l'analyse de risque peut en effet montrer qu'un flux thermique intense et prolongé génère des effets domino aggravant.

6.7.4 Arrosage à eau sur capacité

L'arrosage par un système de rampes et buses permet d'établir un film d'eau protecteur sur les réservoirs et citernes de transport. Deux cas d'agression thermique peuvent être distingués :

1. La capacité est directement impactée par un feu de jet (flux > 150 kW/m²),
2. La capacité subit un flux rayonné d'un feu de GNL voisin ou d'un feu de nappe² (flux < 150 kW/m²).

6.7.4.1 Cas d'un impact direct de flammes

Dans le cas des réservoirs fixes de GNL, la présence d'une double enveloppe et d'un isolant de type « perlite + vide » protège la cuve interne et rend peu ou pas efficace un système d'arrosage.

Les citernes mobiles présentent une épaisseur de l'enveloppe externe³ et une protection thermique du multicouche moindre. Pour ce type d'équipement :

A **court terme (< 2h)**, la montée extrêmement rapide de la température de l'enveloppe externe au point de contact de la flamme rend l'arrosage peu performant par caléfaction. Le système d'isolation joue alors un rôle essentiel dans la protection thermique de la cuve interne.

A **long terme (> 2h)**, l'arrosage peut apporter un refroidissement global de la capacité, réduisant la montée en pression, mais :

- D'une part n'apporte pas de protection vis-à-vis d'une dégradation éventuelle locale du système d'isolation,
- D'autre part nécessite de maintenir son efficacité sur une telle durée avec un flux thermique intense, ce qui est difficile à assurer.

6.7.4.2 Cas d'un feu voisin rayonnant et d'un feu de nappe enveloppant

Pour ce cas d'agression avec un flux limité, la perlite conserve son intégrité pendant le temps d'exposition. Le flux transmis au réservoir est faible sans menacer son intégrité. Un dispositif d'arrosage n'est ainsi pas nécessaire. Il peut même s'avérer un facteur aggravant ; l'arrosage d'une nappe de GNL conduisant à une activation du feu.

² Feu de nappe de petite dimension

³ Généralement de quelques millimètres

6.7.5 Arrosage en eau d'installations

Par formation d'un film d'eau, un dispositif d'arrosage protège d'un flux thermique excessif :

- Dans une station « usine », des installations voisines, capacité de procédé par exemple,
- Dans une station « port », le bureau d'exploitation en tant que refuge pour le personnel d'exploitation.

6.7.6 Rideau d'eau de protection

Un rideau de gouttelettes calibrées atténue le flux thermique rayonné par un feu de GNL. Le coefficient d'atténuation, de l'ordre de 50 %, peut s'avérer insuffisant en raison du flux intense rayonné par un feu de GNL.

6.7.7 Extincteurs pour feu de camion-citerne

L'accidentologie des dépôts d'hydrocarbure indique qu'une prise en feu de camion-citerne peut se produire à l'arrivée sur le site. En supplément des extincteurs portatifs présents au poste de chargement/déchargement, au moins un extincteur de 50 kg est présent à proximité :

- Pour la station « usine », sur le site utilisateur,
- Pour la station « port », à une distance sûre des postes.

6.8 REGLES DE SECURITE GENERALES

6.8.1 Généralités

Les installations doivent se conformer aux règles de sécurité générales mentionnées dans la norme EN 13645, paragraphe 8.

6.8.2 Zones dangereuse et zones d'accès limité

La classification des zones dangereuses doit être réalisée conformément à l'EN 60079-10 et les équipements qui se trouvent dans ces zones doivent être sélectionnés conformément à l'EN 1127-1.

Des panneaux d'avertissement doivent informer les personnes des risques ou donner des instructions.

6.8.3 Aires de chargement et de déchargement

Les aires de déchargement ou de chargement doivent être prises en compte dans la classification des zones dangereuses.

Une instruction d'exploitation doit définir les procédures de sécurité requises pour les aires de déchargement ou de chargement.

6.8.4 Circulation et stationnement

L'implantation générale de l'installation doit être conçue pour éviter tout encombrement. Elle doit permettre un accès en toute sécurité pour l'exploitation, la maintenance et la lutte contre les incendies.

La circulation et le stationnement de véhicules à l'intérieur du site doivent être définis en conformité avec le plan de sécurité. La conception et les procédures d'exploitation doivent être élaborées de manière à réduire ou à éliminer les risques de choc de véhicules en chargement ou déchargement.

Des mesures doivent être prises et des protections prévues pour éviter tout impact des véhicules contre les réservoirs de stockage et les citernes mobiles.

L'éclairage des équipements doit être suffisant pour assurer les opérations de chargement et de déchargement en toute sécurité.

6.8.5 Implantation des installations

Ce point est développé au §9.

Les distances séparant les installations doivent tenir compte a minima de :

- Les effets de scénarios de référence en limite d'inflammabilité, surpression et flux thermique
- Les nuisances sonores de certains équipements (compresseurs,...).

Le local réservé au contrôle de la sécurité doit se trouver en dehors des zones dangereuses. Les occupants doivent être protégés aussi longtemps que nécessaire pour mener à bien les procédures d'urgence et quitter le site.

L'admission d'air des éventuelles pompes à moteur diesel destinées à la lutte contre les incendies et des groupes électrogènes doit se trouver en dehors des limites du nuage inflammable.

7. ANALYSE DES RISQUES

7.1 CONTENU

Ce chapitre présente une analyse des risques génériques pour les 3 types de station : « Usine », « Port » et « Grand Port ». Cette analyse comporte :

- Une accidentologie commune aux 3 types en y incluant les transports terrestres,
- Des mesures générales de maîtrise des risques naturels (inondation, foudre, séisme),
- Une sélection d'événements redoutés avec leur cause possible et leur fréquence d'occurrence générique,
- Une sélection de phénomènes dangereux avec descriptif des outils de modélisation et une estimation de distances d'effet,
- Une analyse générique d'effet domino,
- Une analyse détaillée des risques sous forme de nœud-papillons génériques.

En outre, la prévention du scénario de BLEVE de réservoir pressurisé fait l'objet d'un paragraphe dédié (voir §7.7).

Cette analyse des risques générique doit guider un futur d'exploitant dans son choix d'une stratégie de maîtrise des risques. Les valeurs d'estimation des risques en intensité, probabilité et cinétique sont ici données à titre indicatif.

7.2 ACCIDENTOLOGIE

7.2.1 Banque de données

Une recherche bibliographique a permis d'identifier les événements représentatifs suivants sur des installations de stockage fixes et sur des navires ou véhicules en chargement/déchargement de leur cargaison :

Date	Lieu	Installations	Phénomènes	Causes possibles
2018	France	Déchargement camion GNL	Fuite de GNL	Mauvaise connexion flexible / Joint défectueux
2017	France	Poste de livraison GNL	Fuite de GNL puis explosion	Bride défectueuse
2016	France	Terminal méthanier	Fuite enflammée en pied de torche Envoi de GNL dans réservoir en cours de refroidissement	Inhibition d'alarmes en phase de commissioning
2015	Barcelone	Terminal GNL	Sur-remplissage cuve de navire puis fuite de GNL	Tank Protection System désactivé et position incorrecte vanne de cuve
2014	Risavika (Norvège)	Poste d'avitaillement	Petite fuite de GNL	Tension sur la connexion du flexible

Date	Lieu	Installations	Phénomènes	Causes possibles
2011	Rotterdam	Terminal GNL	Petite fuite	Travaux de maintenance
2011	Milford Haven	Méthanier en déchargement	Petite fuite	Fuite sur capteur de température
2010	Nigeria	Méthanier en chargement	Forte fuite	Erreur de ballastage
2010	Montoir	Méthanier en déchargement	Dommage sans fuite sur conduite navire	GNL dans circuit des évaporations
2009	Indonésie	Réservoir	Fuite sur manifold	Mise en froid incorrecte
2006	Jordanie	Méthanier en déchargement	Fuite enflammée	Fuite phase gazeuse
2006	USA	Méthanier en déchargement	Rupture d'amarrage sans fuite	Sillage de navire passant à proximité
2003	Fos	Terminal GNL	Explosion et feu	Fuite de drain de torchère
1997	Angleterre	Réservoir	Fuite gazeuse	Installation de densitomètre
1994	USA	Méthanier en déchargement	Rupture d'amarrage sans fuite	Amarrage défectueux
1991	-	Terminal GNL	Dommage sur rack sans fuite	Mouvement de grue
1989	Algérie	Méthanier en chargement	Arrachage des bras après rupture d'amarres. Epanchage du GNL contenu dans les bras/tuyauterie	Tempête
1988	USA	Terminal GNL et méthanier en déchargement	Fuite sur soupape de bras	Soupape défectueuse
1988	USA	Terminal GNL et méthanier en déchargement	Fuite liquide sur ligne de drainage	Coup de bélier lors d'une reprise de déchargement
1985	-	Terminal GNL	Dommage sur canalisations sans fuite	Chute de grue (sol de mauvaise qualité)
1985	-	Terminal GNL et méthanier en déchargement	Fuite sur pont avec dommage	Sur-remplissage du réservoir
1983	Japon	Terminal GNL et méthanier en déchargement	Fuite sur bras en phase de mise en froid	Mise en marche moteur navire
1982	Asie	Terminal GNL et méthanier en déchargement	Fuite sur bras avec dommages sur appontement et navire	Mouvement navire

Date	Lieu	Installations	Phénomènes	Causes possibles
1980	-	Méthanier	Fuite vapeur sur bras	Déconnexion de bras
1979	USA	Méthanier en déchargement	Fuite sur clapet anti-retour	Clapet défaillant
1978	EAU	Réservoir	Brèche sur piquage de fond dans la double-enveloppe avec émission gazeuse	Fissures de contraintes thermiques
1977	Indonésie	Terminal GNL et méthanier en chargement	Débordement liquide par évent	Alarme de jauge mise hors-service
1977	Algérie	Réservoir	Rupture de vanne sur toit et épandage massif sans inflammation	Mauvais matériau (alliage d'aluminium)
1974	USA	Terminal GNL et barge en chargement	Fuite par vanne de purge sur pont	Coup de bélier après panne électrique
1971	Italie	Terminal GNL	Ouverture soupape réservoir Dommage mineur au toit	Roll-over

Tableau 20 : accidentologie

7.2.2 Principaux enseignements

- Il n'est relevé aucun cas de fuite importante sur des installations terrestres de chargement/déchargement de camion. 2 cas de BLEVE de camion-citerne ont été observés mais ils se sont produits en Espagne sur la voie publique. Ils concernaient des camions à simple enveloppe de type « calorifugé ». Cette technologie est aujourd'hui interdite par l'ADR pour les nouveaux véhicules. Plusieurs terminaux méthaniers en Europe interdisent l'accès à leurs installations.
- Concernant les opérations de chargement/déchargement de navire, sont relevés :
 - 1 cas d'arrachage des bras. Ces derniers n'étaient pas équipés d'un système de déconnexion rapide,
 - Plusieurs cas de fuite,
 - 5 cas de mouvements de navire avec bras connectés, dont 3 ayant occasionné une fuite.
- Un cas de roll-over a été observé sur un terminal méthanier en 1971.

7.3 MAITRISE DES RISQUES NATURELS

La conception et le dimensionnement des installations doit être réalisée en adéquation avec les risques naturels spécifiques à la zone d'implantation.

Vis-à-vis de certains agresseurs, il existe des textes réglementaires auxquels l'installation doit se conformer : c'est le cas notamment des risques liés aux inondations, à la foudre et au séisme.

La circulaire du 10 mai 2010 prévoit que les événements initiateurs d'origine naturelle doivent être considérés comme des événements initiateurs dans l'étude de dangers. Elle précise que ces événements initiateurs n'ont pas à être cotés en probabilité si la réglementation en vigueur (PPRi, arrêté du 4 octobre 2010) est appliquée.

7.3.1 Inondation

Lorsqu'une station est implantée dans une zone inondable, des dispositions sur les réservoirs sous pression doivent être prises vis-à-vis :

- Des efforts verticaux dus à la poussée d'Archimède,
- Des efforts horizontaux dus au courant, aux embâcles,...

Ces dispositions peuvent être :

- Une procédure de remplissage minimal permettant de lester le réservoir,
- Des renforts de liaison avec les berceaux, les pieds,
- ...

7.3.2 Foudre

Les stations font l'objet d'une analyse de risque foudre (ARF), et le cas échéant, d'une étude foudre, prévues par la section III de l'arrêté du 4 octobre 2010 relative à la protection contre la foudre.

Pour équilibrer le potentiel, toutes les structures métalliques, y compris les véhicules de transport en chargement ou déchargement, doivent être électriquement reliées et connectées à la terre du site.

Les équipements sensibles tels que les tuyaux d'évent doivent être directement reliés à la terre sans prendre en compte la conductivité de la tuyauterie

7.3.3 Séisme

Les stations dont la capacité de stockage excède 50 t relève de la section II de l'arrêté du 4 octobre 2010 relative aux règles parasismiques applicables à certaines installations.

L'analyse de risques doit ainsi déterminer si une défaillance d'équipements à la suite d'un séisme conduit à un scénario avec effet grave sur une zone à « occupation humaine permanente ». Un tel scénario implique en effet de dimensionner l'équipement (réservoirs, canalisations,...) au séisme de risque spécial défini dans l'arrêté.

7.4 EVENEMENTS REDOUTES

7.4.1 Rappel réglementaire

La circulaire du 10 mai 2010 fixe des règles de sélection de brèche pour les tuyauteries de GNL.

Ainsi, pour les tuyauteries de diamètre strictement supérieur à DN150 (6''), une brèche de 33% du diamètre est retenue au lieu de la rupture-guillotine sous réserve de :

- L'absence d'effet domino externe,
- Une probabilité de classe « E »,
- Six conditions de conception et d'exploitation dont une protection physique contre un choc avec un « véhicule habituellement présent dans l'établissement et se déplaçant à une vitesse autorisée ».

Dans le présent Guide, les conditions précédentes sont supposées réunies.

7.4.2 Liste des événements et causes possibles

L'Evaluation Préliminaire des Risques (EPR) réalisée dans l'EDD a pour objectif d'identifier l'ensemble des scénarios d'accidents susceptibles d'avoir lieu sur l'installation étudiée.

Les événements redoutés (ER) les plus typiques, au sens « perte de confinement », sont inventoriés et leurs causes possibles sont indiquées dans les tableaux suivants. De manière simplifiée, les brèches de perte de confinement sont prises aux dimensions suivantes :

- Pour les tuyauteries, rupture totale type guillotine (pour diamètre de 6'' au plus) et brèche de 33% du diamètre,
- Pour les bras et flexibles, rupture guillotine et brèche réduite,
- Pour les capacités, rupture totale, fuite sur piquage non isolable (plafonnée à 50 mm de diamètre) et orifice d'exutoire en cas de débordement.

La liste présentée ici est ainsi à considérer comme un inventaire a minima. On rappelle en outre que pour les lignes, il est fréquemment retenu 3 dimensions de brèche dans les Etudes de danger.

Station « Usine »			
Événement redouté	Brèche	Causes possibles	Observations
Fuite sur flexible de dépotage	5 mm / 15 mm Rupture	Vieillessement Mauvaise connexion Mouvement camion	Retour expérience UK HSE
Rupture de citerne routière	Rupture	Jet enflammé	BLEVE possible
Fuite sur ligne de remplissage	33 %DN	Choc froid Coup de bélier	
	Rupture	Surpression Impact	
Débordement	Orifice	Sur-remplissage	
Fuite sur réservoir	≤ 25 mm	Surpression Impact	Rupture petit piquage non isolable (dimensions typiques : 1'' ou ½'')
Rupture de réservoir	Rupture	Jet enflammé Surpression interne Défaillance supports	BLEVE possible
Fuite sur ligne de soutirage	33 %DN	Choc froid Coup de bélier	Tuyauterie de soutirage de petit diamètres (2 à 3'')
	Rupture	Surpression Impact	Cas rencontré : tuyauterie 2'' équipé d'un diaphragme 1''
Fuite sur ligne gaz	Rupture Brèche 33 %DN	Invasion GNL	
Fuite sur pompe	Rupture Brèche	Défaillance mécanique	

Tableau 21 : événements redoutés station "usine"

Station « Port » et « Grand Port »			
Événement redouté	Brèche	Causes possibles	Observations
Fuite sur flexible de dépotage camion/wagon	5 mm/15 mm Rupture	Viellissement Mauvaise connexion Mouvement camion/wagon	Retour expérience UK HSE
Rupture de citerne	Rupture	Jet enflammé	BLEVE
Fuite sur flexible/bras de déchargement navire	Rupture Brèche	Viellissement Mauvaise connexion Mouvement navire	Taille de brèche définie suivant les banques de données utilisées (10% section, 5 mm, 15 mm...)
Fuite sur ligne de remplissage	33 %DN	Choc froid Coup de bélier Surpression pompe	
	Rupture	Surpression Impact	
Débordement de réservoir pressurisé	Orifice	Sur-remplissage	Cas sans connexion gaz
Fuite sur réservoir pressurisé	≤ 50 mm	Surpression Impact	Rupture petit piquage non isolable (dimensions typiques : ½'', 1'' ou 2'')
Rupture de réservoir pressurisé	Rupture	Jet enflammé Surpression interne Défaillance supports	BLEVE possible
Surpression dans réservoir non pressurisé	Rupture	Débordement Surpression	Surpression par vaporisation dans enceinte secondaire réservoir autoportant (contact avec perlite)
Fuite sur réservoir non pressurisé	<50 mm	Surpression Impact	Petit piquage non isolable
Fuite sur ligne de soutirage	Rupture	Surpression Impact	
	33 %DN	Choc froid Coup de bélier Surpression pompe	

Station « Port » et « Grand Port »			
Fuite sur pompe	Rupture Brèche	Défaillance mécanique	
Fuite sur ligne de chargement camion ou navire	33%DN	Choc froid Coup de bélier	
	Rupture	Surpression Impact	
Débordement de camion	Soupape	Sur-remplissage	Cas sans connexion gaz
Débordement de réservoir navire	Soupape	Sur-remplissage	Cas sans connexion gaz

Tableau 22 : événements redoutés station "port" et "grand port"

Commentaires

1. Les impacts sur tuyauteries considérés sont ceux par un véhicule (ligne au sol) ou par un engin (ligne en altitude).
2. Les chocs froids sont ceux provoqués par une mise en froid trop rapide d'une ligne de transfert. La brèche résultante est supposée plafonnée à 33% du diamètre.
3. Les surpressions sur ligne sont celles provoquées par l'isolement d'un tronçon rempli de GNL.
4. Dans le cas d'une ligne de remplissage depuis un navire, une surpression peut également être causée par des pompes de navire à forte hauteur de refoulement. La brèche résultante est supposée plafonnée à 33% du diamètre.
5. Les installations annexes doivent également être étudiées dans le cadre de l'étude de dangers.
6. Les risques associés à l'approvisionnement par container, non listés dans les tableaux précédents, doivent également faire l'objet d'une analyse de risques dans l'étude de dangers. Les risques associés sont assimilables à ceux des camions.

7.4.3 Agressions sur les canalisations

7.4.3.1 Cas des canalisations internes à la Station

Les agressions mécaniques par véhicules ou engins peuvent être la cause de brèche importante sur les canalisations de GNL.

Les agressions thermiques sur une canalisation à isolation type polyuréthane peuvent conduire également à de grosse brèche avec inflammation immédiate.

Pour la maîtrise de l'urbanisation, la Circulaire du 10 mai 2010 offre la possibilité d'écarter la rupture-guillotine si l'on met en place des dispositifs de protection. Parmi ces dispositifs, on peut citer :

- Mise en enterré avec une isolation appropriée,
- Mise en caniveau béton,

- Mise en pipeway avec parois latérales béton,
- Rails de protection ou équivalent sur canalisation aérienne (pour agression mécanique par véhicule uniquement),
- ...

7.4.3.2 Cas des canalisations externes à la Station (Canalisations de transport)

Le Guide GESIP (2012) indique les brèches de référence pour une Etude de Dangers en fonction des mesures de protection des canalisations.

Pour les canalisations enterrées, le risque d'agression par un tiers est à prendre en compte : cela conduit à retenir une brèche de 70 mm pour l'Etude.

Pour les canalisations aériennes, la brèche de référence est de 12 mm si des dispositifs de protection vis-à-vis des agressions mécaniques et thermiques sont mises en place. Ces dispositifs sont analogues à ceux mentionnés pour les canalisations en station :

- Mise en caniveau béton,
- Mise en pipeway avec parois latérales béton,
- Rails de protection ou équivalent (pour agression mécanique par véhicule uniquement),
- ...

7.4.4 Fréquences génériques

7.4.4.1 Conditions d'utilisation

Par définition, les fréquences génériques issues de banques de données ne sont à utiliser que pour des causes génériques de dommage mécanique au matériel. En outre, il n'existe pas de banques relatives au GNL. En conséquence, ces valeurs de fréquence ne peuvent couvrir aucun événement initiateur spécifique des installations GNL et qui soit une cause prépondérante de perte de confinements. Ces événements initiateurs spécifiques doivent en effet être intégrés dans un arbre des causes quantifié. Ces événements sont par exemple :

- Choc froid dû à une mise en froid défailante,
- Surpression due à une défaillance de procédé,
- ...

En conséquence, sur la base des valeurs de fréquences génériques issues de banque de données, il est recommandé de :

- Réaliser une analyse des causes en lien avec des dérives de procédé afin d'identifier :
 - D'éventuelles causes spécifiques qui ne seraient alors pas prises en compte dans les fréquences issues de l'exploitation de banques de données génériques,
 - Les barrières mises en œuvre vis-à-vis de ces causes.

Cette analyse doit permettre de fournir des éléments permettant de positionner les installations étudiées vis-à-vis des valeurs proposées par les banques de données disponibles.

7.4.4.2 Banques de données de référence

Les valeurs-guide de fréquence proposées sont issues de 2 documents :

1. Le document néerlandais « Reference Manual Bevi Risk Assessment » (RMBRA) (2009)[6].
2. Le document du HSE britannique « Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessment (28/06/12)[7]

Le RMBRA est une référence classique pour les installations industrielles en France.

Le document HSE est cependant mieux documenté sur les équipements (bras, flexible, pompe,...).

Pour ces 2 documents, les valeurs sont utilisées pour le GNL. Cette approche est pénalisante pour le GNL du fait des matériaux utilisés (acier inox à forte ductilité) et des différences de technologies (cuve double paroi,...).

En complément, est utilisé le retour d'expérience de SHELL auprès de ses clients livrés en GNL par citerne routière (voir § suivant).

Le tableau suivant mentionne pour chaque équipement la banque de données utilisée :

Equipements	RMBRA	HSE	Rex SHELL
Réservoirs	×	×	
Tuyauteries	×		
Pompes	×	×	
Compresseurs		×	
Bras sur navire/berge		×	
Flexible sur véhicule		×	×

Tableau 23 : banques de données

NOTA : Les fréquences de fuite fournies par les différentes banques de données peuvent avoir des périmètres variables selon les sources. Certaines valeurs de fréquences tiennent compte par exemple de mesures de maîtrise des risques et de bonnes pratiques. Il conviendra de s'assurer de l'adéquation entre la configuration étudiée et le domaine d'application des banques de données utilisées.

7.4.4.3 Cas des flexibles sur véhicules

Les valeurs de fréquences figurant dans le document HSE sont modulées selon la présence de mesures de sécurité : cale sur véhicule, test d'étanchéité, système « breakaway »,...

Une analyse statistique de SHELL porte sur 4 961 400 transferts par flexible sans incident.

Ces transferts sont supposés effectués avec 3 mesures de préventions (cales, asservissement frein à main, test d'étanchéité) sans « breakaway ».

Par une analyse statistique, SHELL obtient la valeur suivante pour une rupture de flexible :

Niveau de confiance = 50% => $F_{ER} = 1,4.10^{-7}/\text{transfert}$

Niveau de confiance = 90% => $F_{ER} = 4,7.10^{-7}/\text{transfert}$

TECHNIP constate que le retour d'expérience est meilleur que la valeur proposée par UKHSE ($4.10^{-6}/\text{transfert}$). En conséquence, pour ses estimations du risque, TECHNIP retient une valeur correspondant à une décote de 10 sur UKHSE et un niveau de confiance proche de 90 % selon l'analyse SHELL, soit :

$$F_{ER} = 4.10^{-7}/\text{transfert}$$

7.4.4.4 Cas des bras pour navires et barges

Dans le document HSE, les bras sont supposés équipés d'un système « Emergency Release Coupling » (ERC) avec alarme de débatement. Ce système est donc supposé défaillant avec les vannes d'isolement restant ouvertes.

7.4.4.5 Valeurs-guide proposées

Quelques valeurs de fréquences-guide d'événements redoutés sont données ci-après.

Fuites sur réservoirs pressurisés aériens ou enterrés

Source RMBRA :

- Brèche conduisant à une vidange totale et continue sur 10 min : $5.10^{-7}/\text{an}$
- Brèche de 10 mm de diamètre effectif : $1.10^{-5}/\text{an}$

Source HSE :

Type d'équipement	Evènement Redouté	Probabilité d'occurrence
Réservoir GNL réfrigéré – Double paroi	Rupture catastrophique	$5.10^{-8}/\text{an}$
	Fuite majeure (1000 mm pour les réservoirs > 12 000 m ³)	$1.10^{-6}/\text{an}$
	Fuite mineure (300 mm pour les réservoirs > 12 000 m ³)	$3.10^{-6}/\text{an}$

Tableau 24 : Fréquences de fuite sur réservoir de stockage GNL (source HSE)

Fuites sur tuyauteries

Diamètre DN	Fréquence de rupture guillotine]33% DN-100% DN]	Fréquence de fuite brèche intermédiaire]10% DN-33% DN] (*)	Fréquence de fuite petite brèche]0% DN-10% DN]
< 75 mm	$1.10^{-6}/\text{an.m}$	$9,6.10^{-6}/\text{an.m}$	$1,5.10^{-5}/\text{an.m}$
75 à 150 mm	$3.10^{-7}/\text{an.m}$	$1,3.10^{-6}/\text{an.m}$	$2.10^{-6}/\text{an.m}$
> 150 mm	$1.10^{-7}/\text{an.m}$	$7,9.10^{-7}/\text{an.m}$	$1,5.10^{-6}/\text{an.m}$

Tableau 25 : fréquences génériques de fuite sur tuyauterie

(*) : valeurs interpolées par TECHNIP pour le GPL

NOTA : les valeurs présentées dans le tableau 24 sont basées sur :

- Les valeurs RMBRA légèrement surcotées pour tenir compte des valeurs fournies dans le cadre du projet ARAMIS : un facteur de surcote de 3 a été appliqué aux fréquences RMBRA pour la brèche 10%DN pour les DN < 75 mm et DN > 150 mm,
- L'ajout d'un intervalle de taille de brèche intermédiaire]10%DN-33%DN]⁴.

Cette approche a été retenue afin de disposer de 3 intervalles de tailles de brèches représentatives afin d'élargir le panel des tailles de brèches utilisées et de pouvoir appliquer la règle de cumul de la Circulaire du 10 mai 2010.

Il s'agit des valeurs habituellement utilisées par TECHNIPFMC pour le GPL.

Fuites sur pompes

		Fréquence de rupture	Fréquence de fuite 10%DN
1	Pompe à garniture simple	$3.10^{-5}/\text{an}$	$5.10^{-4}/\text{an}$
2	Pompe à garniture double	$3.10^{-5}/\text{an}$	$5.10^{-5}/\text{an}$
3	Pompe sans garniture (rotor noyé,...)	$1.10^{-5}/\text{an}$	$5.10^{-5}/\text{an}$

Tableau 26 : fréquences génériques de fuite sur pompes

NOTA : Le tableau précédent présente les valeurs disponibles pour caractériser les pompes susceptibles d'être rencontrées sur les installations couvertes par le guide. Celles-ci sont à la fois issues du HSE et du RMBRA :

- Les valeurs HSE (N°1 et N°2) relatives à des pompes « standard » permettent de dissocier les types de garnitures,
- Les valeurs du RMBRA sont relatives à des pompes immergées.

L'exploitant justifiera les valeurs retenues en fonction du type de pompe mise en œuvre et des conditions d'exploitation (mise en froid, ...).

⁴ Cet intervalle de taille de brèche a été ajouté afin de pouvoir appliquer les règles d'exclusion de la Circulaire du 10 mai 2010 fixant des règles de sélection de brèche à retenir dans le cadre du PPRT pour les tuyauteries de GNL. Ainsi, pour les tuyauteries de diamètre strictement supérieur à DN150 (6''), une brèche de 33% du diamètre est retenue au lieu de la rupture-guillotine sous réserve de respecter certaines conditions.

Fuite sur compresseurs

	Fréquence de rupture	Fréquence de fuite (75-110 mm)	Fréquence de fuite (25-75 mm)	Fréquence de fuite (0-25 mm)
Compresseurs centrifuges	$2,9.10^{-6}/\text{an}$	$2,9.10^{-6}/\text{an}$	$2,7.10^{-4}/\text{an}$	$1,2.10^{-2}/\text{an}$
Compresseurs alternatifs	$1,4.10^{-5}/\text{an}$	$1,4.10^{-5}/\text{an}$	$3,3.10^{-3}/\text{an}$	$8,6.10^{-2}/\text{an}$

Tableau 27 : fréquences génériques de fuite sur compresseurs (source HSE)

Fuites sur bras et flexibles

	Fréquence de rupture guillotine (/opération)	Fréquence de fuite (*) (/opération)	Mesures prises en compte
Bras sur navire	$7.10^{-6}/\text{opération}$	$8.10^{-6}/\text{opération}$	ERC et alarme de débatement

Tableau 28 : fréquences génériques de fuite sur bras

(*) : 10 % de la section pour les bras

NOTA : les valeurs proposées par la HSE pour les rupture et fuite sur bras intègrent un certain nombre d'hypothèses. Il convient de vérifier l'applicabilité de ces valeurs à la configuration étudiée ou d'appliquer des coefficients de correction en cas d'écart par rapport aux hypothèses de référence.

		Fréquence de rupture guillotine (/opération)	Fréquence de fuite 15 mm (/opération)	Fréquence de fuite 5 mm (/opération)	Mesures prises en compte
Flexible sur véhicule	1	$4.10^{-5}/\text{opération}$	$1.10^{-6}/\text{opération}$	$1,3.10^{-5}/\text{opération}$	1 mesure de prévention type cale + test d'étanchéité
	2	$4.10^{-7}/\text{opération}$	$4.10^{-7}/\text{opération}$	$6.10^{-7}/\text{opération}$	2 mesures de prévention (cale,...) + test d'étanchéité
	3	$2.10^{-7}/\text{opération}$	$4.10^{-7}/\text{opération}$	$6.10^{-7}/\text{opération}$	2 mesures de prévention (cale,...) + test d'étanchéité + mitigation type breakaway

Tableau 29 : fréquences génériques de fuite sur flexible – valeurs HSE avec décote

	Fréquence de rupture guillotine (/heure)	Fréquence de fuite (*) (/heure)	Mesures prises en compte
Flexible	4.10 ⁻⁶	4.10 ⁻⁵	Fermeture vannes sur activation d'un bouton d'arrêt d'urgence

(*) : 10 % DN bras ou flexible, 50 mm au maximum.

Tableau 30 : Fréquences génériques de fuite sur bras et flexible (camion, wagon, navire)

NOTA : Les valeurs fournies par le HSE pour les flexibles concernent les flexibles de déchargement camion. Elles ne sont pas représentatives de flexibles de déchargement navires (cause de rupture et de fuite et mesure de prévention en place différentes de celles couvertes par la banque). Les valeurs du RMBRA (Tableau 30) couvrent quant à elles sans distinction les flexibles camions, wagons et navires.

Aucune source fournissant des valeurs relatives aux flexibles de chargement navire n'a été identifiée.

A défaut de valeurs plus adaptées, l'utilisation des valeurs de fréquence les plus sévères sera recommandée avec éventuellement l'application de facteurs de surcote suivant les mesures en place au niveau du flexible.

7.5 PROBABILITE D'INFLAMMATION

Des probabilités d'inflammation d'une fuite de GNL sont données ci-après. Ces valeurs sont relatives à l'inflammation retardée de fuites de courte (< 30 s) et de longue durée (> 30s) :

	Zone ATEX (y compris poste de dépotage)	Zone non ATEX faiblement fréquentée (en site et hors site)	Autre zone non ATEX
Fuite courte durée	0,1	0,1	1
Fuite longue durée	0,1	1	1

Tableau 31 : probabilités d'inflammation

La probabilité d'inflammation immédiate de grosse fuite (> 10 kg/s) sur tuyauterie peut être considérés voisine de 1.

7.6 PHENOMENES DANGEREUX

7.6.1 Sélection

Dans la réglementation française (Circulaire du 10 mai 2010), la sélection des phénomènes dangereux est effectuée sur 3 niveaux :

1. Les phénomènes à retenir dans l'Etude de dangers et à inclure dans la maîtrise de l'urbanisation (Servitude d'Utilité Publique ou Porter à connaissance),
2. Les phénomènes à retenir dans l'Etude de dangers mais à exclure de la maîtrise de l'urbanisation,
3. Les phénomènes non retenus car étant « physiquement impossible ».

Phénomènes retenus dans l'Etude de dangers

Une liste indicative d'Evènements Redoutés et des phénomènes dangereux associés à étudier dans l'EDD est fournie ci-après :

Evènement redouté	Phénomènes dangereux	Effets
Fuite sur flexible/bras, ligne ou réservoir (cas « pressurisé »)	UVCE / feu de nuage	Thermique
	UVCE	Surpression
	Jet enflammé	Thermique
Fuite sur flexible/bras, ligne ou réservoir (cas « non pressurisé »)	UVCE / feu de nuage	Thermique
	UVCE	Surpression
	Feu de nappe (au sol)	Thermique
Rupture de réservoir (cas « pressurisé »)	BLEVE	Surpression Thermique Projectiles
Rupture de citerne camion/wagon	BLEVE	Surpression Thermique Projectiles

Tableau 32 : phénomènes dangereux retenus dans l'étude de dangers

Parmi ces phénomènes, le BLEVE de réservoir peut faire l'objet d'une exclusion pour la maîtrise de l'urbanisation. Ce point est justifié au §7.7.

Phénomènes non retenus dans l'Etude de dangers

Les phénomènes associés aux événements redoutés suivants peuvent être considérés comme « physiquement impossible » au sens de la Circulaire du 10 mai 2010 et donc ne pas apparaître dans l'Etude de dangers :

- Rupture-guillotine de canalisations protégées selon les dispositions du §7.4.1,
- Rupture à la liaison robe-fond de l'enceinte secondaire d'un réservoir à fond plat non pressurisé.

7.6.2 Modèles d'estimation des conséquences

7.6.2.1 Généralités

Ce paragraphe présente des modèles-type utilisés dans les étapes successives d'estimation des conséquences. Ces modèles sont mis en œuvre dans les logiciels d'estimation classique du type PHAST, FRED, ou PERSEE+...

Sont également fournis des valeurs-guide de certaines données d'entrée.

7.6.2.2 Terme-source (débit à la brèche)

Les débits à la brèche diphasiques sont calculés par les logiciels classiques.

Pour les ruptures-guillotine, la combinaison des 2 contributions est effectuée selon la règle en vigueur pour le GPL.

En cas de brèche majeure au refoulement des pompes, il y a emballement avec un débit plafonné par le régime de la pompe. En l'absence d'abaque de fonctionnement, les coefficients multiplicateurs sur le débit nominal suivant peuvent être retenus :

- Cas de GNL pressurisé : coefficient = 2,
- Cas de GNL non pressurisé : coefficient = 1,2.

7.6.2.3 Vaporisation avec épandage au sol

Dans le cas de GNL pressurisé (pression de vapeur saturante > 3 bar eff), à l'instar du GPL, les logiciels montrent une dispersion majoritairement par aérosol et un épandage au sol relativement faible.

Dans le cas du GNL non pressurisé (pression de vapeur saturante < 0,1 bar eff), les logiciels montrent un comportement similaire à celui des liquides volatils avec un épandage au sol important. Le logiciel calcule alors l'extension de la nappe de liquide bouillant. L'épaisseur de la nappe étant d'au minimum 1 cm pour un sol bétonné, 3 cm pour un sol moyen et plus de 10 cm pour un sol sablonneux. Le débit d'évaporation variable correspondant est calculé en fonction des apports thermiques du sol et de l'atmosphère. Le sol étant peu conducteur, le débit d'évaporation est modéré.

7.6.2.4 Vaporisation avec épandage sur eau

Le comportement est similaire au cas au sol. Dans le cas du GNL non pressurisé, l'épandage sur eau est important avec un traitement particulier de la vaporisation sur eau.

Par exemple, le logiciel PHAST calcule le débit d'évaporation du liquide bouillant par un coefficient d'échange constant avec l'eau, estimé à 500 W/m².K. Avec de l'eau à 10°C, on obtient ainsi un débit surfacique d'évaporation de 0,17 kg/m².s. L'épaisseur de la nappe étant faible (de l'ordre de 1 mm), il s'ensuit que le débit d'évaporation atteint rapidement le débit à la brèche pour un GNL non pressurisé.

7.6.2.5 Dispersion du nuage

Les logiciels type PHAST, FRED, PERSEE+... traite la dispersion du méthane à l'aide d'un modèle dit « intégral » qui résout les équations de la mécanique des fluides sous une forme simplifiée.

Dans le cas du GNL pressurisé, la phase liquide se vaporise par entrainement d'air du jet. Le panache a un comportement de gaz lourd en raison du refroidissement massif de l'air entrainé.

Dans le cas du GNL non pressurisé, l'évaporation de nappe génère un panache qui se disperse en restant au niveau du sol. L'effet de densité favorable dû à la masse volumique du méthane est en effet compensé par le refroidissement de l'air entrainé.

7.6.2.6 UVCE (feu de nuage)

La modélisation de la dispersion permet d'obtenir le contour du nuage inflammable et donc l'emprise du feu de nuage.

7.6.2.7 UVCE (onde de surpression)

Dans l'emprise du nuage inflammable, les zones à encombrement par obstacles détermine un niveau de sévérité des explosions selon la méthode MultiEnergy.

Pour les stations « usine », le niveau de sévérité est déterminé par les installations de l'établissement utilisateur.

Pour les stations « port », les installations n'étant pas à encombrement marqué, les niveaux de sévérité suivants peuvent être retenus pour un UVCE du type « champ libre »:

- Installations à terre : « 4 » (surpression = 10 kPa),
- Plan d'eau : « 3 » (surpression = 5 kPa).

Sur des zones voisines du site à encombrement marqué (parking camions, aire de stockage, ...), le niveau peut être porté à « 5 » (surpression = 20 kPa) voire « 6 » dans certains cas particulier (ex : parking avec de nombreux camions).

Ces valeurs d'indices d'explosion ne sont cependant que des indications et ne se substituent pas à une analyse au cas par cas.

7.6.2.8 *Jet enflammé*

L'approche la plus courante pour modéliser les effets d'un jet enflammé est l'approche de la flamme solide. Elle consiste à assimiler le jet enflammé à un tronc de cône qui rayonne.

Les caractéristiques de ce cône sont obtenues via des corrélations empiriques et qui ont été implémentées dans la plupart des logiciels de type PHAST ou Fred.

Les résultats de la modélisation sont principalement les flux thermiques rayonnés dans l'environnement car, aux seuils d'effets réglementaires, c'est ce mode de transfert de chaleur qui conduit aux plus grandes distances. Toutefois, il est rappelé que fournir des résultats de calculs intermédiaires comme la longueur de flamme est pertinent pour juger notamment des impacts thermiques par convection au sein des flammes.

L'estimation de la puissance thermique transmise sur des objets impactés par la flamme doit s'appuyer sur des travaux expérimentaux, lesquels ont fait l'objet d'interprétations et de synthèses compilées dans des documents de type « guide » (FABIG, 2014 par exemple). Les valeurs à retenir dans ce cas de figure sont celles présentées au chapitre décrivant les phénomènes dangereux.

7.6.2.9 *Feu de nappe*

De la même façon que pour le jet enflammé, l'approche généralement utilisée pour modéliser les effets d'un feu de nappe consiste à recourir à un modèle dit de flamme solide. Ce modèle est caractérisé par une base, correspondant à la forme de la nappe (circulaire, rectangulaire ou autre en fonction de la forme de la cuvette de rétention), une hauteur (hauteur de flamme), éventuellement une inclinaison (en cas d'hypothèse de vent fort), et enfin une puissance surfacique émise.

Par rapport à des feux de nappes de carburants usuels, le feu de nappe de GNL se distingue notamment par un débit de combustion plus important, et un flux surfacique radiatif plus important (tel qu'indiqué dans le chapitre 3). Ces spécificités sont prises en compte seulement partiellement dans PHAST.

L'estimation de la puissance thermique transmise sur des objets impactés par la flamme doit s'appuyer sur des travaux expérimentaux, lesquels ont fait l'objet d'interprétations et de synthèses compilées dans des documents « guide ». Les valeurs à retenir dans ce cas de figure sont celles présentées au chapitre 3.

7.6.2.10 *BLEVE*

La modélisation du phénomène de BLEVE a pour objectif de déterminer les effets thermiques et les effets de surpression associés.

Les effets thermiques conduisent généralement aux distances d'effets les plus importantes. Toutefois, la quantification des effets de surpression peut aussi s'avérer nécessaire lorsqu'il est requis d'étudier les effets sur des éléments de structure par exemple. Pour leur part, les effets thermiques sont en effet de très courte durée (quelques dizaines de secondes typiquement) et peu susceptibles d'endommager les structures.

⇒ Effets thermiques

Les effets thermiques du BLEVE sont associés à la boule de feu engendrée par la combustion vive du produit expulsé en dehors du réservoir. A nouveau, une approche de type flamme solide est utilisée pour en évaluer les effets. Compte tenu de la durée du phénomène, ce sont les doses thermiques qui sont utilisées pour évaluer les distances d'effet.

Les caractéristiques de cette boule de feu (diamètre, élévation, durée, flux radiatif surfacique) peuvent être déterminées à partir de différents modèles de calculs, souvent empiriques. Les flux dans l'environnement sont ensuite évalués en fonction de la distance de la cible à la boule de feu.

Le modèle le plus complet existant est celui développé par le centre de recherche de SHELL : Thornton Research Centre ou TRC. Par extension, ce modèle est appelé modèle TRC.

C'est ce modèle qui a servi de base aux formules simplifiées applicables aux GPL (ainsi qu'à quelques autres produits dans une approche plutôt par excès) indiquées dans la circulaire du 10 mai 2010. Il ressort donc comme le modèle à privilégier.

Toutefois, il ne semble pas qu'une application du modèle TRC au cas de BLEVE de GNL pressurisé ait été publiée à ce jour.

Dans ces conditions, et notamment en raison de l'analogie entre les pressions de tarage des soupapes - qui constituent des évaluations acceptables des pressions avant BLEVE-, les formules simplifiées applicables au butane ont été retenues pour le GNL pressurisé dans le cadre de ce Guide (§.7.6.4).

⇒ Effets de surpression

Les effets de surpression les plus graves sont réputés liés à la détente du ciel gazeux du réservoir, siège de l'accident. La modélisation s'apparente donc à celle d'un éclatement de réservoir, initialement sous pression de gaz. Elle comprend deux étapes :

1. l'évaluation de l'énergie interne que ciel gazeux peut transmettre à l'environnement
2. L'évaluation de la décroissance des ondes dans l'environnement.

L'énergie interne dépend du volume du ciel gazeux, du produit et des conditions de pression et température au moment de la rupture. Elle peut être calculée par la formule de Brode.

$$E_{Brode} = \frac{(P_r - P_0) \cdot V_{gaz}}{\gamma_r - 1}$$

Avec : E : Energie contenue dans le ciel gazeux (J)

P_0 : pression ambiante (Pa)

P_r : pression absolue du ciel gazeux au moment de la rupture (Pa)

γ_r : rapport des capacités thermiques massiques à pression et volume constants du milieu gaz sous pression à la température de rupture (1.32 pour le gaz naturel à 20°C mais une valeur un peu plus élevée à plus basse température ; par exemple 1.41 à -115°C)

V_{gaz} : Volume du ciel gazeux (m³)

Pour P_r – et dans le cas des BLEVE – il est généralement préconisé de retenir la pression d'ouverture des soupapes pour les réservoirs qui en sont équipés.

S'agissant de la décroissance des surpressions dans l'environnement, celle peut être évaluée à partir de :

- l'abaque du TNT dit TM5-1300 (généralement celui retenu en France) et il faut alors calculer une masse d'équivalent TNT.
- ou les abaques associés à la méthode Multi-Energies, en retenant les courbes d'indice 10.

Les 2 approches sont possibles et donnent des résultats voisins.

Pour évaluer les suppressions en champ proche en revanche – lorsqu’il s’agit de juger des effets de surpression sur des structures -, il est en principe nécessaire d’avoir recours à un code de calculs de type CFD.

7.6.2.11 Roll over

En cas de Roll over, les effets principaux à modéliser sont ceux liés au rejet de gaz par les soupapes.

Toutefois, il n’y a pas de modèle bien accepté pour évaluer le débit de vapeur associé spécifiquement à un Roll over.

Pour pallier à ce manque, il est préconisé de retenir un taux d’évaporation correspondant à 100 fois⁵ le débit d’évaporation en fonctionnement standard (le GNL s’évapore quelle que soit la technologie de stockage compte tenu de sa très faible température qui implique un transfert de chaleur par l’environnement). Pour information, ce débit correspond à la valeur maximale observée dans l’accidentologie. Il s’agit donc d’une évaluation empirique.

Ensuite, des outils ont été développés pour pouvoir prédire la quantité de liquide évaporé selon la situation du stockage (GIIGNL, 2015).

Au final, les effets du Roll over sont alors ceux associés à un rejet particulier (aux soupapes et au débit susmentionné). La modélisation est alors un cas particulier de modélisation de terme source.

⁵ C’est aussi la valeur retenue pour le dimensionnement des soupapes.

7.6.3 Distances d'effet : scénarios de brèche

7.6.3.1 Principales hypothèses

Le tableau suivant présente les principales hypothèses utilisées pour les modélisations :

	Station « usine »	Station « port » pressurisé	Station « port » non pressurisé	Station « grand port »
Composition GNL (% mole)	CH ₄ (95%) C ₂ H ₆ (5%)	CH ₄ (95%) C ₂ H ₆ (5%)	CH ₄ (95%) C ₂ H ₆ (5%)	CH ₄ (95%) C ₂ H ₆ (5%)
Pression (barg)	3	3	0,15	0,15
Débit pompe (m³/h)	50 (camion)	500 (navire)	500 (navire)	2000 (navire)
Ligne retour réservoir	DN65 L = 10 m	DN200 L = 500 m	DN200 L = 500 m	DN300 L = 500 m
Compartiment pipeway	Sans objet	Sans objet	Sans objet	1m x 100m

Tableau 33 : hypothèses de modélisation

7.6.3.2 Distances à la LII

Les tableaux ci-après présentent les distances d'effet pour quelques scénarios-type⁶.

Les scénarios-type sont définis par :

- l'évènement redouté (brèche),
- le diamètre de la brèche,
- le débit à la brèche,
- la durée d'émission selon la mesure de détection-isolement défaillante.

La distance présentée est la distance à la limite inférieure d'inflammabilité (LII), distance représentative de l'intensité d'un phénomène du type feu de nuage/UVCE.

⁶ Dans l'EDD, une analyse exhaustive des ER relatifs aux installations étudiées devra être réalisée.

Station « usine »					
Événement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	LII (m)
Rupture flexible	65 (*)	12	30	Néant	100
		12	Prolongée côté camion	AU	112
		20	30	Clapet AR	112
		20	Prolongée 2 côtés	Clapet AR et AU (2 MMR)	123
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 3'' (**)	25	8	30	Néant	60
Rupture tuyauterie d'emplissage 3''	80	27	prolongée côté camion	Clapet AR et AU (2 MMR)	180
Rupture tuyauterie de soutirage (diaphragme 1'') (***)	25	5	>30	Néant	70
Débordement soupape	50	6	prolongée	Niveau TH	52

Tableau 34 : distance d'effet station "usine"

(*) : La taille des flexibles rencontrés en station usine varie de 65 à 80 mm. Un flexible de dimension 65 mm a été retenu pour les modélisations (cas le plus courant en station usine).

(**) : Les dimensions des tuyauteries d'emplissage rencontrées en station usine sont susceptibles de varier de 3 à 6''. Le cas le plus courant a été modélisé dans le cadre de ce Guide.

(***) : Il a ici été retenu une tuyauterie de soutirage équipée d'un diaphragme de 1''.

Station « port » -réservoir pressurisé					
Événement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	LII (m)
Rupture bras navire	200	181	30	Néant	440
Rupture bras navire	200	181	prolongée	Vanne navire et AU	445
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 8'' (*)	66	33	prolongée	Néant	210
Rupture tuyauterie soutirage 6'' alimentée par 2 réservoirs	150	118	30	Néant	290

Station « port » -réservoir pressurisé					
Evénement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	LII (m)
Rupture tuyauterie soutirage 6'' alimentée par 2 réservoirs	150	118	prolongée	AU (2 MMR)	360
Rupture flexible camion (pluie)	80	12	30	Néant	105
Rupture flexible camion (source)	80	27	prolongée côté camion	Vanne camion	180
Débordement soupape	67	60 (**)	prolongée	Niveaux H et TH	220

Tableau 35 : distances d'effet pour station port "pressurisé »

(*) : Les dimensions des tuyauteries d'emplissage rencontrées en station port sont susceptibles de varier de 3 à 12''. Un cas intermédiaire a été modélisé dans le cadre de ce Guide (8'') pour lequel la rupture peut être écartée dans le cadre du PPRT. A noter que pour les tuyauterie ≤ 6'' la rupture sera à étudier également.

(**) : débit correspondant au débit de déchargement navire. Cela revient à considérer que tout le débit est rejeté sur un réservoir (cas pénalisant dans les configurations ou plusieurs réservoirs sont remplis simultanément).

Station « port » -réservoir sous faible pression					
Evénement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	LII (m)
Rupture bras déchargement navire	200	86	30	Néant	380
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 8'' au sol	66	32	prolongée	AU (fibre optique)	175
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 8'' en pipeway	66	32	30	AU (1 MMR sur 2)	140
Rupture bras chargement navire	200	60	30	Néant	310
Rupture bras chargement navire	200	60	prolongée	Vanne/pompe navire et AU (2 MMR)	370

Tableau 36 : distances d'effet pour station port "non pressurisé"

NOTA : Pour les tuyauteries de diamètre inférieur à 6'', la rupture doit être également étudiée dans l'EDD. La Circulaire du 10 mai 2010 fixe des règles de sélection de brèche à retenir dans le cadre du PPRT pour les tuyauteries de GNL. Ainsi, pour les tuyauteries de diamètre strictement supérieur à DN150 (6''), une brèche de 33% du diamètre est retenue au lieu de la rupture-guillotine sous réserve de respecter certaines conditions dans la Circulaire.

Station « grand port »					
Événement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	LII (m)
Rupture bras déchargement navire	300	324	60	Néant	860
Rupture bras déchargement navire	300	324	prolongée	Vanne/pompe navire et AU	890
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 16'' au sol	132	133	prolongée	AU (fibre optique)	410
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 16'' en pipeway	132	133	60	AU (1 MMR sur 2)	151
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 12'' au sol	100	76	prolongée	AU (fibre optique)	270
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 12'' en pipeway	100	76	60	AU (1 MMR sur 2)	143
Rupture bras chargement navire	300	180	60	Néant	590
Rupture bras chargement navire	300	180	prolongée	Néant	660

Tableau 37 : distances d'effet pour station "grand port"

NOTA : Pour les tuyauteries de diamètre inférieur à 6'', la rupture doit être également étudiée dans l'EDD.

7.6.3.3 Flux thermique de jets enflammés

Le tableau ci-après présente les distances d'intensité thermique de jets enflammée pour 4 brèches-type sur du GNL pressurisé :

Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Longueur flamme (m)	Flux moyen émis (kW/m ²)	Distance 8 kW/m ² (m)	Distance 5 kW/m ² (m)	Distance 3 kW/m ² (m)
25	5	32	82	49	53	60
pompe	12	47	95	73	80	90
66	32	79	83	125	138	155
132	133	131	134	215	240	270

Tableau 38 : distances de flux thermique pour jet enflammé

7.6.4 Distances d'effet : BLEVE

Le tableau ci-après présente les distances d'effet thermique, issues des formules réglementaires du butane (circulaire du 10 mai 2010), pour les capacités présentes dans les stations. Le butane est ici retenu car la pression de tarage de soupape est voisine de celle du GNL.

Capacités	Volumes (m ³)	Masse (t)	SELS (m)	SEL(m)	SEI(m)
Camion	50	20	86	130	168
Wagon	110	44	125	184	234
Réservoir Usine	200	81	166	240	304
Réservoir Port	1000	403	354	484	603

Tableau 39 : distances de flux thermique pour BLEVE

7.7 PREVENTION DE BLEVE DE CAPACITE

7.7.1 Objectif et stratégie

Les distances d'effet grave (SEL) obtenues pour le BLEVE au § précédent sont pénalisantes en cas de demande d'autorisation pour une installation nouvelle. La circulaire du 10 mai 2010 donne des voies possibles pour exclure le phénomène dangereux d'une Servitude d'Utilité Publique ou le rendre compatible avec l'environnement. Ces voies sont au nombre de 4:

1. Rendre le phénomène physiquement impossible.
2. L'exclure par mise en place de 2 mesures techniques pour tout scénario de très faible probabilité conduisant au BLEVE selon le critère de la Circulaire ou d'une mesure de maîtrise de risque passive.
3. Retarder le phénomène d'un délai nécessaire à l'évacuation des enjeux voisins, délai approuvé par les Services de Secours.
4. Mettre à l'abri les personnes dans un bâtiment résistant au flux thermique.

Dans le cas du GNL, la conception des capacités fixes et mobiles à double-enveloppe permet d'envisager l'exclusion du phénomène de BLEVE par la voie N°2 en considérant notamment que le système d'isolation constitue une barrière passive qui protège la cuve interne contre les agressions thermiques. Toutefois, la démonstration de l'efficacité de cette barrière implique la connaissance :

1. Des propriétés thermiques et du comportement de la perlite à très haute température (au-delà de 800 °C) ,
2. Du comportement de l'enveloppe externe en acier carbone, en particulier sa capacité à maintenir la perlite,
3. Du comportement de l'isolant « multicouche »⁷ des citernes routières.

Des programmes d'essais, mis en place entre 2015 et 2017, dont certains à l'initiative des membres co-financeurs du guide, ont eu pour but de répondre à ce besoin d'information. Les résultats sont rassemblés dans la suite du chapitre.

7.7.2 Evénements initiateurs et arbre des causes

Un arbre des causes de BLEVE de réservoir est présenté dans la page suivante. Cet arbre fait apparaître les événements initiateurs suivants :

- Les agressions thermiques sur le réservoir (EI 1, 2 et 3),
- Un BLEVE voisin sur camion ou wagon conduisant à la perforation par un fond de citerne, considéré comme le seul projectile suffisamment énergétique (EI 5),
- Une surpression dans le réservoir conduisant à la rupture (EI 4).

Les agressions thermiques peuvent être considérées de 3 types selon leur dimension et l'intensité du flux thermique appliqué sur l'enveloppe externe d'un réservoir fixe :

1. Feu de nappe enveloppant ou adjacent avec un flux modéré,
2. Jet enflammé de petite dimension,
3. Jet enflammé de gros débit avec un flux élevé et localement très intense.

⁷ MLI : Multi Layer Insulation

Les barrières/mesures identifiées font l'objet de fiches MMR présentées au §8.

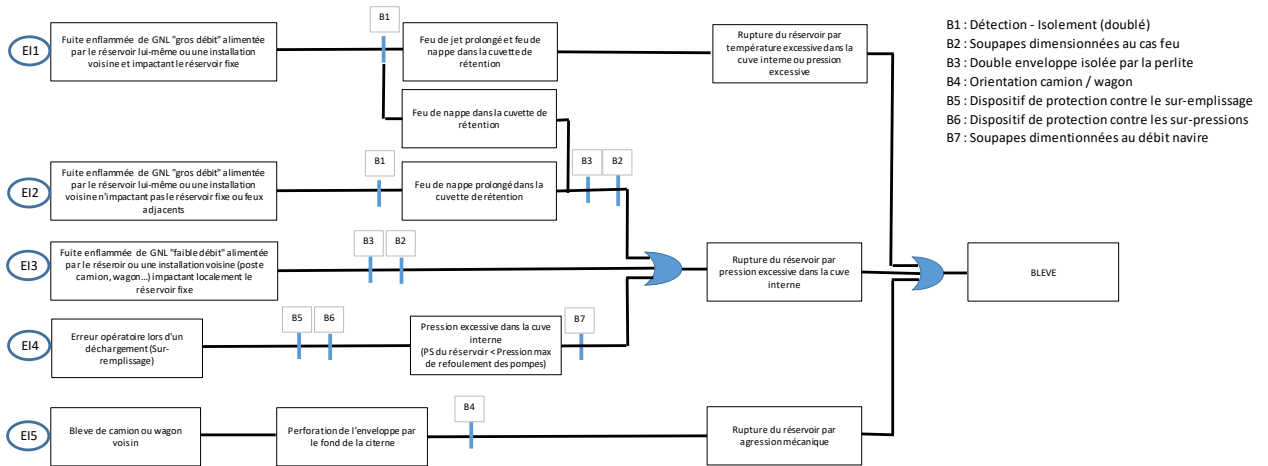


Figure 22 : arbre des causes du BLEVE d'un réservoir pressurisé


7.7.3 Campagnes d'essais réalisés sur des réservoirs pressurisés de GNL.

Depuis 2015 plusieurs programmes d'essais ont été conduits pour caractériser la tenue aux agressions thermiques des réservoirs pressurisés isolés par la perlite ou un multicouche.

7.7.3.1 Résultats des essais sur les réservoirs isolés par la perlite et un multicouche (MLI)



Campagne d'essais TNO aux Pays Bas en 2015



Configuration du test	
<ul style="list-style-type: none"> • Réservoir double paroi de 3 m³ • Isolation : 20 cm perlite sous vide • Flux thermique total : 75 kW/m² • Température de flamme : 450°C à 900°C • Épaisseur de paroi (intérieure et extérieure) : 3 mm • Fluide contenu : Azote liquide • Taux de remplissage : 66% 	
Résultats	Photos
<ul style="list-style-type: none"> • Absence de BLEVE • Maintien du vide pendant 1h49 • Fin du test au bout de 2h17 → ouverture de la soupape (P= 7,6 bara) • Maintien de la résistance structurelle externe • Cuve interne intacte 	

<ul style="list-style-type: none"> • Enfouissement au niveau des pieds 	<p>Cuve pendant le test</p>  <p>Cuve après le test</p>
---	---

Le rapport d'essai, intitulé « Heat load resistance of cryogenic storage tanks – Results of LNG Safety Program », est disponible sur Internet par le lien : <http://www.safelng.nl/wp-content/uploads/2016/04/Test-programme-Heat-load-resistance-of-cryogenic-storage-tanks.pdf>

Campagne d'essais du JIP BLEVE de DNV/GL à Spadeadam en 2016/2017

Configuration commune des tests		
<ul style="list-style-type: none"> • Réservoir double paroi de 2,5 m³ • Pression d'ouverture des soupapes : 10 barg • Température de flamme : 500 à 1100°C • Épaisseur de paroi (intérieure - extérieure) : 4mm - 3 mm • Fluide contenu : GNL • Taux de remplissage : 50% 		
Tests	Résultats	Photos
<p>Test 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Isolation : 25 cm perlite (sans vide) • Flux thermique moyen/<i>max</i> : 100/120 kW/m² 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de BLEVE • Fin du test au bout de 2h30 (par manque de carburant pour les brûleurs) • Pression max atteinte : 9,5 barg (Pas d'ouverture de la soupape) • T max de la paroi externe : 970°C • T paroi interne phase gaz =70°C • Maintien de la résistance structurelle externe • Réservoir interne intact • Léger enfouissement au niveau des pieds 	 

<p>Test 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Isolation : 25 cm perlite (sans vide) • Alimentation avec un pré-mélange air-propane • Flux thermique moyen/max : 130/210 kW/m² 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de BLEVE • Fin du test au bout de 1h18 (par manque de carburant pour les brûleurs) • La soupape s'est ouverte à 12,8 barg 1h9min après le début du test. • T max de la paroi externe : 1100 °C • La perlite a fondu en partie sous la température extrême de flamme (T=1100°C). • Maintien de la résistance structurelle externe • Réservoir interne intact • Enfoncement au niveau des pieds. 	 <p>Cuve après essai</p>
<p>Test 3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Isolation : MLI (sans vide) • Flux thermique moyen/max : 110/140 kW/m² 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de BLEVE • Fin du test au bout de 2h39 min (après évaporation du GNL en cuve) • Ouverture de la soupape au bout de 20 min. • T max paroi interne phase gaz à la fin des essais : 668°C • Maintien de la résistance structurelle externe • Réservoir interne intact • Enfoncement au niveau des pieds 	 <p>Cuve après essai</p>

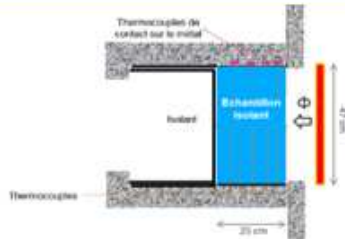
Les rapports d'essais sont la propriété des membres co-financeurs. Ils peuvent être consultés sur demande.

7.7.4 Etude du comportement de la perlite à haute température (Essais AFG)

Deux campagnes d'essais ont été commanditées par l'AFG respectivement en 2016 et 2017 auprès du laboratoire ENGIE Lab CRIGEN. Ces campagnes visaient à :

- Caractériser le comportement de la perlite à très haute température et à déterminer sa conductivité thermique.
- Exposer un échantillon représentatif à un feu de jet constitué d'une plaque acier de 10 mm et d'une épaisseur de perlite de 25 cm.

Essais 2016 : exposition au rayonnement thermique jusqu'à 1200°C de température de surface



- ▶ 6 tests réalisés entre 800°C et 1200°C : observations qualitatives.
- ▶ Courbe expérimentale de la conductivité thermique de la perlite à 90 kg/m³ à haute température (sans vide).



Essais 2017 : exposition d'un échantillon représentatif à un feu de jet



- ▶ Température de flamme : 1220-1250°C
- ▶ Durée d'exposition : 5h30



Les rapports d'essais sont la propriété des membres co-financeurs. Ils peuvent être consultés sur demande.

Résultats

Bonne tenue mécanique et protection thermique à haute température (essais 2016) :

- La perlite à 90 kg/m³ conserve une bonne tenue mécanique même soumise à de très hautes températures.
- L'intégrité de la perlite est conservée jusqu'à 1100°C. Au-delà un phénomène d'ablation graduelle apparaît dont la cinétique a été mesurée à environ 6 cm/h à 1200 °C.

Confirmation du rôle de l'enveloppe externe vis-à-vis d'un feu de jet (essai 2017) :

- La plaque de métal représentative d'une paroi externe de réservoir (10 mm en acier carbone) conserve son intégrité lorsqu'elle est soumise à un feu de jet à 1250°C du fait de l'absence de contrainte mécanique (pas de pression interne).

7.7.5 Modélisation du comportement d'une cuve pressurisée soumise à une agression thermique

Avec le logiciel VESSFIRE®, le laboratoire ENGIE Lab CRIGEN a procédé à des modélisations d'agression thermique sur un réservoir pressurisé de GNL de 200 m³ à double enveloppe isolée par la perlite et soumis à des flux thermiques correspondant à un feu de nappe⁸. Ce logiciel permet de déterminer la montée en pression et en température des réservoirs soumis à ce type d'agression thermique.

En tenant compte des données de conductivité issues des essais AFG de 2016, le logiciel montre une bonne reproductibilité des essais du JIP BLEVE de DNV-GL. Il confirme que le flux transmis au

⁸ Modélisation pour un flux thermique moyen jusqu'à 200 kW/ m²

GNL est faible en raison de la performance thermique de la perlite et prédit une cinétique lente de montée en pression avec absence de rupture pour des épaisseurs de perlite de 25 cm et une soupape de sécurité opérationnelle.

7.7.6 Synthèse des campagnes d'essais et des modélisations

Réservoirs fixes

Les campagnes d'essais et les simulations montrent que la technologie du double enveloppe isolée par la perlite, utilisée pour les réservoirs fixes de GNL, constitue une barrière passive qui protège à la fois contre les rayonnements thermiques de type feu de nappe enveloppant et les agressions de type feu de torche impactant la surface du réservoir.

Réservoirs mobiles

La campagne d'essai sur le MLI (Multicouche), utilisé pour les citernes routières, a également donné de bons résultats. Elle montre l'importance du rôle joué par l'enveloppe externe et par les soupapes du réservoir. La qualité thermique d'une isolation de type multicouche est cependant moindre comparée à la perlite dans le cas où le vide est perdu. .

Le multicouche reste par ailleurs une dénomination générique pouvant recouvrir une variété de produits et des modes de mise en œuvre différents dont le comportement serait à tester.

7.7.7 Discussion concernant la prévention du BLEVE des réservoirs pressurisés

Le présent paragraphe passe en revue les situations accidentelles susceptibles de se produire sur une station satellite telles que présentées dans le nœud papillon du § 7.7.2.

La double-enveloppe isolée par le vide et la perlite apporte une protection efficace vis-à-vis des feux adjacents ou des feux de nappe enveloppant susceptibles d'être rencontrés sur des stations satellites. Pour ces phénomènes dangereux le flux thermique moyen auquel la cuve est exposée n'excède pas 150 kW/m^2 ; des valeurs qui correspondent aux flux thermiques des essais réalisés par le JIP BLEVE de DNV-GL sur un réservoir de petite dimension sans isolation par le vide. Ce type d'agression, si elle se prolonge dans le temps, peut conduire à la sollicitation des soupapes dont le dimensionnement au cas feu devra être justifié pour être considéré comme une barrière de protection.

Dans ces conditions les simulations faites par l'outil VESSFIRE® permettent d'écarter la perte de confinement pour les réservoirs pressurisés disposant d'une épaisseur de perlite de 25 cm.

Un traitement de la structure portante (pieds) contre les agressions thermiques est néanmoins nécessaire sur les réservoirs verticaux pour prévenir tout risque de basculement.

La température maximale d'un jet enflammé à faible débit (EI3) impactant l'enveloppe externe d'un réservoir se situe autour de 1050 °C (C.f. § 3.4.3.2). Ce cas correspond à la rupture d'un piquage ou d'une tuyauterie de diamètre inférieur ou égal à 25 mm. Les essais de l'AFG ont montré le rôle protecteur joué par l'enveloppe externe des réservoirs pressurisés pour des températures allant jusqu'à $1220\text{-}1250\text{ °C}$. L'intégrité de la tôle métallique n'a pas été remise en cause et la perlite a gardé ses propriétés. La double-enveloppe isolée par la perlite apporte donc également une protection efficace vis-à-vis des agressions de type jet enflammé de faible débit. Le cas échéant, ce type d'agression, si elle se prolonge dans le temps, peut également conduire à la sollicitation des soupapes.

Les fuites enflammées de GNL « à gros débit » (EI1), provoquée par la rupture d'une tuyauterie de gros diamètre et impactant un réservoir fixe peut générer localement des flux thermiques très élevés, avec des températures de flamme autour de 1200 °C (C.f. § 3.4.3.2).

La tenue d'un réservoir ne peut être garantie pour une fuite alimentée de longue durée de ce type. Ces situations extrêmes n'ont pas été traitées dans le cadre des campagnes d'essais du JIP BLEVE.

En revanche les essais démontrent que l'intégrité d'un réservoir ne peut pas être remise en cause par les conséquences d'une fuite enflammée « à gros débit », interrompue à la source par un organe de coupure à la suite d'une détection de fuite. Ce cas correspond alors à une combinaison de phénomènes dangereux avec dans un premier temps un feu de jet enflammé intense qui durerait le temps de détection et de réponse de l'organe de coupure suivi d'un feu de nappe beaucoup moins intense qui progressivement se consumerait.

Concernant le cas EI5, le présent guide ne peut statuer. Chaque situation est particulière et devra être étudiée dans le cadre de l'étude de dangers. Des voies apparaissent possibles pour écarter le BLEVE d'un camion de GNL situé au poste de chargement. La question des effets domino est traitée au § 7.8.2.

Enfin le cas EI4 peut être rendu physiquement impossible par un dimensionnement adéquat du réservoir pressurisé en prévoyant une pression de service supérieure à la pression de refoulement des pompes de remplissage.

7.7.8 Prise en compte du phénomène de BLEVE dans la matrice d'acceptabilité et pour la maîtrise de l'urbanisation

Au vu des éléments présentés précédemment, sous réserve d'un dimensionnement et d'une conception adéquats des installations, moyennant la présence d'un double dispositif de détection-isolément (voir §6.4) et en fonction de l'environnement du site (effet domino venant d'un site adjacent) il apparaît possible d'exclure le BLEVE du champ des documents d'urbanisme (SUP ou PPR). Ces éléments devront être explicités et justifiés dans l'étude de dangers.

En effet, comme indiqué au § 7.7.1, les conditions à remplir sont :

Phénomène dangereux classé en probabilité E et dont la classe de probabilité repose :

- sur une mesure de maîtrise des risques passive,
- ou sur au moins deux mesures techniques de maîtrise des risques et que la classe de probabilité menant au phénomène dangereux reste en E même lorsque la probabilité de défaillance de la mesure de maîtrise de risque de plus haut niveau de confiance s'opposant à ce scénario est porté à 1.

Un système d'isolation des réservoirs par double enveloppe isolée par le vide et la perlite et l'installation de dispositifs de protection contre les surpressions offrent une protection efficace vis-à-vis de toutes les agressions thermiques susceptibles d'atteindre un réservoir pressurisé à l'exception d'une fuite enflammée de GNL « à gros débit » (EI1) de longue durée, impactant le réservoir. Dans ce cas un phénomène d'ablation de la perlite peut apparaître conduisant progressivement à une perte d'efficacité de l'isolation thermique. La fréquence d'occurrence associée à ce type d'évènement initiateur est de classe E (< 10⁻⁵).

Conformément aux prescriptions de la circulaire du 10 mai 2010, ce dernier scénario peut être écarté en supprimant la fuite de GNL par la mise en place de deux systèmes indépendants de détection/action. La défaillance d'une des deux barrières de protection ne modifiera pas la classe de probabilité associée au phénomène de BLEVE qui reste en E.

Par ailleurs le scénario de BLEVE sera positionné en case « Non partiel » de la matrice d'acceptabilité établie dans le cadre de l'étude de dangers. La présence du système de détection/action mentionné plus haut et du dispositif de protection contre les surpressions permettront d'une part de rendre acceptable le scénario de BLEVE et d'autre part ne pas le comptabiliser dans le cumul des scénarios en MMR2. La classe de probabilité générique du scénario de BLEVE pour un réservoir fixe de GNL pressurisé est estimée en « E » et le resterait en cas de défaillance de la barrière technique.

7.8 EFFETS DOMINO

7.8.1 Généralités

Les effets domino à analyser sont de 2 types :

1. Les effets domino proprement dit s'initiant avec un accident de gravité modérée et de probabilité relativement forte et s'aggravant par action sur une installation voisine « receveur »,
2. Les scénarios d'aggravation d'accident par perte d'installations critiques pour la maîtrise du risque (bureau d'exploitation avec son personnel,...)

Des cas d'effets domino typiques des stations sont examinés dans les paragraphes suivants. Des mesures particulières de protection d'installations « receveur » sont présentées.

7.8.2 Effets domino «Poste de Déchargement Camion/Wagon vers Réservoirs »

Une fuite de GNL au dépotage, en particulier au niveau du flexible, est à considérer comme un événement initiateur d'effets domino potentiels. Cette situation peut conduire à la formation d'une nappe de GNL enflammée ou d'un jet enflammé prolongé de forte intensité impactant la citerne routière. Dans les deux cas, le BLEVE de la citerne routière est susceptible de se produire et pourrait entraîner le BLEVE des réservoirs fixes par impact de projectile.

Plusieurs mesures peuvent être envisagées pour prévenir soit le BLEVE de la citerne routière soit un effet domino sur les réservoirs fixes :

- Système d'homologation des citernes routières n'autorisant que les technologies à double enveloppe isolée par le vide⁹
- Système d'arrêt d'urgence de la citerne routière connecté à la détection gaz et feu du poste de chargement¹⁰.
- Dispositif « homme seul » qui, en cas d'absence de signal au bout d'un temps déterminé, déclenche la fermeture des obturateurs internes du véhicule et l'arrêt automatique de la pompe si le véhicule en est équipé.
- Collecte du GNL au niveau de l'aire de dépotage et envoi vers une cuvette de rétention déportée.
- Eloignement des réservoirs fixes par rapport au poste de dépotage.
- Orientation de la citerne routière par rapport au stockage fixe
- Mur de séparation (hauteur minimale = 1,5 m) entre le poste de dépotage et les réservoirs les plus proches, si ceux-ci sont des réservoirs horizontaux. Ce mur est en matériau résistant à un BLEVE de citerne sans générer de projectiles capable de créer des fuites secondaires sur les équipements annexes des réservoirs.

Ces éléments devront être explicités et justifiés dans l'étude de dangers.

⁹ Ce système est en place dans plusieurs terminaux méthaniers européens et notamment français

¹⁰ Equivalent au système LARCO pour le GPL

7.8.3 Effets domino «Tuyauteries/Equipements vers Réservoirs »

Les fuites de GNL sur les équipements et tuyauteries forment un nuage inflammable pouvant dériver dans des zones encombrées d'obstacles à l'intérieur et à l'extérieur de la station. Une explosion du type UVCE peut générer ainsi une onde de surpression significative.

Les structures porteuses des réservoirs (berceaux, pieds,..) sont alors dimensionnées pour que cette onde de surpression ne provoque pas de fuites secondaires sur les équipements annexes des réservoirs.

7.8.4 Effets domino sur bureau d'exploitation

Dans les stations « port », le personnel opérant depuis le bureau d'exploitation doit conserver une capacité d'intervention après une explosion ou un feu de GNL. Le bâtiment abritant ce bureau doit donc être résistant vis-à-vis de l'onde de surpression et du flux thermique pour des scénarios de référence. A minima, ces scénarios sont ceux relatifs aux flexibles de chargement/déchargement de camion/wagon car ils sont les plus probables :

- UVCE après rupture et avant isolement par les automatismes,
- Jet enflammé prolongé en cas de fuite non isolable côté camion ou wagon.

En complément, lorsque le local est climatisé, les entrées d'air sont surveillées par au moins un explosimètre avec alarme et fermeture de clapet à la prise d'air.

7.9 ANALYSE DETAILLEE DES RISQUES

7.9.1 Types d'analyse

Les événements redoutés (perte de confinement) les plus typiques des stations ont fait l'objet d'arbres et de noeud-papillons quantifiés qui sont présentés dans les pages suivantes. Cette analyse détaillée permet ainsi d'obtenir une estimation du risque pour les stations « usine » et « port ». Les événements sélectionnés pour cette analyse sont :

Station	Evénements redoutés
Usine	Débordement en soupape sur dépotage camion
	Rupture du flexible de dépotage camion
Port	Débordement en soupape sur déchargement navire
	Rupture du bras de déchargement navire
	Rupture de flexible de chargement camion
	Rupture d'une ligne de soutirage de réservoir

Tableau 40 : événements redoutés sélectionnés pour l'analyse détaillée des risques

7.9.2 Données de quantification

7.9.2.1 Données de fonctionnement

Les fréquences d'opérations de chargement/déchargement retenues sont les suivantes :

- Station Usine : dépotage camion = 1/semaine

- Station Port : déchargement navire = 1/mois
- Station Port : chargement camion = 1000/an.

7.9.2.2 Erreurs humaines

La probabilité d'erreur humaine lors de transfert ne peut convenablement être estimée que par retour d'expérience de sites similaires. Cette source n'étant pas disponible, les valeurs suivantes sont prises à titre indicatif :

- lecture de jauge avant chargement : 1/1000
- programmation de quantité à décharger par navire : 1/1000.

7.9.2.3 Fréquence de rupture de flexible de chargement/déchargement camion

Pour un transfert avec 2 mesures de prévention (cales + interlock sur frein à main) et un contrôle d'étanchéité, qui est la configuration la plus fréquente, on retient la valeur proposée au §7.4.4.5 :

$$F_{ER} = 4.10^{-7}/\text{transfert}$$

7.9.2.4 Fréquences des autres brèches

Les fréquences de brèche sur bras, tuyauterie,... sont extraites des banques de données présentées au §7.4.4.

7.9.2.5 Probabilités de défaillance des mesures

Les probabilités de défaillance des organes/équipements entrant dans la composition des MMR sont celles estimées dans le chapitre 9.

Ces valeurs sont estimées pour une fréquence de test de 1 fois/an.

7.9.2.6 Probabilité d'inflammation

La probabilité d'inflammation n'est pas prise en compte, ce qui revient à considérer une probabilité de « 1 ».

7.9.2.7 Distances d'effet

Pour les événements secondaires les plus significatifs, la distance d'effet est donnée sous la forme de la distance à la limite inférieure d'inflammabilité (LII). Cette distance est en effet la plus représentative de la gravité du phénomène dangereux associé.

7.9.3 Tableaux de synthèse de l'estimation du risque - Conclusion

Dans le tableau de la page suivante, sont repris les résultats du §7.6.3 (distance à la LII) en y ajoutant la classe de probabilité pour chaque scénario.

Les principales conclusions sont les suivantes :

1. Pour toutes les stations, les transferts par bras et flexibles génèrent les risques les plus importants en gravité/probabilité,
2. Pour la station « usine », l'implantation du poste de dépotage doit tenir compte de la distance aux effets très graves (LII) pour une rupture de flexible (112 m),
3. Pour la station « usine », la probabilité de débordement par soupape est peut atteindre la classe « B » mais peut être réduite par un 2^{ème} capteur de niveau haut indépendant, un traitement logique plus fiable,...
4. Pour la station « port- réservoir pressurisé», la rupture de bras de déchargement navire génère les distances les plus importantes (440 m), du même ordre de grandeur que les effets mortels du BLEVE d'un réservoir de 1000 m³.
5. Pour la station « port- réservoir pressurisé», les installations fixes génèrent des distances inférieures à 300 m ; le cas de rupture de ligne de soutirage avec 2 MMR défaillantes peut en effet être exclu de la maîtrise de l'urbanisation.
6. La version « port-réservoir sous faible pression » permet de réduire à moins de 200 m la distance LII relative aux installations fixes mais celle relative au déchargement de navire reste importante (près de 400 m).
7. Pour la station « grand port », la rupture d'un bras de déchargement navire peut conduire à une distance LII de près de 900 m.

NOTA : tous les phénomènes dangereux découlant d'un même ER n'ont pas été reportés dans les tableaux suivants. Les cas présentés ont pour objectif de donner une indication sur la plage de LIE observable consécutive à un ER (LIE maximale et LIE minimale associée) et les niveaux de probabilité associés.

Station « usine »						
Evénement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	P	LII (m)
Rupture flexible de déchargement	65	12	30	Néant	D	100
Rupture flexible de déchargement	65	20	30	Clapet AR	E	112
Rupture flexible de déchargement	65	20	Prolongée 2 côtés	Clapet AR et AU (2 MMR)	E	123
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 3'' (L = 20 m)	25	8	30	Néant	D	60
Rupture tuyauterie d'emplissage 3'' (L= 20 m)	80	27	Prolongée côté camion	Clapet AR et AU (2 MMR)	E	180
Rupture tuyauterie soutirage (diaphragme 1'') (L = 20 m)	25	5	>30	Néant	D	70
Débordement soupape	50	6	prolongée	Niveau TH	B	52

Tableau 41 : station "usine" - intensité et probabilité des phénomènes dangereux

Station « port » réservoir pressurisé						
Evénement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	P	LII (m)
Rupture bras navire	200	181	30	Néant	D	440
Rupture bras navire	200	181	prolongée	Vanne navire et AU (2 MMR)	E	445
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 8'' (L = 500 m)	66	46	prolongée	Néant	C	210
Rupture tuyauterie soutirage 6'' alimentée par 2 réservoirs	150	118	30	Néant	E	290
Rupture tuyauterie soutirage 6'' alimentée par 2 réservoirs	150	118	prolongée	AU (2 MMR)	E	360
Rupture flexible camion (pluie)	80	12	30	Néant	C	105
Rupture flexible camion (pluie)	80	12	prolongée côté camion	Vanne camion	D	113
Rupture flexible camion (source)	80	27	30	Néant	C	148
Rupture flexible camion (source)	80	27	prolongée côté camion	Vanne camion	D	180

Station « port » réservoir pressurisé						
Événement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	P	LII (m)
Débordement soupape	67	60	prolongée	Niveaux H et TH	C	220

Tableau 42 : station "port" réservoir pressurisé - intensité et probabilité des phénomènes dangereux

Station « port » réservoir sous faible pression						
Événement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	P	LII (m)
Rupture bras déchargement navire	200	86	30	Néant	D	380
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 8'' au sol (L = 500 m)	66	32	prolongée	AU (fibre optique)	D	175
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 8'' en pipeway (L = 500 m)	66	32	30	AU (1 MMR sur 2)	C	140
Rupture bras chargement navire	200	60	30	Néant	D	310
Rupture bras chargement navire	200	60	prolongée	Vanne/pompe navire et AU (2 MMR)	E	370

Tableau 43 : station "port" réservoir non pressurisé - intensité et probabilité des phénomènes dangereux

Station « grand port »						
Événement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	P	LII (m)
Rupture bras déchargement navire	300	434	60	Néant	D	860
Rupture bras déchargement navire	300	434	prolongée	Vanne/pompe navire et AU	E	890
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 16'' au sol (L = 500 m)	132	133	prolongée	AU (fibre optique)	D	410
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 16'' en pipeway (L = 500 m)	132	133	60	AU (1 MMR sur 2)	C	151
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 12'' au sol (L = 500 m)	100	76	prolongée	AU (fibre optique)	D	270

Station « grand port »						
Evénement redouté	Diamètre brèche (mm)	Débit brèche (kg/s)	Durée d'émission (s)	Mesure défaillante	P	LII (m)
Fuite 33%DN tuyauterie d'emplissage 12'' en pipeway (L = 500 m)	100	76	60	AU (1 MMR sur 2)	C	143
Rupture bras chargement navire	300	180	60	Néant	D	590
Rupture bras chargement navire	300	180	prolongée	Vanne/pompe navire et AU (2 MMR)	E	660

Tableau 44 : station "grand port" - intensité et probabilité des phénomènes dangereux

Station Usine : débordement en soupape sur dépotage camion (50/an)

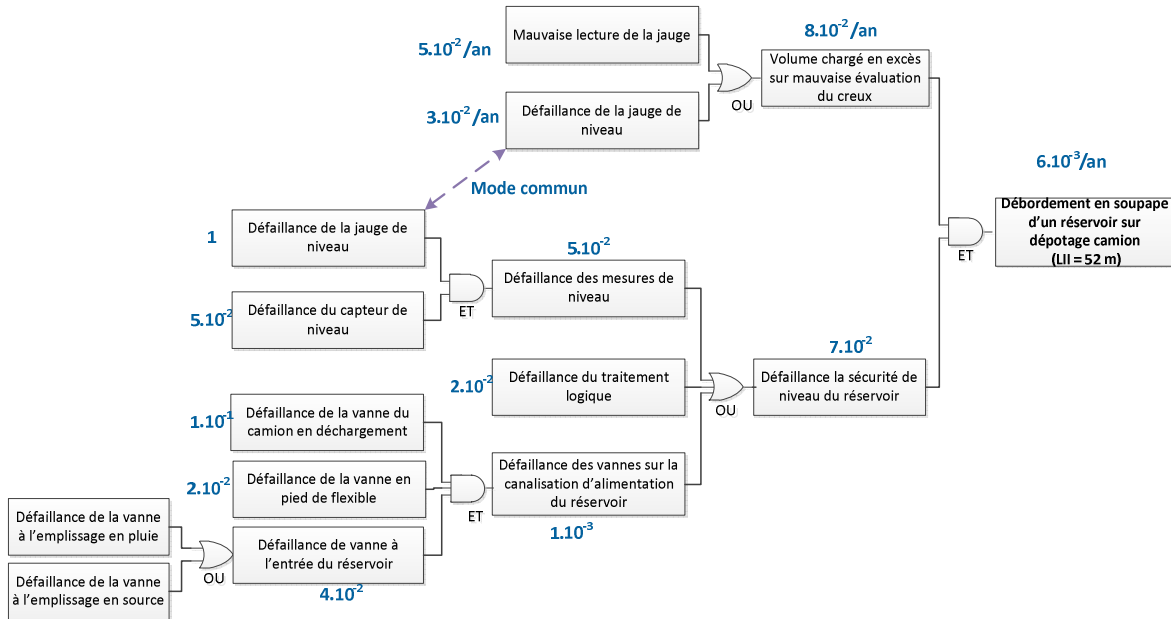


Figure 23 : nœud-papillon "station usine –débordement en soupape"

Station Port : débordement en soupape sur déchargement navire (10/an)

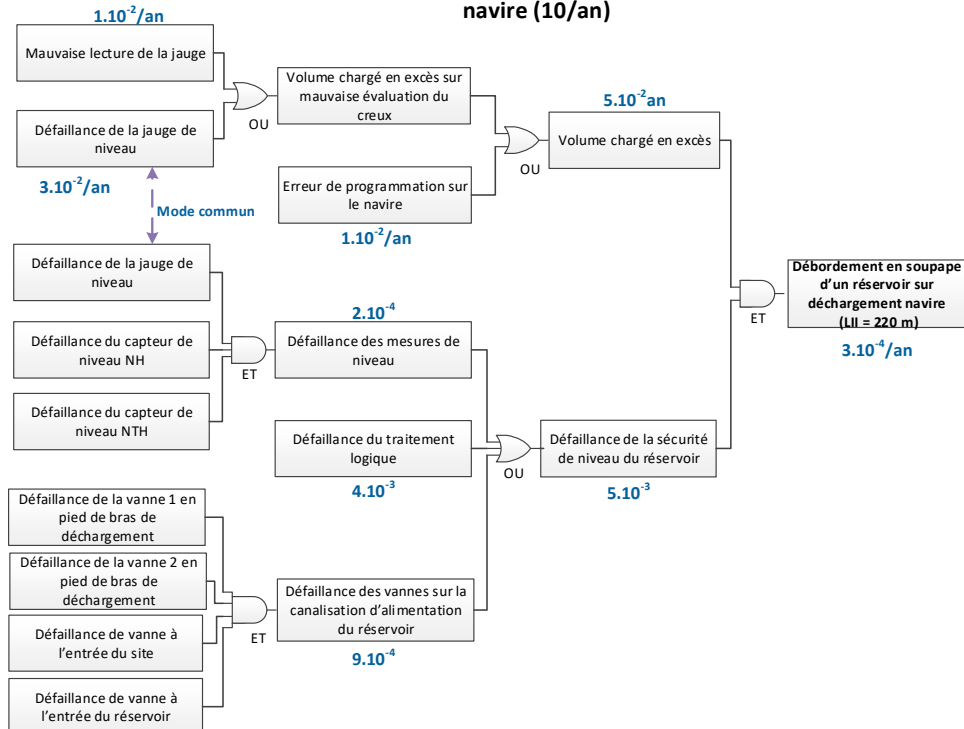


Figure 24 : nœud-papillon « station port -débordement en soupape »

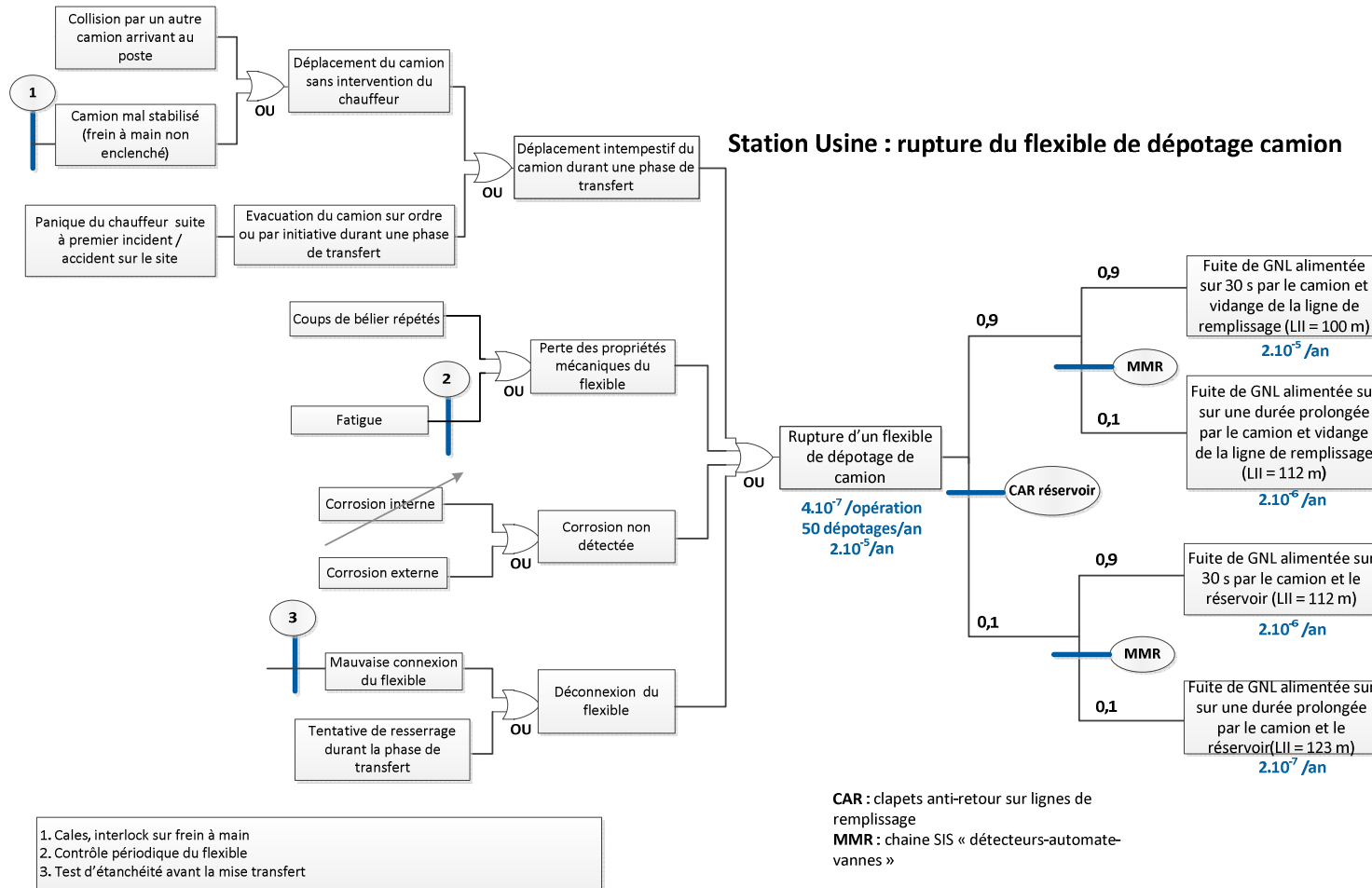


Figure 25: neud-papillon "station usine-rupture flexible camion"

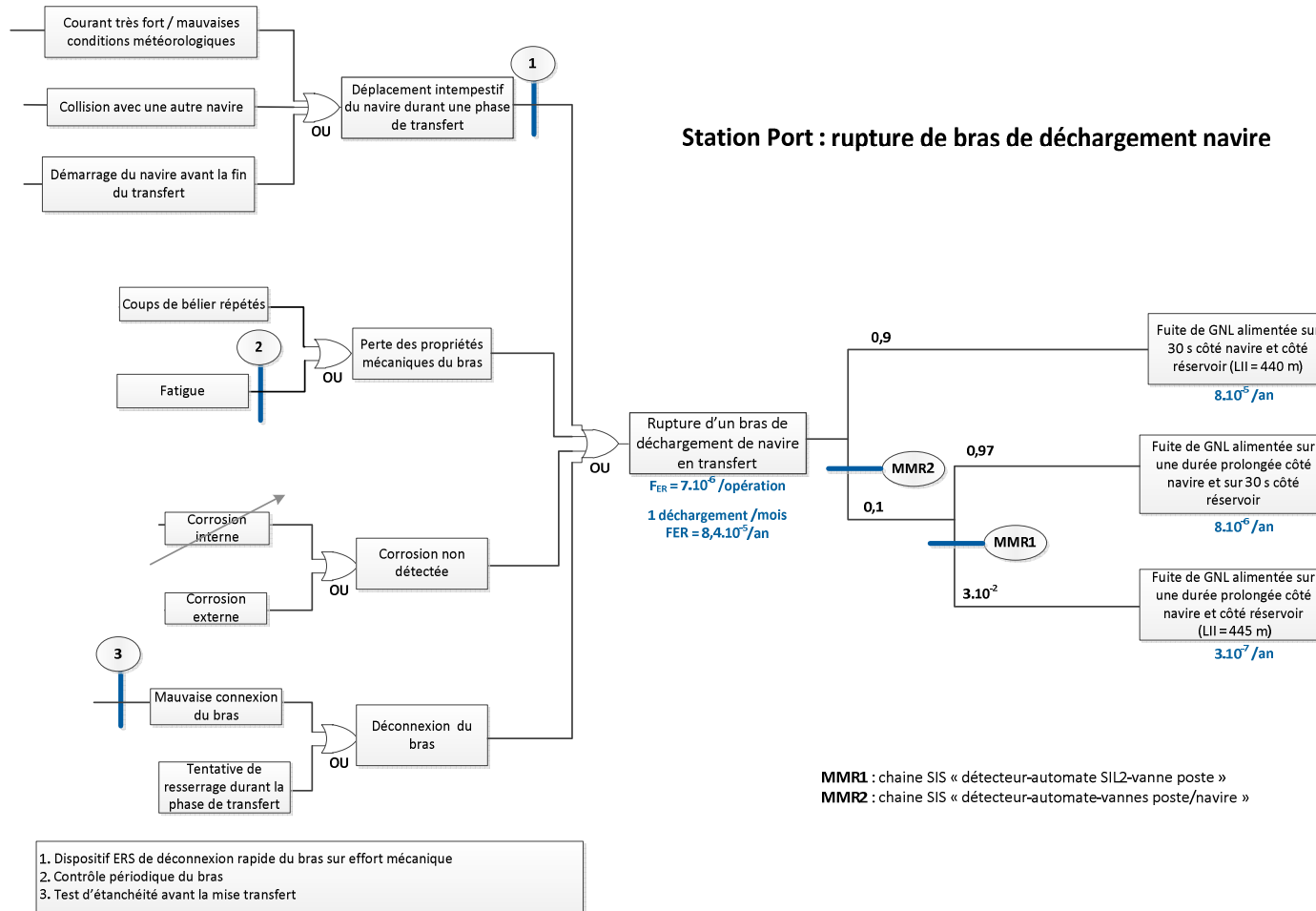


Figure 26 : noeud-papillon "station port - rupture bras navire"

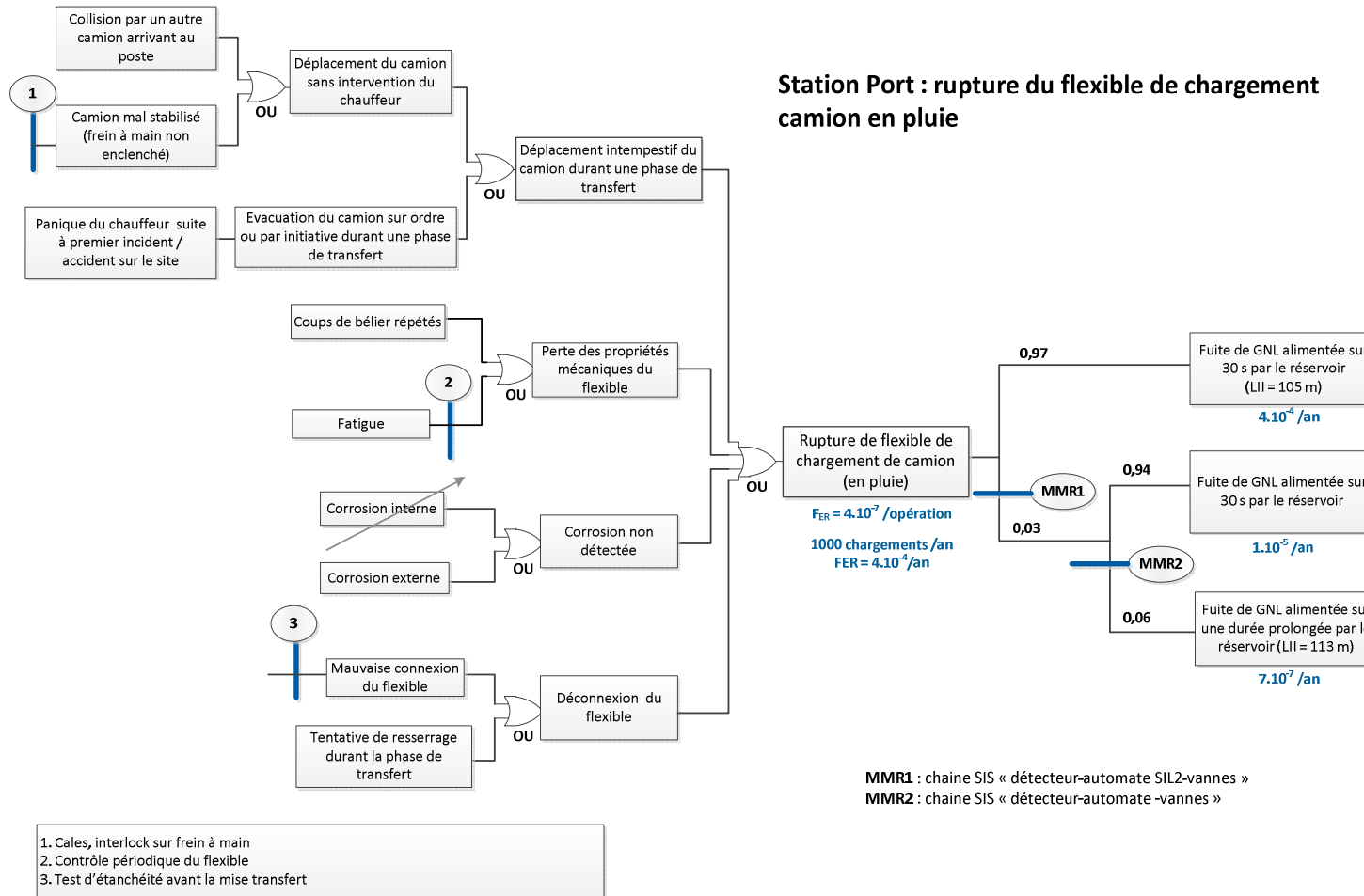


Figure 27 : noeud-papillon "station port - rupture flexible camion pluie"

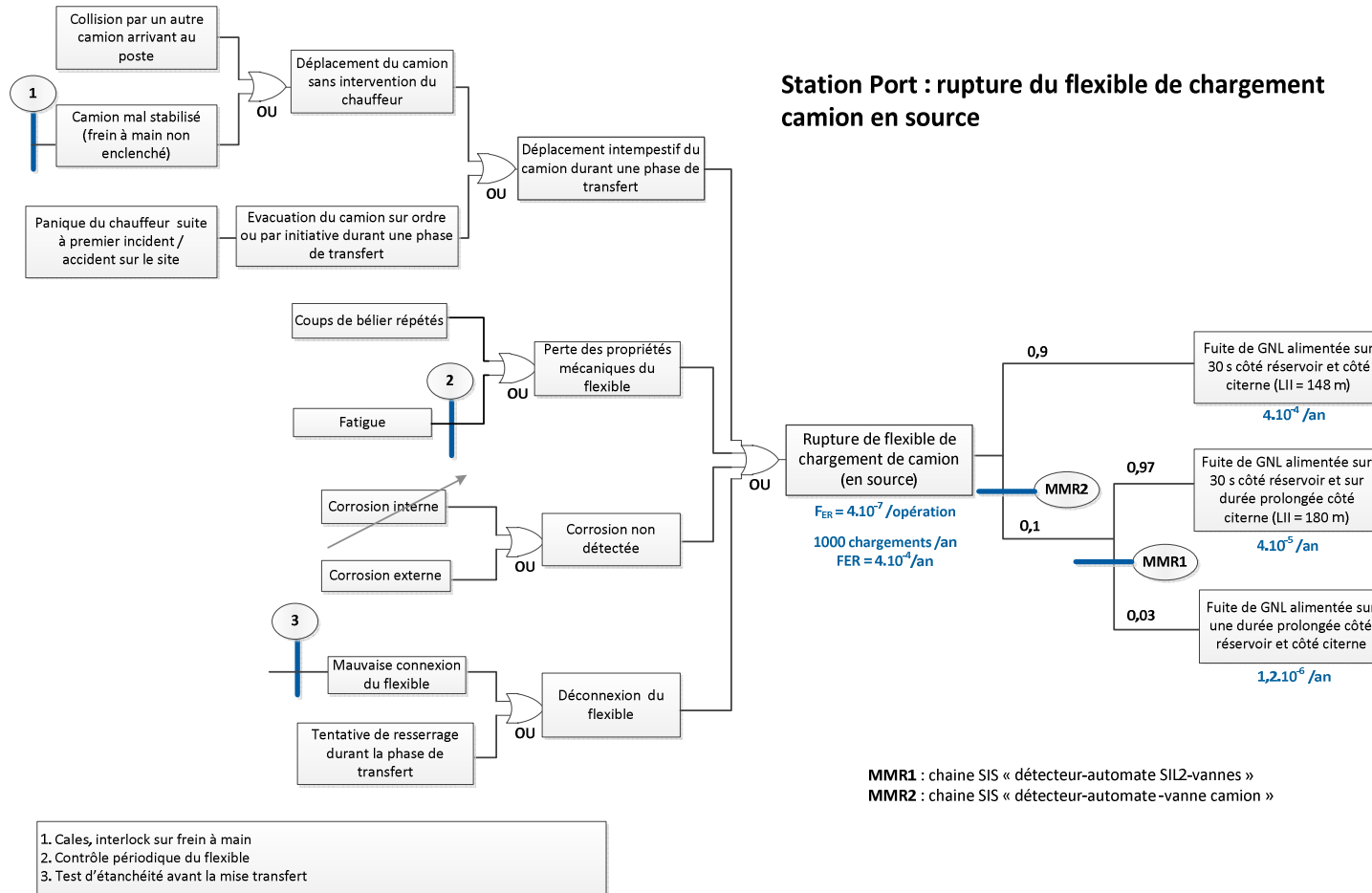
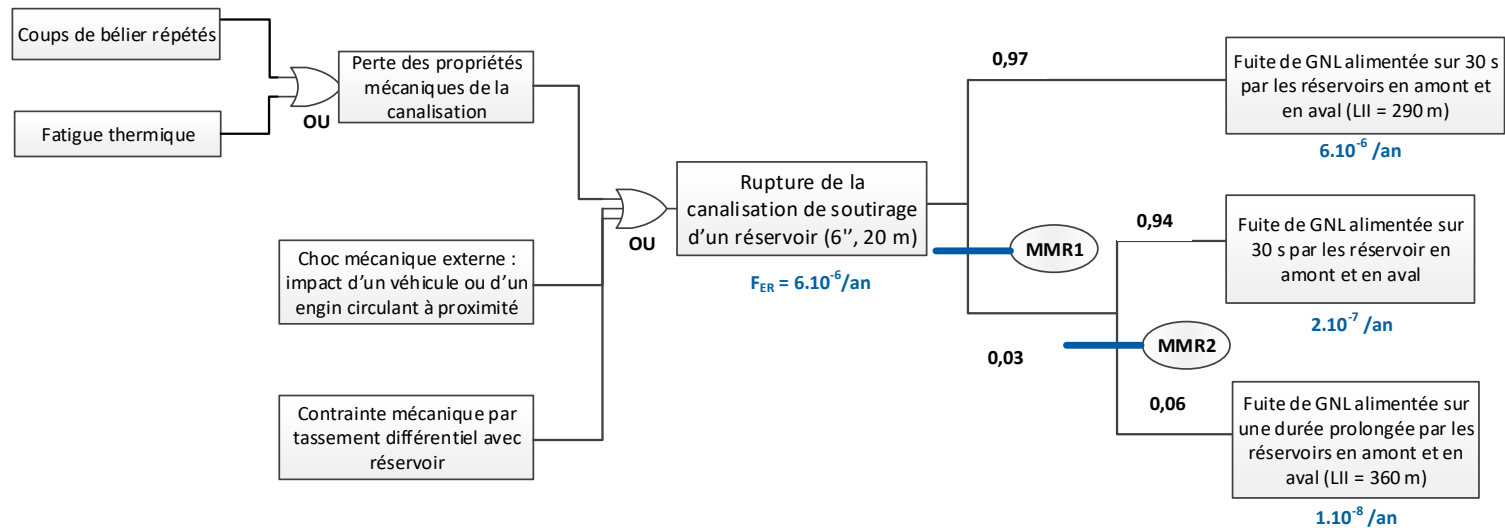


Figure 28 : noeud-papillon "rupture flexible camion source"

Station Port : rupture d'une tuyauterie de soutirage de réservoir



MMR1 : chaîne SIS « détecteur-automate SIL2-vannes n°1 »

MMR2 : chaîne SIS « détecteur-automate -vannes n°2 »

Figure 29 : noeud-papillon "station port - rupture tuyauterie soutirage"

NOTA : le noeud papillon précédent correspond au cas où 2 réservoirs sont soutirés simultanément. La rupture est alors alimentée par les 2 réservoirs. Le métré pris en compte (20 m) correspond à la longueur de tuyauterie séparant 2 réservoirs.

8. MESURES DE MAITRISE DES RISQUES

8.1 DEFINITIONS ET CONTENU

Le terme « mesure de maîtrise du risque » (MMR) est à prendre ici au sens restrictif de « mesure technique » tel qu'introduit dans la Circulaire du 10 mai 2010 et défini dans le Rapport OMEGA 10¹¹ de l'INERIS. Cette définition exclut par conséquent :

- les mesures organisationnelles,
- les mesures à action manuelle de sécurité (exemple : action manuelle d'arrêt d'urgence sur détection de fuite de gaz).

Cette définition couvre 3 types de mesures :

1. les mesures passives,
2. les systèmes instrumentés de sécurité (SIS),
3. les autres mesures actives type soupape, clapet,...

Dans les paragraphes suivants sont présentés :

- les techniques de calcul des probabilités de défaillance des mesures actives et les données de référence associées
- la liste des MMR pour les 2 stations « usine » et « port »,
- pour chaque MMR, une fiche fournissant les caractéristiques principales et en particulier les performances.

8.2 ESTIMATION DES PROBABILITES DE DEFAILLANCE

8.2.1 Cas de l'instrumentation de procédé

La jauge de niveau à différentiel de pression est la seule instrumentation de procédé intervenant dans les arbres quantifiés du §7.9.

Cet instrument est très répandu dans les réservoirs pressurisés en service actuellement avec un bon retour d'expérience. On retient une fréquence annuelle de défaillance dangereuse (non détectée) classique pour un instrument de procédé :

$$\text{Jauge de niveau : } F_d = 3.10^{-2}/\text{an}$$

8.2.2 Cas de l'instrumentation de sécurité

Pour chaque organe, on estime la probabilité moyenne de défaillance à la sollicitation, P_{dm} , à partir de :

- Un taux de défaillance λ extrait de banque de données,

¹¹ Evaluation de la performance des barrières techniques de sécurité - Ω 10 – Rapport d'étude – 23/05/2018

- Une période de test T prise ici à 1 an,
- Un coefficient de mode commun β lorsque 2 organes similaires ou plus sont en parallèle.

Les relations simplifiées utilisées sont les suivantes :

$$P_{dm} = \lambda \cdot T/2$$

pour 2 organes similaires en parallèle :

$$P_{dm} = (\lambda \cdot T/2)^2 + \beta \cdot \lambda \cdot T/2$$

Le tableau ci-après présente pour des organes-type les valeurs de P_{dm} calculées et retenues pour les nœud-papillons quantifiés. Les taux de défaillances des équipements présentés dans le tableau suivant sont issus de banques de données de fiabilité (SINTEF, EXIDA, OREDA, CCPS, ...).

Les valeurs de Pdm présentés dans le tableau supposent la réalisation de tests annuels. La période de test devra être prise en compte dans les calculs de Pdm.

Organes	T (h)	λ (/h)	P_{dm}	β (%)
Détecteur gaz	8760	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	-
Détecteur température	8760	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$8,8 \cdot 10^{-3}$	-
Détecteur fibre optique	8760		0.1 ou $5 \cdot 10^{-2}$ (1)	
Niveau « dry cock »	8760		$5 \cdot 10^{-2}$ (2)	
Niveau radar	8760	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	6
Automate exploitation	8760	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	-
Automate sécurité SIL2	8760		$4 \cdot 10^{-3}$ (3)	-
Vanne boisseau air comprimé	8760	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	5
Vanne camion, wagon, navire			0,1 (4)	-

Tableau 45 : probabilité de défaillance d'organes-type

(1) : 0.1 est une valeur prudente pour une technologie nouvelle, non couverte par les banques de données. Un niveau équivalent SIL peut être retenu sous réserve de disposer d'un Certificat SIL fournisseur (il existe désormais des certificats SIL 2 pour ce type de dispositif).

(2) : valeur estimée pour un organe simple avec un bon retour d'expérience

(3) : valeur moyenne pour un automate de sécurité SIL2

(4) : valeur prudente pour un organe testé et entretenu par le transporteur

NOTA : Lorsque 2 MMR de type SIS sont valorisées vis-à-vis d'un même Evènement Redouté, ces dernières doivent être indépendantes l'une de l'autre. Il est notamment nécessaire de disposer de 2 systèmes de traitement logique comme indiqué au §. 6.4.4.

8.3 CAS DES MMRI

L'Arrêté du 4 octobre 2010 introduit la notion de Mesure de Maîtrise des Risques mettant en œuvre de l'instrumentation de sécurité : les Mesures de Maîtrise des Risques Instrumentées (MMRI).

La Figure suivante identifie par rapport à la sémantique retenue par l'INERIS dans le guide OMEGA 20¹², les barrières qui peuvent être considérées comme des MMRI.

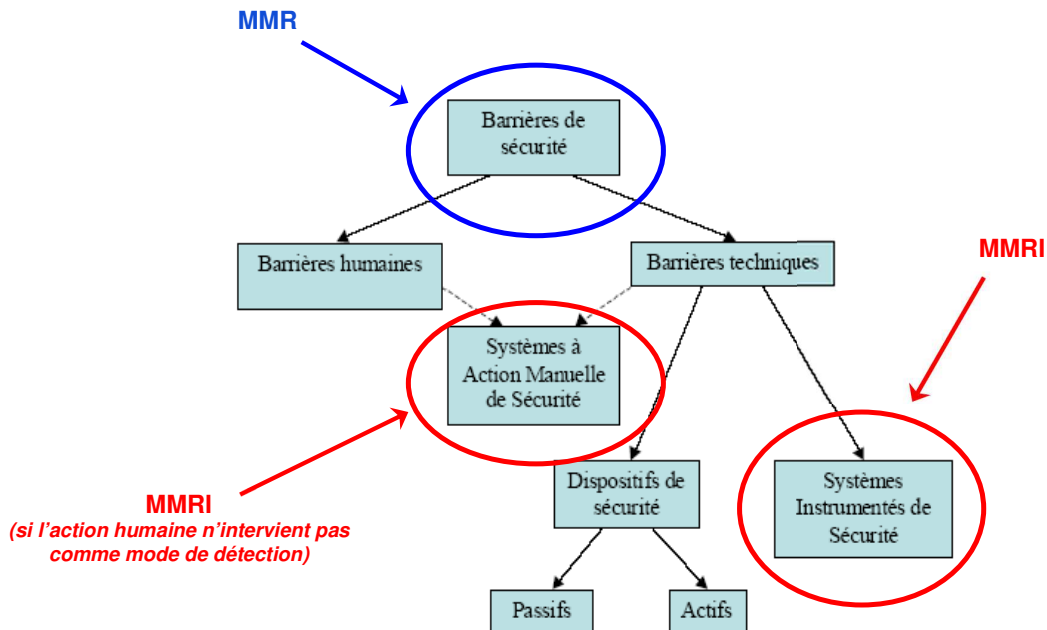


Figure 30: MMR et MMRI

Les MMRI doivent être identifiées dans l'EDD. Si par définition, toutes les MMRI sont des MMR, la réciproque n'est pas vraie.

Le guide DT 93 [28] définit une règle de sélection qui permet d'identifier parmi toutes les MMR valorisées dans l'EDD celles qui doivent être définies comme des MMRI.

¹² Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de Sécurité - Ω 20 – Rapport d'étude N°46055 – 21/12/2006

8.4 CAS DES STATIONS « USINE »

La liste et les types de MMR sont présentés dans le tableau suivant :

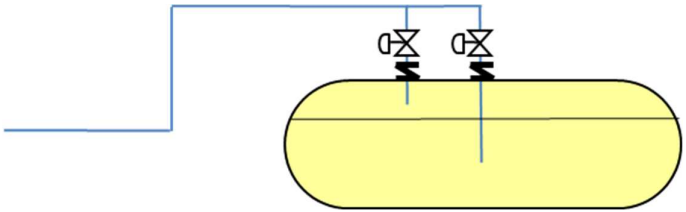
Désignation MMR	Type
Arrêt d'urgence partiel en cas de niveau très haut	SIS
Arrêt d'urgence général sur détection fuite	SIS
Clapet anti-retour sur ligne de remplissage	Autre active
Soupape	Autre active
Mur entre dépotage et stockage	Passive
Double enveloppe en perlite (à confirmer)	Passive

Tableau 46 : liste des MMR

Dans les fiches suivantes, des architectures « type » de MMR pouvant être rencontrées sont présentées. L'évaluation de la probabilité de défaillance réalisée dans le cadre de ce document repose sur des architectures représentant des cas « moyens » voire peu favorables (exemple : 1 seul actionneur valorisé en présence de 2 organes d'isolement).

Station "Usine" – MMR : arrêt d'urgence partiel sur niveau très haut				
IDENTIFICATION DE LA MMR				
Type de MMR	Passive <input type="checkbox"/> ; SIS <input checked="" type="checkbox"/> ; Autre active <input type="checkbox"/>			
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR:	Sur détection de niveau « très haut » sur réservoir, déclencher un arrêt d'urgence partiel de la station en actionnant : <ul style="list-style-type: none"> • Les vannes d'isolement sur la ligne de remplissage et la vanne camion, • L'arrêt pompe camion 			
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée dans l'Etude De Dangers :	ER 5 : débordement par soupape			
DESCRIPTION DE LA MMR / REDONDANCE				
<pre> graph LR subgraph Bloc_detection [Bloc détection] DTH[DéTECTEUR niveau TH • dry cock] end subgraph Bloc_traitement [Bloc traitement] AE[Automate exploitation] end subgraph Bloc_action [Bloc action] subgraph Fermeture_vannes [Fermeture vannes] PF[pied flexible] ER[entrée réservoir] C1[camion] end subgraph Arrêt_pompes [Arrêt pompes] C2[camion] end end DTH --- AE AE --- Fermeture_vannes AE --- Arrêt_pompes </pre>				
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE				
Critère	Critère par équipement			Critère pour la MMR
	Détection	Traitement	Action	
Efficacité (EF)	100%	100%	100%	$EFF_{MMR} = \text{Min} (EF_{\text{détection}} ; EF_{\text{traitement}} ; EF_{\text{action}})$ EFF_{MMR} = 100 %
Temps de réponse (TR)	1 s	T < 1s	10 s	$TR_{MMR} = TR_{\text{détection}} + TR_{\text{traitement}} + TR_{\text{action}}$ TR_{MMR} y 10 secondes
Probabilité de défaillance (Pdm) / Niveau de Confiance (NC)	5.10 ⁻²	2,2.10 ⁻²	2,5.10 ⁻³	$Pdm_{MMR} = Pdm_{\text{détection}} + Pdm_{\text{traitement}} + Pdm_{\text{action}}$ Pdm_{MMR} = 7,5.10⁻²
				$NC_{MMR} = \text{Min} (PFD_{MMR} ; \text{architecture})$

Station “Usine” – MMR : arrêt d’urgence sur détection fuite				
IDENTIFICATION DE LA MMR				
Type de MMR	Passive <input type="checkbox"/> ; SIS <input checked="" type="checkbox"/> ; Autre active <input type="checkbox"/>			
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR:	Sur détection de fuite (détection gaz DG ou détection de température DT), déclencher l’arrêt d’urgence de la station en actionnant : <ul style="list-style-type: none"> • Les vannes d’isolement « station » et la vanne camion, • L’arrêt pompe camion 			
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée dans l’Etude De Dangers :	ER 1 : rupture flexible dépotage camion			
	ER 2 : rupture lignes de remplissage pluie et source			
	ER 3 : rupture ligne d’utilisation			
	ER 4 : fuite évaporateur de pressurisation			
DESCRIPTION DE LA MMR / REDONDANCE				
<pre> graph LR subgraph Bloc_detection [Bloc détection] D[Détecteur: • gaz • température] end subgraph Bloc_traitement [Bloc traitement] A[Automate exploitation] end subgraph Bloc_isolement [Bloc isolement] F[Fermeture vannes: • pied flexible • entrée réservoir • utilisation • camion] AR[Arrêt pompes: • camion] end D --- A A --- F A --- AR F --- O(()) AR --- O style O fill:#90EE90,stroke:#333,stroke-width:1px style O fill:#90EE90,stroke:#333,stroke-width:1px </pre>				
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE				
Critère	Critère par équipement			Critère pour la MMR
	Détection	Traitement	Action	
Efficacité (EF)	100%	100%	100%	$EFF_{MMR} = \text{Min} (EF_{\text{détection}} ; EF_{\text{traitement}} ; EF_{\text{action}})$ EFF_{MMR} = 100 %
Temps de réponse (TR)	20 s	T < 1s	10 s	$TR_{MMR} = TR_{\text{détection}} + TR_{\text{traitement}} + TR_{\text{action}}$ TR_{MMR} = 30 secondes
Probabilité de défaillance (Pdm) / Niveau de Confiance (NC)	9.10^{-3} (Détecteur température valorisé)	$2,2.10^{-2}$	$1,8.10^{-2}$ (1 seule vanne automatique valorisée)	$Pdm_{MMR} = Pdm_{\text{détection}} + Pdm_{\text{traitement}} + Pdm_{\text{action}}$ Pdm_{MMR} = 4,9.10⁻²
				$NC_{MMR} = \text{Min} (PFD_{MMR} ; \text{architecture})$

Station “Usine” – MMR : clapet anti-retour sur ligne de remplissage	
IDENTIFICATION DE LA MMR	
Type de MMR	Passive <input type="checkbox"/> ; SIS <input type="checkbox"/> ; Autre active <input checked="" type="checkbox"/>
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR	En cas de brèche importante sur le flexible de dépotage ou la ligne de remplissage pluie ou source, suppression du retour depuis le réservoir (plus de double contribution en cas de rupture-guillotine)
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée :	ER 1 : rupture flexible dépotage camion
	ER 2 : rupture lignes de remplissage pluie et source
DESCRIPTION DE LA MMR	
	
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE	
Efficacité (EF)	> 95 % (fuite résiduelle possible par défaut d'étanchéité)
Temps de réponse (TR)	< 2 s
Probabilité de défaillance (Pdm) / Niveau de Confiance (NC)	NC = 1 (matériel éprouvé mais organe non testable : la borne de basse de l'intervalle peut être retenue)

Station “Usine” – MMR : soupape	
IDENTIFICATION DE LA MMR	
Type de MMR	Passive <input type="checkbox"/> ; SIS <input type="checkbox"/> ; Autre active <input checked="" type="checkbox"/>
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR	Prévenir la rupture du réservoir en cas de feu (jet enflammé, feu de nappe,...)
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée :	ER 6 : rupture réservoir
DESCRIPTION DE LA MMR	
<p>Au moins 2 soupapes, dont 1 de réserve pour cas de test/maintenance, montées sur un piquage unique Tarage à 1,1 x pression de calcul du réservoir</p> <p><u>Dimensionnement</u> Un cas de dimensionnement possible est un feu de cuvette avec une portion du réservoir impactée par le flux : <ul style="list-style-type: none"> • Pour un réservoir horizontal, sur la partie de la longueur où se trouve la cuvette de récupération, • Pour un réservoir vertical, sur la partie de la hauteur atteinte par les flammes. Un coefficient d’atténuation permet de tenir compte de la protection apportée par la double-enveloppe.</p>	
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE	
Efficacité (EF)	Partielle car la soupape n’apporte aucune protection si le front de chaleur produit par le feu externe atteint la partie en gaz de l’enveloppe interne (rupture par affaiblissement thermique)
Temps de réponse (TR)	< 2 s <u>Remarque</u> : il s’agit d’un temps de réponse “différé” car, en raison de la double-enveloppe, le front de chaleur met plusieurs heures à atteindre le GNL
Probabilité de défaillance (PFD_{avg}) / Niveau de Confiance (NC)	NC = 2 (valeur classique pour une soupape convenablement tarée et testée et pour un produit peu encrassant)

Station “Usine” – MMR : mur entre dépotage et stockage	
IDENTIFICATION DE LA MMR	
Type de MMR	Passive <input checked="" type="checkbox"/> ; SIS <input type="checkbox"/> ; Autre active <input type="checkbox"/>
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR	En cas de brèche importante sur le flexible de dépotage avec jet enflammé, protéger les réservoirs du flux thermique en « cassant » le jet : ⇒ Supprimer un scénario majeur de BLEVE de réservoir par effet domino pour une distance < 25 m (portée d'un jet enflammé de longue durée)
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée :	ER 1 : rupture flexible dépotage camion
DESCRIPTION DE LA MMR	
Mur en béton d'environ 5 m de long et d'au moins 2 m de haut. (dimensions à préciser selon angle solide de vue des réservoirs depuis la bride du camion)	
<u>Dimensionnement particulier</u> Le mur doit résister à l'onde de pression générée par un BLEVE de camion (déformation possible sans génération de fragments à haute énergie)	
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE	
<i>Critère</i>	
Efficacité (EF)	De l'ordre de 60 % car le flux moyen émis par un jet libre au-dessus du mur et des réservoirs est d'environ 100 kW/m ² comparé à 240 kW/m ² pour un jet impactant le réservoir
Temps de réponse (TR)	Sans objet
Probabilité de défaillance (PFD_{avg}) / Niveau de Confiance (NC)	Sans objet sous réserve de la tenue du mur à un BLEVE de camion

8.5 CAS DES STATIONS « PORT »

La liste et les types de MMR sont présentés dans le tableau suivant :

Désignation MMR	Type
Arrêt d'urgence partiel en cas de niveaux haut et très haut	SIS
Arrêt d'urgence général ou partiel sur détection fuite	SIS
Soupape	Autre active
Mur entre stockage et postes camion/wagon	Passive
Pipeway ou caniveau béton	Passive
Double-enveloppe perlite (à confirmer)	Passive

L'arrêt d'urgence général ou partiel en cas de fuite met en jeu 2 MMR/SIS (« MMR1 » et « MMR2 ») qui sont redondantes et qui agissent en parallèle. Les diagrammes « bloc » font alors apparaître les équipements redondants et en particulier les vannes doublées (vanne n°1 et vanne n°2).

Les fiches MMR sont jointes ci-après :

Station "Port" – MMR : arrêt d'urgence partiel sur niveaux « haut » et « très haut »				
IDENTIFICATION DE LA MMR				
Type de MMR	Passive <input type="checkbox"/> ; SIS <input checked="" type="checkbox"/> ; Autre active <input type="checkbox"/>			
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR:	Sur détection de niveau « haut » et « très haut » sur réservoir, déclencher un arrêt d'urgence partiel de la station en actionnant : <ul style="list-style-type: none"> • Les vannes d'isolement sur la ligne de remplissage (2 au poste de déchargement, 2 dans la station) • L'arrêt pompe du navire et la fermeture de la vanne navire 			
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée dans l'Etude De Dangers :	ER 5 : débordement par soupapes			
DESCRIPTION DE LA MMR / REDONDANCE				
<p>Le diagramme illustre l'architecture de la MMR. Il est divisé en trois blocs principaux : <ul style="list-style-type: none"> Bloc détection : Contient des détecteurs de niveau (H : radar, TH : radar). Bloc traitement : Contient un automate SIL 2. Bloc action : Contient des actions telles que la fermeture des vannes (poste (2), entrée site, entrée réservoir, navire) et l'arrêt des pompes (navire). Des symboles de connexion (cercles verts) sont placés à l'entrée et à la sortie du système. </p>				
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE				
Critère	Critère par équipement			Critère pour la MMR
	Détection	Traitement	Action	
Efficacité (EF)	100%	100%	100%	$EFF_{MMR} = \text{Min} (EF_{\text{détection}} ; EF_{\text{traitement}} ; EF_{\text{action}})$ $EFF_{MMR} = 100 \%$
Temps de réponse (TR)	1 s	T < 1s	10 s	$TR_{MMR} = TR_{\text{détection}} + TR_{\text{traitement}} + TR_{\text{action}}$ $TR_{MMR} \leq 10 \text{ secondes}$
Probabilité de défaillance (Pdm) / Niveau de Confiance (NC)	$1,7.10^{-4}$	4.10^{-3}	$9,0.10^{-4}$	$Pdm_{MMR} = Pdm_{\text{détection}} + Pdm_{\text{traitement}} + Pdm_{\text{action}}$ $Pdm_{MMR} = 5,1.10^{-3}$
				$NC_{MMR} = \text{Min} (PFD_{MMR} ; \text{architecture})$

Station "Port" – MMR : arrêt d'urgence sur détection fuite en station				
IDENTIFICATION DE LA MMR				
Type de MMR	Passive <input type="checkbox"/> ; SIS <input checked="" type="checkbox"/> ; Autre active <input type="checkbox"/>			
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR:	Sur détection de fuite (détection gaz DG ou détection de température DT), déclencher l'arrêt d'urgence de la station en actionnant : <ul style="list-style-type: none"> • Les vannes d'isolement « station » et poste navire, • L'arrêt des pompes « station », • La fermeture des vannes camion et wagon, • L'arrêt de pompe navire et la fermeture de vanne navire 			
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée dans l'Etude De Dangers :	ER 1 : rupture flexible ou bras de dépotage camion/wagon			
	ER 2 : rupture lignes de remplissage réservoir			
	ER 3 : rupture ligne de soutirage réservoir			
	ER 4 : fuite évaporateur de pressurisation			
DESCRIPTION DE LA MMR / REDONDANCE				
<p>Le diagramme illustre la chaîne de commande de la MMR. À gauche, un bouton d'urgence est connecté à un 'Bloc détection' qui comprend deux détecteurs : 'température' et 'gaz'. Ces détecteurs envoient des signaux à un 'Bloc traitement' qui contient deux automates : 'Automate SIL 2' et 'Automate exploitation'. Ces deux automates déclenchent des actions dans le 'Bloc action', qui comprend : 'Fermeture vanne : vanne station n°1', 'Arrêt pompes : station', 'Fermeture vannes : vannes station n°2, camion/wagon/navire', et 'Arrêt pompes : navire'. À droite, un autre bouton d'urgence est également présent.</p>				
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE				
Critère	Critère par équipement			Critère pour la MMR
	Détection	Traitement	Action	
Effacité (EF)	100%	100%	100%	$EFF_{MMR} = \text{Min} (EF_{\text{détection}} ; EF_{\text{traitement}} ; EF_{\text{action}})$ EFF_{MMR} = 100 %
Temps de réponse (TR)	20 s	T < 1s	10 s	$TR_{MMR} = TR_{\text{détection}} + TR_{\text{traitement}} + TR_{\text{action}}$ TR_{MMR} = 30 secondes
Probabilité défaillance (Pdm) MMR1	9.10^{-3}	4.10^{-3}	$1,8.10^{-2}$	$Pdm_{MMR} = Pdm_{\text{détection}} + Pdm_{\text{traitement}} + Pdm_{\text{action}}$ Pdm_{MMR} = 3,1.10⁻²
Probabilité défaillance (Pdm) MMR2	$2.2.10^{-2}$	$2,2.10^{-2}$	0,1 ou $1,8.10^{-2}$	$Pdm_{MMR} = Pdm_{\text{détection}} + Pdm_{\text{traitement}} + Pdm_{\text{action}}$ Pdm_{MMR} = 1,5.10⁻¹ ou 6,2.10⁻²

Station "Port" – MMR : arrêt d'urgence partiel sur détection fuite au poste de déchargement navire				
IDENTIFICATION DE LA MMR				
Type de MMR	Passive <input type="checkbox"/> ; SIS <input checked="" type="checkbox"/> ; Autre active <input type="checkbox"/>			
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR:	Sur détection de fuite (détection gaz DG ou détection de température DT), déclencher un arrêt d'urgence partiel en actionnant : <ul style="list-style-type: none"> • Les vannes d'isolement poste navire et les vannes d'arrivée site et entrée réservoir, • L'arrêt de pompe navire et la fermeture de vanne navire 			
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée dans l'Etude De Dangers :	ER 6 : rupture du bras de déchargement navire			
DESCRIPTION DE LA MMR / REDONDANCE				
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE				
Critère	Critère par équipement			Critère pour la MMR
	Détection	Traitement	Action	
Efficacité (EF)	100%	100%	100%	$EFF_{MMR} = \text{Min} (EF_{\text{détection}} ; EF_{\text{traitement}} ; EF_{\text{action}})$ EFF_{MMR} = 100 %
Temps de réponse (TR)	20 s	T < 1s	10 s	$TR_{MMR} = TR_{\text{détection}} + TR_{\text{traitement}} + TR_{\text{action}}$ TR_{MMR} = 30 secondes
Probabilité défaillance (Pdm) MMR1	9.10^{-3}	4.10^{-3}	$1,8.10^{-2}$	$Pdm_{MMR} = Pdm_{\text{détection}} + Pdm_{\text{traitement}} + Pdm_{\text{action}}$ Pdm_{MMR} = 3,1.10⁻²
Probabilité défaillance (Pdm) MMR2	9.10^{-3}	$2,2.10^{-2}$	0,1	$Pdm_{MMR} = Pdm_{\text{détection}} + Pdm_{\text{traitement}} + Pdm_{\text{action}}$ Pdm_{MMR} = 1,3.10⁻¹

Station "Port" – MMR : arrêt d'urgence partiel sur détection fuite sur ligne de déchargement navire				
IDENTIFICATION DE LA MMR				
Type de MMR	Passive <input type="checkbox"/> ; SIS <input checked="" type="checkbox"/> ; Autre active <input type="checkbox"/>			
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR:	Sur détection de fuite par fibre optique, déclencher un arrêt d'urgence partiel en actionnant : <ul style="list-style-type: none"> • Les vannes d'isolement poste navire et les vannes d'arrivée site et entrée réservoir, • L'arrêt de pompe navire et la fermeture de vanne navire 			
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée dans l'Etude De Dangers :	ER 7 : fuite sur ligne de déchargement navire			
DESCRIPTION DE LA MMR / REDONDANCE				
<p>Le diagramme illustre le processus de la MMR. Il est divisé en trois blocs principaux : 1. Bloc détection : Contient des détecteurs à fibre optique. 2. Bloc traitement : Contient un automate SIL 2 qui reçoit les signaux de détection. 3. Bloc isolement : Contient des actions de fermeture de vannes (poste (2), entrée site, entrée réservoir, navire) et l'arrêt des pompes (navire). Des symboles de connexion (cercles verts) sont placés à l'entrée et à la sortie du processus.</p>				
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE				
Critère	Critère par équipement			Critère pour la MMR
	Détection	Traitement	Action	
Efficacité (EF)	100%	100%	100%	$EFF_{MMR} = \text{Min} (EF_{\text{détection}} ; EF_{\text{traitement}} ; EF_{\text{action}})$ EFF_{MMR} = 100 %
Temps de réponse (TR)	20 s	T < 1s	10 s	$TR_{MMR} = TR_{\text{détection}} + TR_{\text{traitement}} + TR_{\text{action}}$ TR_{MMR} = 30 secondes
Probabilité de défaillance (Pdm) MMR	0,1	4.10^{-3}	$1,2.10^{-3}$	$Pdm_{MMR} = Pdm_{\text{détection}} + Pdm_{\text{traitement}} + Pdm_{\text{action}}$ Pdm_{MMR} = 0,1

Station “Port” – MMR : soupape	
IDENTIFICATION DE LA MMR	
Type de MMR	Passive <input type="checkbox"/> ; SIS <input type="checkbox"/> ; Autre active <input checked="" type="checkbox"/>
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR	Prévenir la rupture du réservoir en cas de feu (jet enflammé, feu de nappe,..)
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée :	ER 6 : rupture réservoir
DESCRIPTION DE LA MMR	
<p>Au moins 2 soupapes, dont 1 de réserve pour cas de test/maintenance, montées sur un piquage uni Tarage à 1,1 x pression de calcul du réservoir</p> <p><u>Dimensionnement</u> Un cas de dimensionnement possible est un feu de cuvette sur la partie de la longueur où se trouve la cuvette de récupération. Un coefficient d’atténuation permet de tenir compte de la protection apportée par la double-enveloppe. Un 2^{me} cas de dimensionnement est relatif au débordement en cas de remplissage excessif par un navire. La soupape doit laisser passer le débit de remplissage sans surpression dangereuse pour le réservoir.</p>	
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE	
Efficacité (EF)	Partielle car la soupape n’apporte aucune protection si le front de chaleur atteint la partie en gaz de l’enveloppe interne (rupture par affaiblissement thermique)
Temps de réponse (TR)	< 2 s <u>Remarque</u> : il s’agit d’un temps de réponse “différé” car, en raison de la double-enveloppe, le front de chaleur met plusieurs heures à atteindre le GNL
Probabilité de défaillance (PFD_{avg}) / Niveau de Confiance (NC)	NC = 2 (valeur classique pour une soupape convenablement tarée et testée)

Station "Port" – MMR : mur entre stockage et postes camion ou wagon	
IDENTIFICATION DE LA MMR	
Type de MMR	Passive <input checked="" type="checkbox"/> ; SIS <input type="checkbox"/> ; Autre active <input type="checkbox"/>
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR	En cas de brèche importante sur le flexible ou bras avec jet enflammé, protéger les réservoirs horizontaux du flux thermique en « cassant » le jet : ⇒ Supprimer un scénario majeur de BLEVE de réservoir par effet domino pour une distance < 25 m (portée d'un jet enflammée de longue durée)
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée :	ER 1 : rupture flexible camion ou bras wagon
DESCRIPTION DE LA MMR	
Mur en béton d'environ 5 m de long et d'au moins 2 m de haut. (dimensions à préciser selon angle solide de vue des réservoirs depuis la bride du camion ou wagon)	
<u>Dimensionnement particulier</u> Le mur doit résister à l'onde de pression générée par un BLEVE de camion ou wagon (déformation possible sans génération de fragments à haute énergie)	
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE	
<i>Critère</i>	
Efficacité (EF)	De l'ordre de 60 % car le flux moyen émis par un jet libre au-dessus du mur et des réservoirs est d'environ 100 kW/m ² comparé à 240 kW/m ² pour un jet impactant le réservoir
Temps de réponse (TR)	Sans objet
Probabilité de défaillance (PFD_{avg}) / Niveau de Confiance (NC)	Sans objet sous réserve de la tenue du mur à un BLEVE de camion

Station “Port” – MMR : pipeway ou caniveau béton	
IDENTIFICATION DE LA MMR	
Type de MMR	Passive <input checked="" type="checkbox"/> ; SIS <input type="checkbox"/> ; Autre active <input type="checkbox"/>
Description de la fonction de sécurité remplie par la MMR	Prévention contre les agressions externes permettant d’exclure une rupture de tuyauterie de diamètre > 150 mm Mitigation par impact sur jet collectant une partie de la phase liquide, facilitant la détection de fuite et réduisant la portée du nuage inflammable
Événements Redoutés pour lesquels la MMR est valorisée :	ER 2 : rupture lignes de déchargement navire et remplissage réservoir
	ER 3 : rupture lignes de soutirage réservoir et chargement navire
DESCRIPTION DE LA MMR	
<p><u>Pipeway béton aérien</u> constitué de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 murs latéraux (hauteur : environ 1 m et largeur de 0,7 m à 1 m), • Sol en matériau naturel ou béton, • Compartimentage par merlon ou voile béton avec détecteur de fuite par compartiment <p><u>Caniveau béton en décaissé</u> constitué de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Murs latéraux et sol béton (profondeur : entre 0,5 m et 1 m et largeur entre de 0,7 m à 1 m) • Compartimentage par merlon ou voile béton avec détecteur de fuite par compartiment • Optionnel : dalles de couverture, remplissage par sable 	
EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE	
Efficacité (EF)	<p>En matière de détection, la MMR permet d’ajouter en plus de la fibre optique un 2^{ème} dispositif de détection (explosimètre ou température) dans chaque compartiment.</p> <p>En matière de réduction de nuage inflammable, l’efficacité en réduction de LII est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faible pour le GNL sous pression, sauf pour la version « couverture+sable » • Pour le GNL sous faible pression, de l’ordre de 20 % à 60 % croissant avec le débit à la brèche. <p>Pour le GNL sous faible pression, les parois latérales ne couvrent pas toutes les directions de jet.</p>
Temps de réponse (TR)	Le temps de réponse des détecteurs en compartiment dépend du débit à la brèche, de l’extension de la nappe liquide et de la longueur du compartiment
Probabilité de défaillance (PFD_{avg}) / Niveau de Confiance (NC)	Sans objet

9. RECOMMANDATIONS D'IMPLANTATION

9.1 PRESENTATION

Ce chapitre présente une implantation-type pour une station « usine » et une station « port ».

Ces stations comportent les installations suivantes :

Station « usine »

- 2 réservoirs horizontaux de 200 m³ unitaire,
- Des évaporateurs atmosphériques verticaux,
- Un poste de déchargement de camion,
- Une cuvette/fosse de récupération déportée,
- Un mur de protection du stockage vis-à-vis d'un jet enflammé provenant du poste de déchargement.

Station « port »

- 4 réservoirs horizontaux de 1000 m³ unitaire,
- Des évaporateurs atmosphériques verticaux,
- Une unité de réfrigération,
- Une pomperie,
- Un poste de chargement de camions,
- Une cuvette/fosse de récupération déportée,
- Un mur de protection du stockage vis-à-vis d'un jet enflammé provenant du poste de chargement.

La station « port » est reliée à un poste de chargement de ferry ou déchargement de méthanier par bras avec une ligne liquide et une ligne de retour gaz. Ce poste n'est pas contigu à la station et les lignes cheminent dans le domaine portuaire.

Les 2 schémas des pages suivantes présentent ces 2 implantations-type.

9.2 CRITERES D'IMPLANTATION

L'implantation est définie par un jeu de distances :

- Internes au site entre emplacements comportant du GNL (distances « D »),
- Internes au site entre emplacements de GNL et autres installations du site : bureau d'exploitation, bâtiment administratif « usine », ateliers « usine » (distances « D »)
- Externes au site entre emplacements de GNL et des installations avec présence de personnes, installations dites « riverains » (distances « d »)

Ces distances correspondent aux objectifs de sécurité suivants :

- Prévention d'effet domino pour les distances entre emplacements GNL,
- Protection du personnel pour les distances aux installations « usine »,
- Protection des riverains pour les distances aux enjeux externes.

Parmi ces objectifs, seule la protection des riverains peut faire l'objet d'une obligation réglementaire précise.

Dans les tableaux suivants, sont présentés pour chaque distance :

- L'objectif de sécurité associé,
- Le scénario d'accident correspondant à l'objectif,
- Les seuils d'effet exprimés en intensité ou en distance d'inflammabilité (LII) ou longueur de flammes (Lf)
- La distance obtenue selon la modélisation des scénarios,
- Le caractère « obligation réglementaire » de la distance ou de « recommandation »

***Remarque :** Les distances sont estimées sur la base de scénarios-type pour donner un ordre de grandeur des contraintes d'implantation. Les scénarios de référence pour un site futur peuvent être différents de ceux présentés selon la configuration des lieux et des installations.*

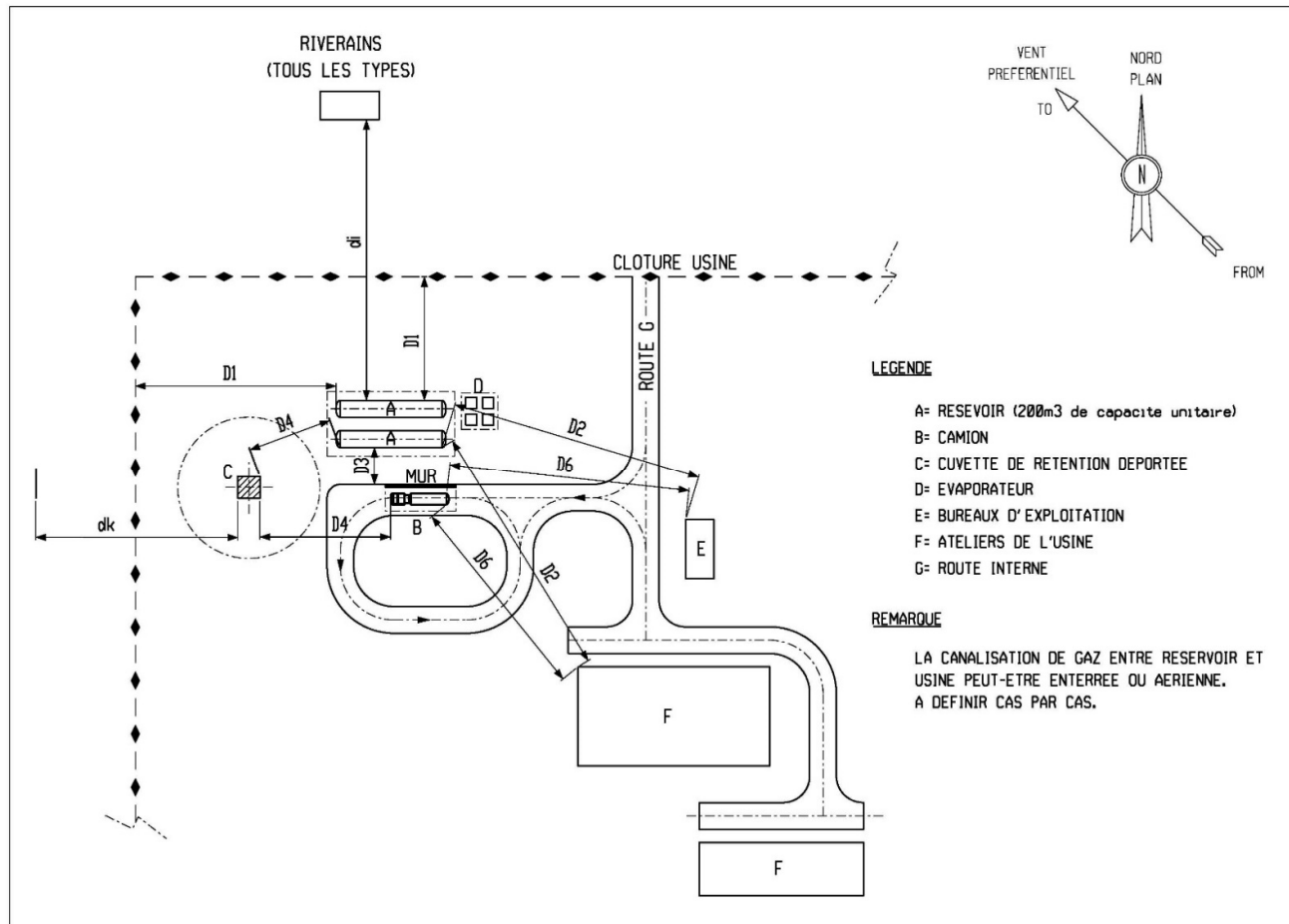


Figure 31 : schéma d'implantation pour station "usine"

Station « usine »

	Distances	Objectif	Scénario	Seuil	m	Obligation	Recommandation
D1	Distance réservoir ou dépotage/clôture	Protection riverains	Débordement soupape	LII	52	Néant	La distance de 52 m est recommandée car elle permet de contenir des effets mortels à probabilité assez élevée dans la limite du site
D2	Distance réservoir/atelier ou bureaux usine	Protection personnel	Rupture flexible dépotage	LII	100	Néant	La distance de 60 m est recommandée pour un bâtiment administratif ou un atelier non ATEX
D6	Distance dépotage/atelier ou bureaux usine	Prévention d'inflammation	Brèche 33% sur tuyauterie 3''	LII	60		Pour un site exigu, la distance de 15 m est un minimum
			Brèche 10% sur tuyauterie 3''	Lf	15		
			Brèche 1'' sur ligne alimentation usine	LII	70		
D3	Distance réservoir/dépotage	Prévention d'effet domino (BLEVE réservoir)	Rupture flexible dépotage Brèche réduite à émission longue durée (>2h)	Lf	47	Pour exclusion de BLEVE réservoir	Mur béton résistant au flux thermique permettant de réduire la distance Camion en dépotage parallèle aux réservoirs (pas de fond de citerne orienté vers les réservoirs)
D4	Distances cuvette/dépotage et réservoir	Prévention d'effet domino	Feu de cuvette (50 m ²)	37,5 kW/m ²	13	Néant	
D5	Distance réservoir ou dépotage/voies internes	Prévention de choc Prévention d'inflammation				Néant	Pas de contrainte de distance mais protection éventuelle des tuyauteries (rail,...) Voie d'accès au dépotage GNL distincte des autres voies internes
di	Distance à chaque riverain (postes de travail d'activité voisine, habitation isolée,...)	Protection riverains	Rupture flexible dépotage BLEVE camion	LII SEL	112 130	Distance pour effet mortel quasi-obligatoire pour une installation nouvelle (pas d'exposition de nouvelles personnes aux effets mortels)	Distance à appliquer aux voies de circulation externes, a fortiori à grande circulation

Tableau 47 : critères d'implantation pour station "usine"

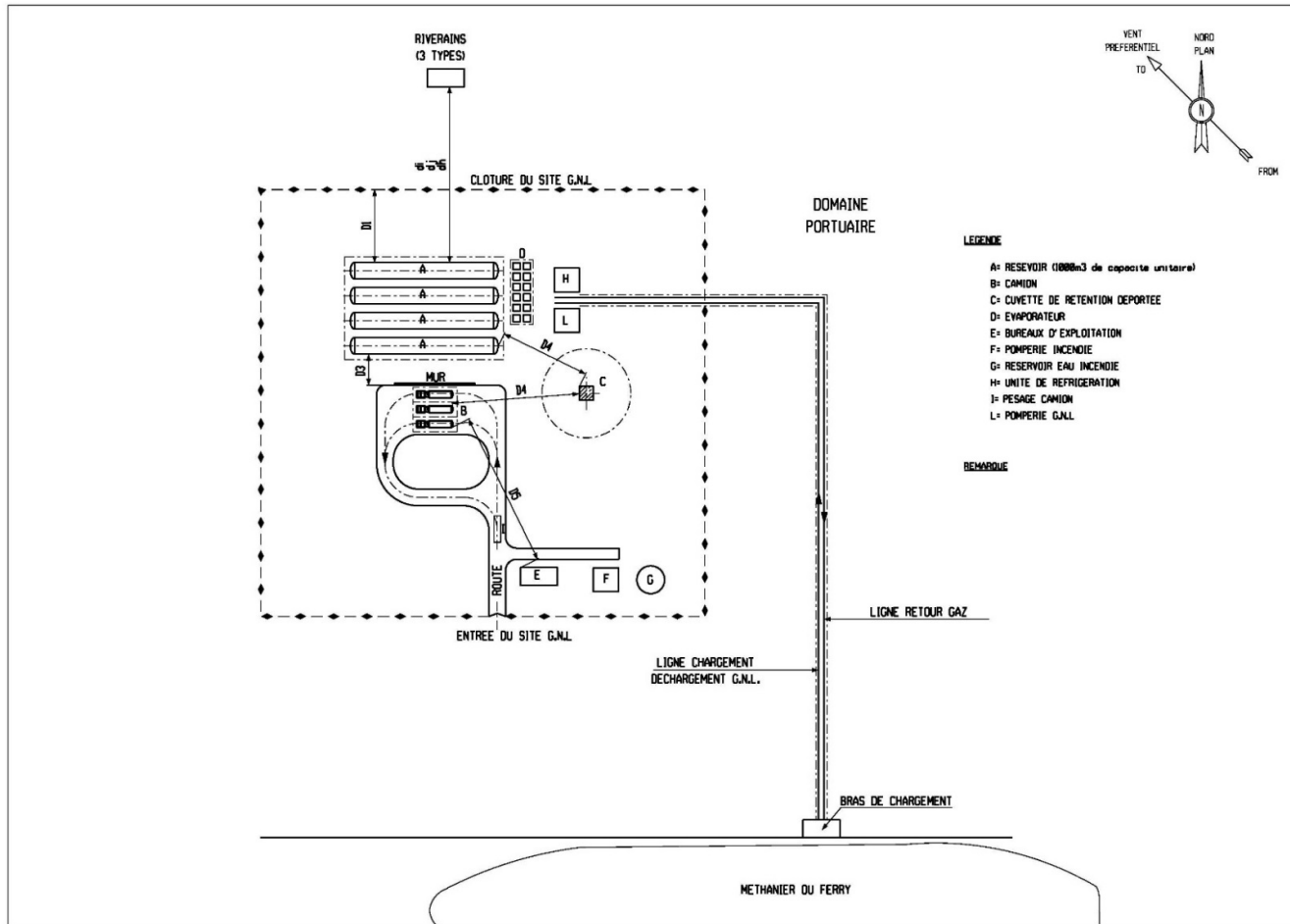


Figure 32 : schéma d'implantation pour station "port" réservoir pressurisé

Station « port » réservoir pressurisé

Groupe TECHNIP. Ce document et les informations qu'il contient sont propriété de TECHNIP France SAS. Il ne doit pas être utilisé à d'autres fins que celles pour lesquelles il a été remis.
Copyright TECHNIP France – Tous droits réservés.

	Distances	Objectif	Scénario	Seuil	m	Obligation	Recommandation
D1	Distance réservoir ou chargement/clôture	Protection riverains	Rupture flexible chargement camion Rupture soutirage 6'' Brèche 33% collecteur 8''	LII LII LII	180 290 210	Néant	Pas de recommandations : les distances ne peuvent être contenues dans la clôture de la station
D3	Distance réservoir/chargement	Effet domino (BLEVE réservoir)	Rupture flexible chargement camion Brèche réduite à émission longue durée (>2h)	Lf Lf	45 25	Pour exclusion de BLEVE réservoir	Mur béton résistant au flux thermique permettant de réduire la distance et de supprimer une cause majeure de BLEVE Camion et wagon en dépotage parallèle aux réservoirs (pas de fond de citerne orienté vers les réservoirs)
D4	Distances cuvette/dépotage et réservoir	Prévention d'effet domino	Feu de cuvette (360 m ²)	37,5 kW/m ²	30	Néant	
D5	Distance réservoir ou chargement/bureau d'exploitation	Protection personnel Prévention d'effet domino	Rupture flexible chargement camion	Lf	45	Néant	Bâtiment renforcé vis-à-vis du flux thermique et d'une surpression (UVCE)
di	Distance à chaque riverain portuaire (postes de travail, bâtiment administratif, parking voyageurs, ERP type gare maritime...)	Protection riverains	Rupture flexible chargement Rupture soutirage 6'' Brèche 33% collecteur 8'' BLEVE réservoir	LII LII LII SEL	180 290 190 490	Distances pour effet mortel obligatoires pour une installation nouvelle AS (pas d'exposition de nouvelles personnes aux effets mortels)	Les distances des phénomènes à cinétique rapide (hors BLEVE) sont à appliquer aux postes de travail portuaires voisins facilement évacuables La distance BLEVE est applicable aux riverains difficilement évacuables, ce qui suppose une cinétique suffisamment lente. La possibilité d'évacuation dans les délais est à confirmer par les services de secours. A défaut, la distance d'exclusion doit être étendue à toutes les personnes.

Tableau 48: critère d'implantation pour station "port" réservoir pressurisé"

En termes de protection des réservoirs, les critères suivants doivent notamment être respectés :

- Collecter le GNL dans une cuvette et éloigner la cuvette déportée pour prévenir les effets des feux de nappe ;
- Éloigner le poste de dépotage camion pour prévenir les effets de jets enflammés ou mettre en place un mur de séparation en béton ;
- Orienter les camions parallèlement aux réservoirs pour prévenir les effets dominos de projection en cas de BLEVE de citernes ;

Le bâtiment d'exploitation doit également faire l'objet d'un dimensionnement adapté aux flux thermiques et effets de surpression auquel il est soumis.

10. REFERENCES

- [1] DGPR – Note relative à la réglementation applicable aux installations pour l’avitaillement des navires en GNL – Version avril 2014
- [2] Guide méthodologique pour la réalisation d’une étude de dangers concernant une canalisation de transport » (Guide Professionnel GESIP n°2008/01 – Janvier 2014)
- [3] « Design Guidance for Hydrocarbon Fires » (FABIG Technical Note 13, september 2014)
- [4] J.Woodward & R Pitblado « LNG – Risk Based Safety- Modeling and consequence analysis” – 2010
- [5] SHELL – FRED Technical Guide –Issue 7 – July 2007
- [6] RIVM - Reference Manual Bevi Risk Assessment – version 3.2- (01/07/2009)
- [7] UK HSE - Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessment (28/06/2012)