

Projet TDI RETE-GNL

Technologies et dimensionnement des usines du réseau de distribution primaire de GNL dans les ports de la zone transfrontalière

Produit T2.4.4 "Bonnes pratiques de réduction des risques et impacts du GNL"

Sommaire

1.	FINALITÉ DU PRODUIT T2.4.4	5
2.	RISQUES ET DANGERS GÉNÉRÉS PAR LES INSTALLATIONS DE GNL (CONTRIBUTION OTC/ TRACTEBEL, ENGIE, ELENGY ET SEEUP)	7
2.1.	Risques liés aux caractéristiques du GNL.....	7
2.1.1.	<i>Inflammabilité et explosivité</i>	7
2.1.2.	<i>Brûlures cryogéniques et fractures fragiles</i>	8
2.1.3.	<i>Transition de phase rapide</i>	9
2.1.4.	<i>Phénomènes dangereux</i>	9
2.2.	Risques liés aux opérations de stockage et de soutage du GNL	10
2.2.1.	<i>Risques liés aux activités de stockage de GNL</i>	10
2.2.2.	<i>Risques de soutage de GNL</i>	11
2.3.	Risques liés aux aspects externes des installations	12
2.3.1.	<i>Risques naturels</i>	12
2.3.2.	<i>Risques technologiques</i>	12
3.	ETAT DES LIEUX DES DIRECTIVES, CODES, NORMES ET GUIDES PRINCIPAUX POUR LE SOUTAGE DE GNL (CONTRIBUTION OTC/ TRACTEBEL, ENGIE, ELENGY ET SEEUP)	13
3.1.	Directives européennes	13
3.2.	Codes internationaux.....	13
3.3.	Normes EN et ISO.....	14
3.4.	Normes API.....	23
3.5.	Normes NFPA – National Fire Protection Association	24
3.6.	Guides	24
4.	BONNES PRATIQUES POUR LA REDUCTION DES RISQUES ET IMPACTS (CONTRIBUTION OTC/ TRACTEBEL, ENGIE, ELENGY E SEEUP)	26
4.1.	Grands principes d'implantation	26
4.2.	Grands principes de sécurité	29
4.3.	Dispositions constructives et barrières techniques	30
4.4.	Mesurs organisationnelles	32
5.	RECOMMANDATIONS DE BONNES PRATIQUES (CONTRIBUTION CCIVAR/TECHNIP FMC).....	33
5.1.	Conduites de raccordement pour le stockage sous pression et conduites de raccordement pour les entrepôts non pressurisés.....	33
5.2.	Chaîne de sécurité / mnr dite instrumentée.....	34
5.2.1.	<i>5.2.1 Présentation générale</i>	34
5.2.2.	<i>Propriétés</i>	34
5.3.	Détection.....	35
5.3.1.	<i>Généralités</i>	35
5.3.2.	<i>Détection/mesure de niveau</i>	35
5.3.3.	<i>Détection/mesure de pression</i>	36
5.3.4.	<i>Détection/mesure de Température</i>	36

5.3.5.	<i>Détection/mesure dite LTD</i>	37
5.3.6.	<i>Détection de fuite/ de feu</i>	37
5.4.	Traitement.....	38
5.4.1.	<i>Généralités</i>	38
5.4.2.	<i>Traitement des événements accidentels concernant le méthanier</i>	38
5.5.	Systemes d’actions d’urgence.....	39
5.5.1.	<i>Généralités</i>	39
5.5.2.	<i>Organes d’isolement</i>	39
5.5.3.	<i>Dispositifs de contrôle à haute et basse pression</i>	40
5.6.	Systemes de collecte des events	41
5.7.	Systemes de collecte de fuite	42
5.7.1.	<i>Fonctions et objectifs</i>	42
5.7.2.	<i>Aires de récupération</i>	42
5.7.3.	<i>Capacités de rétention</i>	42
5.8.	Systeme de protection incendie	43
5.9.	Effets dominos	44
6.	ANALYSE DE RISQUES APPLIQUEE AU CAS DE LA CORSE (CONTRIBUTION OTC/ TRACTEBEL, ENGIE, ELENGY ET SEEUP)	46
6.1.	DANGER : Soutage de GNL	46
6.2.	Exemple de zone de sécurité	64
ANNEXE 1	66
ANNEXE 2	150

Index des figures

<i>Figura 1. Rilascio GNL bifase (CRAIM)</i>	8
<i>Figurr 2. Phénomène TRP du GNL (test Gaz de France, Lorient)</i>	9
<i>Figure 3. Phénomènes dangereux associés au GNL</i>	10
<i>Figure 4. Architecture des chaînes de sécurité instrumentées ou MMR</i>	34

Index des tableaux

<i>Tableau 1 Propriétés du GNL</i>	7
<i>Tableau 2. Risques du stockage du GNL</i>	11
<i>Tableau 3. Risques de soutage du GNL</i>	11
<i>Tableau 4. Liste des directives européennes applicables à l'avitaillement en GNL</i>	13
<i>Tableau 5. Liste des codes internationaux applicables à l'avitaillement en GNL</i>	13
<i>Tableau 6. Liste des normes EN et ISO applicables au soutage du GNL</i>	14
<i>Tableau 7. Liste des normes API applicables au soutage de GNL</i>	23
<i>Tableau 8. Liste des normes NFPA applicables à l'avitaillement en GNL</i>	24
<i>Tableau 9. Liste des guides applicables à l'avitaillement en GNL</i>	24
<i>Tableau 10. Contraintes sur la mise en œuvre des activités de GNL</i>	26
<i>Tableau 11. Dispositions constructives pour le stockage de GNL</i>	30
<i>Tableau 12. Dispositions pour les activités de soutage</i>	31
<i>Tableau 13. fonctions de protection incendie</i>	44
<i>Tableau 14. Analyse du risque - Soutage STS</i>	47
<i>Tableau 15. Analyse des risques - Soutage TTS</i>	51
<i>Tableau 16. Analyse des risques - Soutage shore-to-ship bunkering (du rivage au navire)</i>	55
<i>Tableau 17. Modélisation – Distances de sécurité</i>	64

1. FINALITÉ DU PRODUIT T2.4.4

Le produit T2.4.4 «Bonnes pratiques de réduction des risques et impacts du GNL» prévoit la création d'un rapport de synthèse reprenant les bonnes pratiques en relation avec les procédures à suivre dans les différentes configurations de soutage afin de réduire les risques et les impacts.

Les activités visées dans le produit T2.4.4 comprennent la préparation, la mise en œuvre et la mise au point de divers rapports et documents, conformément au formulaire, comme indiqué ci-dessous:

- P1/CF (UNIGE-CIELI) : Le rôle du Chef de file était de collaborer avec tous les partenaires et en particulier avec les partenaires P4 et P5 pour définir le contenu et la structure de la version finale du produit T2.4.4. Le CF a préparé le chapitre "Objectifs du produit T2.4.4", et a également préparé physiquement la mise en forme du produit final T2.4.4, dont le contenu est toutefois à attribuer aux différents partenaires et consultants associés, selon les modalités indiquées ci-dessous ; enfin, le CF a également préparé la fiche de synthèse correspondante.
- P2 (UNIFI) : Le partenaire P2 a examiné et relu la documentation produite par les autres partenaires et consultants et a validé la version finale du produit T2.4.4 et la fiche de synthèse correspondante.
- P3 (UNICA-CIREM) : Le partenaire P3 a revu et relu la documentation produite par les autres partenaires et consultants et a validé la version finale du produit T2.4.4 et la fiche de synthèse correspondante.
- P4 (OTC) : Pour la mise en œuvre du produit, le partenaire 4 (OTC), avec le soutien de consultants externes de Tractebel, Engie, Elengy et Seeup, a produit un rapport sur les bonnes pratiques pour réduire les risques et les impacts du GNL, joint au produit T2.4.4. Le partenaire P4 a également participé à la définition de la structure et du contenu du rapport, a revu et relu la documentation produite par les autres partenaires et consultants et a validé la version finale du produit T2.4.4 et la fiche de synthèse correspondante. Ainsi, les chapitres/paragraphes suivants de la version finale du produit T2.4.4, "Risques et dangers générés par les installations de GNL", "Situation des principales directives, codes, normes et guides sur le soutage du GNL", "Bonnes pratiques pour réduire les risques et les impacts" et "Analyse des risques appliquée au cas de la Corse" sont à attribuer au Partenaire P4 et aux consultants concernés cités (Tractebel, Engie, Elengy et Seeup).
- P5 (CCIVAR) : Le partenaire P5, avec le soutien du consultant Technip FMC, a produit un rapport visant à identifier les lignes directrices et les bonnes pratiques pour la réduction des risques liés à l'utilisation du GNL, en fournissant également une interprétation technique de ces questions. Le partenaire P5 a participé à la définition de la structure et du contenu du produit T2.4.4 dans sa version finale, a revu et relu la documentation produite par les autres partenaires et consultants et a validé la version finale du produit T2.4.2 et la fiche de synthèse correspondante. En conséquence, les chapitres/paragraphes suivants de la version finale du produit T2.4.4 doivent être attribués au partenaire P5 et à son consultant : "Recommandations de bonne pratique (contribution du CCIVAR/TECHNIP FMC)".

Le produit T2.4.4 "Meilleures pratiques pour la réduction des risques et des impacts du GNL" fait partie de l'activité T2.4 qui est consacrée à l'identification des lignes directrices pour l'évaluation des externalités et de l'impact environnemental. En particulier, le produit vise à développer un cadre unitaire de

connaissances et de compétences fonctionnelles pour soutenir les différentes entités publiques et privées impliquées dans la chaîne d'approvisionnement à petite échelle en GNL dans l'environnement portuaire maritime en ce qui concerne les activités et les procédures relatives à l'évaluation de l'impact environnemental résultant des différents types de configurations de soutage. Le produit examine notamment les bonnes pratiques liées au contexte des ports cibles en ce qui concerne l'évaluation des risques éventuels liés au GNL, l'évaluation des externalités positives/négatives potentielles des investissements prévus dans le cadre d'un plan d'action commun pour le déploiement des installations d'approvisionnement et de stockage de GNL dans les ports inclus dans le projet et fournit un premier document pour soutenir les processus décisionnels impliquant les différents acteurs concernés de la chaîne d'approvisionnement, c'est-à-dire les groupes cibles envisagés dans le formulaire.

2. RISQUES ET DANGERS GÉNÉRÉS PAR LES INSTALLATIONS DE GNL (CONTRIBUTION OTC/ TRACTEBEL, ENGIE, ELENGY ET SEEUP)

2.1. Risques liés aux caractéristiques du GNL

Le GNL est un gaz naturel composé principalement de méthane, rendu liquide en abaissant sa température à -160°C . Sous sa forme liquide, le volume du GNL est environ 600 fois plus petit que sa forme gazeuse, d'où son stockage à des températures cryogéniques.

Le méthane est un gaz incolore et presque inodore. Lorsqu'elle est rejetée dans l'environnement, des vapeurs froides se forment et provoquent la condensation de la vapeur d'eau dans l'air. Ainsi, à basse température, la vapeur de GNL est observée par la formation d'un brouillard.

Les vapeurs froides formées par la vaporisation du GNL sont initialement plus lourdes que l'air et se dispersent près du sol. Lorsqu'elles sont mélangées à l'air ambiant, les vapeurs se réchauffent progressivement et finissent par devenir plus légères que l'air dans les conditions atmosphériques de pression et de température.

Les propriétés physico-chimiques du GNL sont indiquées dans la fiche de données de sécurité de l'annexe A. Les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 Propriétés du GNL

Propriétés	Valeur
Conditions physiques	Liquide cryogénique
Température d'ébullition	-161°C (de -166 à -157°C) à 1 bar
Densité	448 kg/m^3 à -160°C , 1 bar (de 420 à 470 kg/m^3) (de $0,54$ à $0,66\text{ kg/m}^3$ à 0°C gaz)
Point d'inflammabilité	Environ -175°C
Température d'auto-inflammation	410°C
Limites d'inflammabilité dans l'air	En bas: 5% Supérieur: 15 %

Source: OTC

Les principaux dangers du GNL sont décrits dans les paragraphes suivants. Il convient également de noter que le GNL n'est pas toxique, mais que dans des capacités limitées, il existe un risque d'anoxie (asphyxie due au manque d'oxygène si la concentration de CH_4 dans l'air dépasse 15 à 20 %).

2.1.1. Inflammabilité et explosivité



Classification et étiquetage : H224 - Liquide et vapeurs extrêmement inflammables, liquide inflammable de catégorie 1 selon la réglementation CLP (point d'éclair $< 23^{\circ}\text{C}$ et point d'ébullition $< 35^{\circ}\text{C}$).

La vapeur de GNL est inflammable dans des limites de concentration spécifiques dans l'air : De 5 à 15 % environ. Les limites d'inflammabilité du méthane sont généralement utilisées pour estimer la taille des nuages inflammables formés à la suite d'un rejet accidentel de GNL : 4,6 % à 16,5 %.

Une flaque de feu ou un jet de flammes formé à la suite d'un rejet accidentel de GNL se caractérise par une flamme vive et une forte intensité de rayonnement (200 à 300 kW/m²).

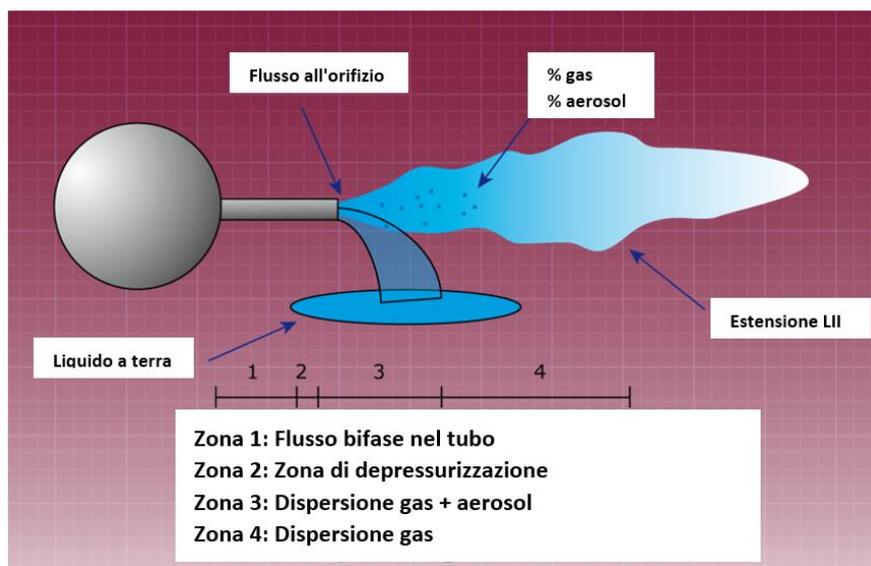
Des mélanges explosifs avec l'air peuvent se former. En raison du faible taux de combustion des nuages de gaz naturel en plein champ, les surpressions constatées en cas d'explosion sont relativement faibles (< 50 mbarg), sauf dans un environnement confiné ou congestionné.

La formation d'un nuage inflammable suit les étapes suivantes :

- Déversement de GNL et vaporisation partielle avant le contact avec le sol (la plus grande partie du déversement tombe sur le sol) ;
- Formation et vaporisation d'une nappe liquide au contact du sol ;
- Formation d'un nuage dense et inflammable de vapeurs de GNL par mélange avec l'air ambiant.

La figure suivante montre les différentes zones suite à un rejet GNL biphasé :

Figura 1. Rilascio GNL bifase (CRAIM)



Source: OTC

2.1.2. *Brûlures cryogéniques et fractures fragiles*



Classification et étiquetage : H281 - Contient un gaz réfrigéré; peut provoquer des brûlures ou des blessures cryogéniques

En tant que liquide cryogénique, le GNL peut causer de graves blessures dues au gel s'il entre en contact direct avec le liquide.

Même pour les matériaux, si le GNL entre en contact avec l'acier, il devient fragile en raison de la basse température. Une structure en acier peut donc se rompre ; l'acier inoxydable conserve sa ductilité à basse température et est donc plus résistant au contact avec les liquides cryogéniques.

2.1.3. Transition de phase rapide

Si le GNL est rejeté dans l'eau, une transition de phase rapide (TRP ou RPT) peut se produire. Il s'agit de la transition physique rapide du GNL liquide à la vapeur de méthane, principalement due à l'immersion dans l'eau.

Le phénomène n'implique pas de combustion et peut être considéré comme une détonation. Le risque potentiel d'ondes de choc et de projection d'eau, de GNL et de gaz peut être important, mais reste très localisé à proximité immédiate de la zone de déversement. La probabilité d'explosion dépend de la présence ou non d'une zone confinée potentielle et d'une source d'inflammation.

Figurr 2. Phénomène TRP du GNL (test Gaz de France, Lorient)

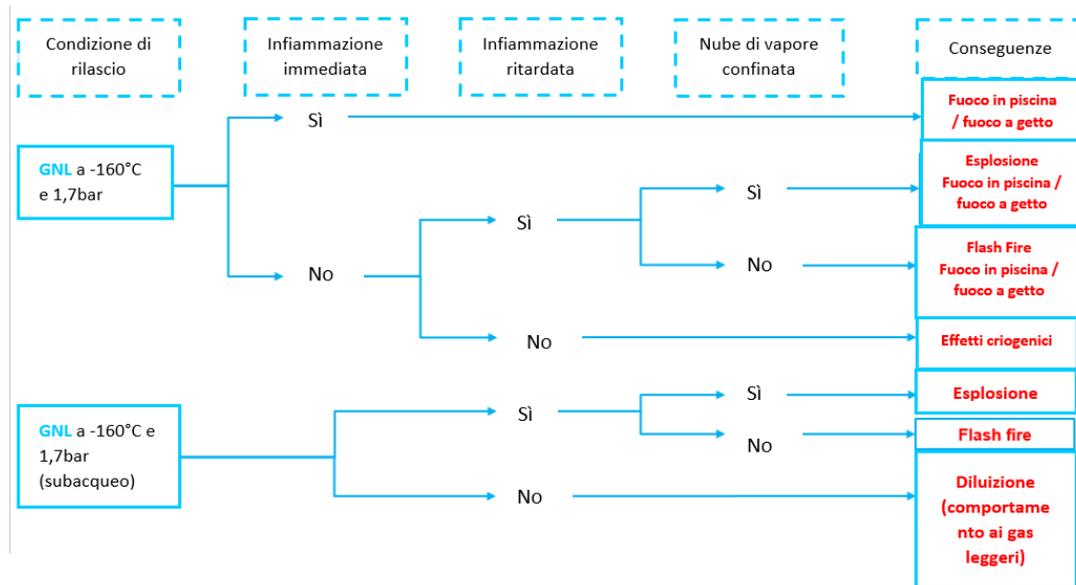


Source: OTC

2.1.4. Phénomènes dangereux

Le schéma suivant résume les scénarios d'accidents classiques et les phénomènes dangereux potentiellement générés suite à un rejet accidentel de GNL, selon le type de rejet, l'allumage et le niveau de congestion.

Figure 3. Phénomènes dangereux associés au GNL



Source : OTC

Les installations de GNL ne sont généralement pas soumises au risque de BLEVE (*explosion de vapeur avec expansion de liquide bouillant*) car elles ne sont pas conçues pour résister à une montée en pression.

Pour les petites installations de stockage au sol (ou de type réservoir), dimensionnées pour résister à des pressions internes d'environ 8/9 bar, la possibilité d'un BLEVE reste possible en cas d'augmentation de la pression et de la température. Il convient toutefois de noter que le retour d'expérience permet d'exclure le risque de BLEVE sur les citernes revêtues.

2.2. Risques liés aux opérations de stockage et de soutage du GNL

Les processus impliquant le GNL consistent principalement en des activités de stockage et de soutage et / ou de transfert. Depuis novembre 2015, la base de données ARIA (référence pour le retour d'expérience sur les accidents technologiques) répertorie 13 accidents impliquant du GNL. Parmi les événements répertoriés, 3 ont eu lieu en France. Au-delà des principales causes d'accidents (attaques d'engins de chantier, pannes d'équipements, etc.), les déficiences humaines ou organisationnelles dans l'application des procédures sont souvent à l'origine de catastrophes. Le rapport détaillé analysant les accidents, leurs causes et leurs effets est présenté à l'annexe B.

2.2.1. Risques liés aux activités de stockage de GNL

Outre les dangers liés aux caractéristiques du GNL, les activités de stockage de GNL comportent des risques particuliers.

Celles-ci sont répertoriées dans le tableau suivant. Les recommandations de stockage et les meilleures pratiques sont associées à chaque cause identifiée :

Tableau 2. Risques du stockage du GNL

Risque	Causes probables	Recommandations
Dépassement de capacité	Erreur de remplissage ou de réglage (pompes ou erreur humaine))	Mesures de niveau et alarmes Espace de tête minimum au-dessus du liquide Système de débordement
Aspirer le réservoir	Variation de la pression atmosphérique Défaut de la pompe d'aspiration du liquide Pas d'aspiration du compresseur d'évaporation Injection de GNL dans le ciel gazeux	Mesure de la pression, détection, contrôle Vannes de coupure de vide Gaz de coupure de vide
Surpression (réservoir, tuyaux)	Variation de la pression atmosphérique Evaporation par agression thermique (feu externe) Déplacement du niveau de liquide (défaut de remplissage ou retour de gaz du méthanier) Flash pendant le remplissage Roll-over : phénomène de basculement de la couche (augmentation soudaine de la quantité de gaz évaporé)	Mesure de la pression, détection, contrôle Mesure de la densité au niveau du liquide Prévention du renversement ou protection contre les bris de disque Protection des soupapes
Fuite / Rupture (réservoir, tuyaux)	Conditions naturelles et environnementales Risques technologiques, agressions extérieures (thermiques, surpression ou mécaniques) Défaut matériel Défaillance mécanique L'erreur humaine L'usure, le vieillissement Fuite de bride Risques naturels	Bassins de rétention Distances de séparation entre les équipements Résistance aux risques naturels, y compris les tremblements de terre Résistance à un choc, Protection contre le risque de choc, Maintenance Dimensionnement selon les normes en vigueur

Source: OTC

2.2.2. Risques de soutage de GNL

Les opérations de soutage de GNL comportent des risques spécifiques en plus de ceux liés aux caractéristiques du produit. Les risques liés au stockage ne sont pas inclus ici, mais s'appliquent également aux équipements tels que les réservoirs et les canalisations qui peuvent être utilisés pour l'avitaillement, selon les techniques utilisées.

Les risques sont identifiés dans le tableau suivant. Les recommandations de stockage et les meilleures pratiques sont associées à chaque cause identifiée :

Tableau 3. Risques de soutage du GNL

Risque	Causes probables	Recommandations
Fuite / rupture de tuyau flexible	Perte de poste d'amarrage/dérive du bateau Démarrer le camion Mouvement créé par un navire de passage Défaillance mécanique Erreur opérationnelle Remorquage L'usure, le vieillissement Fuite Conditions météorologiques / Marées	Zones de sécurité Maintenance Dimensionnement selon les normes Formation des opérateurs Détection Protection contre l'incendie Système de déconnexion d'urgence

Risque	Causes probables	Recommandations
Perte de confinement : réservoir du camion-citerne	Voir les causes en stock + fonctionnement incorrect Collision de véhicules	Voir les recommandations concernant les zones de stockage + la sécurité, la formation des opérateurs, la prise en compte des SIMOPS
Perte de confinement : réservoir du navire	Voir les causes dans le stockage + collision des navires entre eux / avec la jetée	Voir les recommandations concernant les zones de stockage + la sécurité, la formation des opérateurs, la prise en compte des SIMOPS

Source : OTC

Il est à noter que dans les opérations de soutage, le risque de rupture du bras de transfert ou de rupture de tuyau prédomine en raison du mouvement incontrôlé potentiel d'une capacité mobile (bateau, camion).

2.3. Risques liés aux aspects externes des installations

2.3.1. Risques naturels

Les principaux dangers liés aux risques naturels à considérer sont les phénomènes suivants :

- Les inondations, qui peuvent entraîner la submersion des équipements et la formation de fuites ;
- La foudre, qui peut causer des dommages aux équipements mais aussi une source potentielle d'inflammation qui pourrait entraîner une perte de GNL à l'occasion d'un des phénomènes dangereux mentionnés au point **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**;
- Tremblement de terre pouvant entraîner une panne d'équipement

Ces risques naturels doivent être maîtrisés par des mesures de construction et des barrières techniques spécifiques : déshydratation des équipements, protection contre la foudre, résistance aux séismes, etc.

D'autres conditions climatiques extrêmes (vents forts, gel, forte chaleur) peuvent également affecter l'intégrité des installations, mais ces risques sont généralement pris en compte dans le dimensionnement des installations et dans les règles générales de construction.

2.3.2. Risques technologiques

Les risques technologiques potentiels (effets thermiques, toxiques ou de surpression) générés par des activités à proximité telles que le transport de matières dangereuses ou les sites industriels (ou les équipements à proximité du site lui-même) peuvent générer des effets domino sur les usines de GNL et donc être à l'origine de phénomènes dangereux.

Dans le sens inverse, les installations de GNL peuvent générer des risques pour les structures et les populations avoisinantes.

Ce potentiel d'agression, dans un sens ou dans l'autre, doit être pris en compte par le respect des réglementations et des bonnes pratiques en vigueur, notamment en ce qui concerne les principes de localisation et d'espacement.

3. ETAT DES LIEUX DES DIRECTIVES, CODES, NORMES ET GUIDES PRINCIPAUX POUR LE SOUTAGE DE GNL (CONTRIBUTION OTC/TRACTEBEL, ENGIE, ELENGY ET SEEUP)

Les directives, codes, normes et guides donnent les lignes directrices pour la conception, l'exploitation et la maintenance d'installations de soutage de GNL. Les directives et les codes internationaux définissent un cadre incontournable de règles à respecter. Les normes permettent de guider les industriels dans la conception et l'exploitation des installations. Des guides viennent enfin donner des lignes directrices pour appuyer les normes.

3.1. Directives européennes

Tableau 4. Liste des directives européennes applicables à l'avitaillement en GNL

Titre	Date	Description
Directive n. 2016/802/UE	11/05/2016	Réduction de la teneur en soufre de certains combustibles liquides
Directive n. 2016/1629	14/09/2016	Directive établissant les prescriptions techniques applicables aux bateaux de navigation intérieure
Directive n. 2014/94/UE	22/10/2014	Déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs
Directive n. 2014/68/UE	15/05/2014	Equipements sous pression
Directive n. 2014/34/UE	26/02/2014	Appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosives
Directive n. 2012/18/UE	04/07/2012	Maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses
Directive n. 2011/92/UE	13/12/2011	Evaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement
Directive n. 2008/68/CE	24/09/2008	Directive relative au transport intérieur des marchandises dangereuses
Directive n. 2006/42/CE	17/05/2006	Directive relative aux machines
Directive n. 2003/10/CE	06/02/2003	Prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit)
Directive n. 1999/92/CE	16/12/1999	Prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives
Accord européen ADR	01/01/2019	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route
Accord européen ADN	29/02/2008	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures

Source: OTC

3.2. Codes internationaux

Tableau 5. Liste des codes internationaux applicables à l'avitaillement en GNL

Titre	Description
Convention MARPOL (MARitime POLLution) Allegato VI	Définit les limites d'émission pour les principaux polluants atmosphériques provenant des gaz d'échappement des navires, y compris les oxydes de soufre (SOx) et les oxydes d'azote (NOx), et interdit toute émission délibérée de substances qui appauvrissent la couche d'ozone
Convention SOLAS (Safety Of Life At Sea)	Spécifie les normes minimales pour la construction, l'équipement et l'exploitation des navires, compatibles avec leur sécurité
Code IGC	Recueil international de règles relatives à la construction et à l'équipement des navires transportant des gaz liquéfiés en vrac, de manière à minimiser les risques pour le navire, son équipage et l'environnement, compte tenu de la nature des produits concernés. Ces règles couvrent les dispositions générales, les cuves et ses équipements associés, la propulsion gaz, les matériaux de construction, les systèmes de détection et de protection incendie, les installations électriques, ...) mais aussi des prescriptions opérationnelles et liées à formation du personnel navigant.
Code IGF	Recueil international des règles de sécurité applicables aux navires qui utilisent des gaz ou d'autres combustibles à faible point d'éclair comme carburant, de manière à minimiser les risques pour le navire, son équipage et l'environnement, compte tenu carburant utilisé. Ces règles couvrent l'ensemble des installations et des équipements du système de stockage et d'approvisionnement du gaz carburant ,mais aussi prescriptions opérationnelles et liées à la formation du personnel navigant.
Convention STCW (Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarer)	Convention internationale sur les normes de formation, de certification et de veille des marins
Code ISPS (International Shipping and Port Security)	Code international pour la sûreté des navires et des installations portuaires
MLC (Maritime Labour Convention)	Convention du travail maritime

Source: OTC

3.3. Normes EN et ISO

Tableau 6. Liste des normes EN et ISO applicables au soutage du GNL

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 3	Extincteurs d'incendie portatifs	Avril 2004	Elle spécifie les caractéristiques, les exigences de performance et les méthodes d'essai relatives aux extincteurs d'incendie portatifs
NF EN 54	Systèmes de détection et d'alarme incendie	Mai 2011	Elle spécifie les exigences minimales et les tests de laboratoire pour assurer un niveau de sécurité pour tous les composants des systèmes d'alarme incendie.
NF EN 593	Robinetterie industrielle – à Robinets métalliques papillon d'usage général	Décembre 2017	Elle spécifie les exigences minimales générales relatives aux robinets à papillon à corps métallique destinés à être utilisés avec tous les types de raccords d'extrémités de tuyauterie et utilisés pour des applications de sectionnement, réglage ou régulation.

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 615	Protection contre l'incendie - Agents extincteurs - Prescriptions pour les poudres (autres que les poudres de classe D)	Juillet 2009	Elle définit les exigences concernant les propriétés physiques et chimiques ainsi que les performances minimales déterminées par des méthodes d'essais, de poudres extinctrices utilisables dans la lutte contre les incendies des classes A, B et C
NF EN 671	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Systèmes équipés de tuyaux	Juin 2012	Elle prescrit les exigences et méthodes d'essais de fabrication et de performances des robinets d'incendie armés équipés de tuyaux semi-rigides, destinés à être installés dans des bâtiments raccordés en permanence à une alimentation en eau, pour être utilisés par les occupants
NF EN 694	Tuyaux de lutte contre l'incendie - Tuyaux semi-rigides pour systèmes fixes	Septembre 2014	Elle spécifie les exigences et méthodes d'essai applicables aux tuyaux semi-rigides de lutte contre l'incendie prévus pour des systèmes fixes
NF EN 1028	Pompes à usage incendie - Pompes centrifuges avec dispositif d'amorçage destinée à la lutte contre les incendies	Septembre 2008	Elle traite des phénomènes dangereux significatifs, des situations et des événements dangereux pendant la mise en service, le fonctionnement et l'entretien des pompes centrifuges à usage d'incendie avec dispositif d'amorçage
NF EN 1127	Atmosphères explosives - Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion	Aout 2019	Elle spécifie les méthodes qui permettent d'identifier et d'évaluer les situations dangereuses conduisant à l'explosion, ainsi que les mesures de conception et de construction appropriées pour la sécurité requise
NF EN 1473	Installation et équipements de gaz naturel liquéfié - Conception des installations terrestres	Février 2017	Cette norme s'applique pour les installations terrestres de GNL ayant une capacité de stockage de GNL supérieure à 200t et un stockage de GNL à une pression inférieure à 0.5 barg. Elle donne les lignes directrices pour réaliser la conception, la construction et assurer le fonctionnement d'installations terrestres de GNL
NF EN 1474-2	Installations et équipements de gaz naturel liquéfié - Conception et essais des systèmes de transfert marins - Partie 2 : conception et essais des tuyaux flexibles de transfert	Février 2009	Elle fournit des lignes directrices générales relatives à la conception, au choix des matériaux, à la qualification, à la certification et aux détails des essais concernant les tuyaux flexibles de transfert de gaz naturel liquéfié (GNL) destinés au transfert offshore ou aux installations côtières exposées aux intempéries.
NF EN 1474-3	Installations et équipements de gaz naturel liquéfié - Conception et essais des systèmes de transfert marins - Partie 3 : systèmes de transfert offshore	Janvier 2009	Cette Norme européenne fournit des lignes directrices relatives à la conception de systèmes de transfert de gaz naturel liquéfié (GNL) destinés à être utilisés dans les installations de transfert offshore ou dans les installations côtières exposées aux intempéries
NF EN 1568	Agents extincteurs - Émulseurs	Février 2018	Elle spécifie les exigences en matière de propriétés chimiques, physiques et de performances minimales des émulseurs moyen foisonnement convenant à une application à la surface de liquides n'ayant pas d'affinité pour l'eau

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 1797	Réceptacles cryogéniques - Compatibilité entre gaz et matériaux	Novembre 2001	Elle spécifie les prescriptions pour la compatibilité entre gaz et matériaux pour les réceptacles cryogéniques
NF EN 1866	Extincteurs d'incendie mobiles	Novembre 2007	Elle spécifie les règles de conception, les essais de type, les contrôles en cours de fabrication, les foyers-types et la classification des extincteurs d'incendie mobiles ainsi que les méthodes d'essai à employer
NF EN 1947	Tuyaux de lutte contre l'incendie - Tuyaux de refoulement semi-rigides et flexibles pour pompes et véhicules	Août 2014	Elle spécifie les exigences et les méthodes d'essai relatives aux tuyaux semi-rigides installés sur les véhicules de lutte contre l'incendie et sur les motopompes remorquables
NF EN 1983	Robinetterie industrielle - Robinets à tournant sphérique en acier	Octobre 2013	Elle prescrit les spécifications relatives aux robinets à tournant sphérique industriels en acier à extrémités à bride, extrémités filetées, extrémités à emboîter et à souder ou extrémités à souder en bout
EN 1990 Eurocode 0	Bases de calcul des structures	Mars 2003	Elle définit des principes et des exigences en matière de sécurité, d'aptitude au service et de durabilité des structures, décrit les bases pour le dimensionnement et la vérification de celles-ci, et fournit des lignes directrices concernant les aspects de la fiabilité structurale qui s'y rattachent
EN 1991 Eurocode 1	Actions sur les structures	Mars 2003	Elle définit les principes généraux de calcul et de chargement des structures à construire
EN 1992 Eurocode 2	Calcul des structures en béton	Octobre 2005	Elle définit les principes généraux de calcul des structures en béton
EN 1993 Eurocode 3	Calcul des structures en acier	Octobre 2005	Elle définit les exigences de résistance, d'aptitude au service, de durabilité et de résistance au feu des structures en acier
EN 1994 Eurocode 4	Calcul des structures mixtes acier-béton	Juin 2005	Elle définit les éléments et structures mixtes destinées aux bâtiments et aux ouvrages de génie civil
EN 1995 Eurocode 5	Calcul des structures en bois	Novembre 2005	Elle définit les calculs des bâtiments et ouvrages de génie civil en bois ou panneaux à base de bois assemblés avec des adhésifs ou des organes mécaniques
EN 1996 Eurocode 6	Calcul des ouvrages en maçonnerie	Mars 2013	Elle traite des prescriptions de résistance, de service et de durabilité des ouvrages
EN 1997 Eurocode 7	Calcul géotechnique	Juin 2005	Elle traite des aspects géotechniques du calcul des bâtiments et ouvrages de génie civil
EN 1998 Eurocode 8	Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes	Septembre 2005	Elle traite du dimensionnement et de la construction de bâtiments et d'ouvrages de génie civil en zone sismique
EN 1999 Eurocode 9	Calcul des structures en alliages d'aluminium	Aout 2007	Elle donne les règles fondamentales de calcul des structures en alliage d'aluminium corroyé et des recommandations limitées pour les alliages de fonderie
NF EN ISO 4126	Dispositifs de sécurité pour protection contre les pressions excessives	Septembre 2013	Elle spécifie les exigences générales des soupapes de sûreté, quel que soit le fluide pour lequel elles sont conçues

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN ISO 5167	Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire	Juin 2003	Elle définit les exigences en terme de mesure de débit de fluides au moyen d'appareils déprimogène
NF EN ISO 5199	Spécifications techniques pour pompes centrifuges - Classe II	Mars 2002	Elle spécifie les exigences relatives aux pompes centrifuges de classe II à un étage ou multi-étagées, de construction horizontale ou verticale
NF EN ISO 6974	Gaz naturel - Détermination de la composition et de l'incertitude associée par chromatographie en phase gazeuse	Août 2012	Elle donne des méthodes de calcul des fractions molaires des constituants du gaz naturel et spécifie les exigences de traitement des données pour déterminer les fractions molaires des constituants
NF EN ISO 6976	Gaz naturel - Calcul des pouvoirs calorifiques, de la masse volumique, de la densité relative et des indices de Wobbe à partir de la composition	Juin 2017	Elle décrit des méthodes pour le calcul des pouvoirs calorifiques supérieur et inférieur, de la masse volumique, de la densité relative, des indices de Wobbe supérieur et inférieur de gaz naturels, de substituts du gaz naturel et d'autres combustibles gazeux, lorsque la composition du gaz par fraction molaire est connue
ISO 8943	Hydrocarbures liquides légers réfrigérés. Échantillonnage de gaz naturel liquéfié. Méthodes en continu et par intermittence	Mars 2008	Elle prescrit une méthode d'échantillonnage en continu et une méthode d'échantillonnage par intermittence du GNL lors de son transfert par une conduite de transfert de GNL
ISO 10976	Hydrocarbures légers réfrigérés - Mesurage des argaisons à bord des navires méthaniers	Décembre 2015	Elle établit toutes les étapes nécessaires pour mesurer la quantité de cargo sur un méthanier
NF EN ISO 11064	Conception ergonomique des centres de commande	Juin 2006	Elle définit les exigences, des recommandations et des lignes directrices sur l'évaluation des différents éléments des centres de commande
NF EN 12065	Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié - Essais d'émulseurs destinés à la production de mousse haut et moyen foisonnement et de poudres extinctrices utilisés sur feux de gaz naturel liquéfié	Décembre 1997	Elle prescrit les essais à effectuer pour évaluer l'aptitude à l'emploi d'émulseurs utilisés pour produire une mousse moyen foisonnement ou haut foisonnement et de poudres extinctrices
NF EN 12066	Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié - Essais des revêtements isolants des cuvettes de rétention de gaz naturel liquéfié	Décembre 1997	Elle spécifie les essais devant être réalisés pour évaluer l'aptitude à l'emploies revêtements isolants des cuvettes derétention du GNL

Référence	Titre	Révision	Description
NF 12077 EN	Sécurité des appareils de levage à charge suspendue	Juin 2008	Elle spécifie les prescriptions générales pour les dispositifs limiteurs et indicateurs installés sur des appareils de levage à charge suspendue motorisés
NF 12094 EN	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Éléments constitutifs pour installations d'extinction à gaz	Octobre 2003	Elle spécifie les exigences et méthodes d'essais relatives aux dispositifs électriques automatiques de commande et de temporisation
NF 12259 EN	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Composants des systèmes d'extinction du type Sprinkleur et à pulvérisation d'eau	Avril 2006	Elle spécifie les exigences de fabrication et de performances des systèmes de soupape d'alarme hydraulique et des limiteurs de pression ou de surpression utilisés dans les systèmes d'extinction automatiques de type sprinkler
NF 12266 EN	Robinetterie industrielle - Essais des appareils de robinetterie métalliques	Mai 2012	Elle spécifie les prescriptions obligatoires pour les essais, les modes opératoires d'essai et les critères d'acceptation pour les essais en production de la robinetterie industrielle en matériaux métalliques
NF 12499 EN	Protection cathodique interne des structures métalliques	Mai 2003	Elle spécifie les structures, les métaux et les surfaces susceptibles d'être protégés contre la corrosion par l'application d'une protection cathodique interne
NF 12627 EN	Robinetterie industrielle - Extrémités à souder en bout pour appareils de robinetterie en acier	Novembre 2017	Elle spécifie les dimensions des extrémités à souder en bout pour appareils de robinetterie en acier DN 8 à DN 1 400 conçus pour être soudés en bout à des tubes normalisés
NF 12644 EN	Appareils de levage à charge suspendue - Information pour l'utilisation et les essais	Septembre 2008	Elle donne des informations pour l'utilisation et les essais d'appareils de levage
NF 12838 EN	Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié - Essais d'aptitude à l'emploi des systèmes d'échantillonnage du GNL	Juillet 2000	Elle prescrit les essais devant être réalisés afin d'évaluer l'aptitude à l'emploi des systèmes d'échantillonnage du GNL
NF 12845 EN	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Systèmes d'extinction automatique du type sprinkleur - Conception, installation et maintenance	Juillet 2015	Elle spécifie des exigences et fournit des recommandations pour la conception, l'installation et la maintenance d'installations fixes de lutte contre l'incendie de type sprinkleur dans des bâtiments et des installations industrielles et spécifie des exigences particulières pour les systèmes d'extinction de type sprinkleur faisant partie intégrante de mesures de protection des personnes

Référence	Titre	Révision	Description
NF 12954 EN	Principes généraux de la protection cathodique des structures métalliques à terre enterrées ou immergées	Août 2019	Elle écrit les principes généraux qui gouvernent la mise en oeuvre et la gestion d'un système de protection cathodique afin de protéger contre la corrosion les structures qui sont enterrées ou en contact avec des sols, des eaux douces de surface ou des eaux souterraines, qu'elles subissent ou non l'influence de sources électriques extérieures
NF 12982 EN	Robinetterie industrielle - Dimensions entre extrémités et d'extrémité à axe des appareils de robinetterie à souder en bout	Octobre 2009	Elle spécifie les dimensions entre extrémités et d'extrémité à axe des appareils de robinetterie en acier à souder en bout
NF 13001 EN	Appareils de levage à charge suspendue - Conception générale	Juillet 2015	Elle spécifie les conditions et les prescriptions de conception visant à prévenir les dangers mécaniques liés aux appareils de levage à charge suspendue
NF 13135 EN	Appareils de levage à charge suspendue - Sécurité - Conception - Prescriptions relatives à l'équipement	Mai 2018	Elle spécifie des prescriptions pour la conception et le choix des équipements électriques, mécaniques, hydrauliques et pneumatiques utilisés pour tous les types d'appareils de levage à charge suspendue
NF 13157 EN	Appareils de levage à charge suspendue - Sécurité - Appareils de levage à bras	Octobre 2009	Elle fixe des prescriptions pour les appareils de levage à bras suivants
ISO 13443	Gaz naturel — Conditions de référence standard	Décembre 1996	Elle prescrit les conditions de référence standard concernant la température, la pression et l'humidité à utiliser pour effectuer mesurages et calculs sur les gaz naturels, les substituts de gaz naturels et fluides similaires
NF 13445 EN	Réceptacles sous pression non soumis à la flamme	Décembre 2014	Elle définit les règles de conception, de fabrication et d'inspection des réceptacles sous pression
NF 13458 EN	Réceptacles cryogéniques - Réceptacles fixes, isolés sous vide	Avril 2003	Elle spécifie les exigences de conception, fabrication, contrôle et essais des réceptacles cryogéniques fixes, isolés sous vide, conçus pour une pression maximale admissible supérieure à 0.5bar
NF 13480 EN	Tuyauteries industrielles métalliques	Décembre 2017	Elle définit les critères généraux de conception et de calcul des réseaux de tuyauteries industrielles métalliques
NF 13565 EN	Installation fixes de lutte contre l'incendie - Systèmes à émulseurs	Octobre 2018	Elle spécifie les exigences et décrit les méthodes relatives au calcul, à l'installation, aux essais et à la maintenance de systèmes d'extinction à mousse bas, moyen et haut foisonnement

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 13645	Conception des installations terrestres d'une capacité de stockage comprise entre 5t et 200t	Février 2002	Cette norme liste les exigences minimum pour la conception d'installation terrestre de GNL dont la capacité de stockage totale est comprise entre 5t et 200t. Elle traite notamment des exigences en terme d'impact environnemental, des sécurités à mettre en oeuvre, de la conception des réservoirs et de l'agencement général des installations
NF EN 13648	Réceptacles cryogéniques - Dispositifs de protection contre les surpressions	Février 2009	Elle spécifie les exigences relatives à la conception, à la fabrication et aux essais des soupapes de sûreté pour service cryogénique
NF EN ISO 13709	Pompes centrifuges pour les industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel	Février 2010	Elle spécifie des exigences pour les pompes centrifuges
NF EN ISO 13766	Tuyaux et flexibles en thermoplastique multicouches (non vulcanisés) utilisés pour le dépotage de gaz pétrolier liquide et gaz naturel liquéfié - Spécification	Décembre 2018	Elle spécifie des exigences pour deux types de tuyaux et flexibles en thermoplastique multicouches (non vulcanisés) utilisés pour le dépotage de gaz pétrolier liquide et de gaz naturel liquéfié
NF EN 14339	Bouches d'incendie enterrées	Février 2006	Elle donne les prescriptions, méthodes d'essai et marquages applicables aux bouches d'incendie enterrées suivantes destinées à la lutte contre l'incendie
NF EN 14384	Poteaux d'incendie	Février 2006	Elle donne les prescriptions minimales relatives aux poteaux destinés à la lutte contre l'incendie
NF EN 14492	Appareils de levage charge suspendue - Treuils et palans motorisés	Novembre 2009	Elle définit la conception et donne l'information pour l'utilisation, la maintenance et les essais relatifs aux treuils motorisés
NF EN 14540	Tuyaux de lutte contre l'incendie - Tuyaux aplatissables étanches pour systèmes fixes	Août 2014	Elle spécifie les exigences et méthodes d'essai applicables aux tuyaux aplatissables étanches prévus pour des systèmes fixes
NF EN 14620	Conception et fabrication de réservoirs en acier à fond plat, verticaux, cylindriques, construits sur site, destinés au stockage de gaz réfrigérés, liquéfiés, dont les températures de service sont comprises entre 0°C et -165°C	Décembre 2006	Cette norme s'applique pour les réservoirs GNL type aérien à intégrité totale et les réservoirs à membrane. Elle donne une description des réservoirs, spécifie les exigences en terme de matériaux des constituants métalliques, de l'enceinte extérieure béton, des isolants et des opérations relatives aux essais, séchage, inertage et mise en froid du réservoir

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 14710	Pompes à usage incendie - Pompes centrifuges à usage incendie sans dispositif d'amorçage	Février 2009	Elle définit les exigences en termes de conception, d'utilisation et de maintenance des pompes centrifuges à usage incendie.
NF EN 14972	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Systèmes à brouillard d'eau	Mars 2019	Elle définit les exigences en termes de conception, d'utilisation et de maintenance des systèmes à brouillard d'eau
NF EN 14985	Appareils de levage à charge suspendue - Grues à flèche pivotante	Mai 2012	Elle donne les prescriptions concernant l'ensemble des phénomènes dangereux, situations et événements dangereux
NF EN 15004	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Installations d'extinction à gaz	Mars 2019	Elle spécifie les exigences et donne des recommandations pour la conception, l'installation, les essais, la maintenance et la sécurité des systèmes d'extinction à gaz dans les bâtiments, les usines et autres structures
NF EN 15011	Appareils de levage à charge suspendue - Ponts roulants et portiques	Avril 2014	Elle traite de l'ensemble des phénomènes dangereux significatifs, des situations et des événements dangereux liés aux ponts roulants et aux portiques
ISO/DTS 16901	Guide pour l'évaluation des risques dans la conception d'installations terrestres pour le GNL en incluant l'interface terre/navire	Mars 2015	Donne les lignes directrices pour évaluer les risques dans la conception d'installations terrestres pour le GNL
NF EN ISO 16903	Pétrole et industries du gaz naturel - Caractéristiques du GNL influant sur la conception et le choix des matériaux	Septembre 2015	Donne des indications sur les caractéristiques du gaz naturel liquéfié (GNL) et sur les matériaux cryogéniques utilisés dans l'industrie du GNL
NF EN ISO 16904	Industries du pétrole et du gaz naturel — Conception et essais des bras de transfert de GNL sur des terminaux terrestres conventionnels	Février 2016	Spécifie les règles de conception, les spécifications minimales de sécurité ainsi que les procédures de contrôle et d'essais relatifs aux bras de transfert de gaz naturel liquéfié (GNL) marins destinés à être utilisés sur des terminaux terrestres conventionnels
ISO/TR 17177	Pétrole et industries du gaz naturel - Lignes directrices pour les interfaces de terminaux hybrides de GNL	Avril 2015	Fournit un guide pour l'installation et l'opération à l'interface navire/terminal et navire/navire pour les installations hybrides flottantes et les terminaux GNL pour lesquels la description de terminal GNL conventionnel de l'ISO 28460 ne s'applique pas

Référence	Titre	Révision	Description
ISO 17776	Industries du pétrole et du gaz naturel — Installations des plates-formes en mer — Lignes directrices relatives aux outils et techniques pour l'identification et l'évaluation des risques	Décembre 2016	Fournit les lignes directrices relatives aux outils et techniques pour l'identification et l'évaluation des risques
ISO 18132	Hydrocarbures légers réfrigérés — Exigences générales pour jauges de niveau automatiques — Partie 1: Jauges à bord de navires transportant des gaz liquéfiés	Janvier 2006	Spécifie les mesures de jaugeage à bord des navires transportant du GNL
ISO/TS 18683	Lignes directrices pour les systèmes et installations de distribution de gaz naturel liquide comme carburant pour navires	Janvier 2015	Donne les lignes directrices pour la distribution de gaz naturel liquide comme carburant pour navires
EN ISO 20088	Détermination de la résistance des matériaux d'isolation thermique suite à un refroidissement cryogénique	Novembre 2018	Traite des scénarios d'émission cryogéniques pouvant conduire à des conditions de flaque pour les aciers protégés par une protection cryogénique
EN ISO 20519	Navires et technologie maritime — Spécification pour le soutage des navires fonctionnant au gaz naturel liquéfié	Février 2017	Etablit les exigences applicables aux équipements et systèmes de transfert de GNL utilisés pour le soutage de navires fonctionnant au GNL, qui ne sont pas couverts par le Code IGC
NF EN ISO 21012	Réceptacles cryogéniques – Tuyaux flexibles		Elle définit la conception, le type et les tests de production ainsi que les exigences de marquage applicables aux tuyaux flexibles cryogéniques non isolés utilisés pour le passage des fluides cryogéniques
NF EN ISO 24490	Réceptacles cryogéniques - Pompes pour service cryogénique	Juin 2016	Elle spécifie les exigences minimales en matière de conception, de fabrication et d'essais des pompes pour service cryogénique
ISO 23251	Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel — Systèmes de dépressurisation et de protection contre les surpressions	Septembre 2006	Spécifie les exigences et donne des lignes directrices pour étudier les principales causes de surpression, déterminer les débits de décharge individuels et sélectionner et concevoir des systèmes d'évacuation

Référence	Titre	Révision	Description
ISO 28460	Industries du pétrole et du gaz naturel — Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié — Interface terre-navire et opérations portuaires	Décembre 2010	Elle spécifie les exigences relatives aux navires, terminaux et fournisseurs de services portuaires pour garantir le transit en toute sécurité d'un méthanier dans la zone portuaire ainsi que le transfert sûr et efficace de sa cargaison
ISO 31000	Management du risque - lignes directrices	2018	Fournit des principes, un cadre et des lignes directrices pour gérer toute forme de risque
NF EN 60073	Principes fondamentaux et de sécurité pour l'interface homme-machine, le marquage et l'identification - Principes de codage pour les indicateurs et les organes de commande	Mai 2003	Elle établit des règles générales en vue d'attribuer une signification particulière à certaines indications visuelles, acoustiques et tactiles de façon à - accroître la sécurité des personnes, des biens et/ou de l'environnement
NF EN IEC 60079	Atmosphères explosives	Juillet 2018	Elle spécifie les exigences générales de construction, d'essais et de marquage de l'appareil Ex et des Composants Ex destinés à être utilisés dans des atmosphères explosives
NF EN 62040	Alimentation sans interruption	Février 2009	Elle définit les exigences et règles de sécurité pour les alimentations sans interruption

Source : OTC

3.4. Normes API

Tableau 7. Liste des normes API applicables au soutage de GNL

Référence	Titre	Révision	Description
API 520	Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries;	2015	Spécifie les méthodes d'installation des soupapes
API 521	Pressure-relieving and Depressuring Systems	2014	Spécifie les méthodes de dimensionnement des soupapes
API 526	Flanged Steel Pressure Relief Valves	2017	Fournit les spécifications pour l'approvisionnement de soupapes
API 537	Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service	2017	Spécifie les éléments constitutifs d'une torche
API 610	Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries	2010	Fournit les spécifications applicables aux pompes centrifuges
API 617	Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors	2014	Fournit les spécifications applicables aux compresseurs centrifuges et axiaux
API 618	Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services	2007	Fournit les spécifications applicables aux compresseurs centrifuges et axiaux
API 620	Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks	2013	Fournit les spécifications applicables aux compresseurs centrifuges et axiaux

Référence	Titre	Révision	Description
API 660	Shell-and-Tube Heat Exchangers	2015	Fournit les spécifications pour le dimensionnement et la fabrication d'échangeurs tube calandre

Source: OTC

3.5. Normes NFPA – National Fire Protection Association

Tableau 8. Liste des normes NFPA applicables à l'avitaillement en GNL

Référence	Titre	Révision	Description
NFPA 22	Standard for Water Tanks for Private Fire Protection	2018	Spécifie le dimensionnement, la construction et l'installation de réservoirs d'eau incendie
NFPA 59A	Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG)	2019	Spécifie les exigences minimums en termes de lutte contre l'incendie et de sécurité sur les installations GNL
NFPA 307	Standard for the Construction and Fire Protection of Marine Terminals, Piers, and Wharves	2021	Etablit des exigences visant à protéger contre les pertes de vies humaines et les dommages matériels causés par les incendies et les explosions aux terminaux, quais et quais maritimes

Source : OTC

3.6. Guides

Tableau 9. Liste des guides applicables à l'avitaillement en GNL

Organisme	Titre	Description
IACS	IACS Rec 142 - LNG Bunkering Guidelines	Donne des recommandations sur les responsabilités, procédures et équipements nécessaires pour les opérations de soutage de GNL
DNV	DNVGL-RP-G105 Development and operation of liquefied natural gas bunkering facilities	Donne des recommandations pour assurer la sécurité du personnel, des installations et de l'environnement lors de la conception et l'opération d'installation de soutage de GNL
Bureau Veritas	Guidelines on LNG bunkering	Donne des recommandations pour obtenir les permis de la part des administrations
SGMF	SGMF Contractual Guidelines - Quantity and Quality	Donne des recommandations pour mesurer la quantité et la qualité transférée lors du soutage de GNL
SGMF	Safety Guidelines - Bunkering Version	Donne des recommandations pour assurer la sécurité des opérations de soutage
SGMF	Simultaneous Operations (SIMOPs) during LNG Bunkering	Donne des recommandations pour réaliser des opérations sur le navire pendant le soutage de GNL
SGMF	Manifold arrangements for gas-fuelled vessels	Donne des recommandations pour disposer la connexion GNL à bord des navires fonctionnant au GNL carburant
SGMF	Recommendations for linked emergency shutdown (ESD) arrangements for LNG bunkering	Donne des recommandations pour réaliser le système d'arrêt d'urgence lors du transfert de GNL
ABS	LNG Bunkering: Technical and Operational Advisory	Donne des recommandations sur le soutage des navires en GNL

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.4 "Bonnes pratiques de réduction des risques et impacts du GNL"
Contribution du partenaire du projet

Source: OTC

4. BONNES PRATIQUES POUR LA REDUCTION DES RISQUES ET IMPACTS (CONTRIBUTO OTC/ TRACTEBEL, ENGIE, ELENGY E SEEUP)

Les paragraphes suivants donnent les principes généraux de sécurité et recommandations à appliquer pour réduire au mieux les risques et impacts du GNL définis précédemment, à travers les grands principes d'implantation, dispositions générales de sécurité, dispositions constructives, barrières techniques et mesures organisationnelles.

Ces recommandations sont synthétisées et issues de la bibliographie listée au §**Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.**

4.1. Grands principes d'implantation

La réglementation et les documents de référence (normes etc.) donnent des informations sur les principes d'aménagement des installations. .

L'emplacement des réservoirs de stockage de GNL doit répondre à 3 exigences majeures :

- Limiter les effets dominos entre les différentes installations GNL ;
- Limiter les impacts sur le personnel et les locaux administratifs (salle de contrôle, atelier de maintenance) ;
- Limiter les impacts à l'extérieur du site.

D'une part, la réglementation ICPE concernant le stockage de GNL définit des distances d'éloignement et de séparation entre les installations et les limites de site ou entre les installations entre elles. Le tableau suivant donne ces distances issues des arrêtés types en fonction des installations GNL:

Tableau 10. Contraintes sur la mise en œuvre des activités de GNL

Activités	Cadre réglementaire	Textes réglementaires associés	Contraintes d'implantation
Stockage GNL : Stockage en réservoirs terrestres	Rubrique ICPE 4718 Gaz inflammables liquéfiés de catégorie 1 et 2 Alinéa 2, autres installations Régime de déclaration si quantité entre 6 et 50t	Arrêté du 23/08/05	Distances minimales entre l'aire de stockage et : - Les limites de sites : 15 m ; - Une autre aire de stockage : 10 m ; - Les parois d'un appareil de distribution de liquide ou gaz inflammable, un ERP de catégorie 5, un stockage de matières inflammables, combustibles ou comburantes, les issues ou ouvertures des locaux administratifs ou techniques : 5 m ; Et, si le stockage est > 6 t et qu'il s'agit de récipients à pression transportables : - Les parois d'un appareil de distribution de liquide ou gaz inflammable, un stockage de matières inflammables, combustibles ou comburantes : 10 m ; - Un ERP de catégorie 5, les issues ou ouvertures des locaux administratifs ou techniques : 5 m.

		Arrêté du 07/01/2003	<p>Distances minimales entre l'appareil de distribution ou de remplissage et :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un ERP de catégorie 1 à 4 : 17 m ; - Un ERP de catégorie 5 : 5 m ; - Un immeuble habité ou occupé par des tiers : 17 m ; - Les issues ou ouvertures de locaux administratifs ou techniques : 5 m. <p>Distances minimales entre le stockage de GNL et :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le stockage d'autres carburants : 6 m ; - Un distributeur de carburants : 5 m ; - L'ouverture d'un bâtiment : 3 m <p>Distance minimale entre un compresseur et l'ouverture d'un bâtiment : 3 m.</p>
Soutage GNL : Chargement de navires en GNL	<p>Rubrique ICPE 1414 Installation de remplissage ou de distribution de gaz inflammables liquéfiés</p> <p>Alinéa 3, Installations de remplissage de réservoirs alimentant des moteurs ou autres appareils d'utilisation comportant des organes de sécurité (jauges et soupapes)</p>	Régime de déclaration : Arrêté du 30 août 2010	<p>Distances minimales entre les parois de l'appareil de distribution nautique et :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un ERP de catégorie 1 à 4 : 20 m ; - Un ERP de catégorie 5 : 10 m ; - Les limites de propriété : 13 m ; - Une voie de communication publique : 7 m ; - Les issues ou ouvertures de locaux administratifs ou techniques : 7 m ; - D'autres appareils de distribution d'hydrocarbures liquides : 7 m ; - Des stockages de récipients à pression transportables : 10 m ; - Des stockages aériens d'hydrocarbures liquides : 13 m.
Alimentation de groupes électrogènes par citerne GNL pour l'électrification des navires à quai	<p>Rubrique ICPE 2910 Combustion</p> <p>Régime de déclaration si puissance entre 1 et 20 MW</p>	Arrêté du 3 août 2018 - déclaration	<p>Distances minimales entre les parois de l'appareil de combustion et :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les limites de propriété, un ERP de catégorie 1 à 4, un immeuble ou une voie à grande circulation : 10 m ; - Des installations mettant en œuvre des matières combustibles ou inflammables : 10 m
	<p>Rubrique ICPE 2910 Combustion</p> <p>Régime d'enregistrement si puissance entre 20 et 50 MW</p>	Arrêté du 3 août 2018 - enregistrement	<p>Distances minimales entre les parois de l'appareil de combustion et :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les limites de propriété, un ERP de catégorie 1 à 4, un immeuble ou une voie à grande circulation : 20 m ; - Des installations mettant en œuvre des matières combustibles ou inflammables : 10 m

Source: OTC

Sur la parcelle choisie pour l'implantation d'un projet, il conviendra donc de respecter les distances d'éloignement données dans les règles d'implantation des arrêtés types réglementaires, **ou déterminées par des analyses de risques, notamment si l'installation est soumise à autorisation**. Toutefois, certaines activités ne sont pas encore réglementées et ne rentre pas dans le cadre des arrêtés types.

En effet, et notamment pour les activités de soutage dont le cadre réglementaire est en cours d'adaptation pour le GNL, les bonnes pratiques consistent à suivre les étapes suivantes pour déterminer l'implantation d'un projet :

- Identifier les zones potentielles d'implantation disponibles et favorables, en fonction des caractéristiques territoriales, réglementaires et environnementales de la zone d'étude ;
- Réaliser une analyse préliminaire des risques pour obtenir une première appréciation des risques ;
- Réaliser une analyse détaillée des risques sur des scénarios représentatifs et majorants du projet, retenus dans l'analyse préliminaire. Cette analyse devra intégrer des **modélisations de phénomènes dangereux pour la détermination de l'étendue de la zone de sécurité**. La zone de sécurité est définie comme étant la zone se trouvant à l'intérieur de la distance à la limite inférieure d'inflammabilité telle que déterminée pour un rejet maximal plausible. La réalisation de modélisations de phénomènes dangereux représentatifs au cours de l'analyse détaillée des risques permet de définir des zones de sécurité ; cette définition est le critère principal de choix pour la zone d'implantation ;
- Suite à la réalisation des analyses de risques, il est donc possible de valider une zone identifiée.

D'autre part (en cas de non application de la réglementation ICPE aux activités), des guides précisent également des **distances minimales d'éloignement entre réservoir s** :

- EN 1473 : « L'espace entre deux réservoirs doit être au moins égal à un demi-diamètre de l'enceinte secondaire du plus grand réservoir » ;
- NFPA 59 : « Un quart de la somme des diamètres des réservoirs adjacents (avec un minimum d'1,5m) » ;
- CSA Z276 : Pour les réservoirs à double intégrité ou full-containment, « la distance de sécurité ne doit pas être inférieure à la moitié du diamètre du plus gros réservoir »

Et d'autres **distances minimales entre les réservoirs et les limites de propriété** :

- NFPA 59 et CSA Z276 : « Une distance minimale entre les bords de la cuvette ou le système de drainage et les limites d'un terrain constructible doit être observée :
 - De 23 m pour des stockages (cumul des capacités) de moins de 265 m³ ;
 - De 0,7 fois le diamètre du réservoir avec un minimum de 30 m si la capacité cumulée est de plus de 265 m³ »

Enfin, les guides dédiés aux opérations de transfert par bras de chargement ne prescrivent pas de distances de sécurité mais donnent cependant des règles de conception et d'espacement entre chaque bras de transfert :

- **NF EN 1474** : « Dégagements minimaux d'au moins
 - 0,15 m entre toute partie de bras en service et un bras en position de stockage ;
 - 0,3 m entre toute partie d'un bras en service et toute structure contiguë, équipements, canalisations...
 - 0,3 m entre toute partie adjacente des bras de service.

Les déflexions doivent être prises en compte ».

- OCIMF : « Les séparations minimales requises concernant l'espace entre chaque bras entre eux (0,3 m) et entre les bras et les équipements contigus (0,15 m). Les déflexions doivent être prises en compte »

4.2. Grands principes de sécurité

Les principes de sécurité sont donnés dans les grandes lignes ci-dessous, et détaillés concernant leur application technique pour les activités GNL dans le paragraphe suivant.

Les mesures de prévention, destinées à réduire la probabilité d'occurrence des risques, sont les suivantes:

- L'aménagement de l'installation selon la réglementation en vigueur, les spécifications du projet, les règles et bonnes pratiques reconnues (guides, assureurs etc.) ;
- Le respect des distances de sécurité entre installations ou à défaut la mise en place de séparations appropriées de manière à réduire les risques de propagation d'incendie notamment et les effets dominos (murs coupe-feu etc.) ;
- La séparation des matières inflammables / explosibles et combustibles ;
- La limitation des sources d'ignition ainsi que le zonage ATEX et l'utilisation d'équipements électriques appropriés, la ventilation des locaux et la détection gaz et incendie ;
- La limitation de la circulation dans les zones d'exploitation, la mise en place de protection mécanique et la gestion des opérations simultanées (SIMOPs) ;
- La prise en compte des risques liés aux pertes d'utilité (énergies, fluides etc.) ;
- La prévention du risque d'erreur humaine via des dispositions telles que la formation, l'ergonomie des installations et postes de travail, un système de gestion de la sécurité etc ;
- La maintenance préventive des installations et leur inspection afin de prévenir les risques de dégradation des équipements.

Les mesures de protection, destinées à atténuer les conséquences / réduire la gravité des risques sur les personnes, l'environnement et les biens sont les suivantes :

- La limitation des sources d'ignition ;
- La limitation des quantités de produits dangereux stockés et manipulés ;
- La limitation des volumes potentiellement répandus et des durées de fuites par l'asservissement d'organes d'isolement à des détections adaptées, les systèmes d'arrêt d'urgence, les systèmes de déconnexion d'urgence, de décompression/dépressurisation etc. ;
- La limitation des surfaces d'épandage et le confinement des liquides inflammables et produits dangereux (cuvettes de rétention, caniveaux, aires de manipulation étanches, systèmes de drainage etc.) ;
- La mise en place de systèmes automatiques et équipements manuels de lutte contre l'incendie (réseau incendie, réserve d'eau, bornes incendie, canons à poudre, rideaux d'eau, camion incendie, extincteurs etc.) et de protection passive (revêtements ignifuge) ;
- Le déploiement de plans d'urgence comprenant l'installation de moyens d'alerte et l'aménagement de voies d'évacuation.

4.3. Dispositions constructives et barrières techniques

Pour les réservoirs de stockage de GNL, les dispositions constructives et barrières techniques sont détaillées dans le tableau suivant, par thème.

Tableau 11. Dispositions constructives pour le stockage de GNL

Thème	Dispositions constructives
Distances de sécurité	Respect des principes d'implantation détaillés au § Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.
Résistance des réservoirs face aux risques naturels	<p>Inondation : Des dispositions peuvent être prises pour mettre hors d'eau les équipements non submersibles, supporter les effets verticaux dus à la poussée d'Archimède dans le cas de réservoirs sous pression ou supporter les efforts horizontaux dus au courant.</p> <p>Séisme : si la capacité de stockage est supérieure à 50 t, le dimensionnement au séisme doit être réalisé via l'analyse de risques et l'identification d'équipements critiques au séisme.</p> <p>Foudre : les installations relevant du régime d'autorisation de la réglementation ICPE doivent faire l'objet d'une Analyse de Risque Foudre, et d'une étude technique foudre associée pour définir les moyens de protection contre la foudre à mettre en place.</p>
Résistance des réservoirs aux impacts	Prise en compte des risques d'agressions externes dans les analyses de risques ; éventuelle capacité de résistance aux projectiles.
Sur-remplissage	Nécessité d'instruments de mesure du niveau de liquide (et alarmes sur niveau haut) et prise en compte d'une marge de sécurité dans la conception des réservoirs (hauteur libre minimale au-dessus du liquide). Un système de trop-plein peut également éviter au GNL d'atteindre la soupape.
Protection contre les risques de mise en dépression	Nécessité de mesure de pression en continu (et alarme sur pression trop basse), protection par des soupapes « casse-vide » ou injection de gaz « casse-vide ».
Protection contre les risques de surpression	Nécessité de mesure de pression en continu (et alarme sur pression trop haute), protection par des soupapes.
Surveillance de température	Nécessité de mesure de du profil de température en continu (ainsi que de la densité et du niveau) en exploitation, et pendant la mise en froid pour éviter une chute brutale de température.
Contrôle de température des fondations	Prévoir un système de réchauffage des fondations (ou de surélévation) et une surveillance de la performance de ce système, pour éviter les risques de gonflement dû au gel.
Conception des tuyauteries	Limitation des brides et assemblages non soudés. Tuyauteries adaptées au fluide cryogéniques et calorifugées.
Prévention des sources d'ignition et zonage ATEX	Identification et classement des zones à risques d'atmosphère explosive et adaptation du matériel électrique dans ces zones, interdiction et contrôle des sources d'ignition potentielles.
Détection de fuites, feu et gaz	Les détecteurs ayant des fonctions de sécurité (pression, température, gaz, niveau de GNL etc.) doivent être indépendants des équipements d'exploitation, et une maintenance doit être assurée. La technologie de détection dépend des équipements. Des détecteurs d'épandage de GNL (détecteurs de froid), de présence de gaz inflammable (détecteurs linéaires ou ponctuels), de chaleur (détecteurs UV et/ou IR) et de fumée sont recommandés.

Chaines de sécurité	Une chaîne de sécurité de type MMRI (Mesure de Maîtrise des Risques Instrumentée) est généralement composée de 3 systèmes : la détection, le traitement, et l'isolement ou les actions de mise en sécurité associées. Les chaînes de sécurité sont caractérisées par leur efficacité, leur fiabilité et leur temps de réponse.
Limitation de fuites, gestion des épandages	Conception des zones de stockage sur cuvettes de rétention de manière à recueillir les fuites potentielles lors des opérations de transfert. Regroupement des organes de tuyauteries potentiellement fuyards sur les zones adaptées (manifold) avec système de collecte et de rétention. Gestion des eaux pluviales potentiellement polluées ou s'accumuler dans les cuvettes de rétention ou aire de sécurité.
Systèmes d'arrêt d'urgence	Mise en sécurité de l'installation par systèmes d'arrêt d'urgence (ESD – Emergency ShutDown). Différents niveaux d'arrêts d'urgence peuvent être identifiés en fonction de la situation.
Gestion des BOG	Récupération du gaz d'évaporation (BOG « Boil Off Gas ») du réservoir.
Système de torche et mise à l'évent	Nécessité de collecte du gaz des soupapes vers une torche être brûlé si nécessaire (pour utilisation ponctuelle et en lieu, rejet des soupapes à l'atmosphère).
Moyens de lutte contre l'incendie	L'eau est vivement déconseillée sur un épandage de GNL, car son application augmente l'évaporation en raison de la différence de température et peut entraîner des RPT. Une extinction par application de mousse ou poudre sèche est conseillée. Le dimensionnement des moyens de lutte contre l'incendie doit faire l'objet d'analyses de risques. Des systèmes de protection fixe à poudre sont conseillés aux endroits stratégiques, des systèmes d'arrosage par pulvérisation d'eau peuvent permettre d'éviter la propagation de l'incendie ou de refroidir les installations voisines.
Accès et évacuation	Prise en compte des règles de cheminement, balisage et espacements nécessaires, ainsi que des règles d'évacuation des personnes, de désenfumage ou compartimentage du bâtiment. Pour l'accès des services de secours, favoriser deux accès distincts.

Source : OTC

En addition des barrières techniques précédentes qui s'appliquent également lorsque cela est pertinent, les dispositions supplémentaires concernant les activités de soutage sont détaillées dans le tableau suivant, par thème.

Tableau 12. Dispositions pour les activités de soutage

Thème	Dispositions constructives
Distances de sécurité	Respect des principes d'implantation détaillés au § Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata. et définition des zones de sécurité. En cas de transfert par bras de chargement, prise en compte des distances de dégagements.
Système d'arrêt d'urgence	Nécessité d'ERS pour déconnexion d'urgence et d'ESD pour arrêter et isoler les opérations de transfert (sur détection gaz, niveau, ou dérive de navire par exemple).
Flexible de transfert	Conception pour liquides cryogéniques, dépressurisation, inertage et dégazage. Nécessité d'adapter la longueur du flexible au bateau / aux installations en chargement et en mouvement. La bonne pratique est que la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 10 m/s.
Selles de supportage	Conception pour supporter les charges (statiques et dynamiques) liées au transfert de GNL pendant le raccordement et lors des déconnexions d'urgence. Nécessité de fournir le soutien nécessaire pour que le rayon de courbure recommandé par le fabricant de flexible ne soit pas dépassé.
Prévention des risques d'arrachement des bras	Un deuxième niveau (par rapport à l'ESD) permet de déconnecter les systèmes de transfert (bras ou flexibles) en cas de besoin. Utilisation de connexions / déconnexions rapides QDQC.

SIMOPs	Prise en compte des risques d'opérations simultanées (SIMOPs) et de co-activité lors des opérations de soutage (par exemple, présence potentielle de public ou navires à proximité).
Protection des matériaux	Résistance des matériaux au feu et à la fragilisation due aux conditions cryogéniques (protections passives : ignifugeage, matériaux de construction adaptés, <i>drip-trays</i> ou rideaux d'eau pour la protection de la coque).
Limitation de fuites, gestion des épandages	Prévoir des dispositifs de confinement des fuites au niveau des systèmes de transfert.
Moyens de lutte contre l'incendie	Des canons à poudre peuvent être prévus pour étouffer ou contrôler un incendie. Des rideaux d'eau peuvent permettre de limiter la propagation de l'incendie et protéger les installations.

Source: OTC

4.4. Mesures organisationnelles

Aux barrières techniques citées précédemment s'ajoutent des mesures organisationnelles telles que les suivantes :

- La **formation** du personnel (opérateurs, personnel du port, service de secours, utilisateurs) aux activités de soutage et aux risques du GNL, et la définition et l'application de **modes opératoires** ;
- La gestion de la **sureté** des installations (clôture, surveillance, restrictions d'accès etc.) ;
- La mise en place de **protections** individuelles et collectives ;
- La mise en place d'un **plan de maintenance** préventive des installations ;
- La mise en place de **systèmes d'alertes et de communication** ;
- La définition de **procédures d'urgence**, d'évacuation et d'intervention.

Enfin, les bonnes pratiques concernant les procédures opérationnelles liées aux installations de GNL sont données dans le livrable T1.1.3 et synthétisées ci-dessous :

- Pour les activités de soutage de GNL : la réalisation d'analyses de risques et études de compatibilité, la définition de rôles et responsabilités des différents acteurs, la formation des opérateurs et le suivi de modes opératoires pour les opérations ;
- Pour le stockage de GNL : le contrôle de la pression et du niveau dans le réservoir en permanence, la gestion des évaporations, le suivi de modes opératoires selon les modes d'exploitation des réservoirs (remplissage, soutirage, stand-by et équilibrage).

5. RECOMMANDATIONS DE BONNES PRATIQUES (CONTRIBUTION CCIVAR/TECHNIP FMC)

Dans cette section du produit T2.4.4, le contenu du document "Analyse des risques des installations de GNL dans les zones portuaires" par le consultant TECHNIP FM du consultant P5 (CCIVAR) avec une référence spécifique au chapitre 6 dudit document est entièrement rapporté.

5.1. Conduites de raccordement pour le stockage sous pression et conduites de raccordement pour les entrepôts non pressurisés

En ce qui concerne les règles de conception des différentes installations de stockage, il est fait référence aux règles déjà examinées dans le présent document au chapitre 4, avec une référence particulière au chapitre 4.1.

Le partenaire français CCIVAR, grâce à la contribution du consultant externe TECHNIP FM, identifie les spécificités et les bonnes mesures standard, tant pour les lignes de raccordement de stockage sous pression que pour les entrepôts non pressurisés, en faisant une division en trois phases, définies comme le remplissage, l'équilibrage et le transfert.

En particulier, en ce qui concerne les conduites de raccordement pour le stockage sous pression, les étapes suivantes sont mises en évidence :

- a) **Phase de remplissage** : dans la gare de l'usine¹, les réservoirs ont une double alimentation : en phase liquide et en phase gazeuse. Ce dispositif permet au conducteur du réservoir d'ajuster la pression finale du réservoir après le remplissage. Dans la station du Port², le remplissage se fait uniquement par la phase gazeuse du réservoir ;
- b) **Équilibrage** : si plusieurs réservoirs sont installés en parallèle, il est recommandé de relier entre eux les réservoirs des parties liquides et des parties vapeur afin d'équilibrer leurs niveaux de liquide et de pression. La conception doit permettre d'utiliser toutes les citernes comme une seule, mais, pour des raisons de sécurité, il doit être possible, si nécessaire, d'isoler chaque citerne individuellement.
- c) **Transfert** : pour toute ligne dont le taux de transfert est déterminé (plutôt faible dans le contexte d'une station "Usine") et régulier, l'installation d'un limiteur de débit au point d'interception peut être recommandée.

En ce qui concerne les lignes de raccordement des entrepôts non pressurisés, il convient de noter :

- a) **Remplissage** : pour des raisons de sécurité, tous les raccordements sont effectués à partir du haut du ou des réservoirs. Il n'y a pas de traversées de lignes ou d'autres inserts sur les côtés ou le fond du réservoir. Les réservoirs ont une double alimentation : en phase gazeuse ou liquide (avec une ligne spécifique descendant de l'intérieur, du haut vers le bas du réservoir) pour éviter les phénomènes de stratification du GNL.

¹ Par "station d'usine", nous entendons une station dont l'objectif principal est l'approvisionnement continu en gaz naturel d'une usine située dans une zone non équipée d'un réseau de transport ou de distribution de gaz adéquat.

² La station du Port, dont l'objectif premier est de ravitailler les navires en GNL, offre une capacité de stockage plus importante que la station d'usine, ce qui la rend plus adaptée si la demande de GNL est plus élevée.

- b) **Équilibrage** : si plusieurs réservoirs sont installés en parallèle, il est recommandé de les relier entre eux pour la partie vapeur, afin d'équilibrer leur niveau de pression. D'autre part, pour des raisons de sécurité, il doit être possible d'isoler chaque conteneur individuellement si nécessaire.
- c) **Transfert** : des pompes submersibles doivent être installées pour extraire le GNL de l'intérieur du réservoir. Chaque pompe est installée dans un tuyau ouvert au fond du réservoir et connectée au sommet de la ligne de transfert de GNL. Le réservoir peut être équipé de plusieurs pompes, si nécessaire, avec autant de tuyaux à l'intérieur.

5.2. Chaîne de sécurité / mmr dite instrumentée

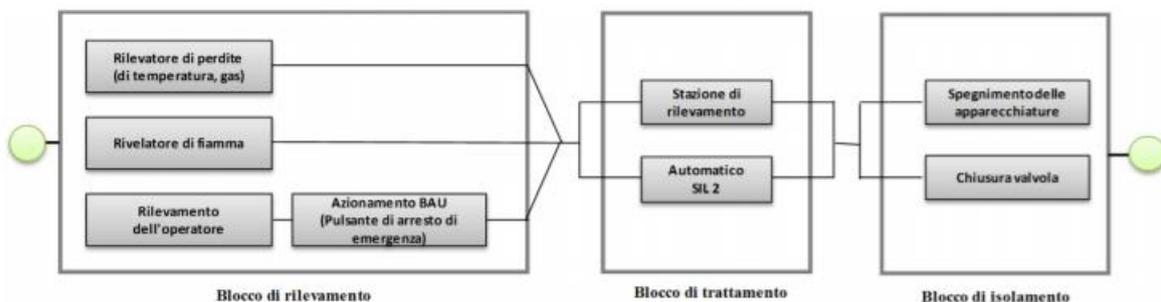
5.2.1. 5.2.1 Présentation générale

Les MMR instrumentées correspondent la plupart du temps à une chaîne de 3 "blocs" :

- Le bloc "détection", y compris la détection par un opérateur ;
- Le bloc de traitement ;
- Le bloc "isolement/action de sécurité".

Une chaîne de ce type (instrumentée), destinée à réduire les conséquences d'un sinistre (potentiellement suivi d'un incendie), est décrite dans la figure 4. Comme l'objectif est de réduire les conséquences d'un événement accidentel, ces MMR sont souvent aussi appelés MMR d'atténuation.

Figure 4. Architecture des chaînes de sécurité instrumentées ou MMR



Source: CCIVAR

Les sous-chapitres suivants décrivent chaque bloc en détail de manière à inclure un examen des recommandations en matière d'équipement de sécurité.

5.2.2. Propriétés

Quelle que soit la technologie des éléments de chaque bloc, toutes les chaînes peuvent être caractérisées par 3 propriétés ou caractéristiques :

- Leur efficacité ;
- Leur fiabilité ;
- Leur temps de réponse.

L'efficacité est probablement la propriété la plus difficile à définir sans équivoque. En général, il permet de comparer les conséquences d'un accident avec ou sans chaîne ou MMR. Par exemple, il peut s'agir d'une question de comparaison : une distance de la LIE, si une perte n'est pas contenue, avec celle obtenue pour une perte qui était contenue par les éléments du MMR. Cependant, ces comparaisons sont fragmentaires.

Dans l'exemple cité, il ne semble pas que dans le premier cas, le risque persiste pendant une "longue" période, alors que dans le second cas, il est efficace pendant une période beaucoup plus courte. En outre, l'efficacité est parfois utilisée pour décrire l'adéquation du MMR aux accidents. Par exemple, un MMR peut être efficace pour les pertes importantes, mais pas pour les petites pertes parce que le maillage du détecteur peut être trop grand pour elles. L'efficacité est alors réduite pour justifier la conception/dimensionnement parfois du MMR.

On dira seulement ici que le niveau de fiabilité dépend des caractéristiques technologiques des éléments qui composent le MMR, qui est une chaîne, et parfois même entre 2 tests pour vérifier son bon fonctionnement. En détail, il est souligné que plus le délai entre deux tests est long, moins le test sera fiable.

5.3. Détection

5.3.1. Généralités

Les détecteurs qui ont des fonctions de sécurité (pression, niveau du GNL, etc.) doivent être indépendants des séquences de mesure pour l'exploitation. Les mesures et alarmes doivent être transmises au lieu de contrôle. Les alarmes doivent aussi être transmises à l'opérateur qui peut se trouver sur place ou sur un site éloigné (bureau d'exploitation, ...). La maintenance de l'instrumentation doit être possible pendant le fonctionnement normal du stockage. Toutefois, quand la mise hors service du stockage est requise, l'instrumentation doit présenter une redondance suffisante pour une intervention en sécurité. Au-delà des généralités ci-avant, les cas de stockages pressurisés ou non-pressurisés sont à nouveau distingués avant de passer en revue chaque type de détecteur.

5.3.2. Détection/mesure de niveau

- a) **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/éviterment (du débordement) 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,
- Disposer d'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/évitement 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.

- b) **Réservoirs non pressurisés** : Les mêmes recommandations que pour les réservoirs pressurisés s'appliquent pour les réservoirs non-pressurisés. 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.

5.3.3. *Détection/mesure de pression*

- a) **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...) et des équipements (pompes).

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

- b) **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 primaire³ 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.

5.3.4. *Détection/mesure de 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;

³ Les réservoirs non pressurisés sont souvent constitués des 2 enceintes de confinement, l'une, primaire, contient le produit en situation nominale et l'autre, secondaire, pourrait le contenir en cas de perte d'étanchéité de l'enceinte primaire. L'espace entre les 2 enceintes contient de l'isolant.

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

5.3.5. *Détection/mesure dite LTD*

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

Cet instrument dit LTD (« Level, Temperature, Density ») doit en outre 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.

5.3.6. *Détection de fuite/ de feu*

- a) **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 dits 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 être inadéquate sur des canalisations à fonctionnement intermittent
- b) **Détecteurs sur zone / équipement**: De manière systématique, ces zones sont équipées de 3 types de détecteurs : les capteurs catalytiques (« explosimètre ») ou IR ponctuel; les capteurs de basse températureles détecteurs de flamme UV/IR ou IR34.
 Dans certaines zones particulières (zone à confinement, surveillance périmétrique,...), des capteurs à faisceau IR19 peuvent être utilisés⁵
- c) **Détecteurs sur canalisation**: Certaines canalisations sont de longueurs telles qu'elles ne peuvent être couvertes par des détecteurs de zone associés aux équipements. Ces canalisations peuvent être équipées de fibre optique permettant de détecter une fuite par la chute de température associée à l'écoulement de GNL, très froid. Les canalisations transportant du GNL à faible pression disposent d'une 2ème 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.
- d) **Nombre et positions des détecteurs**: Le nombre et l'implantation des détecteurs doivent faire l'objet d'une étude spécifique qui ne sera pas abordée au présent document. De fait, des détecteurs sont à implanter :
 - Aux aires de chargements/déchargements
 - Aux stockages
 - Auprès des équipements de procédé associés (réchauffeurs, échangeurs de chaleur, etc.)

En cas de franchissement de seuils d'alarme des actions d'urgence, telles qu'indiquées en 6.7, sont aussi à définir :

⁴ Les détecteurs UV/IR combinent un capteur UltraViolet et un détecteur InfraRouge. Les déteteurs IR3 combinent 3 capteurs IR

⁵ Ces faisceaux intègrent en interprétant des signaux InfraRouges la concentration en gaz inflammable sur une ligne définie entre 2 points.

5.4. Traitement

5.4.1. Généralités

En détail, le traitement peut être : l'exclusion automatique des alarmes des détecteurs de fuites ou de flammes et de certains détecteurs d'anomalies, ou des opérateurs qui décident des mesures à prendre (appuyer sur le bouton d'arrêt d'urgence : BAU).

Dans ce contexte, le nombre et la localisation des BAU doivent être étudiés avec au moins des BAU dédiés :

- Aux postes de transfert,
- Au stockage,
- à proximité de l'unité regroupant les équipements pour assurer le refroidissement du GNL,
- à proximité des bureaux d'exploitation

Par conséquent, qu'un traitement soit automatisé ou basé sur les décisions des opérateurs, il doit être défini à l'avance, en tenant compte de l'action d'urgence⁶ la plus appropriée.

Ils peuvent ensuite être utilisés comme réglages de sécurité partiels, lorsqu'ils n'agissent que partiellement ou comme une fonction partielle des installations ; des directives générales sont données ci-dessous lorsqu'ils agissent sur l'ensemble de l'installation, y compris les stations de chargement/déchargement.

Dans ce contexte, un traitement doit être explicitement prévu en cas de:

- Niveau très haut à très très haut,
- pression très haute à très très haute,
- pression très basse à très très basse,
- détection de fuite, de feu,
- etc.

Enfin, s'agissant des unités de traitement, deux types sont possibles : une centrale de détection, ou un automate de sécurité. Si l'analyse de risque montre la nécessité de disposer de 2 MMR indépendantes de « détection-traitement-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 SIL⁷ « 2 » pour ne pas pénaliser la fiabilité de la chaîne complète.

5.4.2. Traitement des événements accidentels concernant le méthanier

Pour une station « port », une interface avec le méthanier est à considérer. Les mesures de sécurité associées aux transferts devront être conçues avec:

- Un poste de déchargement équipé de vannes d'arrêt d'urgence commandées à distance ; les arrêts d'urgence étant intégrés dans des séquences automatisées,

⁶ Les actions d'urgence sont généralement précédées d'une alarme (aucune action), activée avec un seuil inférieur, pour avertir à l'avance qu'un écart par rapport aux conditions de fonctionnement correctes est en train de se produire..

⁷ De l'anglais "Safety Integrated Level". Différents niveaux de SIL existent (1, 2, 3, ...) repérant des fiabilités croissantes suivant la norme IEC 511.

- Un câble de communication/AU (tel que recommandé par le SIGTTO⁸ et rendu obligatoire par les codes et normes) entre le méthanier et la station pour déclencher un arrêt d'urgence si besoin
- Système de break-away sur les flexibles ou PERC⁹ sur les bras (relève des systèmes d'actions d'urgence considérés au sous chapitre suivant).

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

5.5. Systemes d'actions d'urgence

5.5.1. Généralités

Par systèmes d'actions d'urgence, sont désignés les dispositifs de mise en sécurité des installations par fermeture des vannes d'isolement, arrêt des pompes de transfert, des compresseurs, ...

De façon générale et analogue à la situation de l'instrumentation, le système des actions d'urgence est à distinguer du système de suivi des procédés.

Le système de protection incendie n'est pas inclus (non pas qu'il ne soit pas associé à des actions d'urgence) car un sous chapitre spécifique lui est dédié.

5.5.2. Organes d'isolement

Les vannes commandées par les arrêts d'urgence ont des caractéristiques principales qui doivent être passées en revue avant mise en place et exploitation:

- 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 »).

Parmi, les organes d'isolement, il convient aussi de rappeler les dispositifs :

- Dits « break-away » ou encore « raccords flip-flap » implantés sur les flexibles, consistant en des raccords conçus pour se rompre au droit d'une section précise en cas de traction excessive et équipés de clapets se refermant concomitamment à la rupture et bien sûr disposés de part et d'autre de la section où celle-ci est prévue,

Ou dits « PERC » qui est un dispositif hydraulique permettant la déconnexion rapide d'un bras de chargement sur ordre opérateur, défaut d'énergie ou lorsque l'enveloppe opérationnelle¹⁰ d'un bras de

⁸ Society of International Gas Tanker and Terminal Operators

⁹ Powered Emergency Release Coupling.

¹⁰ Zone de l'espace au sein de laquelle il est prévu que le bras puisse se déplacer au gré des besoins.

chargement est dépassée ; ce dispositif est en outre équipé de 2 vannes commandées à distance disposées de chaque côté du point de déconnexion pour limiter les déversements.

5.5.3. *Dispositifs de contrôle à haute et basse pression*

Il est rappelé que la pression des réservoirs devra être maintenue entre les valeurs opérationnelles autorisées. Pour cela, en exploitation nominale, 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, voir sous chapitre suivant).

En exploitation nominale (hors situation de protection ultime), le délestage de gaz ne peut être envoyé à l'atmosphère que s'il s'agit d'épisodes très occasionnels. Les volumes de gaz évacués à l'atmosphère doivent être réduits autant que possible. Le délestage à l'atmosphère n'est acceptable que pour les installations modestes (type usine). Les installations plus importantes doivent considérer des dispositifs du type:

- a. Délestage par envoi du gaz vers des réseaux ou des utilisateurs,
- b. Refroidissement de la phase gaz (par échangeur à azote liquide, par exemple),
- c. Refroidissement de la phase liquide (par exemple le cycle de Brayton,).

Ensuite, revenant aux situations d'urgence, lorsque la pression devient excessive malgré le système de contrôle de la pression, des soupapes de sécurité ou éventuellement des disques de rupture sont implantés pour évacuer le gaz dans les situations ultimes suivantes :

- l'évaporation due à un apport thermique, y compris en cas d'incendie,
- le mouvement dû à un éventuel sur-remplissage,
- un flash brusque lors du remplissage,
- les variations brutales de la pression atmosphérique,
- le recyclage soudain et à débit important d'une pompe,
- un débordement dans l'espace inter-parois pour les réservoirs non pressurisés,
- le phénomène de roll over pour les réservoirs non pressurisés

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 (voir plus loin). 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 lieu et 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'événement réduisant la pression avant ouverture des soupapes.

D'autre part, 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 d'un vaporisateur 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.

5.6. Systemes de collecte des events

Comme évoqué ci-avant, pour des raisons opératoires ou de sécurité, il est nécessaire dans certain cas d'avoir à évacuer du gaz. Par exemple, en cas de surpression dans les réservoirs, l'excès de gaz doit être évacué, 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 évacué par l'intermédiaire d'un évacuateur, ou éventuellement une torche pour les très grosses installations (si les volumes de gaz libérés deviennent trop importants).

Si des gouttelettes de liquides sont présentes dans le flux gazeux, 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'évacuateur tel qu'un ballon séparateur.

Les fonctionnalités de(s) évacuateurs et torches sont alors de :

- a. Récupérer/canaliser 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,
- b. orienter/diriger les volumes de gaz récupérés pour que ceux-ci soient libérés dans l'atmosphère à des endroits précis, localisés et contrôlés,
- c. éviter la dispersion de gouttelettes liquides de GNL à travers le site,
- d. favoriser la dispersion du gaz pour atteindre des concentrations inférieures aux limites d'inflammabilité.

Les objectifs de sécurité sont de plusieurs natures :

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

Le système de collecte d'évacuateur peut être constitué d'un seul évacuateur commun (ou une torche) ou de plusieurs petits évacuateurs 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'évacuateur (ou torche).

L'évacuateur (ou torche) devra aussi être conçu pour empêcher l'accumulation d'eau (de pluie) dans les collecteurs ou la construction de nid d'oiseau ou d'abris d'animaux, etc... pouvant obstruer la sortie de l'évacuateur.

5.7. Systemes de collecte de fuite

5.7.1. Fonctions et objectifs

Le système de récupération de fuite est destiné à retenir le GNL localement à l'aplomb de la brèche ou dans une capacité déportée. Les objectifs de sécurité sont de 2 natures : réduire l'extension d'une nappe et par suite la taille d'un nuage explosible, prévenir la formation d'un feu de nappe engendrant un flux intense et prolongé sur une capacité de GNL (réservoirs, citerne,...).

Le dimensionnement d'un tel système nécessite de se référer aux scénarios de fuite sur phase liquide et d'examiner les conditions et le délai d'isolement pour ces scénarios (en pratique, le temps de réponse des MMR évoqué plus haut). Ces éléments peuvent être extraits de l'Etude de dangers, telle qu'établie en France. 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. Les fréquences de ces fuites peuvent en effet être assez hautes pour, combinées aux gravités, engendrer un risque non acceptable.

Des recommandations supplémentaires sont reportées aux sous chapitres suivants en distinguant :

- les aires de récupération, qui doivent collecter et « canaliser » le GNL,
- et les aires de rétention qui doivent temporairement « stocker » le GNL.

5.7.2. Aires de récupération

Concrètement, des aires sont à concevoir à partir : d'aires en béton, ceinturées par des caniveaux, ou de cuvettes en béton à l'aplomb des principaux équipements avec des pentes suffisantes dirigées vers des caniveaux.

Ces caniveaux peuvent être couverts de panneaux légers pour : limiter l'évaporation, et éviter une situation de propagation de flamme en milieu confiné et de forme allongée qui est propice aux fortes accélérations de flammes et par suite à des explosions avec de fortes surpressions.

5.7.3. Capacités de rétention

Les capacités ou cuvettes de rétention sont le plus souvent à déporter de sorte qu'en cas d'inflammation, les flux thermiques associés au feu de nappe ne viennent pas impacter les équipements environnant en les chauffant dangereusement.

Ensuite, comme déjà indiqué plus haut, les capacités sont à dimensionner en tenant compte des quantités de GNL pouvant être accidentellement déversées à extraire des études de dangers ou de sécurité. De façon pratique, les rétentions prévues pour les postes de transfert doivent avoir au moins la capacité d'une citerne (ferroviaire ou routière selon les cas).

Le débit d'évaporation depuis chaque cuvette peut être réduit au maximum par un dispositif du type écran flottant. La nécessité ou pas de ce type d'équipement dépend du contexte et des résultats des études des dangers. Par ailleurs, 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.

Enfin, dans le cas des stockages non pressurisés, les rejets de GNL sont a priori les plus à même d'engendrer des épandages au sol. Dans ce contexte, la meilleure technologie est de disposer les canalisations (en particulier les longues canalisations reliant les postes de transfert navire au stockage)

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 des risques. Le volume nécessaire dépend en effet du temps de réponse du système de détection-isolement dans les compartiments.

5.8. Systeme de protection incendie

Le Tableau 13 ci-après présente - les fonctions pouvant être assurées par un système dit de protection incendie (alors qu'il s'agit parfois aussi de protection explosion), le type d'équipements assurant ces fonctions, et des remarques/informations.

Tableau 13. fonctions de protection incendie

Funzioni	Attrezzatura	Osservazioni
Diluizione/dispersione delle nubi	Cortina d'acqua	La diluizione si ottiene per mezzo di aria trascinata da goccioline d'acqua. Questo dispositivo è efficace solo se la nube è a bassa velocità. È inefficace sulle emissioni dei getti. Di conseguenza, è particolarmente utile nel caso di grandi fuoriuscite di GNL a bassa pressione che generano una nube senza una quantità significativa di movimento. Permette così di evitare una deriva della nube verso una zona con punto di accensione o in presenza di persone (corsie di marcia, ecc.).
Prevenzione dell'accensione del serbatoio di GNL	Schiuma di sbarramento	Questo dispositivo è riservato alle grandi installazioni che richiedono una vasca offset profonda e/o di grande superficie. Per una cuvetta di questo tipo, l'analisi del rischio può infatti dimostrare che un flusso di calore intenso e prolungato genera effetti domino aggravanti.
Miscelazione incendio bacino GNL	Schiuma di sbarramento	
Estintori per autocisterne	Estintore mobile	L'incidentologia dei depositi di idrocarburi indica che un incendio di un'autocisterna può verificarsi all'arrivo sul sito. Oltre agli estintori portatili presenti nella stazione di carico/scarico, almeno un estintore da 50 kg è presente nelle vicinanze in un luogo sicuro (al riparo dalle radiazioni dell'incendio da fermare).
Raffreddamento delle capacità	Spruzzatura di acqua	Nel caso di cisterne e cisterne di trasporto, l'irrigazione potrebbe non essere appropriata perché: - Se c'è un impatto diretto delle fiamme, le pareti esterne sono portate ad una temperatura elevata (a causa delle fiamme ma anche perché l'isolamento dietro le pareti impedisce/limita il trasferimento di calore); questo porta potenzialmente all'effetto Leidenfrost dell'acqua dell'irrigatore e di conseguenza ad un raffreddamento inefficiente; - Se non vi è alcun impatto e i flussi di calore trasmessi per irraggiamento sono moderati, allora l'isolamento (perlite) delle capacità di GNL consente un tempo di tenuta relativamente lungo.
Protezione dell'ufficio operativo, sala strumentazione	Spruzzatura di acqua	Rispetto alle precedenti osservazioni online, tuttavia, è generalmente consigliabile raffreddare gli impianti, come ad esempio le capacità di processo, ad esempio un impianto pericoloso confinante o un ufficio operativo come rifugio per il personale operativo.
Protezione degli impianti vicini	Cortina d'acqua Spruzzatura di acqua	

Source: CCIVAR

5.9. Effets dominos

Il ressort des considérations au sous chapitre précédent qu'une des fonctions importantes du système de protection incendie est d'éviter une séquence avec enchaînements de plusieurs phénomènes dangereux, le plus souvent appelée « effets dominos ». L'objet n'est de détailler ici les critères ou seuils qui permettent de juger de la plausibilité d'effets dominos ou encore de méthodes pour prendre en compte ceux-ci. Pour mémoire, il convient juste de rappeler que la maîtrise des effets dominos est en pratique

souvent assurée par : les choix d'implantations, ou par des barrières comme un mur de protection par exemple.

Cela étant, il est ajouté comme recommandation de considérer de façon « classique », les impacts entre 2 installations dangereuses (comme un poste de transfert et un stockage par exemple), mais aussi entre une installation dangereuse et les éléments sensibles comme par exemple, les principaux moyens de protection incendie (pomperie notamment) ou les lieux abritant les opérateurs et les commandes à distance des moyens de sécurité.

6. ANALYSE DE RISQUES APPLIQUEE AU CAS DE LA CORSE (CONTRIBUTION OTC/ TRACTEBEL, ENGIE, ELENGY ET SEEUP)

6.1. DANGER : Soutage de GNL

Une analyse de risque de type HAZID (HAZard IDentification – Identification des Dangers) est réalisée sur trois méthodes de soutage:

- Les méthodes de soutage depuis un camion (TTS) et depuis un navire (STS) retenues dans le livrable T.1.1.3 car adaptées aux faibles besoins et quantités de la Corse ;
- La méthode de soutage depuis un réservoir terrestre (shore-to-ship) est considérée en addition des deux précédentes car elle est également plausible en Corse. 3 types de réservoir sont considérés : un iso-container, un réservoir de type C et un réservoir de type full-containment.

La méthode HAZID est une technique permettant d'identifier les dangers et menaces potentielles pouvant survenir lors de projets ou d'activités.

Les objectifs de l'HAZID menée sont les suivants :

- Identifier les dangers liés aux activités de soutage pour chaque type d'équipement ;
- Identifier les causes et conséquences des événements potentiels relatifs à ces dangers ;
- Identifier les barrières de sécurité (prévention et protection) qui permettraient de prévenir la survenance des dangers, de diminuer leurs conséquences ou d'améliorer leur traitement. Ces barrières constituent ainsi les bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du GNL, appliquées au cas de la Corse.

L'HAZID a été réalisée avec des intervenants de ELENGY et TRACTEBEL.

Les tableaux d'analyses de risques sont donnés ci-après.

Tableau 14. Analyse du risque - Soutage STS

DANGER 1 - Soutage Ship-To-Ship (de navire à navire)								
Nœud	Système	Equipement	Rif.	Défaillance	Cause	Conséquences	Barrières de prévention	Barrières de protection
Soutage Ship-To-Ship (de navire à navire)	Navire souteur	Navire	1	Dérive du bateau	Perte d'amarres, Conditions climatiques et mouvement de l'eau, collision navire, démarrage intempestif du navire, SIMOPS	Arrachement des flexibles de transfert, déversement de GNL (perte de confinement), endommagement navire et installations, collision avec un autre navire	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau, étude de compatibilité entre les 2 bateaux	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert
		Réservoir	2	Sur-remplissage (si plusieurs cuves)	Mauvaise configuration des circuits : transfert entre 2 cuves du navire souteur	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Niveau haut sur les cuves, arrêt d'urgence, mise en place et suivi de procédures de transfert	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			3	Roll-over (inversion de couches) selon type de réservoir	GNL de densités différentes	Montée en pression brusque, rejet aux soupapes, éclatement de capacité	Contrôle des conditions avant transfert (profils densité, pression, température)	Soupapes de sécurité

DANGER 1 - Soutage Ship-To-Ship (de navire à navire)								
Système de transfert	Flexible GNL	4	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, déformation de la coque	Mise en place d'une zone de sureté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert	
		5	Manque de pression dans le réservoir	Défaillance du Pressure Build Up (PBU), absence retour BOG	Déformation du réservoir	Capteurs de pression, arrêt d'urgence sur détection pression basse	-	
	Flexible GNL	6	Sur-débit	Défaut pompe, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements, vibrations	Modes opératoires et formation, alarme sur débitmètre, surveillance du transfert	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	
		7	Arrachement	Dérive du navire souteur ou souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Déversement de GNL, déformation de la coque	Cf. dérive du navire	Cf. dérive du navire	
		8	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement, mauvais raccordement, courbure excessive du flexible	Déversement de GNL, déformation de la coque	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation, selles de supportage	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	

DANGER 1 - Soutage Ship-To-Ship (de navire à navire)									
			9	Surpression	Défaut pompe, coup de bélier, isolement du système (fermeture de vannes)	Perte de confinement, endommagement des équipements	Conception et dimensionnement de la pompe, soupapes d'expansion thermique, capteurs de pression	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	
			Flexible BOG	10	Flexible BOG	Erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements	Modes opératoires et formation, détrompeur ou signalisation claire	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
				11	Envoi GNL dans les BOG	Sur-remplissage, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements	Modes opératoires et formation	Soupapes d'expansion thermique sur la ligne BOG
				12	Arrachement	Dérive du navire souleveur ou soulevé, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Fuite de gaz	Cfr. la dérive du navire	Cfr. la dérive du navire
				13	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement, mauvais raccordement, courbure excessive du flexible	Fuite de gaz	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation, selles de supportage	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX

DANGER 1 - Soutage Ship-To-Ship (de navire à navire)													
Navire souté	Navire	14	Dérive du bateau	Perte d'amarres, Conditions climatiques et mouvement de l'eau, collision navire, démarrage intempestif du navire, SIMOPS	Arrachement des flexibles de transfert, déversement de GNL (perte de confinement), endommagement navire et installations, collision avec un autre navire	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau, étude de compatibilité entre les 2 bateaux	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert						
				Réservoir	15	Sur-remplissage	Erreur opératoire, défaut capteurs de niveau	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Redondance capteurs et maintenance, modes opératoires et formation, arrêt d'urgence sur capteurs de niveaux	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert			
							16	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, déformation de la coque	Mise en place d'une zone de sûreté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert	
									17	Défaut mise en froid tuyauterie et réservoir	Erreur opératoire, mise en froid trop rapide	Endommagement des équipements, perte de confinement (brides)	Modes opératoires et formation

DANGER 1 - Soutage Ship-To-Ship (de navire à navire)								
			18	Suppression	Mauvaise gestion des BOG, mise en froid trop rapide	Perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Modes opératoires et formation, capteurs de pression	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert

Source: OTC

Tableau 15. Analyse des risques - Soutage TTS

DANGER 2 – Soutage Truck-To-Ship (de camion à navire)								
Nœud	Système	Equipement	Réf.	Défaillance	Cause	Conséquences	Barrières de prévention	Barrières de protection
Soutage Truck-To-Ship (de camion à navire)	Camion soudeur	Camion	1	Mouvement du camion	Collision véhicules, défaut frein véhicule, erreur opératoire	Arrachement des flexibles de transfert, déversement de GNL (perte de confinement), endommagement des camions et installations, collision avec un autre véhicule	Cales sur le véhicule et bonnes pratiques de verrouillage (retrait clés, système de verrouillage des freins), prise en compte et cadrage des SIMOPS	Système de déconnexion d'urgence, aires de rétention, arrêt d'urgence transfert
		Réservoir	2	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, endommagement des installations	Mise en place d'une zone de sureté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert

DANGER 2 – Soutage Truck-To-Ship (de camion à navire)								
			3	Incendie tracteur	Défaut électrique	Montée en température et pression du réservoir -->risque de BLEVE	Détecteur flamme, système d'extinction incendie, équipotentialité entre camion et navire, utilisation préférentielle de réservoirs double enveloppe	Soupapes de protection, protection incendie
			4	Feu externe, inflammation fuite GNL	Sources d'ignition	Montée en température et pression du réservoir --> risque de BLEVE	Détecteur flamme, système d'extinction incendie, zones ATEX et zones de sécurité balisées, aire de sécurité pour collecte des fuites, utilisation préférentielle de réservoirs double enveloppe	Soupapes de protection, protection incendie
			5	Manque de pression dans le réservoir	Défaillance du Pressure Build Up (PBU), absence retour BOG	Déformation de la citerne	Capteurs de pression, arrêt d'urgence sur détection pression basse	-
Système de transfert	Flexible GNL	6	Sur-débit	Défaut pompe, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements, vibrations	Modes opératoires et formation, alarme sur débitmètre, surveillance du transfert	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	

DANGER 2 – Soutage Truck-To-Ship (de camion à navire)								
			7	Arrachement	Mouvement du camion ou du navire souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Déversement de GNL, endommagement des équipements	Cf. mouvement du camion	Cf. mouvement du camion
			8	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement, mauvais raccordement, courbure excessive du flexible	Déversement de GNL, endommagement des équipements	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
			9	Surpression	Défaut pompe, coup de bélier, isolement du système (fermeture de vannes)	Perte de confinement, endommagement des équipements	Conception et dimensionnement de la pompe, soupapes d'expansion thermique, capteurs de pression	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX

DANGER 2 – Soutage Truck-To-Ship (de camion à navire)								
Navire souté	Navire	10	Dérive du bateau	Perte d'amarres, Conditions climatiques et mouvement de l'eau, collision navire, démarrage intempestif du navire, SIMOPS	Arrachement des flexibles de transfert, déversement de GNL (perte de confinement), endommagement navire et installations, collision avec un autre navire	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert	
	Réservoir	11	Sur-remplissage	Erreur opératoire, défaut capteurs de niveau	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Redondance capteurs et maintenance, modes opératoires et formation, arrêt d'urgence sur capteurs de niveaux	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert	
		12	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, déformation de la coque	Mise en place d'une zone de sûreté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert	
		13	Défaut mise en froid tuyauterie et réservoir	Erreur opératoire, mise en froid trop rapide	Endommagement des équipements, perte de confinement (brides)	Modes opératoires et formation	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert	

DANGER 2 – Soutage Truck-To-Ship (de camion à navire)								
			14	Suppression	Mauvaise gestion des BOG, mise en froid trop rapide	Perte de confinement GNL éclatement de capacité	Modes opératoires et formation, capteurs de pression	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert

Source : OTC

Tableau 16. Analyse des risques - Soutage shore-to-ship bunkering (du rivage au navire)

DANGER 3: Shore-To-Ship (du rivage au navire)								
Nœud	Système	Equipement	Réf.	Défaillance	Cause	Conséquences	Barrières de prévention	Barrières de protection
Soutage Shore-To-Ship (du rivage au navire)	Stockage terrestre	Réservoir type Iso container	1	Sur-remplissage (si plusieurs cuves)	Mauvaise configuration des circuits : transfert entre 2 containers du stockage	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Niveau haut sur les cuves, arrêt d'urgence, mise en place et suivi de procédures de transfert	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			2	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, endommagement des installations/brûlures par le froid	Mise en place d'une zone de sureté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			3	Feu externe, inflammation fuite GNL	Sources d'ignition	Montée en température et pression du réservoir --> risque de BLEVE	Détecteur flamme, extinction, zones ATEX et zones de sécurité balisées, aire de sécurité pour collecte des fuites, utilisation préférentielle de réservoirs double enveloppe	Soupapes de protection, protection incendie

DANGER 3: Shore-To-Ship (du rivage au navire)

		Réservoir type C	4	Manque de pression dans le réservoir	Défaillance du Pressure Build Up(PBU), absence retour BOG	Déformation du container	Capteurs de pression, arrêt d'urgence sur détection pression basse	-
			5	Sur-remplissage (si plusieurs cuves)	Mauvaise configuration des circuits : transfert entre 2 réservoirs	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Niveau haut sur les cuves, arrêt d'urgence, mise en place et suivi de procédures de transfert	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			6	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, endommagement des installations/brûlures par le froid	Mise en place d'une zone desurété, SIMOPS maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			7	Feu externe, inflammation fuite GNL	Sources d'ignition	Montée en température et pression du réservoir --> risque de BLEVE	Détecteur flamme, extinction, zones ATEX et zones de sécurité balisées, aire de sécurité pour collecte des fuites, utilisation préférentielle de réservoirs double enveloppe	Soupapes de protection, protection incendie
			8	Manque de pression dans le réservoir	Défaillance du Pressure Build Up (PBU), absence retour BOG	Déformation du réservoir	Capteurs de pression, arrêt d'urgence sur détection pression basse	-

DANGER 3: Shore-To-Ship (du rivage au navire)							
Réservoir type Full containment	9	Sur-remplissage (si plusieurs cuves)	Mauvaise configuration des circuits : transfert entre 2 réservoirs	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Niveau haut sur les cuves, arrêt d'urgence, mise en place et suivi de procédures de transfert	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert	
	10	Présence de GNL dans l'inter-parois	Défaillance de la cuve interne	Fuite de GNL	-	Détecteurs de froid dans l'inter-parois	
	11	Roll-over (inversement de couches)	GNL de densités différentes	Montée en pression brusque, rejet aux soupapes, éclatement de capacité	Contrôle des conditions avant transfert (profils densité, pression température)	Soupapes de sécurité	
	12	Feu externe, inflammation fuite GNL	Sources d'ignition	Montée en température et pression du réservoir --> perte de confinement, endommagement du réservoir/brûlures par le froid	Détecteur flamme, extinction, zones ATEX et zones de sécurité balisées, aire de sécurité pour collecte des fuites	Soupapes de protection, protection incendie	
13	Manque de pression dans le réservoir	Absence retour BOG et soutirage GNL important	Déformation de la cuve interne	Capteurs de pression, arrêt d'urgence surdétection pression basse	Injection de gaz casse-vidé, soupapes casse-vidé		

DANGER 3: Shore-To-Ship (du rivage au navire)								
	Système de transfert par flexible	Flexible GNL	14	Sur-débit	Défaut pompe, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid, vibrations	Modes opératoires et formation, alarme sur débitmètre, surveillance du transfert	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
			15	Arrachement	Dérive du navire souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Déversement de GNL, déformation de la coque ou endommagement des installations/brûlures par le froid	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert
			16	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillesse, mauvais raccordement, courbure excessive du flexible	Déversement de GNL, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soudage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation, selles de supportage	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX

DANGER 3: Shore-To-Ship (du rivage au navire)								
		Flexible BOG	17	Surpression	Défaut pompe, coup de bélier, isolement du système (fermeture de vannes)	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Conception et dimensionnement de la pompe, soupapes d'expansion thermique, capteurs de pression	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
			18	Inversion des flexibles BOG / GNL	Erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Modes opératoires et formation, détrompeur	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
			19	Envoi GNL dans les BOG	Sur-remplissage, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Modes opératoires et formation	Soupapes d'expansion thermique sur la ligne BOG
			20	Arrachement	Dérive du navire souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Fuite de gaz	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert

DANGER 3: Shore-To-Ship (du rivage au navire)							
Système de transfert par bras articulé	Bras de chargement GNL (bras liquide)	21	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement mauvais raccordement, courbure excessive du flexible	Fuite de gaz	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation, selles de supportage	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
		22	Sur-débit	Défaut pompe, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid, vibrations	Modes opératoires et formation, alarme sur débitmètre, surveillance du transfert	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
		23	Arrachement	Dérive du navire souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Déversement de GNL, déformation de la coque ou endommagement des installations/brûlures par le froid	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert
		24	Choc entre le bras de chargement et le manifold	Erreur opératoire, conditions météorologiques, mouvement du navire	Endommagement des équipements/brûlures par le froid	Modes opératoires et formation, surveillance	-

DANGER 3: Shore-To-Ship (du rivage au navire)								
			25	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement, mauvais raccordement, pas de déverrouillage du bras raccordé	Déversement de GNL, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
			26	Surpression	Défaut pompe, coup de bélier, isolement du système (fermeture de vannes)	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Conception et dimensionnement de la pompe, soupapes d'expansion thermique, capteurs de pression	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
		Bras retour BOG (bras gaz)	27	Inversion des bras BOG / GNL	Erreur opératoire	Perte de confinement endommagement des équipements/brûlures par le froid	Modes opératoires et formation, détrompeur ou signalisation claire	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
			28	Envoi GNL dans les BOG	Sur-remplissage, erreur opératoire	Perte de Confinement endommagement des équipements/brûlures par le froid	Modes opératoires et formation	Soupapes d'expansion thermique sur la ligne BOG

DANGER 3: Shore-To-Ship (du rivage au navire)								
			29	Arrachement	Dérive du navire souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Fuite de gaz	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert
			30	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement mauvais raccordement	Fuite de gaz	Maintenance, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
	Navire souté	Navire	31	Dérive du bateau	Perte d'amarres, Conditions climatiques et mouvement de l'eau, collision navire, démarrage intempestif du navire, SIMOPS	Arrachement des flexibles de transfert, déversement de GNL (perte de confinement), endommagement navire et installations/brûlures par le froid, collision avec un autre navire	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS consignation de la motorisation du bateau	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert

DANGER 3: Shore-To-Ship (du rivage au navire)								
		Réservoir	32	Sur-remplissage	Erreur opératoire, défaut capteurs de niveau	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Redondance capteurs et maintenance, modes opératoires et formation, arrêt d'urgence sur capteurs de niveaux	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			33	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication usure, corrosion agression thermique	Déversement de GNL, déformation de la coque/brûlures par le froid	Mise en place d'une zone de sûreté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			34	Défaut mise en froid tuyauterie et réservoir	Erreur opératoire, mise en froid trop rapide	Endommagement des équipements/brûlures par le froid, perte de confinement (brides)	Modes opératoires et formation	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			35	Surpression	Mauvaise gestion des BOG, mise en froid trop rapide	Perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Modes opératoires et formation, capteurs de pression	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert

Source : OTC

Cette analyse de risques montre que **les principes généraux de sécurité permettent effectivement de réduire les risques engendrés par les activités de soutage de GNL** : pour chaque défaillance identifiée, la mise en place de barrières de prévention permet de réduire la probabilité d'occurrence d'une défaillance, et la mise en place de barrières de protection permet d'en réduire la gravité.

6.2. Exemple de zone de sécurité

Comme mentionné au §**Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.**, des modélisations de phénomènes dangereux sont nécessaires pour déterminer l'étendue de la zone de sécurité nécessaire aux opérations de soutage de GNL.

Le scénario de fuite ou rupture de flexible étant le plus représentatif pour les opérations de soutage, des modélisations de ce scénario sont réalisées à l'aide du logiciel PHAST développé par DNV GL en considérant les paramètres suivants :

- Fuite de GNL, produit assimilé à du méthane ;
- Diamètre de fuite : 50 mm. Ce diamètre correspond à la rupture d'un flexible de DN50(2'');
- Température de rejet : -160°C ;
- Pression : 4 barg (valeur conservative, usuelle pour un ISO container ou un camion) ;
- Conditions météorologiques : 3F, 5D (conditions usuelles pour les études de dangers en France correspondant à des vitesses de vent respectives de 3 et 5 m/s et des conditions de stabilité atmosphérique très stable – F et neutre - D) et condition 8D (condition usuelle en mer) ;
- Direction de rejet : horizontal (distance d'effet majorante par rapport à un rejet vertical).

Le but de la modélisation de ces scénarios est d'évaluer les distances d'effets à la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE) des différents cas considérés. En effet, **la zone de sécurité est définie comme étant la zone se trouvant à l'intérieur de la distance à la limite inférieure d'inflammabilité** telle que déterminée pour un rejet plausible.

Les résultats des distances à la LIE obtenues sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 17. Modélisation – Distances de sécurité

Scénario	Condition météorologique	Distance à la LIE
Rupture de flexible 50 mm	3F	80 m
	5D	105 m
	8D	65 m

Source : OTC

Ces distances donnent un **ordre de grandeur de l'étendue que peut avoir la zone de sécurité sans prise en compte de barrière de sécurité**, en fonction du scénario qui pourra être retenu dans les analyses de risques des installations. Il convient cependant de rappeler que les distances d'effets dépendent des caractéristiques des équipements (température, pression, diamètre etc.). Le scénario de rejet à considérer pour déterminer l'étendue de la zone de sécurité doit ainsi prendre en compte les facteurs spécifiques du projet : inventaire stocké, débit de transfert, modes de fonctionnement, propriétés du GNL, conditions de stockage etc.

Ces distances peuvent également **être réduites** par la mise en place de barrières techniques spécifiques telles que des **dispositifs d'arrêt** d'urgence (limitant le temps de fuite et le volume épandu) ou des **régulateurs de débit**.

ANNEXE 1

T2.4.4 Bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du GNL

Projet TDI-RETE-GNL



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Office des Transports de Corse (OTC)
FRANCE / CORSE



PUBLIC

28 juillet 2020

RAPPORT
OTCG-TEF-SE-RP-005

RAPPORT



Nos ref. : **OTCG-TEF-SE-RP-005**
 Entité : Energie
 Imputation : P.015760

PUBLIC

Client : Office des Transports de Corse (OTC)
Projet : Etude approvisionnement-stockage-soutage du carburant GNL
Pays/Ville : France / Corse

Titre : T2.4.4 Bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du GNL
Sous-titre : Projet TDI-RETE-GNL
Auteur(s) : M. Deleau (MDE)
Date : 28 juillet 2020

Résumé : -
Commentaires : -
Mots-clés : -
Nbr pages : 58 (hors annexes)

02	01/09/2020	Modification charte graphique	Final	M. Deleau	A. Guittat	A. Guittat
01	28/07/2020	Première émission	Draft	M. Deleau	A. Guittat	A. Guittat

REV.	JJ/MM/AA	OBJET DE LA REVISION	STAT.	REDACTION	VERIFICATION	APPROBATION
-------------	-----------------	-----------------------------	--------------	------------------	---------------------	--------------------

ETUDE APPROVISIONNEMENT-STOCKAGE-SOUTAGE DU CARBURANT GNL

**T2.4.4 Bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du
GNL****SOMMAIRE**

1.	CONTEXTE.....	9
2.	RISQUES ET DANGERS GENERES PAR LES INSTALLATIONS DE GNL	10
2.1.	Dangers liés aux caractéristiques du GNL.....	10
2.1.1.	Inflammabilité et explosivité.....	11
2.1.2.	Brûlures cryogéniques et ruptures fragiles.....	12
2.1.3.	Transition rapide de phase.....	12
2.1.4.	Phénomènes dangereux.....	13
2.2.	Risques liés aux activités de stockage et soutage de GNL.....	13
2.2.1.	Risques liés aux activités de stockage de GNL.....	14
2.2.2.	Risques liés aux activités de soutage de GNL.....	14
2.3.	Dangers d'origine extérieure aux installations	15
2.3.1.	Risques naturels.....	15
2.3.2.	Risques technologiques.....	16
3.	ETAT DES LIEUX DES DIRECTIVES, CODES, NORMES ET GUIDES PRINCIPAUX POUR LE SOUTAGE DE GNL	16
3.1.	Directives européennes	16
3.2.	Codes internationaux.....	17
3.3.	Normes EN et ISO	18
3.4.	Normes API.....	29
3.5.	Normes NFPA – National Fire Protection Association	30
3.6.	Guides.....	30
4.	BONNES PRATIQUES POUR LA REDUCTION DES RISQUES ET IMPACTS	33
4.1.	Grands principes d'implantation	33

4.2.	Grands principes de sécurité.....	37
4.3.	Dispositions constructives et barrières techniques	38
4.4.	Mesures organisationnelles	40
5.	ANALYSE DE RISQUES APPLIQUEE AU CAS DE LA CORSE.....	42
5.1.	HAZID : soutage de GNL	42
5.2.	Exemple de zone de sécurité	57

ETUDE APPROVISIONNEMENT-STOCKAGE-SOUTAGE DU CARBURANT GNL

T2.4.4 Bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du GNL

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE A FDS DU GNL

ANNEXE B ACCIDENTOLOGIE DU GNL

ETUDE APPROVISIONNEMENT-STOCKAGE-SOUTAGE DU CARBURANT GNL

T2.4.4 Bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du GNL

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Rejet diphasique de GNL (CRAIM)	12
Figure 2: Phénomène de TRP de GNL (test Gaz de France, Lorient).....	13
Figure 3: Phénomènes dangereux associés au GNL	13

ETUDE APPROVISIONNEMENT-STOCKAGE-SOUTAGE DU CARBURANT GNL

**T2.4.4 Bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du
GNL****LISTE DES TABLES**

Tableau 1 : Objectifs de chacun des quatre projets GNL	9
Tableau 2 : Propriétés du GNL.....	10
Tableau 3 : Risques liés au stockage de GNL	14
Tableau 4 : Risques liés au soutage de GNL	15
Tableau 5 : Liste des directives européenne applicables au soutage de GNL.....	17
Tableau 6 : Liste des codes internationaux applicables au soutage de GNL.....	18
Tableau 7 : Liste des normes EN et ISO applicables au soutage de GNL.....	29
Tableau 8 : Liste des normes API applicables au soutage de GNL.....	30
Tableau 9 : Liste des normes NFPA applicables au soutage de GNL	30
Tableau 10 : Liste des guides applicables au soutage de GNL.....	31
Tableau 11 : Contraintes d’implantation des activités GNL	35
Tableau 12 : Dispositions constructives pour le stockage de GNL.....	39
Tableau 13 : Dispositions pour les activités de soutage.....	40
Tableau 14 : Analyse de risque – soutage TTS.....	46
Tableau 15 : Analyse de risque – soutage STS.....	49
Tableau 16 : Analyse de risque – soutage Shore-To-Ship.....	56
Tableau 14 : Modélisation – Distances de sécurité.....	57

ETUDE APPROVISIONNEMENT-STOCKAGE-SOUTAGE DU CARBURANT GNL

T2.4.4 Bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du GNL**LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES**

Acronyme	Définition
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
BOG	Boil-Off Gas. Gaz issu de l'évaporation du GNL
CLP	Règlement relatif à la classification, à l'étiquetage et l'emballage des substances et mélanges
ERP	Etablissement Recevant du Public
ERS	Déverrouillage d'urgence (emergency release system)
ESD	Arrêt d'urgence (emergency shut-down)
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
HAZID	HAZard IDentification – Identification des Dangers)
LIE	Limite Inférieure d'Explosivité
MMRI	Mesure de Maitrise des Risques Instrumentée
QCDC	Coupleurs à déconnection rapide (<i>Quick Connect Disconnect Couplers</i>)
TRP	Transition Rapide de Phase (<i>Rapid Phase Transition RPT</i>)
SIMOPs	SIMultaneous OPerations. Opérations simultanées.
STS	Ship-To-Ship (soutage depuis un navire)
TTS	Truck-To-Ship (soutage depuis un camion-citerne)

1. CONTEXTE

Dans le cadre du programme de coopération européenne transfrontalière INTERREG IFM 2014-2020, l'Office des transports de la Corse (OTC) a élaboré avec d'autres partenaires européens un projet global de préparation à l'utilisation du Gaz Naturel Liquéfié (GNL) dans les activités liées au transport maritime ainsi qu'à d'autres utilisations.

Dans le cadre de ce programme, quatre projets ont été définis. Les objectifs de chacun des projets sont présentés ci-dessous :

Projet	Objectifs principaux
TDI-RETE GNL	Définir les standards technologiques, dimensionnements et procédures communes pour les installations du réseau de distribution GNL dans les ports de la zone
GNL SIGNAL	Définir les stratégies transfrontalières pour la valorisation du GNL
GNL FACILE	Définir un système intégré et une logistique efficace de ravitaillement en GNL
GNL PROMO	Promouvoir l'utilisation du GNL dans les ports de commerce

Tableau 1 : Objectifs de chacun des quatre projets GNL

La présente étude concerne le projet GNL TDI-RETE GNL, portant sur le réseau d'approvisionnement et de distribution en GNL.

Dans le cadre de la composante T2 du projet TDI-RETE GNL, TRACTEBEL définit pour l'OTC les bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du GNL. Ce rapport constitue le **livrable T2.4.4**.

2. RISQUES ET DANGERS GENERES PAR LES INSTALLATIONS DE GNL

2.1. Dangers liés aux caractéristiques du GNL

Le GNL est un gaz naturel principalement constitué de méthane, rendu liquide par l'abaissement de sa température à -160°C . Sous sa forme liquide, le volume du GNL est environ 600 fois inférieur à celui de sa forme gazeuse, d'où le stockage à des températures cryogéniques.

Le méthane est un gaz incolore et quasiment inodore. Lorsqu'il est rejeté dans l'environnement, des vapeurs froides se forment et entraînent la condensation de la vapeur d'eau présente dans l'air. Ainsi, à basse température, la vapeur de GNL s'observe par la formation d'un brouillard.

Les vapeurs froides formées par la vaporisation du GNL sont initialement plus lourdes que l'air et se dispersent près du sol. Lors du mélange avec l'air ambiant, les vapeurs se réchauffent petit à petit et finissent par devenir plus légères que l'air aux conditions atmosphériques de pression et température.

Les propriétés physico-chimiques du GNL sont données dans la fiche de données de sécurité présentée en annexe A. Les principales caractéristiques sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Propriété	Valeur
Etat physique	Liquide cryogénique
Température d'ébullition	- 161 °C (-166 à -157 °C) à 1 bar
Densité	448 kg/m ³ à -160°C, 1 bar (420 à 470 kg/m ³) (0,54 à 0,66 kg/m ³ à 0°C gazeux)
Point éclair	Environ - 175°C
Température d'auto-ignition	410 °C
Limites d'inflammabilité dans l'air	Inférieure : 5% Supérieure : 15 %

Tableau 2 : Propriétés du GNL

Les principaux dangers du GNL sont décrits dans les paragraphes ci-après. Notons également que le GNL n'est pas toxique mais dans les capacités confinées, un risque d'anoxie existe (asphyxie par manque d'oxygène si la concentration en CH₄ dans l'air dépasse 15 à 20 %).

2.1.1. Inflammabilité et explosivité



Classification et étiquetage : H224 – Liquide et vapeurs extrêmement inflammables, Liquide inflammable de catégorie 1 selon le règlement CLP (point éclair < 23°C et température d'ébullition < 35°C).

La vapeur de GNL est **inflammable** dans des limites de concentration spécifiques dans l'air : 5% à 15% environ. Les limites d'inflammabilité du méthane sont généralement utilisées pour estimer la taille des nuages inflammables formés suite à un rejet accidentel de GNL : 4,6% à 16,5%.

Un **feu de nappe** ou **jet enflammé** formé suite à un rejet accidentel de GNL se caractérise par une flamme vive et une intensité de rayonnement élevée (200 à 300 kW/m²).

Des mélanges **explosifs** avec l'air peuvent être formés. En raison de la faible vitesse de combustion des nuages de gaz naturel en champ libre, les surpressions constatées dans le cas d'une explosion sont relativement faibles (< 50 mbarg), sauf dans un environnement confiné ou encombré.

La formation d'un nuage inflammable fait suite aux étapes suivantes :

- Déversement de GNL et vaporisation partielle avant contact avec le sol (la majeure partie du déversement tombe au sol) ;
- Formation et vaporisation d'une nappe liquide au contact du sol ;
- Formation d'un nuage inflammable et dense de vapeurs de GNL par mélange avec l'air ambiant.

La figure suivante représente les différentes zones consécutives à un rejet diphasique de GNL :

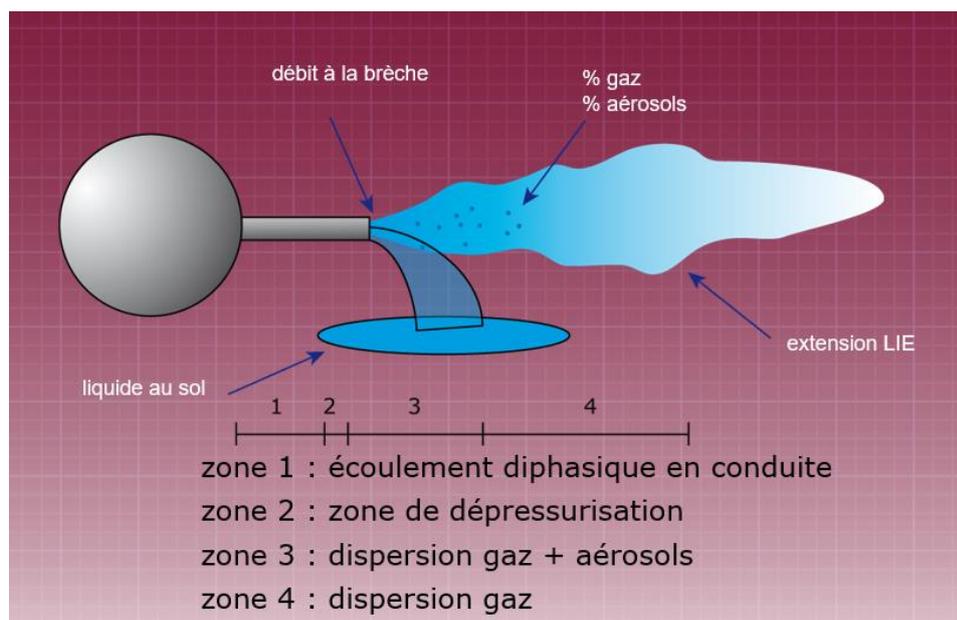


Figure 1: Rejet diphasique de GNL (CRAIM)

2.1.2. Brûlures cryogéniques et ruptures fragiles



Classification et étiquetage : H281 - Contient un gaz réfrigéré ; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques

En tant que liquide cryogénique, le GNL peut entraîner de **graves blessures par le gel** en cas de contact direct.

Pour les matériaux également, si le GNL entre en contact avec le l'acier, il se fragilisera en raison de la basse température. **Une structure en acier peut ainsi se rompre** ; l'acier inoxydable conserve sa ductilité à basse température et est donc plus résistant au contact des liquides cryogéniques.

2.1.3. Transition rapide de phase

En cas de rejet de GNL dans l'eau, une **transition rapide de phase** (TRP ou RPT) peut se produire. Il s'agit de la transition rapide de phase physique du GNL liquide en vapeur de méthane, principalement due à la submersion dans l'eau.

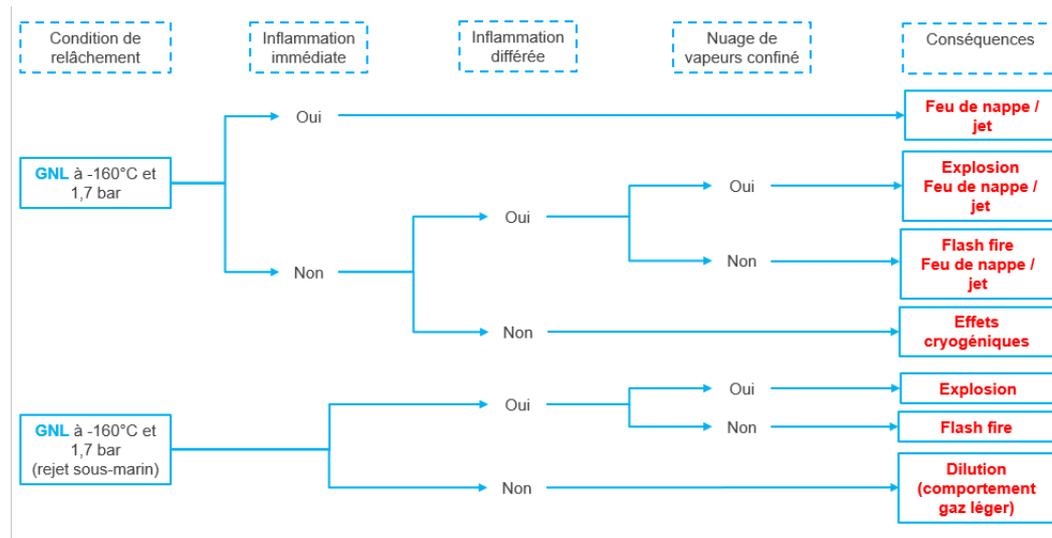
Le phénomène n'implique pas de combustion et peut être considéré comme une **détonation**. Le risque potentiel d'onde de choc et de projection d'eau, de GNL et de gaz peut être important mais reste très localisé à proximité immédiate de la zone de déversement. La probabilité d'explosion dépend de la rencontre ou non d'une potentielle zone confinée et source d'allumage.



Figure 2: Phénomène de TRP de GNL (test Gaz de France, Lorient)

2.1.4. Phénomènes dangereux

Le schéma suivant synthétise les scénarios d'accident classiques et phénomènes dangereux potentiellement générés suite à un rejet accidentel de GNL, en fonction du type de rejet, de l'inflammation et du niveau d'encombrement.

**Figure 3: Phénomènes dangereux associés au GNL**

Les installations de GNL ne sont généralement pas sujettes au risque de BLEVE (*boiling liquid expanding vapor explosion*) dans la mesure où elles ne sont pas dimensionnées pour résister à une montée en pression.

Pour des stockages terrestres de petite dimension (ou de type citerne) et dimensionnés pour résister à des pressions internes de l'ordre de 8/9 bars, la possibilité d'un BLEVE reste cependant possible en cas de montée en pression et en température. Notons toutefois que le retour d'expérience permet d'écarter le risque de BLEVE sur des réservoirs de type double enveloppe.

2.2. Risques liés aux activités de stockage et soutage de GNL

Les procédés mettant en œuvre du GNL consistent principalement en des activités de stockage et de soutage, et/ou de transfert.

En novembre 2015, la base de données ARIA (référence du retour d'expérience sur les accidents technologiques) recense 13 accidents impliquant du GNL.

Parmi les événements recensés, 3 ont eu lieu en France. Au-delà des causes premières des accidents (agressions par des engins de travaux, défaillance d'équipements...), des défaillances humaines ou organisationnelles dans l'application des procédures sont

souvent à l'origine de sinistre. Le rapport détaillé d'analyse des accidents, de leurs causes et de leurs effets est présenté en annexe B.

2.2.1. Risques liés aux activités de stockage de GNL

En addition des dangers liés aux caractéristiques du GNL, les activités de stockage de GNL induisent des risques particuliers.

Ceux-ci sont recensés dans le tableau suivant. Des recommandations et bonnes pratiques pour le stockage sont associées à chaque cause identifiée :

Risque	Causes probables	Recommandations
Débordement de capacité	Défaut remplissage ou régulation (pompes ou erreur humaine)	Mesures et alarmes de niveau Hauteur libre minimale au-dessus du liquide Système de trop-plein
Mise en dépression du réservoir	Variation de pression atmosphérique Défaut pompes d'aspiration du liquide Défaut aspiration des compresseurs d'évaporation Injection de GNL dans le ciel gazeux	Mesure de pression, détection, asservissement Soupapes casse-vide Gaz casse-vide
Surpression (réservoir, tuyauterie)	Variation de pression atmosphérique Evaporation suite à une agression thermique (feu extérieur) Déplacement du niveau du liquide (défaut remplissage ou retour de gaz du méthanier) Flash lors du remplissage Roll-over : phénomène de basculement de couches (augmentation brutale de la quantité de gaz évaporé)	Mesure de pression, détection, asservissement Mesure masse volumique sur hauteur de liquide Prévention du roll-over ou protection par disque de rupture Protection par soupapes
Fuite / Rupture (réservoir, tuyauterie)	Conditions naturelles et environnementales Risques technologiques, agression externe (thermique, surpression ou mécanique) Défaut matériel Défaillance mécanique Erreur humaine Usure, vieillissement Perte d'étanchéité des brides Risques naturels	Cuvettes de rétention Distances de séparation entre équipements Résistance aux risques naturels dont séisme Resistance contre les impacts, Protection contre les risques de chocs, Maintenance Dimensionnement selon les normes en vigueur

Tableau 3 : Risques liés au stockage de GNL

2.2.2. Risques liés aux activités de soutage de GNL

Les opérations de soutage de GNL induisent des risques spécifiques en addition de ceux liés aux caractéristiques du produit. Les risques liés au stockage ne sont pas repris

ici mais s'appliquent également aux équipements type réservoirs et tuyauteries éventuellement utilisés pour le soutage, selon les techniques employées.

Les risques sont recensés dans le tableau suivant. Des recommandations et bonnes pratiques pour le stockage sont associées à chaque cause identifiée :

Risque	Causes probables	Recommandations
Fuite / Rupture de flexible	Perte d'amarrage / dérive du bateau Démarrage du camion Mouvement créé par un navire passant à proximité Défaillance mécanique Erreur opérationnelle Arrachage Usure, vieillissement Perte d'étanchéité Conditions atmosphériques / marées	Zones de sécurité Maintenance Dimensionnement selon les normes Formation des opérateurs Détection Protection incendie Système de déconnexion d'urgence
Perte de confinement : réservoir camion	Cf. causes dans stockage + Mauvaise manœuvre Collision de véhicules	Cf. recommandations dans stockage + zones de sécurité, formation des opérateurs, prise en compte des SIMOPS
Perte de confinement : réservoir bateau	Cf. causes dans stockage + Collision de navires entre eux / avec la jetée	Cf. recommandations dans stockage + zones de sécurité, formation des opérateurs, prise en compte des SIMOPS

Tableau 4 : Risques liés au soutage de GNL

On note ainsi que concernant les opérations de soutage, le risque de rupture de bras de transfert ou de flexible prédomine en raison d'un potentiel mouvement non maîtrisé d'une capacité mobile (navire, camion).

2.3. Dangers d'origine extérieure aux installations

2.3.1. Risques naturels

Les principaux dangers liés aux risques naturels à considérer sont les phénomènes suivants :

- L'inondation, potentiellement à l'origine de submersion des équipements et génération de fuites ;
- La foudre, potentiellement à l'origine d'endommagement des équipements mais aussi potentielle source d'ignition pouvant conduire une fuite de GNL à l'un des phénomènes dangereux cités au 2.1.4 ;
- Le séisme, potentiellement à l'origine de ruptures d'équipements

Ces risques naturels doivent être maîtrisés par des dispositions constructives et barrières techniques spécifiques : mise hors d'eau des équipements, équipements de protection contre la foudre, résistance au séisme etc.

D'autres conditions climatiques extrêmes (vents forts, gel, forte chaleur) peuvent également impacter l'intégrité des installations mais ces risques sont généralement pris en compte dans le dimensionnement des installations et les règles générales de construction.

2.3.2. Risques technologiques

Les potentiels risques technologiques (effets thermiques, toxiques ou de surpression) générés par des activités avoisinantes telles que le transport de matières dangereuses ou les sites industriels (ou des équipements voisins au sein même du site) peuvent générer des effets dominos sur les installations GNL et ainsi être à l'origine de phénomènes dangereux.

Dans le sens inverse, les installations de GNL peuvent générer des risques sur les installations et les populations à proximité.

Ces potentiels d'agression, dans un sens comme dans un autre, doivent être pris en compte par le respect de la réglementation en vigueur et des bonnes pratiques, notamment concernant les principes d'implantation et d'espacement.

3. ETAT DES LIEUX DES DIRECTIVES, CODES, NORMES ET GUIDES PRINCIPAUX POUR LE SOUTAGE DE GNL

Les directives, codes, normes et guides donnent les lignes directrices pour la conception, l'exploitation et la maintenance d'installations de soutage de GNL. Les directives et les codes internationaux définissent un cadre incontournable de règles à respecter. Les normes permettent de guider les industriels dans la conception et l'exploitation des installations. Des guides viennent enfin donner des lignes directrices pour appuyer les normes.

3.1. Directives européennes

Titre	Date	Description
Directive n°2016/802/UE	11/05/2016	Réduction de la teneur en soufre de certains combustibles liquides
Directive n°2016/1629	14/09/2016	Directive établissant les prescriptions techniques applicables aux bateaux de navigation intérieure
Directive n°2014/94/UE	22/10/2014	Déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs
Directive n°2014/68/UE	15/05/2014	Equipements sous pression
Directive n°2014/34/UE	26/02/2014	Appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosives
Directive n°2012/18/UE	04/07/2012	Maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses

Titre	Date	Description
Directive n°2011/92/UE	13/12/2011	Evaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement
Directive n°2008/68/EC	24/09/2008	Directive relative au transport intérieur des marchandises dangereuses
Directive n°2006/42/CE	17/05/2006	Directive relative aux machines
Directive n°2003/10/CE	06/02/2003	Prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit)
Directive n°1999/92/CE	16/12/1999	Prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives
Accord européen ADR	01/01/2019	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route
Accord européen ADN	29/02/2008	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures

Tableau 5 : Liste des directives européenne applicables au soutage de GNL

3.2. Codes internationaux

Titre	Description
Convention MARPOL (MARitime POLLution) Annex VI	Définit les limites d'émission pour les principaux polluants atmosphériques provenant des gaz d'échappement des navires, y compris les oxydes de soufre (SOx) et les oxydes d'azote (NOx), et interdit toute émission délibérée de substances qui appauvrissent la couche d'ozone
Convention SOLAS (Safety Of Life At Sea)	Spécifie les normes minimales pour la construction, l'équipement et l'exploitation des navires, compatibles avec leur sécurité
Code IGC	Recueil international de règles relatives à la construction et à l'équipement des navires transportant des gaz liquéfiés en vrac, de manière à minimiser les risques pour le navire, son équipage et l'environnement, compte tenu de la nature des produits concernés. Ces règles couvrent les dispositions générales, les cuves et ses équipements associés, la propulsion gaz, les matériaux de construction, les systèmes de détection et de protection incendie, les installations électriques, ...) mais aussi des prescriptions opérationnelles et liées à formation du personnel navigant.

Titre	Description
Code IGF	Recueil international des règles de sécurité applicables aux navires qui utilisent des gaz ou d'autres combustibles à faible point d'éclair comme carburant, de manière à minimiser les risques pour le navire, son équipage et l'environnement, compte tenu carburant utilisé. Ces règles couvrent l'ensemble des installations et des équipements du système de stockage et d'approvisionnement du gaz carburant ,mais aussi prescriptions opérationnelles et liées à la formation du personnel navigant.
Convention STCW (Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarer)	Convention internationale sur les normes de formation, de certification et de veille des marins
Code ISPS (International Shipping and Port Security)	Code international pour la sûreté des navires et des installations portuaires
MLC (Maritime Labour Convention)	Convention du travail maritime

Tableau 6 : Liste des codes internationaux applicables au soutage de GNL

3.3. Normes EN et ISO

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 3	Extincteurs d'incendie portatifs	Avril 2004	Elle spécifie les caractéristiques, les exigences de performance et les méthodes d'essai relatives aux extincteurs d'incendie portatifs
NF EN 54	Systèmes de détection et d'alarme incendie	Mai 2011	Elle spécifie les exigences minimales et les tests de laboratoire pour assurer un niveau de sécurité pour tous les composants des systèmes d'alarme incendie
NF EN 593	Robinetterie industrielle - Robinets métalliques à papillon d'usage général	Décembre 2017	Elle spécifie les exigences minimales générales relatives aux robinets à papillon à corps métallique destinés à être utilisés avec tous les types de raccords d'extrémités de tuyauterie et utilisés pour des applications de sectionnement, réglage ou régulation.
NF EN 615	Protection contre l'incendie - Agents extincteurs - Prescriptions pour les poudres (autres que les poudres de classe D)	Juillet 2009	Elle définit les exigences concernant les propriétés physiques et chimiques ainsi que les performances minimales déterminées par des méthodes d'essais, de poudres extinctrices utilisables dans la lutte contre les incendies des classes A, B et C

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 671	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Systèmes équipés de tuyaux	Juin 2012	Elle prescrit les exigences et méthodes d'essais de fabrication et de performances des robinets d'incendie armés équipés de tuyaux semi-rigides, destinés à être installés dans des bâtiments raccordés en permanence à une alimentation en eau, pour être utilisés par les occupants
NF EN 694	Tuyaux de lutte contre l'incendie - Tuyaux semi-rigides pour systèmes fixes	Septembre 2014	Elle spécifie les exigences et méthodes d'essai applicables aux tuyaux semi-rigides de lutte contre l'incendie prévus pour des systèmes fixes
NF EN 1028	Pompes à usage incendie - Pompes centrifuges avec dispositif d'amorçage destinée à la lutte contre les incendies	Septembre 2008	Elle traite des phénomènes dangereux significatifs, des situations et des événements dangereux pendant la mise en service, le fonctionnement et l'entretien des pompes centrifuges à usage d'incendie avec dispositif d'amorçage
NF EN 1127	Atmosphères explosives - Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion	Aout 2019	Elle spécifie les méthodes qui permettent d'identifier et d'évaluer les situations dangereuses conduisant à l'explosion, ainsi que les mesures de conception et de construction appropriées pour la sécurité requise
NF EN 1473	Installation et équipements de gaz naturel liquéfié - Conception des installations terrestres	Février 2017	Cette norme s'applique pour les installations terrestres de GNL ayant une capacité de stockage de GNL supérieure à 200t et un stockage de GNL à une pression inférieure à 0.5 barg. Elle donne les lignes directrices pour réaliser la conception, la construction et assurer le fonctionnement d'installations terrestres de GNL
NF EN 1474-2	Installations et équipements de gaz naturel liquéfié - Conception et essais des systèmes de transfert marins - Partie 2 : conception et essais des tuyaux flexibles de transfert	Février 2009	Elle fournit des lignes directrices générales relatives à la conception, au choix des matériaux, à la qualification, à la certification et aux détails des essais concernant les tuyaux flexibles de transfert de gaz naturel liquéfié (GNL) destinés au transfert offshore ou aux installations côtières exposées aux intempéries.

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 1474-3	Installations et équipements de gaz naturel liquéfié - Conception et essais des systèmes de transfert marins - Partie 3 : systèmes de transfert offshore	Janvier 2009	Cette Norme européenne fournit des lignes directrices relatives à la conception de systèmes de transfert de gaz naturel liquéfié (GNL) destinés à être utilisés dans les installations de transfert offshore ou dans les installations côtières exposées aux intempéries
NF EN 1568	Agents extincteurs - Émulseurs	Février 2018	Elle spécifie les exigences en matière de propriétés chimiques, physiques et de performances minimales des émulseurs moyen foisonnement convenant à une application à la surface de liquides n'ayant pas d'affinité pour l'eau
NF EN 1797	Réceptacles cryogéniques - Compatibilité entre gaz et matériaux	Novembre 2001	Elle spécifie les prescriptions pour la compatibilité entre gaz et matériaux pour les réceptacles cryogéniques
NF EN 1866	Extincteurs d'incendie mobiles	Novembre 2007	Elle spécifie les règles de conception, les essais de type, les contrôles en cours de fabrication, les foyers-types et la classification des extincteurs d'incendie mobiles ainsi que les méthodes d'essai à employer
NF EN 1947	Tuyaux de lutte contre l'incendie - Tuyaux de refoulement semi-rigides et flexibles pour pompes et véhicules	Août 2014	Elle spécifie les exigences et les méthodes d'essai relatives aux tuyaux semi-rigides installés sur les véhicules de lutte contre l'incendie et sur les motopompes remorquables
NF EN 1983	Robinetterie industrielle - Robinets à tournant sphérique en acier	Octobre 2013	Elle prescrit les spécifications relatives aux robinets à tournant sphérique industriels en acier à extrémités à bride, extrémités filetées, extrémités à emboîter et à souder ou extrémités à souder en bout
EN 1990 Eurocode 0	Bases de calcul des structures	Mars 2003	Elle définit des principes et des exigences en matière de sécurité, d'aptitude au service et de durabilité des structures, décrit les bases pour le dimensionnement et la vérification de celles-ci, et fournit des lignes directrices concernant les aspects de la fiabilité structurale qui s'y rattachent
EN 1991 Eurocode 1	Actions sur les structures	Mars 2003	Elle définit les principes généraux de calcul et de chargement des structures à construire
EN 1992 Eurocode 2	Calcul des structures en béton	Octobre 2005	Elle définit les principes généraux de calcul des structures en béton

Référence	Titre	Révision	Description
EN 1993 Eurocode 3	Calcul des structures en acier	Octobre 2005	Elle définit les exigences de résistance, d'aptitude au service, de durabilité et de résistance au feu des structures en acier
EN 1994 Eurocode 4	Calcul des structures mixtes acier-béton	Juin 2005	Elle définit les éléments et structures mixtes destinées aux bâtiments et aux ouvrages de génie civil
EN 1995 Eurocode 5	Calcul des structures en bois	Novembre 2005	Elle définit les calculs des bâtiments et ouvrages de génie civil en bois ou panneaux à base de bois assemblés avec des adhésifs ou des organes mécaniques
EN 1996 Eurocode 6	Calcul des ouvrages en maçonnerie	Mars 2013	Elle traite des prescriptions de résistance, de service et de durabilité des ouvrages
EN 1997 Eurocode 7	Calcul géotechnique	Juin 2005	Elle traite des aspects géotechniques du calcul des bâtiments et ouvrages de génie civil
EN 1998 Eurocode 8	Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes	Septembre 2005	Elle traite du dimensionnement et de la construction de bâtiments et d'ouvrages de génie civil en zone sismique
EN 1999 Eurocode 9	Calcul des structures en alliages d'aluminium	Aout 2007	Elle donne les règles fondamentales de calcul des structures en alliage d'aluminium corroyé et des recommandations limitées pour les alliages de fonderie
NF EN ISO 4126	Dispositifs de sécurité pour protection contre les pressions excessives	Septembre 2013	Elle spécifie les exigences générales des soupapes de sûreté, quel que soit le fluide pour lequel elles sont conçues
NF EN ISO 5167	Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire	Juin 2003	Elle définit les exigences en terme de mesure de débit de fluides au moyen d'appareils déprimogène
NF EN ISO 5199	Spécifications techniques pour pompes centrifuges - Classe II	Mars 2002	Elle spécifie les exigences relatives aux pompes centrifuges de classe II à un étage ou multi-étagées, de construction horizontale ou verticale
NF EN ISO 6974	Gaz naturel - Détermination de la composition et de l'incertitude associée par chromatographie en phase gazeuse	Août 2012	Elle donne des méthodes de calcul des fractions molaires des constituants du gaz naturel et spécifie les exigences de traitement des données pour déterminer les fractions molaires des constituants

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN ISO 6976	Gaz naturel - Calcul des pouvoirs calorifiques, de la masse volumique, de la densité relative et des indices de Wobbe à partir de la composition	Juin 2017	Elle décrit des méthodes pour le calcul des pouvoirs calorifiques supérieur et inférieur, de la masse volumique, de la densité relative, des indices de Wobbe supérieur et inférieur de gaz naturels, de substituts du gaz naturel et d'autres combustibles gazeux, lorsque la composition du gaz par fraction molaire est connue
ISO 8943	Hydrocarbures liquides légers réfrigérés. Échantillonnage de gaz naturel liquéfié. Méthodes en continu et par intermittence	Mars 2008	Elle prescrit une méthode d'échantillonnage en continu et une méthode d'échantillonnage par intermittence du GNL lors de son transfert par une conduite de transfert de GNL
ISO 10976	Hydrocarbures légers réfrigérés - Mesurage des cargaisons à bord des navires méthaniers	Décembre 2015	Elle établit toutes les étapes nécessaires pour mesurer la quantité de cargo sur un méthanier
NF EN ISO 11064	Conception ergonomique des centres de commande	Juin 2006	Elle définit les exigences, des recommandations et des lignes directrices sur l'évaluation des différents éléments des centres de commande
NF EN 12065	Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié - Essais d'émulseurs destinés à la production de mousse haut et moyen foisonnement et de poudres extinctrices utilisés sur feux de gaz naturel liquéfié	Décembre 1997	Elle prescrit les essais à effectuer pour évaluer l'aptitude à l'emploi d'émulseurs utilisés pour produire une mousse moyen foisonnement ou haut foisonnement et de poudres extinctrices
NF EN 12066	Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié - Essais des revêtements isolants des cuvettes de rétention de gaz naturel liquéfié	Décembre 1997	Elle spécifie les essais devant être réalisés pour évaluer l'aptitude à l'emploi des revêtements isolants des cuvettes de rétention du GNL

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 12077	Sécurité des appareils de levage à charge suspendue	Juin 2008	Elle spécifie les prescriptions générales pour les dispositifs limiteurs et indicateurs installés sur des appareils de levage à charge suspendue motorisés
NF EN 12094	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Éléments constitutifs pour installations d'extinction à gaz	Octobre 2003	Elle spécifie les exigences et méthodes d'essais relatives aux dispositifs électriques automatiques de commande et de temporisation
NF EN 12259	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Composants des systèmes d'extinction du type Sprinkleur et à pulvérisation d'eau	Avril 2006	Elle spécifie les exigences de fabrication et de performances des systèmes de soupape d'alarme hydraulique et des limiteurs de pression ou de surpression utilisés dans les systèmes d'extinction automatiques de type sprinkler
NF EN 12266	Robinetterie industrielle - Essais des appareils de robinetterie métalliques	Mai 2012	Elle spécifie les prescriptions obligatoires pour les essais, les modes opératoires d'essai et les critères d'acceptation pour les essais en production de la robinetterie industrielle en matériaux métalliques
NF EN 12499	Protection cathodique interne des structures métalliques	Mai 2003	Elle spécifie les structures, les métaux et les surfaces susceptibles d'être protégés contre la corrosion par l'application d'une protection cathodique interne
NF EN 12627	Robinetterie industrielle - Extrémités à souder en bout pour appareils de robinetterie en acier	Novembre 2017	Elle spécifie les dimensions des extrémités à souder en bout pour appareils de robinetterie en acier DN 8 à DN 1 400 conçus pour être soudés en bout à des tubes normalisés
NF EN 12644	Appareils de levage à charge suspendue - Information pour l'utilisation et les essais	Septembre 2008	Elle donne des informations pour l'utilisation et les essais d'appareils de levage
NF EN 12838	Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié - Essais d'aptitude à l'emploi des systèmes d'échantillonnage du GNL	Juillet 2000	Elle prescrit les essais devant être réalisés afin d'évaluer l'aptitude à l'emploi des systèmes d'échantillonnage du GNL

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 12845	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Systèmes d'extinction automatique du type sprinkleur - Conception, installation et maintenance	Juillet 2015	Elle spécifie des exigences et fournit des recommandations pour la conception, l'installation et la maintenance d'installations fixes de lutte contre l'incendie de type sprinkleur dans des bâtiments et des installations industrielles et spécifie des exigences particulières pour les systèmes d'extinction de type sprinkleur faisant partie intégrante de mesures de protection des personnes
NF EN 12954	Principes généraux de la protection cathodique des structures métalliques à terre enterrées ou immergées	Août 2019	Elle écrit les principes généraux qui gouvernent la mise en oeuvre et la gestion d'un système de protection cathodique afin de protéger contre la corrosion les structures qui sont enterrées ou en contact avec des sols, des eaux douces de surface ou des eaux souterraines, qu'elles subissent ou non l'influence de sources électriques extérieures
NF EN 12982	Robinetterie industrielle - Dimensions entre extrémités et d'extrémité à axe des appareils de robinetterie à souder en bout	Octobre 2009	Elle spécifie les dimensions entre extrémités et d'extrémité à axe des appareils de robinetterie en acier à souder en bout
NF EN 13001	Appareils de levage à charge suspendue - Conception générale	Juillet 2015	Elle spécifie les conditions et les prescriptions de conception visant à prévenir les dangers mécaniques liés aux appareils de levage à charge suspendue
NF EN 13135	Appareils de levage à charge suspendue - Sécurité - Conception - Prescriptions relatives à l'équipement	Mai 2018	Elle spécifie des prescriptions pour la conception et le choix des équipements électriques, mécaniques, hydrauliques et pneumatiques utilisés pour tous les types d'appareils de levage à charge suspendue
NF EN 13157	Appareils de levage à charge suspendue - Sécurité - Appareils de levage à bras	Octobre 2009	Elle fixe des prescriptions pour les appareils de levage à bras suivants
ISO 13443	Gaz naturel — Conditions de référence standard	Décembre 1996	Elle prescrit les conditions de référence standard concernant la température, la pression et l'humidité à utiliser pour effectuer mesurages et calculs sur les gaz naturels, les substituts de gaz naturels et fluides similaires

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 13445	Réceptacles sous pression non soumis à la flamme	Décembre 2014	Elle définit les règles de conception, de fabrication et d'inspection des réceptacles sous pression
NF EN 13458	Réceptacles cryogéniques - Réceptacles fixes, isolés sous vide	Avril 2003	Elle spécifie les exigences de conception, fabrication, contrôle et essais des réceptacles cryogéniques fixes, isolés sous vide, conçus pour une pression maximale admissible supérieure à 0.5bar
NF EN 13480	Tuyauteries industrielles métalliques	Décembre 2017	Elle définit les critères généraux de conception et de calcul des réseaux de tuyauteries industrielles métalliques
NF EN 13565	Installation fixes de lutte contre l'incendie - Systèmes à émulseurs	Octobre 2018	Elle spécifie les exigences et décrit les méthodes relatives au calcul, à l'installation, aux essais et à la maintenance de systèmes d'extinction à mousse bas, moyen et haut foisonnement
NF EN 13645	Conception des installations terrestres d'une capacité de stockage comprise entre 5t et 200t	Février 2002	Cette norme liste les exigences minimum pour la conception d'installation terrestre de GNL dont la capacité de stockage totale est comprise entre 5t et 200t. Elle traite notamment des exigences en terme d'impact environnemental, des sécurités à mettre en oeuvre, de la conception des réservoirs et de l'agencement général des installations
NF EN 13648	Réceptacles cryogéniques - Dispositifs de protection contre les surpressions	Février 2009	Elle spécifie les exigences relatives à la conception, à la fabrication et aux essais des soupapes de sûreté pour service cryogénique
NF EN ISO 13709	Pompes centrifuges pour les industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel	Février 2010	Elle spécifie des exigences pour les pompes centrifuges
NF EN ISO 13766	Tuyaux et flexibles en thermoplastique multicouches (non vulcanisés) utilisés pour le dépotage de gaz pétrolier liquide et gaz naturel liquéfié - Spécification	Décembre 2018	Elle spécifie des exigences pour deux types de tuyaux et flexibles en thermoplastique multicouches (non vulcanisés) utilisés pour le dépotage de gaz pétrolier liquide et de gaz naturel liquéfié
NF EN 14339	Bouches d'incendie enterrées	Février 2006	Elle donne les prescriptions, méthodes d'essai et marquages applicables aux bouches d'incendie enterrées suivantes destinées à la lutte contre l'incendie

Référence	Titre	Révision	Description
NF EN 14384	Poteaux d'incendie	Février 2006	Elle donne les prescriptions minimales relatives aux poteaux destinés à la lutte contre l'incendie
NF EN 14492	Appareils de levage charge suspendue - Treuils et palans motorisés	Novembre 2009	Elle définit la conception et donne l'information pour l'utilisation, la maintenance et les essais relatifs aux treuils motorisés
NF EN 14540	Tuyaux de lutte contre l'incendie - Tuyaux aplatissables étanches pour systèmes fixes	Août 2014	Elle spécifie les exigences et méthodes d'essai applicables aux tuyaux aplatissables étanches prévus pour des systèmes fixes
NF EN 14620	Conception et fabrication de réservoirs en acier à fond plat, verticaux, cylindriques, construits sur site, destinés au stockage de gaz réfrigérés, liquéfiés, dont les températures de service sont comprises entre 0°C et -165°C	Décembre 2006	Cette norme s'applique pour les réservoirs GNL type aérien à intégrité totale et les réservoirs à membrane. Elle donne une description des réservoirs, spécifie les exigences en terme de matériaux des constituants métalliques, de l'enceinte extérieure béton, des isolants et des opérations relatives aux essais, séchage, inertage et mise en froid du réservoir
NF EN 14710	Pompes à usage incendie - Pompes centrifuges à usage incendie sans dispositif d'amorçage	Février 2009	Elle définit les exigences en termes de conception, d'utilisation et de maintenance des pompes centrifuges à usage incendie
NF EN 14972	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Systèmes à brouillard d'eau	Mars 2019	Elle définit les exigences en termes de conception, d'utilisation et de maintenance des systèmes à brouillard d'eau
NF EN 14985	Appareils de levage à charge suspendue - Grues à flèche pivotante	Mai 2012	Elle donne les prescriptions concernant l'ensemble des phénomènes dangereux, situations et événements dangereux
NF EN 15004	Installations fixes de lutte contre l'incendie - Installations d'extinction à gaz	Mars 2019	Elle spécifie les exigences et donne des recommandations pour la conception, l'installation, les essais, la maintenance et la sécurité des systèmes d'extinction à gaz dans les bâtiments, les usines et autres structures
NF EN 15011	Appareils de levage à charge suspendue - Ponts roulants et portiques	Avril 2014	Elle traite de l'ensemble des phénomènes dangereux significatifs, des situations et des événements dangereux liés aux ponts roulants et aux portiques

Référence	Titre	Révision	Description
ISO/DTS 16901	Guide pour l'évaluation des risques dans la conception d'installations terrestres pour le GNL en incluant l'interface terre/navire	Mars 2015	Donne les lignes directrices pour évaluer les risques dans la conception d'installations terrestres pour le GNL
NF EN ISO 16903	Pétrole et industries du gaz naturel - Caractéristiques du GNL influant sur la conception et le choix des matériaux	Septembre 2015	Donne des indications sur les caractéristiques du gaz naturel liquéfié (GNL) et sur les matériaux cryogéniques utilisés dans l'industrie du GNL
NF EN ISO 16904	Industries du pétrole et du gaz naturel — Conception et essais des bras de transfert de GNL sur des terminaux terrestres conventionnels	Février 2016	Spécifie les règles de conception, les spécifications minimales de sécurité ainsi que les procédures de contrôle et d'essais relatifs aux bras de transfert de gaz naturel liquéfié (GNL) marins destinés à être utilisés sur des terminaux terrestres conventionnels
ISO/TR 17177	Pétrole et industries du gaz naturel - Lignes directrices pour les interfaces de terminaux hybrides de GNL	Avril 2015	Fournit un guide pour l'installation et l'opération à l'interface navire/terminal et navire/navire pour les installations hybrides flottantes et les terminaux GNL pour lesquels la description de terminal GNL conventionnel de l'ISO 28460 ne s'applique pas
ISO 17776	Industries du pétrole et du gaz naturel — Installations des plates-formes en mer — Lignes directrices relatives aux outils et techniques pour l'identification et l'évaluation des risques	Décembre 2016	Fournit les lignes directrices relatives aux outils et techniques pour l'identification et l'évaluation des risques
ISO 18132	Hydrocarbures légers réfrigérés — Exigences générales pour jauges de niveau automatiques — Partie 1: Jauges à bord de navires transportant des gaz liquéfiés	Janvier 2006	Spécifie les mesures de jaugeage à bord des navires transportant du GNL

Référence	Titre	Révision	Description
ISO/TS 18683	Lignes directrices pour les systèmes et installations de distribution de gaz naturel liquide comme carburant pour navires	Janvier 2015	Donne les lignes directrices pour la distribution de gaz naturel liquide comme carburant pour navires
EN ISO 20088	Détermination de la résistance des matériaux d'isolation thermique suite à un refroidissement cryogénique	Novembre 2018	Traite des scénarios d'émission cryogéniques pouvant conduire à des conditions de flaque pour les aciers protégés par une protection cryogénique
EN ISO 20519	Navires et technologie maritime — Spécification pour le soutage des navires fonctionnant au gaz naturel liquéfié	Février 2017	Etablit les exigences applicables aux équipements et systèmes de transfert de GNL utilisés pour le soutage de navires fonctionnant au GNL, qui ne sont pas couverts par le Code IGC
NF EN ISO 21012	Réceptacles cryogéniques – Tuyaux flexibles		Elle définit la conception, le type et les tests de production ainsi que les exigences de marquage applicables aux tuyaux flexibles cryogéniques non isolés utilisés pour le passage des fluides cryogéniques
NF EN ISO 24490	Réceptacles cryogéniques - Pompes pour service cryogénique	Juin 2016	Elle spécifie les exigences minimales en matière de conception, de fabrication et d'essais des pompes pour service cryogénique
ISO 23251	Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel — Systèmes de dépressurisation et de protection contre les surpressions	Septembre 2006	Spécifie les exigences et donne des lignes directrices pour étudier les principales causes de surpression, déterminer les débits de décharge individuels et sélectionner et concevoir des systèmes d'évacuation
ISO 28460	Industries du pétrole et du gaz naturel — Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié — Interface terre-navire et opérations portuaires	Décembre 2010	Elle spécifie les exigences relatives aux navires, terminaux et fournisseurs de services portuaires pour garantir le transit en toute sécurité d'un méthanier dans la zone portuaire ainsi que le transfert sûr et efficace de sa cargaison

Référence	Titre	Révision	Description
ISO 31000	Management du risque - lignes directrices	2018	Fournit des principes, un cadre et des lignes directrices pour gérer toute forme de risque.
NF EN 60073	Principes fondamentaux et de sécurité pour l'interface homme-machine, le marquage et l'identification - Principes de codage pour les indicateurs et les organes de commande	Mai 2003	Elle établit des règles générales en vue d'attribuer une signification particulière à certaines indications visuelles, acoustiques et tactiles de façon à - accroître la sécurité des personnes, des biens et/ou de l'environnement
NF EN IEC 60079	Atmosphères explosives	Juillet 2018	Elle spécifie les exigences générales de construction, d'essais et de marquage de l'appareil Ex et des Composants Ex destinés à être utilisés dans des atmosphères explosives
NF EN 62040	Alimentation sans interruption	Février 2009	Elle définit les exigences et règles de sécurité pour les alimentations sans interruption

Tableau 7 : Liste des normes EN et ISO applicables au soutage de GNL

3.4. Normes API

Référence	Titre	Révision	Description
API 520	Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries;	2015	Spécifie les méthodes d'installation des soupapes
API 521	Pressure-relieving and Depressuring Systems	2014	Spécifie les méthodes de dimensionnement des soupapes
API 526	Flanged Steel Pressure Relief Valves	2017	Fournit les spécifications pour l'approvisionnement de soupapes
API 537	Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service	2017	Spécifie les éléments constitutifs d'une torche
API 610	Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries	2010	Fournit les spécifications applicables aux pompes centrifuges
API 617	Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors	2014	Fournit les spécifications applicables aux compresseurs centrifuges et axiaux
API 618	Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services	2007	Fournit les spécifications applicables aux compresseurs à piston

Référence	Titre	Révision	Description
API 620	Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks	2013	Fournit les spécifications pour le dimensionnement et la construction de réservoir type aérien
API 660	Shell-and-Tube Heat Exchangers	2015	Fournit les spécifications pour le dimensionnement et la fabrication d'échangeurs tube calandre

Tableau 8 : Liste des normes API applicables au soutage de GNL

3.5. Normes NFPA – National Fire Protection Association

Référence	Titre	Révision	Description
NFPA 22	Standard for Water Tanks for Private Fire Protection	2018	Spécifie le dimensionnement, la construction et l'installation de réservoirs d'eau incendie
NFPA 59A	Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG)	2019	Spécifie les exigences minimums en termes de lutte contre l'incendie et de sécurité sur les installations GNL
NFPA 307	Standard for the Construction and Fire Protection of Marine Terminals, Piers, and Wharves	2021	Etablit des exigences visant à protéger contre les pertes de vies humaines et les dommages matériels causés par les incendies et les explosions aux terminaux, quais et quais maritimes

Tableau 9 : Liste des normes NFPA applicables au soutage de GNL

3.6. Guides

Organisme	Titre	Description
IACS	IACS Rec 142 - LNG Bunkering Guidelines	Donne des recommandations sur les responsabilités, procédures et équipements nécessaires pour les opérations de soutage de GNL
DNV	DNVGL-RP-G105 Development and operation of liquefied natural gas bunkering facilities	Donne des recommandations pour assurer la sécurité du personnel, des installations et de l'environnement lors de la conception et l'opération d'installation de soutage de GNL
Bureau Veritas	Guidelines on LNG bunkering	Donne des recommandations pour obtenir les permis de la part des administrations
SGMF	SGMF Contractual Guidelines - Quantity and Quality	Donne des recommandations pour mesurer la quantité et la qualité transférée lors du soutage de GNL
SGMF	Safety Guidelines - Bunkering Version	Donne des recommandations pour assurer la sécurité des opérations de soutage

Organisme	Titre	Description
SGMF	Simultaneous Operations (SIMOPs) during LNG Bunkering	Donne des recommandations pour réaliser des opérations sur le navire pendant le soutage de GNL
SGMF	Manifold arrangements for gas-fuelled vessels	Donne des recommandations pour disposer la connexion GNL à bord des navires fonctionnant au GNL carburant
SGMF	Recommendations for linked emergency shutdown (ESD) arrangements for LNG bunkering	Donne des recommandations pour réaliser le système d'arrêt d'urgence lors du transfert de GNL
ABS	LNG Bunkering: Technical and Operational Advisory	Donne des recommandations sur le soutage des navires en GNL

Tableau 10 : Liste des guides applicables au soutage de GNL

4. BONNES PRATIQUES POUR LA REDUCTION DES RISQUES ET IMPACTS

Les paragraphes suivants donnent les principes généraux de sécurité et recommandations à appliquer pour réduire au mieux les risques et impacts du GNL définis précédemment, à travers les grands principes d'implantation, dispositions générales de sécurité, dispositions constructives, barrières techniques et mesures organisationnelles.

Ces recommandations sont synthétisées et issues de la bibliographie listée au §3.

4.1. Grands principes d'implantation

La réglementation et les documents de référence (normes etc.) donnent des informations sur les principes d'aménagement des installations.

L'emplacement des réservoirs de stockage de GNL doit répondre à 3 exigences majeures :

- Limiter les effets dominos entre les différentes installations GNL ;
- Limiter les impacts sur le personnel et les locaux administratifs (salle de contrôle, atelier de maintenance) ;
- Limiter les impacts à l'extérieur du site.

D'une part, la réglementation ICPE concernant le stockage de GNL définit des distances d'éloignement et de séparation entre les installations et les limites de site ou entre les installations entre elles. Le tableau suivant donne ces distances issues des arrêtés types en fonction des installations GNL :

Activités	Cadre réglementaire	Textes réglementaires associés	Contraintes d'implantation
Stockage GNL : Stockage en réservoirs terrestres	Rubrique ICPE 4718 Gaz inflammables liquéfiés de catégorie 1 et 2 Alinéa 2, autres installations	Arrêté du 23/08/05	Distances minimales entre l'aire de stockage et : - Les limites de sites : 15 m ; - Une autre aire de stockage : 10 m ; - Les parois d'un appareil de distribution de liquide ou gaz inflammable, un ERP de catégorie 5, un stockage de matières inflammables, combustibles ou comburantes, les issues ou ouvertures des locaux administratifs ou techniques : 5 m ; Et, si le stockage est > 6 t et qu'il s'agit de récipients à pression transportables : - Les parois d'un appareil de distribution de liquide ou gaz inflammable, un stockage de matières inflammables, combustibles ou comburantes : 10 m ; - Un ERP de catégorie 5, les issues ou ouvertures des locaux administratifs ou techniques : 5 m.
	Régime de déclaration si quantité entre 6 et 50 t	Arrêté du 07/01/03	Distances minimales entre l'appareil de distribution ou de remplissage et : - Un ERP de catégorie 1 à 4 : 17 m ; - Un ERP de catégorie 5 : 5 m ; - Un immeuble habité ou occupé par des tiers : 17 m ; - Les issues ou ouvertures de locaux administratifs ou techniques : 5 m. Distances minimales entre le stockage de GNL et : - Le stockage d'autres carburants : 6 m ; - Un distributeur de carburants : 5 m ; - L'ouverture d'un bâtiment : 3 m Distance minimale entre un compresseur et l'ouverture d'un bâtiment : 3 m.

Activités	Cadre réglementaire	Textes règlementaires associés	Contraintes d'implantation
Soutage GNL : Chargement de navires en GNL	Rubrique ICPE 1414 Installation de remplissage ou de distribution de gaz inflammables liquéfiés Alinéa 3, Installations de remplissage de réservoirs alimentant des moteurs ou autres appareils d'utilisation comportant des organes de sécurité (jauges et soupapes)	Régime de déclaration : Arrêté du 30 août 2010	Distances minimales entre les parois de l'appareil de distribution nautique et : - Un ERP de catégorie 1 à 4 : 20 m ; - Un ERP de catégorie 5 : 10 m ; - Les limites de propriété : 13 m ; - Une voie de communication publique : 7 m ; - Les issues ou ouvertures de locaux administratifs ou techniques : 7 m ; - D'autres appareils de distribution d'hydrocarbures liquides : 7 m ; - Des stockages de récipients à pression transportables : 10 m ; - Des stockages aériens d'hydrocarbures liquides : 13 m.
Alimentation de groupes électrogènes par citerne GNL pour l'électrification des navires à quai	Rubrique ICPE 2910 Combustion Régime de déclaration si puissance entre 1 et 20 MW	Arrêté du 3 août 2018 - déclaration	Distances minimales entre les parois de l'appareil de combustion et : - Les limites de propriété, un ERP de catégorie 1 à 4, un immeuble ou une voie à grande circulation : 10 m ; - Des installations mettant en œuvre des matières combustibles ou inflammables : 10 m
	Rubrique ICPE 2910 Combustion Régime d'enregistrement si puissance entre 20 et 50 MW	Arrêté du 3 août 2018 - enregistrement	Distances minimales entre les parois de l'appareil de combustion et : - Les limites de propriété, un ERP de catégorie 1 à 4, un immeuble ou une voie à grande circulation : 20 m ; - Des installations mettant en œuvre des matières combustibles ou inflammables : 10 m

Tableau 11 : Contraintes d'implantation des activités GNL

Sur la parcelle choisie pour l'implantation d'un projet, il conviendra donc de respecter les distances d'éloignement données dans les règles d'implantation des arrêtés types réglementaires, **ou déterminées par des analyses de risques, notamment si l'installation est soumise à autorisation**. Toutefois, certaines activités ne sont pas encore réglementées et ne rentrent pas dans le cadre des arrêtés types.

En effet, et notamment pour les activités de soutage dont le cadre réglementaire est en cours d'adaptation pour le GNL, les bonnes pratiques consistent à suivre les étapes suivantes pour déterminer l'implantation d'un projet :

- Identifier les zones potentielles d'implantation disponibles et favorables, en fonction des caractéristiques territoriales, réglementaires et environnementales de la zone d'étude ;
- Réaliser une analyse préliminaire des risques pour obtenir une première appréciation des risques ;
- Réaliser une analyse détaillée des risques sur des scénarios représentatifs et majorants du projet, retenus dans l'analyse préliminaire. Cette analyse devra intégrer des **modélisations de phénomènes dangereux pour la détermination de l'étendue de la zone de sécurité**. La zone de sécurité est définie comme étant la zone se trouvant à l'intérieur de la distance à la limite inférieure d'inflammabilité telle que déterminée pour un rejet maximal plausible. La réalisation de modélisations de phénomènes dangereux représentatifs au cours de l'analyse détaillée des risques permet de définir des zones de sécurité ; cette définition est le critère principal de choix pour la zone d'implantation ;
- Suite à la réalisation des analyses de risques, il est donc possible de valider une zone identifiée.

D'autre part (en cas de non application de la réglementation ICPE aux activités), des guides précisent également des **distances minimales d'éloignement entre réservoirs** :

- EN 1473 : « L'espace entre deux réservoirs doit être au moins égal à un demi-diamètre de l'enceinte secondaire du plus grand réservoir » ;
- NFPA 59 : « Un quart de la somme des diamètres des réservoirs adjacents (avec un minimum d'1,5m) » ;
- CSA Z276 : Pour les réservoirs à double intégrité ou full-containment, « la distance de sécurité ne doit pas être inférieure à la moitié du diamètre du plus gros réservoir ».

Et d'autres **distances minimales entre les réservoirs et les limites de propriété** :

- NFPA 59 et CSA Z276 : « Une distance minimale entre les bords de la cuvette ou le système de drainage et les limites d'un terrain constructible doit être observée :
 - De 23 m pour des stockages (cumul des capacités) de moins de 265 m³ ;
 - De 0,7 fois le diamètre du réservoir avec un minimum de 30 m si la capacité cumulée est de plus de 265 m³ ».

Enfin, les guides dédiés aux opérations de transfert par bras de chargement ne prescrivent pas de distances de sécurité mais donnent cependant des règles de conception et d'espacement entre chaque bras de transfert :

- NF EN 1474 : « Dégagements minimaux d'au moins :
 - 0,15 m entre toute partie de bras en service et un bras en position de stockage ;
 - 0,3 m entre toute partie d'un bras en service et toute structure contiguë, équipements, canalisations...

- 0,3 m entre toute partie adjacente des bras de service.

Les déflexions doivent être prises en compte ».

- OCIMF : « Les séparations minimales requises concernant l'espacement entre chaque bras entre eux (0,3 m) et entre les bras et les équipements contigus (0,15 m). Les déflexions doivent être prises en compte ».

4.2. Grands principes de sécurité

Les principes de sécurité sont donnés dans les grandes lignes ci-dessous, et détaillés concernant leur application technique pour les activités GNL dans le paragraphe suivant.

Les mesures de prévention, destinées à réduire la probabilité d'occurrence des risques, sont les suivantes :

- L'aménagement de l'installation selon la réglementation en vigueur, les spécifications du projet, les règles et bonnes pratiques reconnues (guides, assureurs etc.) ;
- Le respect des distances de sécurité entre installations ou à défaut la mise en place de séparations appropriées de manière à réduire les risques de propagation d'incendie notamment et les effets dominos (murs coupe-feu etc.) ;
- La séparation des matières inflammables / explosibles et combustibles ;
- La limitation des sources d'ignition ainsi que le zonage ATEX et l'utilisation d'équipements électriques appropriés, la ventilation des locaux et la détection gaz et incendie ;
- La limitation de la circulation dans les zones d'exploitation, la mise en place de protection mécanique et la gestion des opérations simultanées (SIMOPs) ;
- La prise en compte des risques liés aux pertes d'utilité (énergies, fluides etc.) ;
- La prévention du risque d'erreur humaine via des dispositions telles que la formation, l'ergonomie des installations et postes de travail, un système de gestion de la sécurité etc ;
- La maintenance préventive des installations et leur inspection afin de prévenir les risques de dégradation des équipements.

Les mesures de protection, destinées à atténuer les conséquences / réduire la gravité des risques sur les personnes, l'environnement et les biens sont les suivantes :

- La limitation des sources d'ignition ;
- La limitation des quantités de produits dangereux stockés et manipulés ;
- La limitation des volumes potentiellement répandus et des durées de fuites par l'asservissement d'organes d'isolement à des détections adaptées, les systèmes d'arrêt d'urgence, les systèmes de déconnexion d'urgence, de décompression/dépressurisation etc. ;
- La limitation des surfaces d'épandage et le confinement des liquides inflammables et produits dangereux (cuvettes de rétention, caniveaux, aires de manipulation étanches, systèmes de drainage etc.) ;

- La mise en place de systèmes automatiques et équipements manuels de lutte contre l'incendie (réseau incendie, réserve d'eau, bornes incendie, canons à poudre, rideaux d'eau, camion incendie, extincteurs etc.) et de protection passive (revêtements ignifuge) ;
- Le déploiement de plans d'urgence comprenant l'installation de moyens d'alerte et l'aménagement de voies d'évacuation.

4.3. Dispositions constructives et barrières techniques

Pour les réservoirs de stockage de GNL, les dispositions constructives et barrières techniques sont détaillées dans le tableau suivant, par thème.

Thème	Dispositions constructives
Distances de sécurité	Respect des principes d'implantation détaillés au § 4.1
Résistance des réservoirs face aux risques naturels	<p>Inondation : Des dispositions peuvent être prises pour mettre hors d'eau les équipements non submersibles, supporter les effets verticaux dus à la poussée d'Archimède dans le cas de réservoirs sous pression ou supporter les efforts horizontaux dus au courant.</p> <p>Séisme : si la capacité de stockage est supérieure à 50 t, le dimensionnement au séisme doit être réalisé via l'analyse de risques et l'identification d'équipements critiques au séisme.</p> <p>Foudre : les installations relevant du régime d'autorisation de la réglementation ICPE doivent faire l'objet d'une Analyse de Risque Foudre, et d'une étude technique foudre associée pour définir les moyens de protection contre la foudre à mettre en place.</p>
Résistance des réservoirs aux impacts	Prise en compte des risques d'agressions externes dans les analyses de risques ; éventuelle capacité de résistance aux projectiles.
Sur-remplissage	Nécessité d'instruments de mesure du niveau de liquide (et alarmes sur niveau haut) et prise en compte d'une marge de sécurité dans la conception des réservoirs (hauteur libre minimale au-dessus du liquide). Un système de trop-plein peut également éviter au GNL d'atteindre la soupape.
Protection contre les risques de mise en dépression	Nécessité de mesure de pression en continu (et alarme sur pression trop basse), protection par des soupapes « casse-vide » ou injection de gaz « casse-vide ».
Protection contre les risques de surpression	Nécessité de mesure de pression en continu (et alarme sur pression trop haute), protection par des soupapes.
Surveillance de température	Nécessité de mesure de du profil de température en continu (ainsi que de la densité et du niveau) en exploitation, et pendant la mise en froid pour éviter une chute brutale de température.
Contrôle de température des fondations	Prévoir un système de réchauffage des fondations (ou de surélévation) et une surveillance de la performance de ce système, pour éviter les risques de gonflement dû au gel.
Conception des tuyauteries	Limitation des brides et assemblages non soudés. Tuyauteries adaptées au fluide cryogéniques et calorifugées.

Thème	Dispositions constructives
Prévention des sources d'ignition et zonage ATEX	Identification et classement des zones à risques d'atmosphère explosive et adaptation du matériel électrique dans ces zones, interdiction et contrôle des sources d'ignition potentielles.
Détection de fuites, feu et gaz	Les détecteurs ayant des fonctions de sécurité (pression, température, gaz, niveau de GNL etc.) doivent être indépendants des équipements d'exploitation, et une maintenance doit être assurée. La technologie de détection dépend des équipements. Des détecteurs d'épandage de GNL (détecteurs de froid), de présence de gaz inflammable (détecteurs linéaires ou ponctuels), de chaleur (détecteurs UV et/ou IR) et de fumée sont recommandés.
Chaines de sécurité	Une chaîne de sécurité de type MMRI (Mesure de Maitrise des Risques Instrumentée) est généralement composée de 3 systèmes : la détection, le traitement, et l'isolement ou les actions de mise en sécurité associées. Les chaînes de sécurité sont caractérisées par leur efficacité, leur fiabilité et leur temps de réponse.
Limitation de fuites, gestion des épandages	Conception des zones de stockage sur cuvettes de rétention de manière à recueillir les fuites potentielles lors des opérations de transfert. Regroupement des organes de tuyauteries potentiellement fuyards sur les zones adaptées (manifold) avec système de collecte et de rétention. Gestion des eaux pluviales potentiellement polluées ou s'accumuler dans les cuvettes de rétention ou aire de sécurité.
Systèmes d'arrêt d'urgence	Mise en sécurité de l'installation par systèmes d'arrêt d'urgence (ESD – Emergency ShutDown). Différents niveaux d'arrêts d'urgence peuvent être identifiés en fonction de la situation.
Gestion des BOG	Récupération du gaz d'évaporation (BOG « <i>Boil Off Gas</i> ») du réservoir.
Système de torche et mise à l'évent	Nécessité de collecte du gaz des soupapes vers une torche pour être brûlé si nécessaire (pour utilisation ponctuelle et en dernier lieu, rejet des soupapes à l'atmosphère).
Moyens de lutte contre l'incendie	L'eau est vivement déconseillée sur un épandage de GNL, car son application augmente l'évaporation en raison de la différence de température et peut entraîner des RPT. Une extinction par application de mousse ou poudre sèche est conseillée. Le dimensionnement des moyens de lutte contre l'incendie doit faire l'objet d'analyses de risques. Des systèmes de protection fixe à poudre sont conseillés aux endroits stratégiques, des systèmes d'arrosage par pulvérisation d'eau peuvent permettre d'éviter la propagation de l'incendie ou de refroidir les installations voisines.
Accès et évacuation	Prise en compte des règles de cheminement, balisage et espacements nécessaires, ainsi que des règles d'évacuation des personnes, de désenfumage ou compartimentage du bâtiment. Pour l'accès des services de secours, favoriser deux accès distincts.

Tableau 12 : Dispositions constructives pour le stockage de GNL

En addition des barrières techniques précédentes qui s'appliquent également lorsque cela est pertinent, les dispositions supplémentaires concernant les activités de soutage dont détaillées dans le tableau suivant, par thème.

Thème	Dispositions constructives
Distances de sécurité	Respect des principes d'implantation détaillés au § 4.1 et définition des zones de sécurité. En cas de transfert par bras de chargement, prise en compte des distances de dégagements.
Système d'arrêt d'urgence	Nécessité d'ERS pour déconnexion d'urgence et d'ESD pour arrêter et isoler les opérations de transfert (sur détection gaz, niveau, ou dérive de navire par exemple).
Flexible de transfert	Conception pour liquides cryogéniques, dépressurisation, inertage et dégazage. Nécessité d'adapter la longueur du flexible au bateau / aux installations en chargement et en mouvement. La bonne pratique est que la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 10 m/s.
Selles de supportage	Conception pour supporter les charges (statiques et dynamiques) liées au transfert de GNL pendant le raccordement et lors des déconnexions d'urgence. Nécessité de fournir le soutien nécessaire pour que le rayon de courbure recommandé par le fabricant de flexible ne soit pas dépassé.
Prévention des risques d'arrachement des bras	Un deuxième niveau (par rapport à l'ESD) permet de déconnecter les systèmes de transfert (bras ou flexibles) en cas de besoin. Utilisation de connexions / déconnexions rapides QDQC.
SIMOPs	Prise en compte des risques d'opérations simultanées (SIMOPS) et de co-activité lors des opérations de soutage (par exemple, présence potentielle de public ou navires à proximité).
Protection des matériaux	Résistance des matériaux au feu et à la fragilisation due aux conditions cryogéniques (protections passives : ignifugeage, matériaux de construction adaptés, <i>drip-trays</i> ou rideaux d'eau pour la protection de la coque).
Limitation de fuites, gestion des épandages	Prévoir des dispositifs de confinement des fuites au niveau des systèmes de transfert.
Moyens de lutte contre l'incendie	Des canons à poudre peuvent être prévus pour étouffer ou contrôler un incendie. Des rideaux d'eau peuvent permettre de limiter la propagation de l'incendie et protéger les installations.

Tableau 13 : Dispositions pour les activités de soutage

4.4. Mesures organisationnelles

Aux barrières techniques citées précédemment s'ajoutent des mesures organisationnelles telles que les suivantes :

- La **formation** du personnel (opérateurs, personnel du port, service de secours, utilisateurs) aux activités de soutage et aux risques du GNL, et la définition et l'application de **modes opératoires** ;
- La gestion de la **sureté** des installations (clôture, surveillance, restrictions d'accès etc.) ;
- La mise en place de **protections** individuelles et collectives ;

- La mise en place d'un **plan de maintenance** préventive des installations ;
- La mise en place de **systèmes d'alertes et de communication** ;
- La définition de **procédures d'urgence**, d'évacuation et d'intervention.

Enfin, les bonnes pratiques concernant les procédures opérationnelles liées aux installations de GNL sont données dans le livrable T1.1.3 et synthétisées ci-dessous :

- Pour les activités de soutage de GNL : la réalisation d'analyses de risques et études de compatibilité, la définition de rôles et responsabilités des différents acteurs, la formation des opérateurs et le suivi de modes opératoires pour les opérations ;
- Pour le stockage de GNL : le contrôle de la pression et du niveau dans le réservoir en permanence, la gestion des évaporations, le suivi de modes opératoires selon les modes d'exploitation des réservoirs (remplissage, soutirage, stand-by et équilibrage).

5. ANALYSE DE RISQUES APPLIQUEE AU CAS DE LA CORSE

5.1. HAZID : soutage de GNL

Une analyse de risque de type HAZID (HAZard IDentification – Identification des Dangers) est réalisée sur trois méthodes de soutage :

- Les méthodes de soutage depuis un camion (TTS) et depuis un navire (STS) retenues dans le livrable T.1.1.3 car adaptées aux faibles besoins et quantités de la Corse ;
- La méthode de soutage depuis un réservoir terrestre (shore-to-ship) est considérée en addition des deux précédentes car elle est également plausible en Corse. 3 types de réservoir sont considérés : un iso-container, un réservoir de type C et un réservoir de type full-containment.

La méthode HAZID est une technique permettant d'identifier les dangers et menaces potentielles pouvant survenir lors de projets ou d'activités

Les objectifs de l'HAZID menée sont les suivants :

- Identifier les dangers liés aux activités de soutage pour chaque type d'équipement ;
- Identifier les causes et conséquences des événements potentiels relatifs à ces dangers ;
- Identifier les barrières de sécurité (prévention et protection) qui permettraient de prévenir la survenance des dangers, de diminuer leurs conséquences ou d'améliorer leur traitement. Ces barrières constituent ainsi les **bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du GNL**, appliquées au cas de la Corse.

L'HAZID a été réalisée avec des intervenants de ELENGY et TRACTEBEL.

Les tableaux d'analyses de risques sont donnés ci-après.

HAZID 1 - Soutage Ship-To-Ship								
Nœud	Système	Equipement	Réf No.	Défaillance	Cause	Conséquences	Barrières de prévention	Barrières de protection
Soutage Ship-To-Ship	Navire souteur	Navire	1	Dérive du bateau	Perte d'amarres, Conditions climatiques et mouvement de l'eau, collision navire, démarrage intempestif du navire, SIMOPS	Arrachement des flexibles de transfert, déversement de GNL (perte de confinement), endommagement navire et installations, collision avec un autre navire	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau, étude de compatibilité entre les 2 bateaux	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert
		Réservoir	2	Sur-remplissage (si plusieurs cuves)	Mauvaise configuration des circuits : transfert entre 2 cuves du navire souteur	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Niveau haut sur les cuves, arrêt d'urgence, mise en place et suivi de procédures de transfert	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			3	Roll-over (inversion de couches) selon type de réservoir	GNL de densités différentes	Montée en pression brusque, rejet aux soupapes, éclatement de capacité	Contrôle des conditions avant transfert (profils densité, pression, température)	Soupapes de sécurité
			4	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, déformation de la coque	Mise en place d'une zone de sûreté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert

Ce document e

HAZID 1 - Soutage Ship-To-Ship								
Système de transfert	Flexible GNL	5	Manque de pression dans le réservoir	Défaillance du Pressure Build Up (PBU), absence retour BOG	Déformation du réservoir	Capteurs de pression, arrêt d'urgence sur détection pression basse	-	
		6	Sur-débit	Défaut pompe, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements, vibrations	Modes opératoires et formation, alarme sur débitmètre, surveillance du transfert	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	
		7	Arrachement	Dérive du navire souteur ou souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Déversement de GNL, déformation de la coque	Cf. dérive du navire	Cf. dérive du navire	
		8	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement, mauvais raccordement, courbure excessive du flexible	Déversement de GNL, déformation de la coque	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation, selles de supportage	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	
		9	Surpression	Défaut pompe, coup de bélier, isolement du système (fermeture de vannes)	Perte de confinement, endommagement des équipements	Conception et dimensionnement de la pompe, soupapes d'expansion thermique, capteurs de pression	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	
	Flexible BOG	10	Inversion des flexibles BOG / GNL	Erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements	Modes opératoires et formation, détrompeur ou signalisation claire	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	

HAZID 1 - Soutage Ship-To-Ship								
			11	Envoi GNL dans les BOG	Sur-remplissage, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements	Modes opératoires et formation	Soupapes d'expansion thermique sur la ligne BOG
			12	Arrachement	Dérive du navire souteur ou souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Fuite de gaz	Cf. dérive du navire	Cf. dérive du navire
			13	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement, mauvais raccordement, courbure excessive du flexible	Fuite de gaz	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation, selles de supportage	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
	Navire souté	Navire	14	Dérive du bateau	Perte d'amarres, Conditions climatiques et mouvement de l'eau, collision navire, démarrage intempestif du navire, SIMOPS	Arrachement des flexibles de transfert, déversement de GNL (perte de confinement), endommagement navire et installations, collision avec un autre navire	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau, étude de compatibilité entre les 2 bateaux	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert

Ce document e

HAZID 1 - Soutage Ship-To-Ship								
		Réservoir	15	Sur-remplissage	Erreur opératoire, défaut capteurs de niveau	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Redondance capteurs et maintenance, modes opératoires et formation, arrêt d'urgence sur capteurs de niveaux	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			16	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, déformation de la coque	Mise en place d'une zone de sureté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			17	Défaut mise en froid tuyauterie et réservoir	Erreur opératoire, mise en froid trop rapide	Endommagement des équipements, perte de confinement (brides)	Modes opératoires et formation	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			18	Supression	Mauvaise gestion des BOG, mise en froid trop rapide	Perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Modes opératoires et formation, capteurs de pression	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert

Tableau 14 : Analyse de risque – soutage TTS

Sineering S.A. Toute copie c

HAZID 2 - Soutage Truck-To-Ship								
Nœud	Système	Equipement	Réf No.	Défaillance	Cause	Conséquences	Barrières de prévention	Barrières de protection
Soutage Truck-To-Ship	Camion souteur	Camion	1	Mouvement du camion	Collision véhicules, défaut frein véhicule, erreur opératoire	Arrachement des flexibles de transfert, déversement de GNL (perte de confinement), endommagement	Cales sur le véhicule et bonnes pratiques de verrouillage (retrait clés, système de verrouillage des freins), prise en	Système de déconnexion d'urgence, aires de rétention, arrêt d'urgence transfert

Ce docum

HAZID 2 - Soutage Truck-To-Ship

						camions et installations, collision avec un autre véhicule	compte et cadrage des SIMOPS	
	Réservoir	2	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, endommagement des installations	Mise en place d'une zone de sureté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert	
		3	Incendie tracteur	Défaut électrique	Montée en température et pression du réservoir -->risque de BLEVE	Détecteur flamme, système d'extinction incendie, équipotentialité entre camion et navire, utilisation préférentielle de réservoirs double enveloppe	Soupapes de protection, protection incendie	
		4	Feu externe, inflammation fuite GNL	Sources d'ignition	Montée en température et pression du réservoir --> risque de BLEVE	Détecteur flamme, système d'extinction incendie, zones ATEX et zones de sécurité balisées, aire de sécurité pour collecte des fuites, utilisation préférentielle de réservoirs double enveloppe	Soupapes de protection, protection incendie	
		5	Manque de pression dans le réservoir	Défaillance du Pressure Build Up (PBU), absence retour BOG	Déformation de la citerne	Capteurs de pression, arrêt d'urgence sur détection pression basse	-	
Système de transfert	Flexible GNL	6	Sur-débit	Défaut pompe, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements, vibrations	Modes opératoires et formation, alarme sur débitmètre, surveillance du transfert	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	

Ce document e

HAZID 2 - Soutage Truck-To-Ship

		7	Arrachement	Mouvement du camion ou du navire souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Déversement de GNL, endommagement des équipements	Cf. mouvement du camion	Cf. mouvement du camion	
		8	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement, mauvais raccordement, courbure excessive du flexible	Déversement de GNL, endommagement des équipements	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	
		9	Surpression	Défaut pompe, coup de bélier, isolement du système (fermeture de vannes)	Perte de confinement, endommagement des équipements	Conception et dimensionnement de la pompe, soupapes d'expansion thermique, capteurs de pression	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX	
	Navire souté	Navire	10	Dérive du bateau	Perte d'amarres, Conditions climatiques et mouvement de l'eau, collision navire, démarrage intempestif du navire, SIMOPS	Arrachement des flexibles de transfert, déversement de GNL (perte de confinement), endommagement navire et installations, collision avec un autre navire	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert
		Réservoir	11	Sur-remplissage	Erreur opératoire, défaut capteurs de niveau	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Redondance capteurs et maintenance, modes opératoires et formation, arrêt	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert

HAZID 2 - Soutage Truck-To-Ship								
							d'urgence sur capteurs de niveaux	
			12	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, déformation de la coque	Mise en place d'une zone de sureté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			13	Défaut mise en froid tuyauterie et réservoir	Erreur opératoire, mise en froid trop rapide	Endommagement des équipements, perte de confinement (brides)	Modes opératoires et formation	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			14	Surpression	Mauvaise gestion des BOG, mise en froid trop rapide	Perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Modes opératoires et formation, capteurs de pression	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
Tableau 15 : Analyse de risque – soutage STS								
HAZID 3 : Shore-To-Ship								
Nœud	Système	Equipement	Réf No.	Défaillance	Cause	Conséquences	Barrières de prévention	Barrières de protection
Soutage Shore-To-Ship	Stockage terrestre	Réservoir type Iso container	1	Sur-remplissage (si plusieurs cuves)	Mauvaise configuration des circuits : transfert entre 2 containers du stockage	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Niveau haut sur les cuves, arrêt d'urgence, mise en place et suivi de procédures de transfert	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
			2	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, endommagement des installations/brûlures par le froid	Mise en place d'une zone de sureté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert

transmission à des tiers est ir

Ce document est

HAZID 3 : Shore-To-Ship

			3	Feu externe, inflammation fuite GNL	Sources d'ignition	Montée en température et pression du réservoir --> risque de BLEVE	Détecteur flamme, extinction, zones ATEX et zones de sécurité balisées, aire de sécurité pour collecte des fuites, utilisation préférentielle de réservoirs double enveloppe	Soupapes de protection, protection incendie	
			4	Manque de pression dans le réservoir	Défaillance du Pressure Build Up (PBU), absence retour BOG	Déformation du container	Capteurs de pression, arrêt d'urgence sur détection pression basse	-	
	Réservoir type C			5	Sur-remplissage (si plusieurs cuves)	Mauvaise configuration des circuits : transfert entre 2 réservoirs	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Niveau haut sur les cuves, arrêt d'urgence, mise en place et suivi de procédures de transfert	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
				6	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, endommagement des installations/brûlures par le froid	Mise en place d'une zone de sureté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
				7	Feu externe, inflammation fuite GNL	Sources d'ignition	Montée en température et pression du réservoir --> risque de BLEVE	Détecteur flamme, extinction, zones ATEX et zones de sécurité balisées, aire de sécurité pour collecte des fuites, utilisation préférentielle de réservoirs double enveloppe	Soupapes de protection, protection incendie
				8	Manque de pression dans le réservoir	Défaillance du Pressure Build Up (PBU), absence retour BOG	Déformation du réservoir	Capteurs de pression, arrêt d'urgence sur	-

HAZID 3 : Shore-To-Ship								
	Réservoir type full containment						détection pression basse	
		9	Sur-remplissage (si plusieurs cuves)	Mauvaise configuration des circuits : transfert entre 2 réservoirs	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité	Niveau haut sur les cuves, arrêt d'urgence, mise en place et suivi de procédures de transfert	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert	
		10	Présence de GNL dans l'inter-parois	Défaillance de la cuve interne	Fuite de GNL	-	Détecteurs de froid dans l'inter-parois	
		11	Roll-over (inversement de couches)	GNL de densités différentes	Montée en pression brusque, rejet aux soupapes, éclatement de capacité	Contrôle des conditions avant transfert (profils densité, pression, température)	Soupapes de sécurité	
		12	Feu externe, inflammation fuite GNL	Sources d'ignition	Montée en température et pression du réservoir --> perte de confinement, endommagement du réservoir/brûlures par le froid	Détecteur flamme, extinction, zones ATEX et zones de sécurité balisées, aire de sécurité pour collecte des fuites	Soupapes de protection, protection incendie	
	13	Manque de pression dans le réservoir	Absence retour BOG et soutirage GNL important	Déformation de la cuve interne	Capteurs de pression, arrêt d'urgence sur détection pression basse	Injection de gaz casse-vide, soupapes casse vide		
	Système de transfert par flexible	Flexible GNL	14	Sur-débit	Défaut pompe, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid, vibrations	Modes opératoires et formation, alarme sur débitmètre, surveillance du transfert	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
			15	Arrachement	Dérive du navire souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Déversement de GNL, déformation de la coque ou endommagement des installations/brûlures par le froid	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la

HAZID 3 : Shore-To-Ship

						des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau	coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert
		16	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillesse, mauvais raccordement, courbure excessive du flexible	Déversement de GNL, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation, selles de supportage	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
		17	Supression	Défaut pompe, coup de bélier, isolement du système (fermeture de vannes)	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Conception et dimensionnement de la pompe, soupapes d'expansion thermique, capteurs de pression	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
	Flexible BOG	18	Inversion des flexibles BOG / GNL	Erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Modes opératoires et formation, détrompeur	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
		19	Envoi GNL dans les BOG	Sur-remplissage, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Modes opératoires et formation	Soupapes d'expansion thermique sur la ligne BOG

HAZID 3 : Shore-To-Ship								
			20	Arrachement	Dérive du navire souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Fuite de gaz	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert
			21	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement, mauvais raccordement, courbure excessive du flexible	Fuite de gaz	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation, selles de supportage	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
	Système de transfert par bras articulé	Bras de chargement GNL (bras liquide)	22	Sur-débit	Défaut pompe, erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid, vibrations	Modes opératoires et formation, alarme sur débitmètre, surveillance du transfert	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
			23	Arrachement	Dérive du navire souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Déversement de GNL, déformation de la coque ou endommagement des installations/brûlures par le froid	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la

HAZID 3 : Shore-To-Ship

						des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau	coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert
		24	Choc entre le bras de chargement et le manifold	Erreur opératoire, conditions météorologiques, mouvement du navire	Endommagement des équipements/brûlures par le froid	Modes opératoires et formation, surveillance	-
		25	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement, mauvais raccordement, pas de déverrouillage du bras raccordé	Déversement de GNL, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Contrôle visuel de l'intégrité du flexible avant soutage, maintenance et remplacement, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
		26	Surpression	Défaut pompe, coup de bélier, isolement du système (fermeture de vannes)	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Conception et dimensionnement de la pompe, soupapes d'expansion thermique, capteurs de pression	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
	Bras retour BOG (bras gaz)	27	Inversion des bras BOG / GNL	Erreur opératoire	Perte de confinement, endommagement des équipements/brûlures par le froid	Modes opératoires et formation, détrompeur ou signalisation claire	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
		28	Envoi GNL dans les BOG	Sur-remplissage, erreur opératoire	Perte de confinement,	Modes opératoires et formation	Soupapes d'expansion

HAZID 3 : Shore-To-Ship								
						endommagement des équipements/brûlures par le froid		thermique sur la ligne BOG
			29	Arrachement	Dérive du navire souté, chute d'objet ou de marchandise, choc mécanique	Fuite de gaz	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS, consignation de la motorisation du bateau	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert
			30	Perte de confinement	Agression thermique, usure/vieillessement, mauvais raccordement	Fuite de gaz	Maintenance, détection flamme, tests d'étanchéité, modes opératoires et formation	Arrêt d'urgence sur détection gaz ou sur surveillance/ronde, zonage ATEX
	Navire souté	Navire	31	Dérive du bateau	Perte d'amarres, Conditions climatiques et mouvement de l'eau, collision navire, démarrage intempestif du navire, SIMOPS	Arrachement des flexibles de transfert, déversement de GNL (perte de confinement), endommagement navire et installations/brûlures par le froid, collision avec un autre navire	Prise en compte des conditions nautiques et climatiques, redondance d'amarrage, mesure de tension des amarres et rondes de vérification, mise en place d'une zone de sûreté, prise en compte et cadrage des SIMOPS,	Système de déconnexion d'urgence, système de récupération du GNL (gouttière), système de protection de la coque du navire (rideau d'eau), arrêt d'urgence transfert

HAZID 3 : Shore-To-Ship								
							consignation de la motorisation du bateau	
	Réservoir	32	Sur-remplissage	Erreur opératoire, défaut capteurs de niveau	Débordement, perte de confinement GNL, éclatement de capacité		Redondance capteurs et maintenance, modes opératoires et formation, arrêt d'urgence sur capteurs de niveaux	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
		33	Perte de confinement	Collision, choc mécanique, défaut de fabrication, usure, corrosion, agression thermique	Déversement de GNL, déformation de la coque/brûlures par le froid		Mise en place d'une zone de sureté, SIMOPS, maintenance et inspections, détecteurs de flamme	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
		34	Défaut mise en froid tuyauterie et réservoir	Erreur opératoire, mise en froid trop rapide	Endommagement des équipements/brûlures par le froid, perte de confinement (brides)		Modes opératoires et formation	Détecteurs de froid, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert
		35	Surpression	Mauvaise gestion des BOG, mise en froid trop rapide	Perte de confinement GNL, éclatement de capacité		Modes opératoires et formation, capteurs de pression	Soupapes de sécurité, détecteur gaz et arrêt d'urgence transfert

Tableau 16 : Analyse de risque – soutage Shore-To-Ship

Cette analyse de risques montre que **les principes généraux de sécurité détaillés au § 3 permettent effectivement de réduire les risques engendrés par les activités de soutage de GNL** : pour chaque défaillance identifiée, la mise en place de barrières de prévention permet de réduire la probabilité d'occurrence d'une défaillance, et la mise en place de barrières de protection permet d'en réduire la gravité.

5.2. Exemple de zone de sécurité

Comme mentionné au §4.1, des modélisations de phénomènes dangereux sont nécessaires pour déterminer l'étendue de la zone de sécurité nécessaire aux opérations de soutage de GNL.

Le scénario de fuite ou rupture de flexible étant le plus représentatif pour les opérations de soutage, des modélisations de ce scénario sont réalisées à l'aide du logiciel PHAST développé par DNV GL en considérant les paramètres suivants :

- Fuite de GNL, produit assimilé à du méthane ;
- Diamètre de fuite : 50 mm. Ce diamètre correspond à la rupture d'un flexible de DN50 (2") ;
- Température de rejet : -160°C ;
- Pression : 4 barg (valeur conservative, usuelle pour un ISO container ou un camion) ;
- Conditions météorologiques : 3F, 5D (conditions usuelles pour les études de dangers en France correspondant à des vitesses de vent respectives de 3 et 5 m/s et des conditions de stabilité atmosphérique très stable – F et neutre - D) et condition 8D (condition usuelle en mer) ;
- Direction de rejet : horizontal (distance d'effet majorante par rapport à un rejet vertical).

Le but de la modélisation de ces scénarios est d'évaluer les distances d'effets à la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE) des différents cas considérés. En effet, la **zone de sécurité est définie comme étant la zone se trouvant à l'intérieur de la distance à la limite inférieure d'inflammabilité** telle que déterminée pour un rejet plausible.

Les résultats des distances à la LIE obtenues sont donnés dans le tableau suivant.

Scénario	Condition météorologique	Distance à la LIE
Rupture de flexible 50 mm	3F	80 m
	5D	105 m
	8D	65 m

Tableau 17 : Modélisation – Distances de sécurité

Ces distances donnent **un ordre de grandeur de l'étendue que peut avoir la zone de sécurité sans prise en compte de barrière de sécurité**, en fonction du scénario qui pourra être retenu dans les analyses de risques des installations. Il convient cependant de rappeler que les distances d'effets **dépendent des caractéristiques des équipements** (température, pression, diamètre etc.). Le scénario de rejet à considérer pour déterminer l'étendue de la zone de sécurité doit ainsi prendre en compte les facteurs spécifiques du projet : inventaire stocké, débit de transfert, modes de fonctionnement, propriétés du GNL, conditions de stockage etc.

Ces distances peuvent également **être réduites** par la mise en place de barrières techniques spécifiques telles que des **dispositifs d'arrêt d'urgence** (limitant le temps de fuite et le volume épandu) ou des **régulateurs de débit**.

ANNEXE A FDS DU GNL

FICHE DE DONNEES DE SECURITE
Conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

GAZ NATUREL LIQUEFIE (GNL)

Date de la version précédente : non applicable

Date de révision : 2014-07-01 - Version initiale

1. IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE/DU MELANGE ET DE LA SOCIETE/L'ENTREPRISE

1.1. IDENTIFICATEUR DE PRODUIT

Nom du produit : GAZ NATUREL LIQUEFIE (GNL)

Nom d'enregistrement REACH : Cette substance est exemptée d'enregistrement conformément au Règlement (CE) No.1907/2006 (REACH)

Substance pure/mélange : Substance

1.2. UTILISATIONS IDENTIFIEES PERTINENTES DE LA SUBSTANCE OU DU MELANGE ET UTILISATIONS DECONSEILLEES

Utilisations identifiées : Carburant, Combustibles.

1.3. RENSEIGNEMENTS CONCERNANT LE FOURNISSEUR DE LA FICHE DE DONNEES DE SECURITE

Fournisseur :

Adresse :

Tel:

Fax:

Pour plus d'informations, veuillez prendre contact avec:

Point de contact :

Adresse e-mail :

1.4. NUMERO D'APPEL D'URGENCE

En France : PARIS : Hôpital Fernand Widal 200, rue du Faubourg Saint-Denis 75475 Paris Cedex 10.
Tel : 01.40.05.48.48.

MARSEILLE : Hôpital Salvator, 249 bd Ste Marguerite 13274 Marseille cedex 5.
Tel : 04.91.75.25.25.

LYON : Hôpital Edouard Herriot, 5 place d'Arsonval, 69437 Lyon cedex 3.
Tel : 04.72.11.69.11.

NANCY : Hôpital central, 29 Av du Mal De Lattre de Tassigny, 54000 Nancy.
Tel : 03.83.32.36.36.

SAMU : Tel : 15.

Urgences : 112.

ORFILA (INRS) Tel : 01 45 42 59 59.

2. IDENTIFICATION DES DANGERS

2.1. CLASSIFICATION DE LA SUBSTANCE OU DU MELANGE

RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008

Pour le libellé complet des Phrases-H mentionnées dans cette section, voir section 2.2.

Classification :

Gaz inflammables - Catégorie 1 - H220

Gaz sous pression - Gaz liquéfié réfrigéré - H281

DIRECTIVE 67/548/EEC ou 1999/45/EC

Pour le libellé complet des phrases-R mentionnées dans cette section, voir section 16

Classification

F+; R12

2.2. ELEMENTS D'ETIQUETAGE

Etiquetage selon RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008

No.-CE 232-343-9



Mention d'avertissement

DANGER

Mentions de danger

H224 – Liquide et vapeurs extrêmement inflammables

H281 - Contient un gaz réfrigéré; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques

Conseils de prudence

P210 - Tenir à l'écart de la chaleur/des étincelles/des flammes nues/des surfaces chaudes. - Ne pas fumer

P233 - Maintenir le récipient fermé de manière étanche

P241 - Utiliser du matériel électrique/de ventilation/d'éclairage/antidéflagrant

P243 - Prendre des mesures de précaution contre les décharges électrostatiques

P377 - Fuite de gaz enflammé: Ne pas éteindre si la fuite ne peut pas être arrêtée sans danger

P381 - Éliminer toutes les sources d'ignition si cela est faisable sans danger

P403 - Stocker dans un endroit bien ventilé

2.3. AUTRES DANGERS

Propriétés physico-chimiques

Extrêmement inflammable.

Peut former des mélanges explosifs avec l'air en zone confinée ou encombrée.

L'échauffement accidentel intense (en cas d'incendie par exemple) d'un récipient contenant ce liquide peut conduire à une rupture et à l'épandage du produit, dont l'inflammation des vapeurs peut conduire à une déflagration ou à une explosion.

Les vapeurs peuvent être plus denses que l'air et peuvent se répandre le long du sol, ensuite elles se dispersent progressivement

Propriétés ayant des effets pour la santé

En phase gazeuse : Peut avoir un effet anesthésique, et/ou un effet asphyxiant par raréfaction de la teneur en oxygène de l'atmosphère. Le contact avec le produit peut provoquer des brûlures par le froid.

3. COMPOSITION/INFORMATIONS SUR LES COMPOSANTS

3.1. SUBSTANCE

Nature chimique Gaz naturel, hydrocarbure gazeux en C1-C4.

Pour le libellé complet des phrases-R mentionnées dans cette section, voir section 16.

Nom Chimique	No.-CE	Numéro d'Enregistrement REACH	No.-CAS	% (masse)	Classification (Dir. 67/548)	Classification (Règ. 1272/2008)
Gaz naturel	232-343-9	EXEMPT	8006-14-2	100	F+; R12	Flam. Gas (H220) Press. Gas
Méthane	200-812-7	EXEMPT	74-82-8	>75	F+;R12	Flam. Gas 1 (H220) Press. Gas
Ethane	200-814-8	EXEMPT	74-84-0	<15	F+;R12	Flam. Gas 1 (H220) Press. Gas
Butane	203-448-7	EXEMPT	106-97-8	<5	F+;R12	Flam. Gas 1 (H220) Press. Gas
Propane	200-827-9	EXEMPT	74-98-6	<5	F+; R12	Flam. Gas 1 (H220) Press. Gas

Pour le texte complet des Phrases-H mentionnées dans cette rubrique, voir rubrique 16

4. PREMIERS SECOURS

4.1. DESCRIPTION DES PREMIERS SECOURS

Conseils généraux

EN CAS DE TROUBLES GRAVES OU PERSISTANTS, APPELER UN MEDECIN OU DEMANDER UNE AIDE MEDICALE D'URGENCE.

Évacuer la victime à l'air frais aussi vite que possible.

Envisager l'interruption des alimentations électriques si cette action n'est pas génératrice d'étincelles dans la zone où les vapeurs du produit se sont répandues.

Fermer les vannes de l'emballage ou du stockage.

Assurer une ventilation adéquate et vérifier que l'atmosphère est respirable et sans danger avant de pénétrer dans des espaces confinés.

Contact avec les yeux

EN CAS DE CONTACT AVEC LES YEUX: rincer avec précaution avec de l'eau pendant au minimum 15 minutes. Enlever les lentilles de contact si la victime en porte et si elles peuvent être facilement enlevées. Continuer à rincer.

Consulter un médecin. Un examen ophtalmologique à bref délai est recommandé en cas de brûlures aux yeux dues au froid.

Contact avec la peau

Traiter les surfaces atteintes comme une brûlure thermique.

Laver immédiatement et abondamment à l'eau pendant au moins 15 minutes. Enlever immédiatement tout vêtement souillé ou éclaboussé à condition qu'il n'y ait pas adhérence à la peau.

Eviter toute manœuvre de réchauffement direct (friction, bain chaud, etc.).
Consulter un médecin dans tous les cas de brûlures graves. Dans ce cas, la victime doit être immédiatement transportée en milieu hospitalier.

Inhalation

En cas d'exposition à des concentrations importantes de vapeurs, de fumées ou d'aérosols, transporter la personne à l'air, hors de la zone contaminée, la maintenir au chaud et au repos. Si les troubles se prolongent, consulter un médecin. Respiration artificielle et/ou oxygène peuvent être nécessaires.

Ingestion

Voie d'exposition peu probable.

4.2. PRINCIPAUX SYMPTOMES ET EFFETS, AIGUS ET DIFFERES

Contact avec les yeux Le contact direct avec le gaz liquéfié peut provoquer des brûlures aux yeux.

Contact avec la peau Le contact avec le produit peut provoquer des brûlures par le froid.

Inhalation L'inhalation de vapeurs peut provoquer somnolence et vertiges. Les symptômes d'une exposition excessive sont un étourdissement, des maux de tête, une lassitude, des nausées pouvant aller jusqu'à la perte de conscience, voire l'arrêt de la respiration.

Ingestion Voie d'exposition peu probable.

4.3. INDICATION DES EVENTUELS SOINS MEDICAUX IMMEDIATS ET TRAITEMENTS PARTICULIERS NECESSAIRES

Conseils aux médecins Traiter de façon symptomatique.

5. MESURES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE**5.1. MOYENS D'EXTINCTION**

Moyens d'extinction appropriés Utiliser un extincteur à poudre pour les feux de faible importance ou un générateur à mousse "moyen ou haut foisonnement" (teneur en eau moindre)

Moyens d'extinction inappropriés Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction qui pourrait répandre le feu et augmenter le taux d'évaporation du GNL. L'eau ne doit être utilisée qu'en moyen de protection contre le flux thermique.

5.2. DANGERS PARTICULIERS RESULTANT DE LA SUBSTANCE OU DU MELANGE

Risque particulier Il est dangereux d'éteindre une flamme si l'on n'est pas en mesure d'arrêter rapidement la fuite. L'extinction ne doit se faire qu'après la fermeture de vanne ou si cette extinction permet une telle manœuvre. L'échauffement accidentel intense (en cas d'incendie par exemple) d'un récipient contenant ce liquide peut conduire à une rupture et à l'épandage du produit, dont l'inflammation des vapeurs peut conduire à une déflagration ou à une explosion.
La combustion incomplète et la thermolyse produisent des gaz plus ou moins toxiques tels que CO, CO₂, hydrocarbures variés, aldéhydes et des suies. A forte concentration ou en atmosphère confinée, leur inhalation est très dangereuse.

5.3. CONSEILS AUX POMPIERS

Équipement de protection spécial pour le personnel préposé à la lutte contre le feu

Protéger le personnel par des rideaux d'eau. En cas d'incendie de grande amplitude ou d'incendie dans des espaces confinés ou mal ventilés, porter une tenue ignifugée intégrale et un appareil respiratoire autonome isolant (ARI) avec un masque intégral.

Autres informations

Refroidir les réservoirs et les parties exposés au feu par arrosage avec beaucoup d'eau. Eloigner les matières combustibles et si possible les réservoirs exposés.

6. MESURES A PRENDRE EN CAS DE DEVERSEMENT ACCIDENTEL

6.1. PRECAUTIONS INDIVIDUELLES, EQUIPEMENT DE PROTECTION ET PROCEDURES D'URGENCE

Informations générales

Évacuer le personnel vers des endroits sûrs et établir un périmètre de sécurité. Alerter les services de secours.

FERMER L'ALIMENTATION EN GNL lorsque l'intervention est possible. Eliminer toutes les sources d'ignition (ne pas fumer, torches, étincelles ou flammes à proximité immédiate). Suspendre tout travail à feux nus, tout mouvement de véhicule et tout fonctionnement d'appareil susceptible de provoquer des étincelles ou des flammes. Envisager l'interruption des alimentations électriques si cette action n'est pas génératrice d'étincelles dans la zone où les vapeurs du produit se sont répandues.

AERER LARGEMENT. Eloigner les matières combustibles et si possible les réservoirs exposés.

En cas de fuite diphasique, éviter le contact du liquide avec la peau.

Ne pas stationner dans le nuage de gaz, mais se placer en arrière de la source. Le nuage de vapeur peut avoir l'aspect d'un brouillard blanchâtre pouvant disparaître en fonction du taux d'humidité de l'air.

Ne revenir en situation normale qu'après s'être assuré que cela peut être fait sans danger.

Conseils pour les non-secouristes

Évacuer immédiatement le personnel vers des zones sûres. Eliminer toutes les sources d'ignition (ne pas fumer, torches, étincelles ou flammes à proximité immédiate). Équipement de protection individuelle, voir section 8.

Conseils pour les secouristes

Prendre toutes les mesures adéquates pour protéger les secouristes des risques d'incendie, d'explosion et d'inhalation, notamment par l'utilisation d'appareils respiratoires.

Utiliser un équipement de protection individuelle: Casque de protection avec une visière et un protège nuque (protection complète de la tête), gants et bottes étanches, combinaison (avec le pantalon à l'extérieur des bottes). Ils seront en matériaux infusibles et résistant au feu.

Eliminer toute source d'ignition.

6.2. PRECAUTIONS POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Informations générales

Alerter en cas de rejet vers une zone confinée (égouts...).

6.3. METHODES ET MATERIEL DE CONFINEMENT ET DE NETTOYAGE

Méthodes de nettoyage

En cas de fuite non enflammée, arrêter la fuite par fermeture de vanne lorsque l'intervention est possible. Assurer une ventilation adéquate.

6.4. REFERENCE A D'AUTRES SECTIONS

Équipement de protection individuelle	Voir section 8 pour plus de détails
Autres informations	Voir section 13 pour plus de détails.

7. MANIPULATION ET STOCKAGE

7.1. PRECAUTIONS A PRENDRE POUR UNE MANIPULATION SANS DANGER

Recommandations pour une manipulation sans danger	<p>Ce gaz est produit, stocké, transporté et distribué SOUS PRESSION SOUS FORME LIQUEFIEE. Il ne fait pas l'objet de manipulation directe dans les conditions normales de distribution, car il est confiné sans interruption, dans des systèmes clos jusqu'à sa destruction finale par combustion, lors de son utilisation. LES PRECAUTIONS A PRENDRE CONSISTENT AVANT TOUT A MAINTENIR LE CONFINEMENT ET A N'UTILISER QUE DES EQUIPEMENTS APPROPRIES AU PRODUIT SA PRESSION ET SA TEMPERATURE</p> <p>Assurer une ventilation adéquate. Tenir à l'écart de chaleur/étincelles/flamme nue. Ne pas fumer. Prendre des précautions contre l'électricité statique.</p> <p>NE JAMAIS SOUDER SUR UN RECIPIENT DE GNL. NE JAMAIS ENTREPRENDRE DE TRAVAUX AYANT POUR EFFET DE COMPROMETTRE LE CONFINEMENT DES STOCKAGES FIXES OU DES RECIPIENTS.</p> <p>Les opérations d'inspection, de nettoyage et de maintenance des réservoirs de stockage impliquent le respect de procédures strictes et ne doivent être confiées qu'à du personnel qualifié (interne ou externe) en particulier contrôle de l'atmosphère (explosivité, atmosphère respirable). Équipement de protection individuelle, voir section 8.</p>
Mesures d'ordre technique	<p>Assurer une ventilation adéquate.</p> <p>Concevoir les installations pour éviter toute propagation de nappe (fosses, cuvettes de rétention, siphons dans les réseaux d'eau d'écoulement conçus en conséquence).</p> <p>Prendre des mesures de précaution contre les décharges électrostatiques. Avant les opérations de transfert, contrôler que tout l'équipement est mis à la terre.</p>
Prévention des incendies et des explosions	<p>Ne pas fumer.</p> <p>Tout transvasement, chargement ou déchargement de véhicule ne doit être effectué que par du personnel formé à cet effet et selon des procédures appropriées.</p> <p>Concevoir les installations pour éviter les possibilités d'accumulation du gaz. Ne jamais chauffer un réservoir ou des canalisations contenant du gaz avec une flamme nue.</p>
Mesures d'hygiène	<p>Ne pas fumer en manipulant ce produit.</p> <p>À manipuler conformément aux bonnes pratiques d'hygiène industrielle et aux consignes de sécurité.</p>

7.2. CONDITIONS NECESSAIRES POUR ASSURER LA SECURITE DU STOCKAGE, TENANT COMPTE D'EVENTUELLES INCOMPATIBILITES

Mesures techniques / Conditions de stockage	<p>STOCKER CE GAZ LIQUEFIE CONFORMEMENT A LA REGLEMENTATION APPROPRIEE EN FONCTION DE LA NATURE DU STOCKAGE ET DES QUANTITES STOCKEES. Toutes les installations électriques, y compris l'éclairage des locaux où peut être présent ce produit, doivent être adaptées à la zone de risque, conformément aux directives européennes ATEX.</p> <p>Stocker de préférence à l'extérieur ou dans un endroit bien ventilé. Tenir à l'écart de la chaleur et des sources d'ignition. Éviter l'accumulation de charges</p>
--	---

électrostatiques.

Ne pas stocker à proximité de matières combustibles et comburantes.

Matières à éviter Oxydants forts, halogènes.

Matériel d'emballage N'utiliser que des bouteilles et réservoirs conformes à la réglementation des appareils à pression ou des équipements cryogéniques, destinés à ce gaz liquéfié.

7.3. UTILISATION(S) FINALE(S) PARTICULIERE(S)

8. CONTROLES DE L'EXPOSITION/PROTECTION INDIVIDUELLE

8.1. PARAMETRES DE CONTROLE

Limites d'exposition Composants avec valeurs limites d'exposition professionnelle
Hydrocarbures aliphatiques gazeux : Alcanes (C1-C4)
US (ACGIH2009): VLE-8h. VLE moyennée sur 8h: 1000 ppm

Légende Voir section 16

8.2. CONTROLES DE L'EXPOSITION

Contrôle de l'exposition professionnelle

Mesures d'ordre technique Dans le cas de travaux en enceinte confinée (cuves, réservoirs...), vérifier l'absence de risque d'inflammation puis s'assurer d'une atmosphère respirable et porter les équipements recommandés.
Ne pas pénétrer dans les réservoirs de stockage vides, avant que ne soient réalisées les mesures d'oxygène disponible.

Equipement de protection individuelle

Informations générales Toutes les mesures de protection collective doivent être installées et mises en œuvre avant d'envisager de recourir aux équipements de protection individuelle.

Protection respiratoire Maintenir une ventilation adéquate.
En cas d'urgence (exposition accidentelle) ou pour des travaux exceptionnels de courte durée dans des atmosphères avec présence de produit, il est nécessaire de porter un appareil de protection respiratoire avec adduction d'air.

Protection des yeux Si des projections sont possibles, une protection complète de la tête et du visage (visière de protection ou lunettes de sécurité) doit être utilisée.

Protection de la peau et du corps Porter des gants isolants contre le froid (conformes à la norme EN 511)/ un équipement de protection des yeux/du visage.
Selon nécessité, écran facial, vêtements couvrants et chaussures de sécurité antistatiques.

Protection des mains Gants isolants contre le froid conformes à la norme EN 511.

Contrôles d'exposition liés à la protection de l'environnement

Informations générales Pas d'information disponible.

9. PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

9.1. INFORMATIONS SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES ESSENTIELLES

Aspect	Gaz liquéfié
Couleur	incolore
Etat physique @20°C	Gaz
Odeur	inodore

<u>Propriété</u>	<u>Valeurs</u>	<u>Remarques</u>
pH	Non applicable	
Point/intervalle d'ébullition	-166°C à -157°C	
	-267°F à -251°F	
Point d'éclair	< -58°C < -72°F	
Taux d'évaporation	Pas d'information disponible	
Limites d'inflammabilité dans l'air		
supérieure	15 %	
inférieure	5 %	
Pression de vapeur	Pas d'information disponible	
Densité de vapeur	Pas d'information disponible	
Densité relative	0.54 - 0.66	à 0° C (gazeux)
Masse volumique	420 à 470 kg/ m ³	à -162°C (Liquide)
Hydro solubilité	0.024 - 0.061 g/l	à 20°C
Solubilité dans d'autres solvants	Pas d'information disponible	
logPow	<= 2,8	
Température d'auto-ignition	410°C	
	770°F	
Viscosité, cinématique	Pas d'information disponible	
Propriétés explosives	Peut former des mélanges explosifs avec l'air	
Propriétés oxydantes	Non applicable	
Possibilité de réactions dangereuses	Transition rapide de phase (TRP) au contact de l'eau : onde de choc.	

9.2. AUTRES INFORMATIONS

Point de congélation -183 °C
-297 °F

10. STABILITE ET REACTIVITE

10.1. REACTIVITE

Informations générales Pas d'information disponible.

10.2. STABILITE CHIMIQUE

Stabilité Stable dans les conditions recommandées de manipulation et de stockage.

10.3. POSSIBILITE DE REACTIONS DANGEREUSES

Réactions dangereuses En cas de perte de confinement : risque d'inflammation en présence d'air et transition rapide de phase (onde de choc) au contact de l'eau.

10.4. CONDITIONS A EVITER

Conditions à éviter Tenir à l'abri des flammes nues, des surfaces chaudes et des sources d'inflammation. Éviter l'accumulation de charges électrostatiques.

10.5. MATIERES INCOMPATIBLES

Matières à éviter Oxydants forts, Halogènes.

10.6. PRODUITS DE DECOMPOSITION DANGEREUX

Produits de décomposition dangereux Aucun dans les conditions normales d'utilisation.

11. INFORMATIONS TOXICOLOGIQUES

11.1. INFORMATIONS SUR LES EFFETS TOXICOLOGIQUES

Toxicité aiguë Effets locaux Informations sur le produit

Contact avec la peau Le contact avec le produit peut provoquer des brûlures par le froid

Contact avec les yeux Le contact direct avec le produit peut provoquer des brûlures aux yeux

Inhalation Peut causer l'asphyxie à concentration élevée. Les symptômes peuvent être une perte de connaissance ou de motricité. La victime peut ne pas en avoir conscience.

Possibilité d'effets narcotiques à faible concentration, les symptômes peuvent être des étourdissements, des maux de tête, des nausées, une perte de coordination voire une perte de conscience.

Ingestion Voie d'exposition peu probable

Toxicité aiguë - Informations sur les composants

Nom Chimique	DL50 oral	DL50 dermal	CL50 par inhalation
Gaz naturel			CL50 (15 minutes) > 800 000 ppm (rat)

Sensibilisation

Sensibilisation Il n'existe aucune donnée indiquant que la substance présente un potentiel de sensibilisation respiratoire et cutanée.

Effets spécifiques

Cancérogénicité Ne contient pas de composé listé comme cancérigène.

Mutagénicité Ne contient pas de composé listé comme mutagène.

Toxicité pour la reproduction Ne contient pas de composé listé comme toxique pour la reproduction.

Toxicité par administration répétée**Effets sur les organes-cibles (STOT)****Autres informations****12. INFORMATIONS ECOLOGIQUES****12.1. TOXICITE**

Non classé.

Toxicité aiguë pour le milieu aquatique - Informations sur le produit**Toxicité aiguë pour le milieu aquatique - Informations sur les composants****Toxicité chronique pour le milieu aquatique - Informations sur le produit****Toxicité chronique pour le milieu aquatique - Informations sur les composants****Effets sur les organismes terrestres****12.2. PERSISTANCE ET DERIVABILITE****Informations générales**

Le produit est biodégradable.

12.3. POTENTIEL DE BIOACCUMULATION

Informations sur le produit Le potentiel de bioaccumulation du produit dans l'environnement est très faible.

logPow <= 2.8

Informations sur les composants

Nom Chimique	Log Pow
Gaz naturel-8006-14-2	2,8

12.4. MOBILITE DANS LE SOL

Informations générales A cause de sa grande volatilité, ce gaz liquéfié n'est pas susceptible de générer des pollutions du sol ou de l'eau.

Air Relargués dans l'atmosphère, les constituants se diluent rapidement et subissent une photodégradation.

12.5. RESULTATS DES EVALUATIONS COMME SUBSTANCE PERSISTANTE, BIOACCUMULABLE ET TOXIQUE (PBT) OU TRES PERSISTANTE OU TRES ACCUMULABLE (VPVB)

Évaluation PBT et vPvB La substance ne répond pas aux critères de classification PBT et VPVB.

12.6. AUTRES _EFFETS _NEFASTES

Informations générales Pas d'information disponible.

13. CONSIDERATIONS RELATIVES A L'ELIMINATION

13.1. METHODES DE TRAITEMENT DES DECHETS

Déchets de résidus / produits non utilisés En cas de nécessité d'éliminer le gaz contenu dans des emballages ou dans les réservoirs, la combustion à l'aide de dispositifs appropriés (torche) est le moyen le plus sûr et le plus respectueux de l'environnement. Cette opération doit être effectuée par un personnel spécialement formé avec du matériel adapté et selon des procédures appropriées.

Emballages contaminés Les emballages vides peuvent contenir des vapeurs inflammables ou explosibles.

No de déchet suivant le CED Selon le code européen des déchets (CED) le code de déchet n'est pas relatif au produit lui-même mais à son application. Le code de déchet doit être attribué par l'utilisateur, selon l'application du produit.

14. INFORMATIONS RELATIVES AU TRANSPORT

ADR/RID

UN/ID No	UN1972
Désignation officielle de transport	Natural gas, refrigerated liquid
Classe de danger	2
Étiquettes ADR/RID	2.1
Code de classification	3F
Code de restriction en tunnels	(B/D)
Numéro d'identification du danger	223
Description	UN1972, Natural gas, refrigerated liquid, 2.1, (B/D)

IMDG/IMO

UN/ID No	UN1972
Désignation officielle de transport	Natural gas, refrigerated liquid
Classe de danger	2
No EMS	F-D, S-U
Description	UN1972, Natural gas, refrigerated liquid, 2.2, (-58°C c.c.)
Quantités exceptées	E0
Quantité limitée	0

ICAO/IATA

Interdit

ADN

UN/ID No	UN1972
Désignation officielle de transport	Natural gas, refrigerated liquid
Classe de danger	2
Code de classification	3F
Description	UN1972, Natural gas, refrigerated liquid, 2.1
Quantités exceptées	E0
Quantité limitée	0
Ventilation	VE01

15. INFORMATIONS REGLEMENTAIRES**15.1. REGLEMENTATIONS/LEGISLATION PARTICULIERES A LA SUBSTANCE OU AU MELANGE EN MATIERE DE SECURITE, DE SANTE ET D'ENVIRONNEMENT****Union Européenne****REACH**

Cette substance est exemptée d'enregistrement conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006 (REACH)

Inventaires Internationaux

EINECS/ELINCS	Est conforme à (aux)
TSCA	Est conforme à (aux)
DSL	Est conforme à (aux)
ENCS	-
IECSC	Est conforme à (aux)
KECL	Est conforme à (aux)
PICCS	-
AICS	Est conforme à (aux)
NZIoC	Est conforme à (aux)

Légende

EINECS/ELINCS	European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances/EU List of Notified Chemical Substances
TSCA	United States Toxic Substances Control Act Section 8(b) Inventory
DSL/NDSL	Canadian Domestic Substances List/Non-Domestic Substances List
ENCS	Japan Existing and New Chemical Substances
IECSC	China Inventory of Existing Chemical Substances
KECL	Korean Existing and Evaluated Chemical Substances
PICCS	Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances
AICS	Australian Inventory of Chemical Substances
NZIoC	New Zealand Inventory of Chemicals

Information supplémentaire**15.2. ÉVALUATION DE LA SECURITE CHIMIQUE**

16. AUTRES INFORMATIONS

Texte intégral des phrases R mentionnées sous les Chapitres 2 et 3

R12 - Extrêmement inflammable

Texte complet des Phrases-H citées dans les sections 2 et 3

H220 - Gaz extrêmement inflammable

H224 – Liquide et vapeurs extrêmement inflammables

H281 - Contient un gaz réfrigéré; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques

Abréviations, acronymes

GLP = Good Laboratory Practice - BPL = Bonnes Pratiques de Laboratoire

bw = body weight = poids corporel

bw/day = body weight/day = poids corporel par jour

Légende Section 8

+ Produit sensibilisant

* Désignation de la peau

** Désignation du Danger

C : Cancérogène

M : Mutagène

R : Toxique pour la reproduction

Date de révision : 1^{er} juillet 2014

Révision : Version initiale

Cette fiche de données de sécurité est conforme aux exigences du Règlement (CE) No. 1907/2006

Cette fiche complète les notices techniques d'utilisation mais ne les remplace pas. Les renseignements qu'elle contient sont basés sur l'état des connaissances du rédacteur relatives au produit concerné, à la date indiquée. Ils sont donnés de bonne foi. L'attention des utilisateurs est en outre attirée sur les risques éventuellement encourus lorsqu'un produit est utilisé à d'autres usages que celui pour lequel il est conçu. Elle ne dispense en aucun cas l'utilisateur de connaître et d'appliquer l'ensemble des textes réglementant son activité. Il prendra sous sa seule responsabilité les précautions liées à l'utilisation qu'il fait du produit. L'ensemble des prescriptions réglementaires mentionnées a simplement pour but d'aider le destinataire à remplir les obligations qui lui incombent. Cette énumération ne peut pas être considérée comme exhaustive. Le destinataire doit s'assurer que d'autres obligations ne lui incombent pas en raison de textes autres que ceux cités.

Fin de la Fiche de Données de Sécurité

ANNEXE B ACCIDENTOLOGIE DU GNL

Base de données ARIA - État au 03/11/2015

Accidentologie

Gaz Naturel Liquéfié

La base de données ARIA, exploitée par le ministère du développement durable, recense essentiellement les événements accidentels qui ont, ou qui auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement. Pour l'essentiel, ces événements résultent de l'activité d'usines, ateliers, dépôts, chantiers, élevages,... classés au titre de la législation relative aux Installations Classées, ainsi que du transport de matières dangereuses. Le recensement et l'analyse de ces accidents et incidents, français ou étrangers sont organisés depuis 1992. Ce recensement qui dépend largement des sources d'informations publiques et privées, n'est pas exhaustif. La liste des événements accidentels présentés ci-après ne constitue qu'une sélection de cas illustratifs. Malgré tout le soin apporté à la réalisation de cette synthèse, il est possible que quelques inexactitudes persistent dans les éléments présentés. Merci au lecteur de bien vouloir signaler toute anomalie éventuelle avec mention des sources d'information à l'adresse suivante :

BARPI - 5 Place Jules Ferry, 69006 Lyon / Mel : barpi@developpement-durable.gouv.fr

Au 3 novembre 2015, la base de données ARIA recense 13 accidents impliquant des gaz naturel liquéfié (GNL). Parmi ces événements, 3 ont eu lieu en France (ARIA 32941, 25619 et 28524). Pour mémoire, les 3 principaux terminaux méthaniers français sont pour le moment : Fos Cavaou, capacité de regazéification de 8 milliards de m³, Fos Tonkin : capacité de regazéification de 5 milliards de m³ et Montoir de Bretagne avec une capacité de regazéification de 10 milliards de m³ de gaz. Un projet de terminal méthanier est en cours de finalisation à Dunkerque.

1. Contexte

Le GNL est transporté via des méthaniers puis stocké sous forme liquide à très faible température (- 160°C) à pression atmosphérique. Le marché du GNL est globalement en forte expansion, avec de nombreux projets de terminaux d'importation.

Le gaz naturel n'est pas forcément consommé dans le pays qui l'importe, surtout en Europe. Les réseaux de transport (gazoducs) étant interconnectés, le gaz débarque à Fos-sur-Mer et peut être utilisé par exemple en Allemagne à Berlin.

La température très basse de stockage et de transport (-160°C), induit des contraintes particulières sur les matériaux en acier des enceintes de confinement (ARIA 6059). Des modalités d'interventions particulières en cas d'incendie (gel de l'eau, stockage calorifugé) doivent de ce fait être envisagées.

Les sites GNL sont généralement composés de 4 types d'unité ayant chacune une fonction propre :

- Déchargement
- Stockage
- Regazéification et traitement du gaz (englobant dans le cadre de l'étude le torchage)
- Tuyauteries d'usine servant au transfert du produit entre les unités.

Le gaz naturel emprunte le réseau de canalisations de transport de gaz pour être acheminé à travers les pays. L'accidentologie des canalisations de transport de gaz naturel n'est pas étudiée dans le présent document. Les accidents se limitent ainsi aux installations se situant en amont du premier organe de sectionnement avec le réseau de transport et n'inclut pas les postes de détente/compression pouvant être présent au niveau des terminaux méthaniers.

2. Caractéristiques des accidents

Les phénomènes dangereux qui se sont produits se répartissent de la façon suivante :

Phénomène	Nombre d'accidents	%	N° ARIA
Explosion	5	38%	6059,10161,10162,25619,26252
Incendie	2	15%	6059,26252
Rejet de gaz naturel	6	46%	22312,25619,10161,10162,26252,28524
dont Rejet prolongé	2	15%	22312,25619

Le faible nombre d'événements dans l'échantillon d'étude ne permet pas d'en tirer des enseignements génériques.

Néanmoins :

- une explosion s'est produite en France à Fos sur Mer en 2003, lors d'un arrêt programmé pour maintenance du terminal méthanier (ARIA 25619). Un problème au niveau d'un composant régulant les entrées d'air d'une torchère en serait l'origine.
- Aucun BLEVE n'est noté. Ce qui est normal dans la mesure où les installations de GNL ne sont théoriquement pas sujettes à ce phénomène du fait qu'elles ne sont pas dimensionnées pour résister à une montée en pression.

Les accidents recensés dans la base de données ARIA concernent les unités de :

- **Stockage** : problème de clapet de fond (ARIA 32941) / fissure dans une paroi d'un réservoir cryogénique (ARIA 6059)
- **Regazéification / traitement / torchage du gaz** : rupture d'un échangeur thermique (ARIA 10162) / rupture d'un ballon d'aspiration d'un compresseur (ARIA 10161) / explosion d'un générateur de vapeur (ARIA 26252) / problème au niveau d'une torchère (ARIA 25619)
- et **principalement les tuyauteries d'usine** qui sont endommagées par des engins de chantier ou de manutention (ARIA 33498, 33500, 33505, 33502...).

L'activité de **déchargement** est citée indirectement dans un événement français (ARIA 28524). Des mouvements de grève dans le terminal méthanier de Fos-sur-mer ont en effet perturbé son approvisionnement. Des relargages de gaz (ARIA 28524) notamment afin de rééquilibrer la pression dans les cuves du méthanier en fonction du gaz qui s'évapore (phénomène de « roll-over ») ont ainsi dû être réalisés en pleine mer.

Par ailleurs, plusieurs accidents ont eu lieu durant des **phases de travaux ou de maintenance** (ARIA 22312,25619, 33505).

Enfin, au-delà des causes premières (agressions par des engins de travaux, défaillance d'équipements...), des **défaillances humaines ou organisationnelles dans l'application des procédures sont à l'origine de sinistre** (ARIA 10162, 22312).

3. Conséquences

Les explosions de GNL se caractérisent par :

- des conséquences humaines notables liées aux effets de surpression et de projection (136 morts aux Etats-Unis à Cleveland en 1944, ARIA 6059 / 27 morts et 74 blessés dans un complexe pétrochimique à Skikda en Algérie en 2004, ARIA 26252)
- d'importants dégâts sur les installations et habitations voisines (ARIA 6059, 26252).

En outre, nombre d'événements auraient pu avoir des conséquences dramatiques si les ouvrages avaient contenu du GNL au moment de leur endommagement (ARIA 33498, 33500). Dans un cas, le plan de circulation du site a été modifié (ARIA 33500) pour tenir compte de la relative vulnérabilité des tuyauteries d'usine.

4. Bibliographie

L'Ineris a publié en novembre 2011 un rapport intitulé « Référentiels, normes et guides de bonnes pratiques pour le stockage de Gaz Naturel Liquéfié (GNL) - Installations fixes ». Dans ce document figurent des données sur les caractéristiques du GNL (vapeurs incolores, quasi inodore, non toxique, vapeurs qui condensent et forment des brouillards).

Les différents risques liés à l'utilisation du GNL y sont également mentionnés : feu de nappe, « roll-over », risque de rupture à basse température des matériaux constituant les stockages, risque d'anoxie dans les capacités confinées, risque de brûlure cryogénique...

Accidents français

Désolidarisation d'un boulon de son axe sur un réservoir de GNL.

ARIA 32941 - 01/01/1980 - 76 - LE HAVRE

Naf 52.24 : Manutention

A la fin des années 1980, le clapet de fond d'un des 3 réservoirs de stockage de GNL datant des années 1960 est resté ouvert lors de tests de fermeture. Après vidange du réservoir, les investigations ont montré que l'organe de fermeture s'est désolidarisé de son axe à la suite du desserrage d'un boulon.

Explosion au pied d'une torche.

                                     **ARIA 25619 - 17/09/2003 - 13 - FOS-SUR-MER**

                                     *Naf 35.22 : Distribution de combustibles gazeux par conduites*

                                     En fin de journée, pendant le déchargement d'un navire, une explosion se produit sur un terminal méthanier comprenant notamment 3 réservoirs raccordés à un réseau torche. Le terminal est en arrêt programmé pour maintenance, les déchargements de GNL (gaz naturel liquéfié) restant autorisés en vue de la reprise de l'activité. L'explosion survient à l'intérieur de la structure de la torche du terminal, projetant la porte de pied sur le local de la salle de contrôle, causant sur cette dernière quelques dégâts matériels : bris de verre, poussières et débris à l'intérieur de la salle. Selon l'exploitant, il n'y a pas de blessé et les dégâts sont limités. La salle de contrôle a continué à fonctionner et n'est pas évacuée. Le POI est déclenché : les pompiers restent 1h30 sur le site. Le déchargement de gaz est interrompu (bateau à quai, raccordement bras liquide désaccordé et raccordement gaz vapeur maintenu). Le fonctionnement de la torche est arrêté. Les évaporations du terminal, évaluées à 4 000 Nm³/h, sont évacuées à l'atmosphère en attendant la réparation de la torche ou la ré-injection des gaz évaporés dans le réseau (soit une vingtaine d'heures). Chacun des 3 réservoirs est muni d'un événement piloté depuis la salle de contrôle. Par ailleurs, ils disposent d'un contrôle de pression permanent et de soupapes. Selon l'exploitant, le nuage froid reste localisé à proximité des événements (5 m de diamètre et 35 m de hauteur au-dessus des réservoirs). Le nuage visible inclut la zone d'inflammation. Le vent de direction Sud Nord est de 1 à 2 km/h. Au titre des mesures conservatoires, des dispositifs de détection de gaz sont déployés le long de la route d'accès et en limite de site : des mesures y sont effectuées toutes les 1/2h sur 6 points sans révéler la présence de gaz. L'inspection des installations classées propose au préfet de subordonner l'exploitation de la torche ainsi que le déchargement à l'obtention d'un diagnostic de la situation, accompagné d'une analyse de risques. A l'origine de l'accident, l'absence de garde hydraulique sur le siphon du drain du joint gazostatique au sommet de la torche a permis la migration du gaz et création d'une atmosphère explosive dans la structure de la torche même puis un cumul de gaz froid (densité : 1,05) en point bas. Au titre du retour d'expérience, la torche est modifiée et l'étude de dangers sera révisée.

Pollution maritime (méthane)

                                     **ARIA 28524 - 30/10/2004 - 13 - FOS-SUR-MER**

                                     *Naf 50.20 : Transports maritimes et côtiers de fret*

                                     Les méthaniers Tellier et Descartes, chargés d'acheminer du gaz naturel liquéfié (GNL) depuis l'Algérie, ont été respectivement bloqués au large de Fos-sur-Mer des 30 octobre et 4 novembre jusqu'aux 25 et 27 novembre 2004 à la suite d'un mouvement de grève des marins. Les 2 navires contenaient 40 000 et 50 000 m³ de GNL à -163 °C. Une partie du GNL se vaporise en permanence et entraîne une augmentation de la pression dans les cuves. En marche normale, ce gaz naturel d'évaporation est utilisé dans la chaudière du bateau. Mais en cas d'immobilisation en mer, l'utilisation est insuffisante obligeant les équipages à libérer du gaz naturel à l'atmosphère. Ce gaz naturel est rejeté à 30 m de hauteur, et étant plus léger que l'air, il se dilue dans l'atmosphère ; 4 000 m³ de GNL ont été rejetés durant cette période, soit 1 600 t. Selon la société exploitante du terminal méthanier destinataire des cargaisons cette quantité représente 0,06 % des émissions annuelles de gaz à effet de serre de la Région PACA.

Accidents étrangers

Explosion de gaz

-         **ARIA 6059 - 20/10/1944 - ETATS-UNIS - CLEVELAND**
        *Naf 35.22 : Distribution de combustibles gazeux par conduites*
        Une fissure se développe dans la paroi d'un réservoir cryogénique de 4 540 m³ de gaz naturel liquéfié. La double paroi était composée d'un acier à 3,5 % de nickel avec une isolation en laine de roche. Le nuage s'enflamme rapidement et explose. Un gigantesque incendie se déclare et se propage à un autre réservoir qui explose à son tour (effet domino). Au total, 12 ha d'installation sont détruits et près de 2900 t de gaz sont brûlés. 136 personnes sont tuées, 300 blessées, 80 maisons détruites et 10 usines fortement endommagées. Les dégâts sont évalués à 8 millions de dollars US.

Endommagement d'une canalisation GNL par une grue

ARIA 33498 - 24/06/1980 - NC - NC

Naf 35.22 : Distribution de combustibles gazeux par conduites

Dans un terminal méthanier, une grue endommage une canalisation GNL de 10" en aluminium vide. Aucune fuite de produit n'est à signaler .

Endommagement d'un portique d'un pipe rack GNL

ARIA 33500 - 13/05/1981 - NC - NC

Naf 35.22 : Distribution de combustibles gazeux par conduites

Dans un terminal méthanier, pendant la phase de construction, une grue se déplace sans avoir baissé sa flèche et endommage fortement un pipe rack GNL, pliant des tuyauteries. Les canalisations étant vides, il n'y a pas de fuite. Le plan de circulation des engins de travaux est revu.

VCE (GNL).

-         **ARIA 10162 - 14/02/1983 - INDONESIE - BONTANG**
        *Naf YY.YY : Activité indéterminée*
        Sur une installation de Gaz Naturel Liquéfié, une explosion (VCE) se produit.
        L'accident a pour origine une rupture d'échangeur cryogénique provoquée par des défaillances matérielle (avarie de PSV) et humaine (vanne laissée fermée lors du démarrage). La rupture est survenue à une pression effective de 34 bar (l'échangeur n'était éprouvé qu'à une pression de 4 bar).

VCE (Gaz Naturel).

-         **ARIA 10161 - 26/05/1983 - ETATS-UNIS - PRUDHOE BAY**
        *Naf YY.YY : Activité indéterminée*
        Sur une installation de Gaz Naturel Liquéfié, un ballon d'aspiration de compresseur se rompt. Une explosion se produit.
       

Endommagement de tuyauteries GNL par une grue

ARIA 33505 - 31/10/1985 - NC - NC

Naf 35.22 : Distribution de combustibles gazeux par conduites

Dans un terminal méthanier, une grue présente dans le cadre de travaux s'enfonce dans un sol de mauvaise qualité et bascule sur des canalisations de GNL. Seules, les isolations des tuyauteries sont endommagées et aucune fuite n'est à déplorer.

Endommagement d'un pipe rack GNL par une grue

-        **ARIA 33502 - 29/11/1991 - NC - NC**
-        *Naf 35.22 : Distribution de combustibles gazeux par conduites*
-        Dans un terminal méthanier, une grue de déplace sans avoir baissé sa flèche et endommage un pipe rack de GNL.
-       

fuite de gaz naturel lors de travaux

-        **ARIA 22312 - 01/07/1997 - ROYAUME-UNI - MANCHESTER**
-        *Naf 46.71 : Commerce de gros de combustibles et de produits annexes*
-        Dans un dépôt de gaz, un rejet de 19,7 t de gaz naturel se produit à partir d'un réservoir de GNL. Des travaux étaient en cours pour installer un densitomètre sur le toit du réservoir, sur un piquage (diamètre : 400 mm) existant correspondant à une ancienne soupape de décharge. Le personnel du site (6 personnes présentes) gère la situation : un dispositif permettant de stopper la fuite est inséré manuellement dans la canalisation. Toutefois, la décision de ne pas procéder à cette manoeuvre avant que la pression n'ait baissé jusqu'à un minimum de 7 à 8 mbar est prise. La cause de l'accident provient de la mise en oeuvre d'un seul dispositif d'isolement (de type " baudruche ") pour permettre les travaux de découpe à froid tels qu'envisagés selon les standards habituels. La défaillance de cet équipement qui provoqué la fuite peut avoir plusieurs origines : usure de la baudruche sur des soudures, suppression du ballon même, impact des copeaux résultant de la découpe...
-       

Endommagement d'une ligne de déchargement par un tombereau

ARIA 33504 - 22/10/1998 - NC - NC

Naf 35.22 : Distribution de combustibles gazeux par conduites

Au niveau d'un terminal méthanier, un tombereau heurte la ligne de déchargement 22" placée sur un rack métallique au-dessus d'une voie publique à grande circulation, entraînant l'arrachement de câbles électriques et endommageant la structure métallique sans toutefois provoquer de fuite de GNL.

Explosion dans un complexe de gaz liquéfié.

-        **ARIA 26252 - 19/01/2004 - ALGERIE - SKIKDA**
-        *Naf 19.20 : Raffinage du pétrole*
-        Une explosion se produit vers 18h40 dans un complexe pétrochimique portuaire, situé sur la côte et comprenant 6 unités de traitement de gaz et d'hydrocarbures ; 12 000 personnes travaillent sur ce site qui est en partie alimenté par du gaz et du pétrole en provenance du Sahara.
-       

L'accident se produit dans l'unité traitant du gaz naturel (GNL), à la suite de l'explosion d'une chaudière à haute pression fabriquant de la vapeur. Sous la violence de l'explosion, des réservoirs de substances inflammables à proximité sont endommagés à leur tour : les fuites qui en résultent provoquent l'extension de l'incendie en différents foyers et de nouvelles explosions (effet domino). Le souffle de l'explosion, entendue à 10 km à la ronde, brise les vitres d'immeubles et commerces du voisinage. Une cellule de crise est mise en place par l'exploitant et le ministère de l'intérieur, le préfet local (" wali ") déclenche l'équivalent du PPI. Les secours doivent lutter 8 h pour maîtriser l'incendie. Le bilan final est très lourd: 27 victimes parmi les employés dont 9 gardiens ou agents de sécurité situés dans un poste proche et 74 blessés (dont 43 sortiront le lendemain après examens). La plupart des décès est liée aux effets de surpression ou de projection et effondrements de structures.

L'estimation des dégâts matériels se monte à 800 M de dollars. 3 des 6 unités de liquéfaction sont détruites. Des débris sont projetés jusqu'à 250 m du point de l'explosion mais les dégâts restent limités au site.

Selon un des témoins, des bruits anormaux correspondant à des vibrations ou à des fuites sur soupapes auraient été entendus avant l'explosion violente. L'unité ("train 40") où s'est produite l'explosion, semblait présenter des anomalies de fonctionnement régulières. Suite à une fuite importante signalée par un agent de maintenance qui décèdera dans l'explosion, un mélange d'air et d'hydrocarbures gazeux aurait été aspiré par l'entrée d'air de la chaudière du train n°40 provoquant une première explosion à l'intérieur de cette dernière, suivie d'une seconde déflagration à l'extérieur puis d'un incendie détruisant les "trains" n°20 et 30 voisins espacés de 60 m les uns des autres.



La coopération au cœur de la Méditerranée



ANNEXE 2

LOT 3 - ANALYSE DES RISQUES LIES AUX INSTALLATIONS GNL EN ZONE PORTUAIRE

- Rapport T2.4.1 : Classification et examen des différents types de risques liés à la construction d'installations GNL en zone portuaire.
- Rapport T2.4.2 : Base de données des événements définissables comme « incidents » ou « risques » survenant dans les installations GNL en zone portuaire.
- Rapport T2.4.4 : Bonnes pratiques pour la réduction des risques et impacts du GNL.

CCI du VAR

1	05/03/2020	Edition initiale complète	 Written By <small>Yves Mouilleau 2020.03.05 16:19:14 +01'00'</small>	 Checked By <small>Delphine Cahelo 2020.03.23 07:58:41 +01'00'</small>	 Approved By <small>M. Normand 2020.03.23 12:26:52 +01'00'</small>
0	26/02//2020	Edition initiale sans les chapitres 6 et 7	Y. MOUILLEAU	D. CAHELO-ROUX	M. NORMAND
Rév	Date JJ/MM/AA	OBJET	REDIGE (nom & visa)	VERIFIE (nom & visa)	APPROUVE (nom & visa)
REVISIONS DU DOCUMENT					

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	5
1.1	Objet et contexte généraux.....	5
1.2	Objet et contexte spécifiques.....	5
1.3	Chronologie	6
1.4	Contenu.....	7
2	LE PORT DE TOULON	8
2.1	Généralités	8
2.2	Principaux sites	8
2.3	Environnement des sites.....	13
3	INSTALLATIONS TYPIQUES	15
3.1	Hypothèses et données générales quant aux trafics de GNL	15
3.2	Flux-Conditions de Pression-Température- Dimensions typiques.....	17
3.2.1	Généralités	17
3.2.2	Station Usine	19
3.2.3	Station Port.....	20
3.2.4	Station Grand Port.....	21
4	CLASSIFICATION ET EXAMEN DES DIFFERENTS TYPES DE RISQUES	22
4.1	Dangers liés au produit.....	22
4.1.1	Généralités	22
4.1.2	Compositions	22
4.1.3	Propriétés physiques	24
4.1.4	Inflammabilité et combustion	26
4.1.5	Phrases de risques	31
4.2	Dangers liés aux procédés	32
4.2.1	Dangers liés aux transferts	32
4.2.2	Stockage pressurisé	33
4.2.3	Stockage non pressurisé.....	34
4.3	Dangers liés à l'environnement	36
4.3.1	Dangers liés aux conditions naturelles.....	36
4.3.2	Dangers liés aux activités anthropiques	37
4.4	Accidentologie	38
4.5	Synthèse	41
5	CARACTERISATION DES RISQUES	49
5.1	Généralités.....	49

5.2	Gravité des phénomènes dangereux.....	51
5.2.1	Hypothèses et approche de calculs	51
5.2.2	Distances d'effets.....	57
5.3	Fréquence des phénomènes dangereux.....	65
5.3.1	Approche, hypothèses et références.....	65
5.3.2	Fréquences des phénomènes dangereux	72
5.4	Synthèse sur les risques	82
6	RECOMMANDATIONS-BONNES PRATIQUES.....	87
6.1	Généralités.....	87
6.2	Règles générales de sécurité.....	87
6.3	Les stockages et lignes connectées.....	88
6.3.1	Règles de conception	88
6.3.2	Lignes de connexion des stockages pressurisés.....	88
6.3.3	Lignes de connexion des stockages non pressurisés.....	89
6.4	Chaine de sécurité / mmm dites instrumentées.....	89
6.4.1	Présentation générale	89
6.4.2	Propriétés	90
6.5	Détection.....	91
6.5.1	Généralités	91
6.5.2	Détection/mesure de niveau.....	92
6.5.4	Détection/mesure de pression	93
6.5.6	Détection/mesure de Température	94
6.5.7	Détection/mesure dite LTD.....	94
6.5.8	Détection de fuite/ de feu.....	94
6.6	Traitement.....	96
6.6.1	Généralités	96
6.6.2	Traitement des événements accidentels concernant le méthanier.....	97
6.7	Systèmes d'actions d'urgence.....	98
6.7.1	Généralités	98
6.7.2	Organes d'isolement	98
6.7.3	Dispositifs de contrôle en cas de pression haute.....	99
6.7.4	Dispositifs de contrôle en cas de pression basse.....	100
6.8	Systèmes de collecte des événements.....	101

6.9	Systèmes de collecte de fuite	102
6.9.1	Fonctions et objectifs	102
6.9.3	Aires de récupération	103
6.9.4	Capacités de rétention	103
6.10	Système de protection incendie.....	104
6.11	Effets dominos	107
7	CONCLUSIONS -RESUME	108
8	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	109

1 INTRODUCTION

1.1 OBJET ET CONTEXTE GENERAUX

La Chambre du Commerce et de l'Industrie (ou CCI) du VAR est partie prenante du Programme « Marittimo-Interreg Italie-France 2014-2020 ». Il s'agit d'un programme transfrontalier cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER), à hauteur de 85%, sous l'objectif Coopération Territoriale Européenne (CTE).

Afin d'appréhender la transition énergétique, le programme Marittimo a mis en place plusieurs projets concernant le GNL (Gaz Naturel Liquéfié) utilisé comme carburant marin. L'un de ces projets, désigné par l'acronyme TDI-RETE GNL, a pour objectif de définir les standards technologiques et procédures communes pour le soutage GNL.

Pour atteindre cet objectif, la CCI du Var a défini ses besoins de prestations dans 6 lots, dont les contenus ne seront pas détaillés au présent document sauf pour le lot 3.

Le lot 3 est l'objet du présent document. Il est consacré à l'étude des risques associés à différentes installations et opérations dans les ports, impliquant le GNL, comme celui de Toulon.

1.2 OBJET ET CONTEXTE SPECIFIQUES

Au-delà des éléments généraux cités ci-avant, plus spécifiquement, il est attendu au lot 3:

- les classifications et examens des différents types de risques liés à la construction d'installations GNL en zone portuaire,
- l'établissement d'une base de données des évènements définissables comme « incidents » ou « risques » survenant dans les installations GNL en zone portuaire,
- et la définition de bonnes pratiques pour la réduction des risques associés au GNL.

Par ailleurs, il est à retenir que l'identification, l'analyse et la quantification des risques seront à faire de façon :

- générale car l'étude concerne tous les ports partenaires de la zone de coopération (la Corse, le département du Var, les régions de Ligurie et de Toscane, ainsi que la Sardaigne),

- ou plus spécifique pour intégrer les éléments caractéristiques du port de Toulon qui est un port militaire.

Selon les scénarios qui seront retenus dans chaque port, les installations et opérations à considérer sont les suivantes :

- 1- l'escale d'un navire GNL dans le port sans opération de soutage,
- 2- le ravitaillement d'un navire GNL dans le port :
 - par camions
 - par barge flottante
 - par navire souteur
- 3- la mise en place et l'utilisation d'un groupe électrogène alimenté au GNL pour électrifier un navire à quai,
- 4- la mise en place d'une aire de chargement / déchargement / stockage de conteneurs GNL,
- 5- l'implantation d'un site de stockage GNL,
- 6- ou d'un chantier naval accueillant un navire GNL,
- 7- ou enfin d'une station-service pour camions GNL.

1.3 CHRONOLOGIE

Le présent document fait suite à :

- la consultation pour une « Mission d'études techniques et règlementaires (phase II) encadrant la mise en place d'une filière GNL en zone portuaire et maritime dans le cadre du programme européen MARITTIMO »,
- l'offre TechnipFMC référencée *022301S014-COM-HSED-2280-2* du 02/09/2019 répondant exclusivement au lot 3 de la consultation susmentionnée,
- l'acte d'engagement signé par les 2 parties, réceptionné le 10/09/2019,
- et l'édition du présent rapport en révision 0.

1.4 CONTENU

Outre la présente introduction et la conclusion, le présent rapport contient 5 chapitres principaux, à savoir :

- une présentation de la situation du port de Toulon, qui sert de support d'étude,
- une discussion relativement aux installations typiquement possibles,
- puis, 3 chapitres, dédiés aux objectifs mentionnés plus haut relativement aux types de risques à considérer après implantation d'installations GNL, la caractérisation de ces risques et les bonnes pratiques à privilégier.

2 LE PORT DE TOULON

2.1 GENERALITES

Le port de Toulon sert de « support » à l'étude, permettant de dégager des opérations et installations typiques lorsque le GNL est employé comme carburant. Il est en outre représentatif d'une situation pratique où les activités associées au GNL doivent être engagées en étant compatibles avec des activités voisines « sensibles », correspondant ici aux activités du port militaire. Dans d'autres ports, les activités sensibles voisines pourraient être différentes mais exister et à prendre en compte tout de même.

Les principaux sites du port de Toulon sont présentés ci-après. Puis, l'environnement des sites est succinctement décrit.

2.2 PRINCIPAUX SITES

Les principaux sites, objets d'étude, sont :

- le terminal de Brégaillon,
- le môle d'armement,
- et le port de Toulon Cote d'Azur, désigné par l'acronyme TCA

Le port de Brégaillon-La Seyne comprend 2 terminaux.

Le terminal de Brégaillon est un de ces terminaux. Il est utilisé essentiellement pour les trafics de :

- conteneurs, poids lourds, remorques, pièces détachées, etc.
- ou de vrac (matériaux comme du sable, des silicates, du sel, etc.)

Sur ce terminal, les 2 techniques de transfert de fret dites Ro-Ro¹ et Lo-Lo² sont utilisées. Par extension ces techniques peuvent aussi désigner les navires où elles sont opérées. Une représentation du terminal et des zones environnantes est fournie en figure suivante.

¹ De l'anglais « Roll-On » et « Roll-Off » signifiant littéralement « rentrer en roulant, sortir en roulant».

² De l'anglais « Lift-On » et « Lift-Off » pour désigner les chargements verticaux au moyen de grues.



Figure 1 : Le terminal de Brégaillon (figure extraite du site www.portsradetoulon.com)

Le môle d'armement est l'autre terminal du port de Brégaillon-La Seyne. Il est utilisé pour les plus grands navires et, à ce titre, susceptible d'accueillir les plus grands navires de croisières.

Les 2 terminaux (môle d'armement et terminal de Brégaillon) sont représentés ensemble en figure suivante (tirée de la même source que la figure précédente).



Figure 2 : Le terminal de Bregaillon et le môle d'armement du port de Bregaillon-La Seyne

Une vue aérienne du port de Toulon Cote d'Azur est présentée en figure suivante.

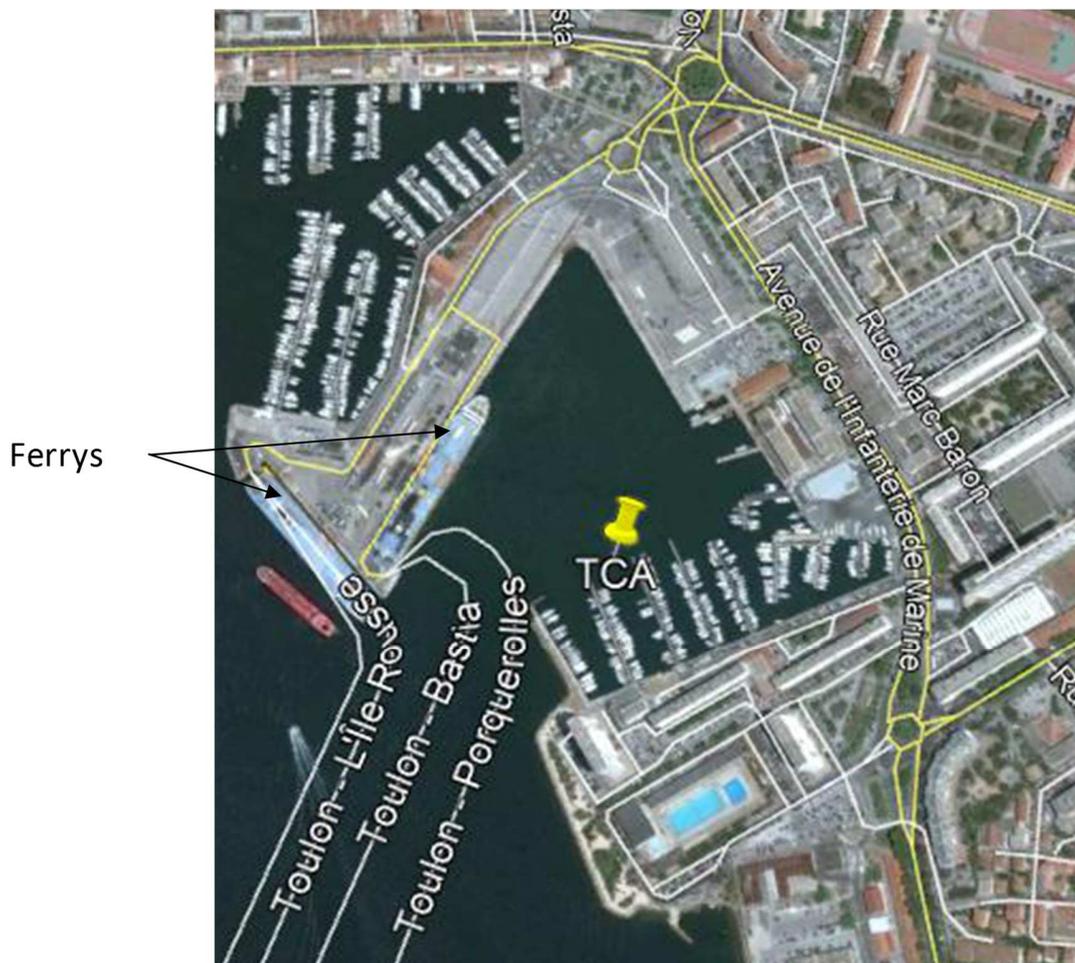


Figure 3 : Le port Toulon Cote d'Azur et son environnement proche

Ce port dispose de quais pour les ferrys qui transportent entre 1.5 et 2 millions de passagers par an en direction de différentes îles de la Méditerranée.

Une vue aérienne permettant de situer les 3 sites est reportée en figure suivante. Les 3 sites décrits sont repérés de 1 à 3 en légende. Les Sites repérés de 4 à 9 sont des ports de plaisance.



Activités liées au transport de biens ou de personnes

- 1 - Terminal Passagers Toulon Côte d'Azur | Ferry, Croisière
- 2 - Terminal Brégaillon La Seyne sur Mer | Fret roulier, fret conventionnel (fret, RoRo, véhicules neufs, vrac, colis lourds, colis spéciaux)
- 3 - Terminal croisière Môle d'Armement La Seyne | Croisière

Activités de plaisance

- 4 - Port de Toulon Vieille Darse
- 5 - Port de Toulon Darse Nord
- 6 - Port Saint Louis du Mourillon
- 7 - Port de la Seyne sur Mer
- 8 - Port de Saint Mandrier
- 9 - Port du Niel

Figure 4 : Vue aérienne montrant les différents sites évoqués

Au-delà des principaux sites (port de Brégaillon, môle d'armement et TCA), il convient de citer aussi Monaco Marine qui correspond au chantier vers lequel pourront être dirigés des navires utilisant le GNL comme carburant.

Ce chantier est localisé en figure suivante.

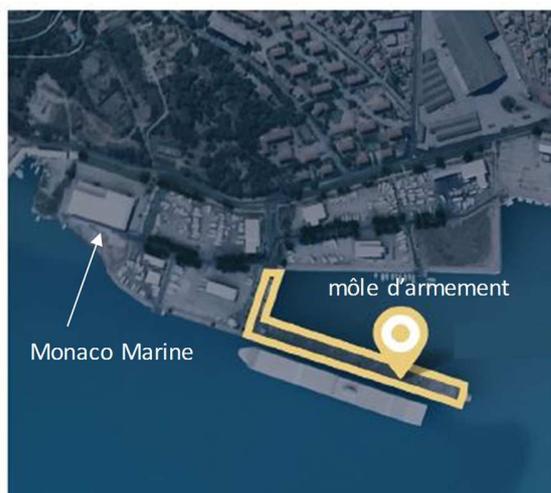


Figure 5 : Localisation approximative du site de Monaco Marine

2.3 ENVIRONNEMENT DES SITES

Relativement à l'environnement des sites, il convient sans doute de relever les éléments ci-après qui correspondent :

- soit à des enjeux à protéger,
- soit à des sites, eux-mêmes potentiellement sièges d'accident pouvant avoir un impact sur une installation contenant du GNL,
- soit aux 2 descriptions données ci-avant à la fois.

Les éléments typiques comme enjeux à protéger sont présentés en figure suivante.

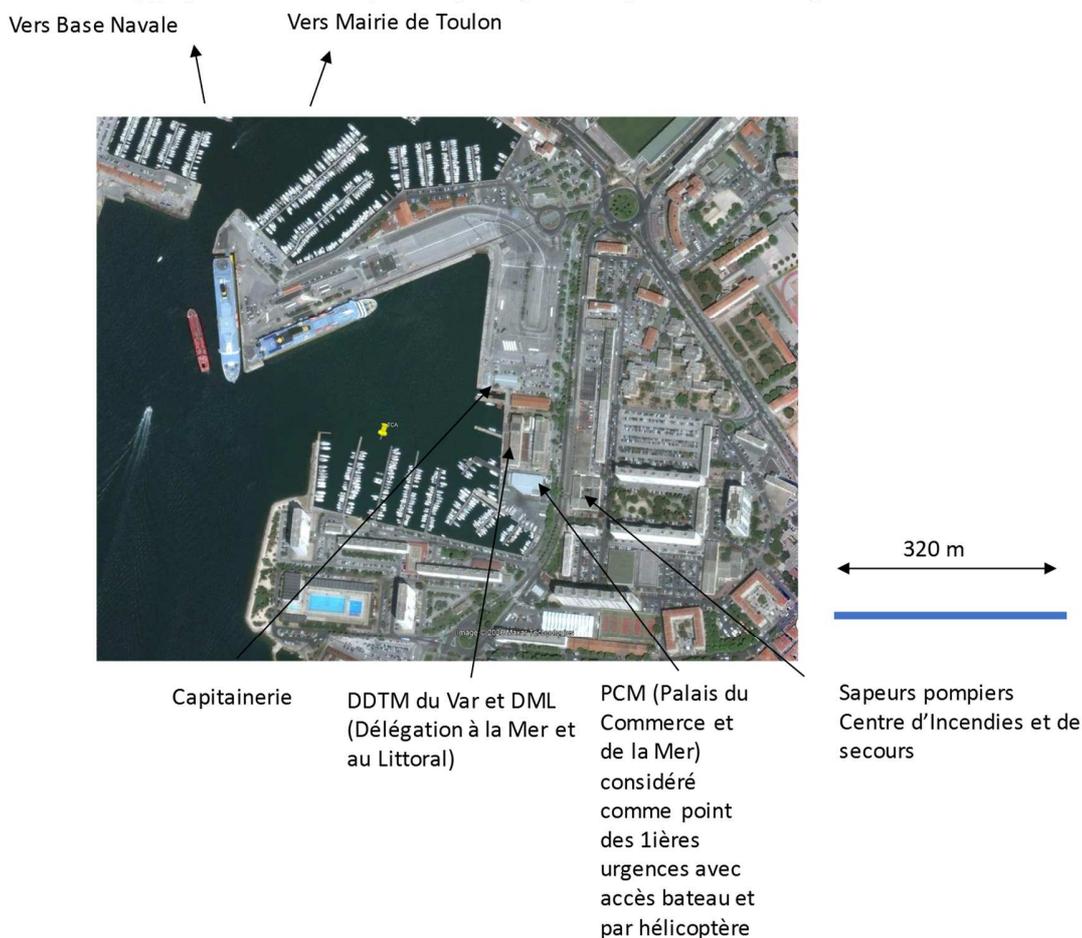


Figure 6 : Enjeux typiques à protéger autour du Terminal TCA

Les éléments typiques comme enjeux à protéger ou sièges potentiels d'accident pouvant avoir un impact sur une installation contenant du GNL sont présentés en figures suivantes.

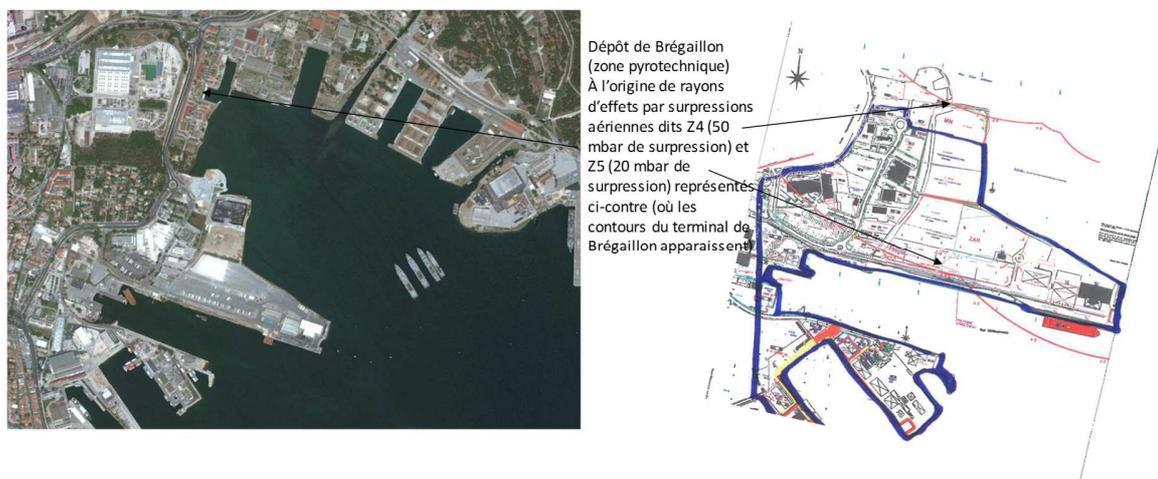


Figure 7 : Terminal de Brégaillon et Dépôt de Bréaillon

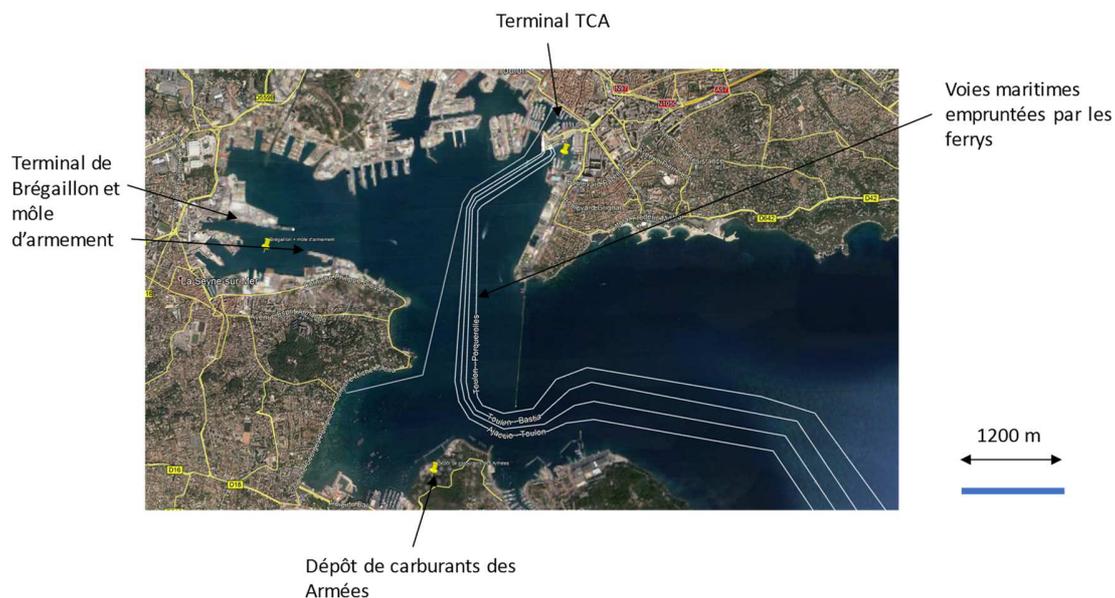


Figure 8 : Dépôt de carburant des armées et voies maritimes des ferrys

3 INSTALLATIONS TYPIQUES

3.1 HYPOTHESES ET DONNEES GENERALES QUANT AUX TRAFICS DE GNL

Les installations et opérations à considérer évoquées en 1.2 sont reprises en figure suivante avec quelques liens fonctionnels.

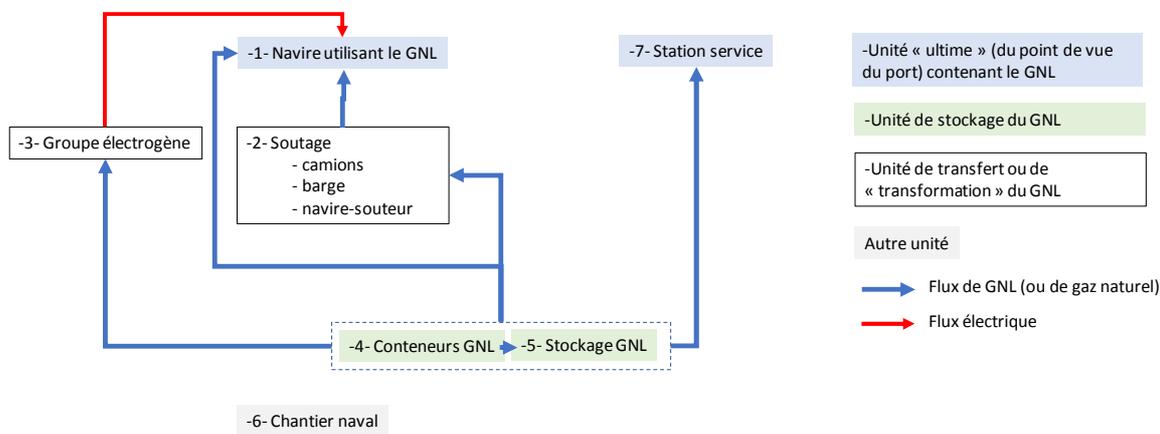


Figure 9 : Installations et opérations à considérer

Les informations en figure précédente sont très qualitatives et pas à considérer de façon stricte car les schémas logistiques ne sont pas définis. A titre d'exemple :

- les opérations de soutage pourront être faites via des camions, eux-mêmes chargés éventuellement hors du port de Toulon,
- elles pourraient aussi être faites, depuis des barges flottantes (citées parmi les unités -2-), qui pourraient aussi de fait officier comme stockage (unités repérées -5-).

Selon les schémas mis en place la représentation en figure précédente pourrait donc être revue/simplifiée.

Ensuite, il est à noter qu'en figure précédente, les moyens ressortent en pratique comme étant dédiés aux 2 unités dites « ultimes » que sont :

- les navires utilisant le GNL comme carburant (unité -1-) qui sont à ravitailler (via les unités -2-, -4- ou -5-) ou à fournir en électricité (via l'unité -3-),
- ou une ou station-service (unité -7-) pour poids-lourds (fonctionnant au GN).

Dans ce contexte, le GNL peut notamment provenir d'un stockage (unité -5-) mais l'approvisionnement de ce stockage ne ressort, en l'état, que via le déchargement de conteneurs³ (unité -4-). Comme il sera vu par la suite, vu les flux en jeu, d'autres moyens d'approvisionnement pourraient être à considérer.

Rebondissant sur la question des flux ou trafic GNL, la CCI du Var a communiqué les éléments repris au tableau suivant.

Type de Navire (-)	Volume de GNL par navire (m ³)	Nbre d'avitaillements (-/ an)	Totaux (m ³ /an)
Ferry	500	230	115000
Ro-Ro ou Lo-Lo	500	160	80000
Grand Navire de croisière	3000	5	15000
			210000

Tableau 1 : Trafic GNL estimé par la CCI du Var

De fait, le tableau précédent n'intègre pas tous les flux que pourraient nécessiter l'usage de groupes électrogènes fournisseurs d'électricité ou encore qui seraient observés en présence de station-service pour les poids-lourds. Il est toutefois admis que les trafics cités au tableau précédent donnent des ordres de grandeurs convenables.

³ Ces conteneurs peuvent aussi de fait constituer des stockages à vider vers les navires.

Ensuite, il n'y a pas, en l'état, d'indications sur le ravitaillement des (éventuelles) unités de stockage du port lui-même :

- celui-ci pourrait concerner un faible volume si les navires demandeurs de GNL sont principalement avitaillés par un souteur venu d'un autre port,
- ou être réparti entre des navires ou des camions-citernes par exemple venant décharger leurs contenus vers des réservoirs de stockage (qui seront eux-mêmes transférés ensuite vers les navires demandeurs)

L'incertitude ci-avant évoquée explique des fourchettes quant aux nombres d'opérations de déchargement de navires transportant du GNL ou de citernes mobiles considérées plus loin dans ce rapport.

3.2 FLUX-CONDITIONS DE PRESSION-TEMPERATURE- DIMENSIONS TYPIQUES

3.2.1 Généralités

Au-delà des grands terminaux méthaniers (actuellement au nombre de 4 en France), disposer de GNL sur un site peut être obtenu à partir de :

- capacités mobiles comme les équipements cités à l'unité -2- (de soutage), qui peuvent provenir d'un port voisin de celui de Toulon,
- capacités transportables comme les conteneurs cités à l'unité -4-, disposés sur une aire,
- ou enfin de stations dites satellites correspondant au stockage GNL, cité à l'unité -5-.

Il est opportun de considérer les stations dites satellites comme un support pour décrire les différentes installations.

En substance, il ressort 3 types de stations selon le « diagramme logistique » retenu, comme cela est illustré au tableau suivant.

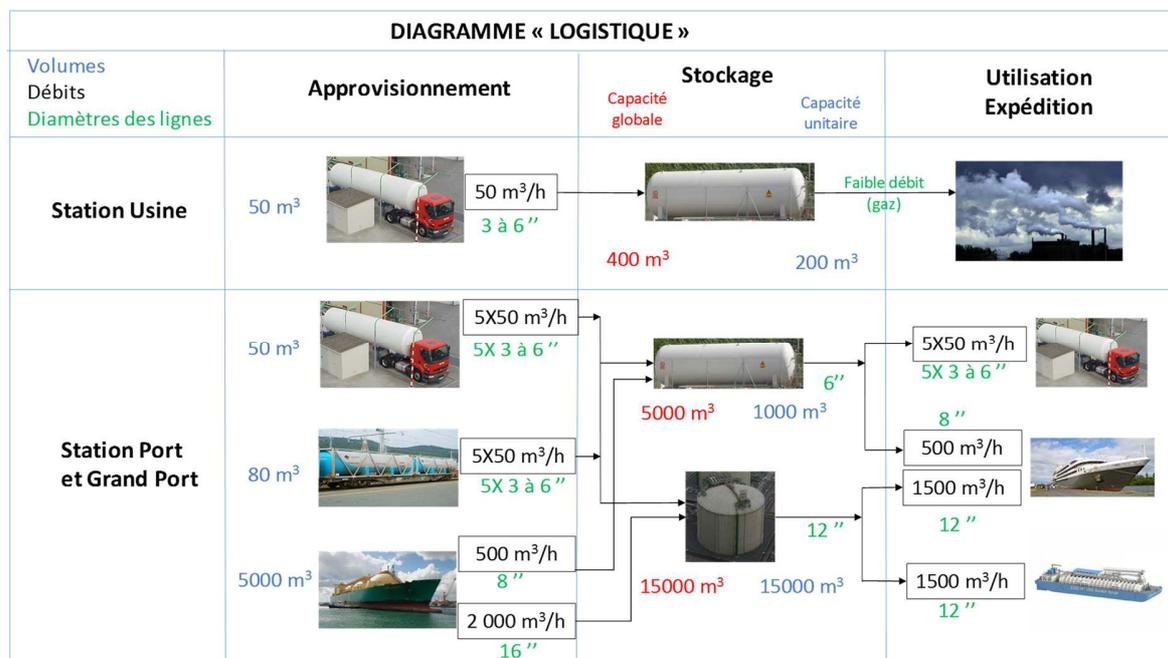


Tableau 2 : Les différentes stations satellites GNL selon la « logistique » à satisfaire

Au tableau précédent, sont fournis divers éléments typiques correspondant à :

- des équipements (réservoirs ou citernes mobiles surtout),
- des dimensions (volumes, diamètre de canalisation, etc.),
- et des débits.

Ces éléments seront exploités par la suite. Des précisions supplémentaires sont en outre données aux sous chapitres suivants. Pour mémoire, ces informations sont tirées de l'expérience de TechnipFMC en tant qu'ingénierie mais aussi d'échanges avec l'AFG (Association Française du Gaz).

3.2.2 Station Usine

La fonctionnalité première d'une station « Usine » est de permettre une alimentation continue de Gaz Naturel à une usine (d'où son nom), un exploitant industriel, situé dans une zone ou région non équipée de réseau de transport ou de distribution de gaz satisfaisant.

Il n'y a pas vraiment d'application de ce type dans le cas du port de Toulon sauf à remarquer que la liaison entre :

- par exemple des conteneurs GNL (unité -4-),
- et un ou des groupes électrogènes

peut finalement être assez comparable à ce qui est observé pour une station usine.

Ensuite, toujours en matière de correspondance entre le port et une station « Usine » générique il peut être relevé les fonctionnalités principales suivantes :

- un Poste de Déchargement de camions-citernes de GNL (n'apparaissant pas en figure 6 mais qui est « potentiel »),
- un Stockage de GNL (unité -5-),
- des Equipements de Contrôle de Pression (Vaporiseur/Event),
- des Pompes de Soutirage (optionnelles),
- 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),
- et des Unités de Contrôle/Sécurité.

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, pour mémoire, le volume maximum envisageable pour un réservoir transportable par route est de 400 m³ (mais il peut s'agir d'un conteneur de 50 m³ ...).

3.2.3 Station Port

La fonctionnalité première d'une station « Port » est d'effectuer le soutage (ravitaillement en GNL carburant) de navires. Cela semble bien correspondre à la situation du port de Toulon.

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 de station est généralement 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.

Une station « Port » générique comporte des équipements communs avec une station « usine (pompes de soutirage, poste de comptage, équipements de contrôle et régulation de la pression, unité de sécurité, etc.) mais aussi les équipements plus spécifiques suivants :

- un Poste de Déchargement Méthaniers,
- des Lignes de Transfert de Déchargement (GNL/GAZ) de longueurs notables (quelques centaines de m typiquement),
- un Poste de Ravitaillement Navire,
- des Lignes de Transfert de Ravitaillement (GNL/GAZ), elles aussi de longueurs notables,
- et un Poste de Chargement Camions-citernes de GNL (optionnel, unité -7-)

Pour ce type de station, la technologie de stockage est généralement un réservoir pressurisé (à double enveloppe). En raison de leurs tailles, les réservoirs pressurisés sont installés horizontalement.

Toutefois, au vu des volumes de stockage de GNL envisagés pour ce type de station (inférieur à 5000 m³), 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 ».

3.2.4 Station Grand Port

La station « Grand Port » générique comporte les mêmes fonctionnalités que la station « Port » décrite ci-avant. En revanche, celles-ci sont adaptées pour le ravitaillement de plus gros navires. Ainsi, les volumes de GNL à transférer aux navires peuvent être très importants. De ce fait, les volumes de GNL à stocker sur la station sont les plus grands envisagés pour ce type d'installation.

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 totale⁴ 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 connections doivent passer par le toit. En conséquence, les pompes de soutirage de GNL doivent être installées dans le réservoir (immergées).

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

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 appelée « Gravity Based Structure », ou GBS, destinée à reposer sur les fonds marins à faible profondeur.

⁴ Réservoirs conçus avec un double confinement, le produit pouvant être contenu en totalité (phases liquides comme vapeurs) dans le second confinement en cas de perte du premier.

4 CLASSIFICATION ET EXAMEN DES DIFFERENTS TYPES DE RISQUES

Au travers des termes du titre de ce chapitre, il est considéré la problématique d'identification des risques/dangers.

Classiquement, celle-ci est faite en examinant :

- a) les dangers liés aux produits,
- b) les dangers liés aux opérations,
- c) et les dangers liés à l'environnement.

Ces étapes sont commentées ci-après. Les accidents passés, observés sur des installations au moins comparables, sont ensuite passés en revue pour vérifier la cohérence avec les éléments ressortant de ces étapes.

4.1 DANGERS LIES AU PRODUIT

4.1.1 Généralités

Le gaz naturel est sans odeur, non corrosif et généralement non toxique par inhalation. Pour sa part, le GNL est l'état liquéfié du gaz naturel et il ne peut exister à pression atmosphérique qu'en le maintenant à une température inférieure à sa température d'ébullition (environ -160°C). Les propriétés du GNL varient avec sa composition. Celles-ci restent toutefois relativement proches de celles du méthane qui constitue le composant majoritaire des différents types de gaz naturels.

4.1.2 Compositions

Le GNL est un mélange de différents composés (voir figure ci-dessous) dont la proportion varie en fonction des caractéristiques du gisement de gaz naturel d'origine. Le méthane reste cependant le composé très majoritaire.

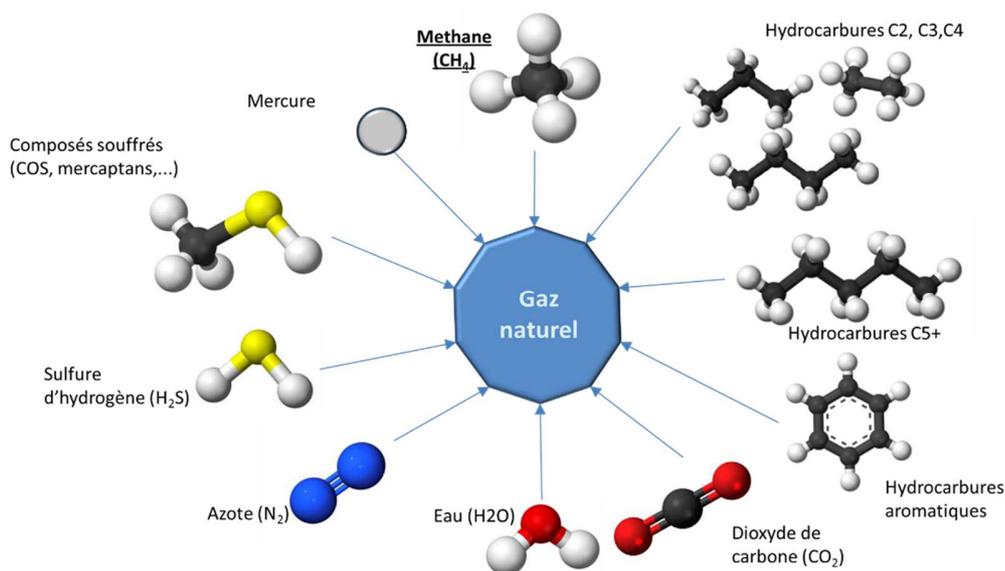


Figure 10 : Composition d'un gaz naturel

Avant liquéfaction, le gaz naturel est traité de sorte que les proportions des différents composants peuvent être modifiées. Ainsi :

- l'eau est extraite pour éviter le gel lors de la liquéfaction,
- le dioxyde de carbone est extrait pour éviter le gel, la corrosion et augmenter la capacité calorifique du gaz naturel,
- les composés sulfurés sont extraits pour éviter les problèmes de corrosion et réduire la toxicité jusqu'à la rendre négligeable,
- l'azote est extrait pour augmenter la capacité calorifique du gaz naturel,
- le mercure est extrait car il peut endommager certains équipements,
- etc...

Des compositions types ne reprenant que les principaux constituants sont fournies dans le tableau ci-après en fonction de l'origine du gaz naturel.

Composants	Pourcentage volumique selon la provenance			
	Trinité et Tobago	Algérie	Nigéria	Oman
Méthane	96.9	87.93	91.692	87.876
Ethane	2.7	7.73	4.605	7.515
Propane	0.3	2.51	2.402	3.006
Butane	0.1	1.22	1.301	1.603
C5+	-	0.61	-	-
Total	100	100	100	100

Tableau 3: Compositions typiques du GNL selon la provenance

Pour mémoire, il est fait une distinction entre :

- le GNL dit « léger » composé à environ 97% (vol.) de méthane,
- et, le GNL dit « lourd » faisant référence aux compositions à environ 88% (vol.) de méthane.

4.1.3 Propriétés physiques

Le tableau suivant permet de comparer quelques propriétés de différents GNL ainsi que du méthane pur.

	Méthane	GNL (Trinité et tobago)	GNL (Algérie)	GNL (Nigéria)	GNL (Oman)
Masse molaire (g/mol)	16.043	16.55	18.77	17.91	18.615
Température d'ébullition à pression atmosphérique (°C)	-161.5	-161.05	-159.9	-160.4	-159.9
Masse volumique du liquide à température d'ébullition (kg/m³)	422.5	430.9	452.9	452.8	463.6
Masse volumique des vapeurs à température d'ébullition (kg/m³)	1.81	1.799	1.783	1.776	1.763
Masse volumique des vapeurs à 20°C	0.6685	0.6894	0.7829	0.7459	0.7751

Tableau 4: Propriétés physiques du GNL selon la provenance

Il ressort ainsi que :

- les propriétés physiques restent globalement comparables à celles du méthane (avec des écarts de moins de 20%),
- la basse température d'ébullition (~-160°C) classe le GNL dans la catégorie des fluides dits « cryogéniques » dès lors qu'il est stocké à pression atmosphérique,
- les vapeurs de GNL à température ambiante sont plus légères que l'air,
- mais qu'à température d'ébullition, elles sont au contraire plus lourdes que l'air ; pour mémoire, ceci a une influence sur le mélange du produit avec l'air en cas de perte de confinement (voir plus loin).

NOTA : la norme ISO 20765-2 :2015 permet de calculer les propriétés thermodynamiques selon la composition du gaz naturel au besoin.

Ensuite, au-delà des propriétés évoquées ci-avant et comme rappelé plus haut, le GNL ou le gaz naturel ont pour propriété essentielle d'être inflammables. Cette propriété est caractérisée au sous chapitre suivant.

4.1.4 Inflammabilité et combustion

Dans ce sous chapitre, sont répertoriées la plupart des propriétés importantes pour l'étude des phénomènes dangereux liés à la combustibilité du GNL.

a) Plage d'inflammabilité

Le gaz naturel ou les vapeurs de GNL, du fait des constituants principaux, sont des gaz inflammables. Un mélange de ces gaz avec l'oxygène de l'air n'est toutefois susceptible de s'enflammer que si la concentration de gaz naturel est comprise dans la plage d'inflammabilité, illustrée en figure suivante.

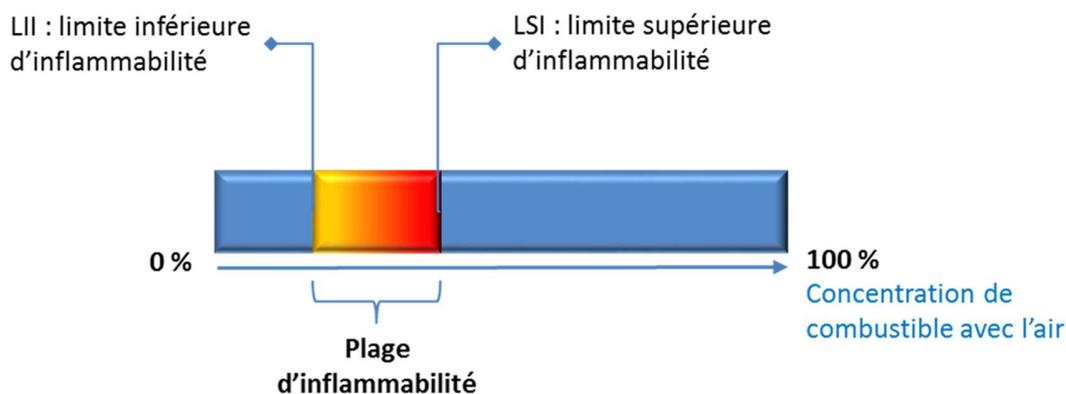


Figure 11: Plage d'inflammabilité

En pratique, la plage d'inflammabilité d'un gaz naturel ou GNL va dépendre de sa composition, mais elle reste relativement proche de celle du méthane, comme en atteste les valeurs indiquées au tableau suivant.

	Méthane	GNL « léger »	GNL « lourd »
Plage d'inflammabilité	5% - 15 % (volumique)	4.9% - 14.9 % (volumique)	4.4% - 14.4 % (volumique)

Tableau 5: Plage d'inflammabilité du GNL

Au sein de la plage d'inflammabilité, se trouve la concentration dite « stœchiométrique » qui est la proportion optimale telle qu'en cas d'inflammation :

- tout le combustible sera brûlé,
- et ce, sans excès et sans défaut d'air ; autrement dit, avec réaction de la totalité de l'air contenu initialement dans le mélange.

C'est généralement à cette concentration que les effets de combustions accidentelles sont les plus dangereux. Pour le méthane, la concentration stœchiométrique est de 9.5% (volumique).

Pour mémoire, les valeurs répertoriées dans le tableau précédent correspondent aux plages d'inflammabilité dans les conditions ambiantes.

Cette plage d'inflammabilité dépend en fait des conditions de pression et température. Les variations typiques de pression et de température ambiantes ne sont pas suffisantes pour la modifier significativement. En revanche en cas de fuite de GNL, la température du mélange gaz naturel (issu de la vaporisation du GNL) / air pourrait être bien inférieure à la température ambiante. Les variations des limites d'inflammabilité à des températures faibles sont données dans les figures suivantes.

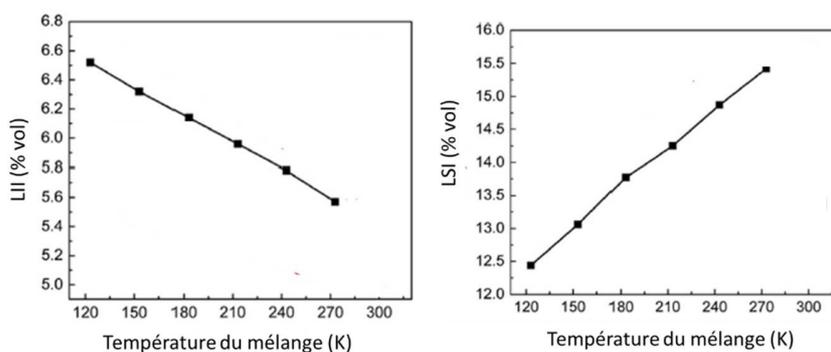


Figure 12: Variation des limites d'inflammabilité aux basses températures

Il est ainsi observé que plus la température du mélange méthane/air est faible et plus la LII augmente et la LSI diminue. En d'autres termes, plus la température du mélange diminue, et plus l'intervalle d'inflammabilité se réduit. Ainsi, à 120 K (ou -153°C) la plage d'inflammabilité du méthane est réduite à l'intervalle entre 6.5% et 12.5% (vol.).

b) Sensibilité à l'inflammation

Les données fournies ici sont caractéristiques du méthane. Elles peuvent être appliquées en première approche au gaz naturel.

L'énergie nécessaire à l'inflammation d'un nuage méthane/air dépend de la concentration en méthane dans le mélange.

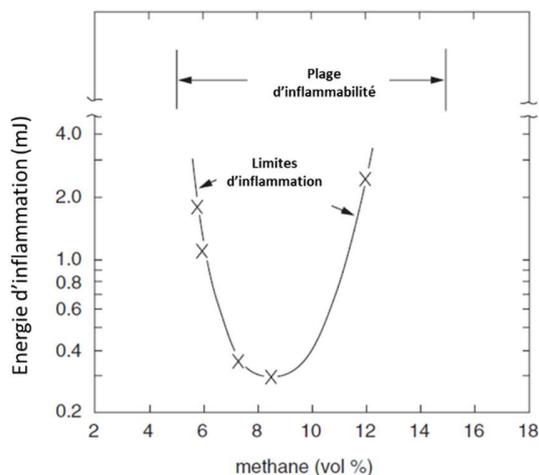


Figure 13: Energie minimale d'inflammation en fonction de la concentration

L'énergie nécessaire à l'inflammation est d'autant plus faible que la concentration en méthane est proche de la concentration stœchiométrique (de l'ordre de 0.3 mJ). Cette énergie minimale peut aussi varier avec la température. Ainsi la figure suivante montre que plus la température du mélange est faible et plus il faut fournir d'énergie pour enflammer le mélange.

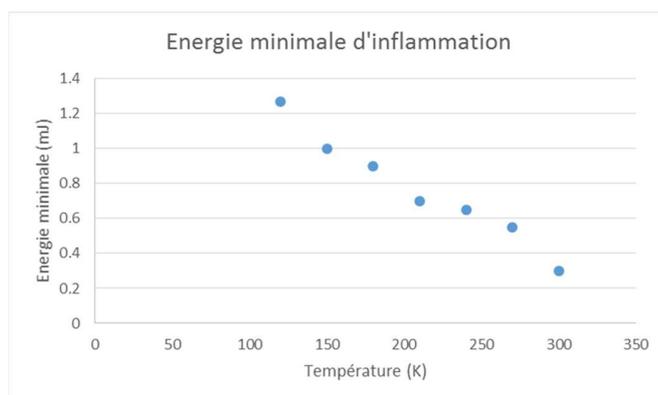


Figure 14: Energie minimale d'inflammation en fonction de la température

Pour mémoire, au-delà des valeurs rappelées ci-avant, le méthane n'est pas réputé comme le gaz le plus sensible à l'inflammation ; des gaz comme l'éthylène ou l'hydrogène sont bien plus sensibles. Il est ainsi classé à réactivité « moyenne » selon la figure suivante. Dans l'ouvrage « Reference Manual Bevi Risk Assessment » (RIVM, 2009) le méthane est classé « faible », relativement à l'inflammabilité.

En pratique, il reste tout de même relativement facile à enflammer puisque les intensités d'énergies d'inflammation mentionnées correspondent en fait à des sources telles que des étincelles mécaniques, des courants vagabonds ou des points chauds.

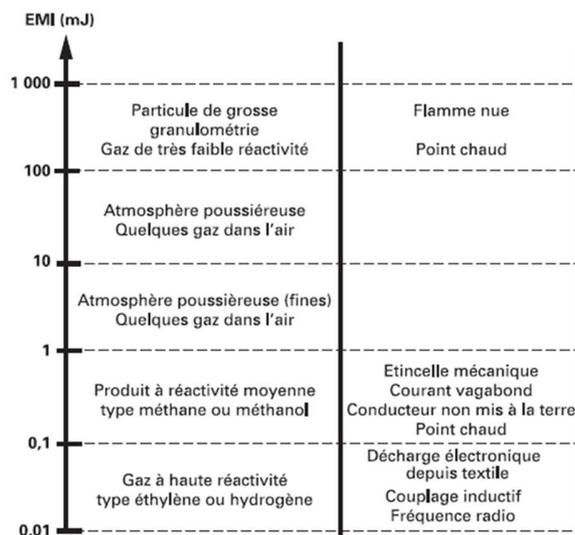


Figure 15: Energie de différentes sources d'inflammation

Remarque : Lorsqu'un mélange inflammable est porté à une certaine température il n'a plus besoin de source d'inflammation pour initier la combustion. Cette température dite d'auto inflammation est de 535°C pour un mélange méthane/air stœchiométrique. Ces conditions ne sont pas susceptibles d'être rencontrées sur les installations considérées, hors situation d'ores et déjà accidentelle.

c) Energie dégagée et vitesse de combustion

Relativement aux situations accidentelles, outre les limites d'explosivité (synonyme d'inflammabilité dans le contexte), 2 propriétés sont importantes : la quantité d'énergie libérée par la combustion et la vitesse à laquelle cette énergie est libérée.

	Méthane	GNL « léger »	GNL « lourd »
Energie de combustion (MJ/kg)	50.04	49.86	49.2

Tableau 6: Energie combustion du GNL selon la provenance

L'énergie de combustion des GNL est globalement fixée par la teneur en méthane. L'écart en termes d'énergie n'est pas significatif du point de vue des phénomènes accidentels.

La vitesse de combustion du méthane rend compte de sa réactivité en cas d'inflammation et par suite a une influence si les conditions d'une explosion sont réunies.

La vitesse de combustion en régime laminaire du méthane avec l'air est de l'ordre de 0.45 m/s. A titre de comparaison, le propane a une vitesse laminaire de 0.52 m/s et l'hydrogène de 1.2 m/s. En ce qui concerne le phénomène dangereux d'explosion, le méthane est considéré comme un gaz à « faible » réactivité. En pratique et à titre d'illustration, il peut être retenu que toutes choses étant égales par ailleurs, il donnera des surpressions inférieures d'environ 40% à une explosion similaire mais impliquant du propane.

4.1.5 Phrases de risques

Les phrases de risques fréquemment retenues selon le règlement CE 1272/2008 lorsque des fiches de sécurité à propos du gaz naturel ou du GNL sont consultées sont les suivantes :

- H220 : gaz extrêmement inflammable,
- 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.

La 1^{ière} phrase ci-avant est bien sûr liée aux propriétés évoquées au sous chapitre précédent. Elle implique les dangers :

- d'incendie, qui comme vu plus loin peuvent se présenter sous forme de jets enflammés ou de feux de nappe,
- et aussi d'explosion en cas de mélange avec l'air préalablement à l'inflammation ; ce type d'explosion est appelée VCE, pour « Vapour Cloud Explosion ».

Les 2 phrases suivantes sont liées aux conditions de procédé usuelles. Pour être disponible en quantité convenable au regard des besoins, le gaz naturel est en effet :

- soit stocké sous pression,
- soit liquéfié (c'est alors du GNL), à température très basse (-160°C environ).

Les dangers associés à ces différents états sont détaillés au sous chapitre suivant.

4.2 DANGERS LIES AUX PROCEDES

Sans entrer dans les détails de toutes les opérations, les procédés consistent en l'occurrence principalement en :

- des opérations de transfert,
- ou de stockage

comme en atteste la figure 6.

Les principaux dangers liés aux opérations de transfert sont considérés d'abord, puis ceux liés aux différents types de stockage (pressurisé ou non) sont abordés.

Aucun chapitre n'est consacré aux dangers, pourtant effectifs, à associer aux fuites depuis des soupapes (défectueuses), des défauts d'étanchéité entre 2 équipements, etc.

Par ailleurs, le GNL, comme tous les gaz liquéfiés, ne doit pas être contenu dans un tronçon de tuyauterie susceptible d'être totalement fermé et exposé à la chaleur de l'environnement, sous peine de montée en pression jusqu'à rupture. De la même façon que pour les défauts d'étanchéité, ce point -pourtant important- ne sera pas plus développé.

4.2.1 Dangers liés aux transferts

D'une façon générale, les transferts entre capacités impliquent des risques de sur-remplissage des capacités réceptrices. Un sur-remplissage conduit ensuite à :

- un écoulement de liquide dans les tuyauteries dédiées à la phase vapeur lorsque les phases vapeurs des 2 capacités (celle déchargée et celle en réception) sont reliées ; ce type d'événement peut être sans conséquence,
- un débordement par les soupapes si les phases vapeurs n'ont pas été reliées, et par suite il y a dangers d'incendie ou de VCE,
- et, à l'extrême, à l'endommagement de la capacité réceptrice, pouvant aller jusqu'à sa rupture ; les dangers sont alors ceux exposés aux sous chapitres suivants, selon la nature du stockage.

La particularité des débordements tient dans le fait que les rejets accidentels sont alors en hauteur et dirigés verticalement depuis des soupapes ou événements.

Ensuite, vu la figure 6, bien des opérations de transfert font intervenir au moins une capacité mobile (citerne d'un camion, navire souleveur, etc.). Dans ce type de configuration, le risque de rupture du bras ou du flexible de transfert est notable en raison d'un mouvement non maîtrisé d'une capacité mobile. Dans le contexte, certains transferts concernent des navires. Il s'ensuit qu'en cas de rupture du bras ou flexible, le GNL rejeté accidentellement pourra tomber à l'eau. Par suite, il pourra être observé un VCE après inflammation du mélange de vapeurs et d'air et un feu de nappe sur l'eau. Cela étant un autre danger, décrit ci-après, est à considérer au préalable dans ce type de situation.

Le GNL se trouve généralement à une température de -160°C . Au contact avec l'eau, à température ambiante, les transferts de chaleur intenses peuvent engendrer une vaporisation très « brutale » du GNL. Le changement de phase puis l'expansion des vapeurs à l'atmosphère peut ensuite « repousser » l'air ambiant avec suffisamment de force pour engendrer des ondes de pression (ou de choc) et par suite s'apparenter à une explosion. Celle-ci est alors souvent appelée RPT (de l'anglais « Rapid Phase Transition⁵ »).

4.2.2 Stockage pressurisé

Les conditions de Pression-Température pour ce type de stockage sont de :

- quelques bar relatifs, typiquement , 3 (mais des pressions de 8 à 11 bar relatifs sont possibles),
- et la température correspondant aux conditions d'équilibre thermodynamique, à savoir -140°C environ pour la pression relative susmentionnée par exemple.

Le stockage sous pression -mais aussi les transferts par pompe, les écoulements en vaporisateur et autre réchauffeur, en stockage fixe ou dans une citerne, etc.- implique plusieurs dangers :

- en cas de perte « brutale » de confinement, potentiellement, une masse importante de gaz initialement sous pression tendra à occuper un volume beaucoup plus grand dans l'atmosphère ; une telle expansion volumétrique s'opère « en repoussant » l'air et cela s'accompagne d'ondes de choc qui peuvent elles-mêmes engendrer des dommages ; ce type de phénomène est parfois appelé « explosion pneumatique »,
- en outre, dans le cas de GNL, l'expansion volumique susmentionnée peut concerner la phase vapeur (le gaz) mais aussi la phase liquide (liquéfiée en pratique) ; pour celle-ci

⁵ Cela fait référence au passage de la phase liquide à la phase vapeur.

l'expansion volumique est même encore plus notable ; le phénomène est alors appelé BLEVE,

- en cas de perte de confinement moins « brutale », limitée à une canalisation ou une fraction de section de rejet dans une canalisation sous pression, le LNG rejeté sera animé d'une quantité de mouvement notable ; l'écoulement observé sera un jet et ce type d'écoulement a une influence sur la masse explosible (avec l'air), la distance comptée depuis le jusqu'où un mélange est explosible, etc.,

En cas d'inflammation concomitamment ou postérieurement à une perte de confinement, il convient de considérer des effets thermiques liés à:

- une boule de feu (en cas de BLEVE),
- un jet enflammé, et potentiellement (voir plus loin), un feu de nappe.

Si l'inflammation est observée après mélange avec l'air et formation d'un volume explosible, des flammes se propageront au travers de celui-ci avec :

- à nouveau des effets thermiques,
- mais aussi, selon la vitesse des flammes, des effets de pression.

Dans ce dernier cas, appelé VCE comme indiqué plus haut, les effets de pression sont dus à l'expansion volumique liée au passage d'un mélange méthane-air à température ambiante ou en dessous de l'ambiante à un mélange de gaz brûlés, beaucoup plus chauds.

4.2.3 Stockage non pressurisé

Les conditions de Pression-Température pour ce type de stockage sont de :

- une pression voisine de la pression atmosphérique et limitée à 0.1 ~0.15 bar (relatif),
- et, à nouveau, la température correspondant aux conditions d'équilibre thermodynamique, et soit donc proche de -160 °C.

Les conditions de procédé ou de stockage dites cryogéniques (avec des températures voisines de -160 °C) impliquent plusieurs dangers ou risques.

Tout d'abord, il convient de citer les transferts « intenses » de chaleur entre :

- le GNL, très froid,
- et les matériaux à température ambiante, dont notamment des métaux,

en cas de contacts accidentels. Ceux-ci peuvent être observés :

- en cas de perte de confinement et d'écoulement du GNL non maîtrisé vers un réservoir contenant un autre produit dangereux, un élément important (comme la coque d'un navire), etc.,
- ou encore, sans fuite préalable, lorsque du GNL est soudainement dirigé (et à fort débit) vers une canalisation, dédiée au GNL, initialement à température ambiante ; ce type de situation est propice à la fragilisation⁶ du métal de la canalisation et à une fuite.

Comme évoqué plus haut, lorsque les transferts de chaleur sont en plus promus par une surface de contact importante observée par exemple lorsque le GNL(froid) se mélange à de l'eau (à température ambiante), il y a alors risque de RPT et par suite d'effets de pression.

Enfin, les stockages de GNL cryogéniques peuvent être sièges du phénomène dangereux appelé Roll-Over. Sans entrer dans les détails, ce phénomène est succinctement décrit ci-après :

- un réservoir de GNL peut comporter différentes strates ou couches de liquide se trouvant dans des conditions de pression-température différentes (la couche inférieure est sous la pression hydrostatique des couches supérieures -et est par suite plus élevée- et les températures, voire les compositions du GNL, peuvent varier d'une couche à l'autre),
- dans certaines conditions, les couches supérieures, initialement moins denses, peuvent s'alourdir,
- alors que dans le même temps, les couches inférieures, initialement plus denses peuvent s'alléger,
- ce processus peut perdurer jusqu'à ce que les positions des couches s'inversent, les couches du haut passant en bas et celles du bas remontant vers le haut (d'où la désignation « Roll-Over »),
- or, la remontée des couches inférieures peut s'accompagner d'une vaporisation assez massive pour, dans certains cas, endommager les dômes des réservoirs.

⁶ Normalement évitée grâce aux procédures de mise-en-froid progressives (et pas brutales).

Tous les phénomènes précédents sont cités pour mémoire car :

- ils permettent de mieux comprendre le déroulement de certains accidents,
- méritent d'être cités car spécifiques au procédé avec des conditions cryogéniques (comme les RPT) mais ne sont pas dimensionnants par rapport aux phénomènes de jets enflammés, de BLEVE ou de VCE déjà cités plus haut
- ou car ils concernent a priori des réservoirs de plus grande taille que ceux considérés (pour le phénomène de Roll-Over).

Ils ont des portées directes moins importantes que les incendies ou VCE et ne seront donc plus évoqués par la suite.

4.3 DANGERS LIES A L'ENVIRONNEMENT

4.3.1 Dangers liés aux conditions naturelles

Les principaux éléments à considérer sont :

- l'inondation ou submersion,
- la foudre
- et le séisme

D'autres éléments comme des vents ou températures extrêmes peuvent entrer dans une analyse des risques mais ils sont couramment pris en compte par les règles générales de construction.

L'inondation ou le séisme sont des phénomènes naturels à même d'engendrer les fuites majeures, et par suite les phénomènes dangereux (VCE et jet enflammés) déjà évoqués. La foudre peut à la fois endommager des équipements et provoquer des fuites mais aussi être source d'inflammation.

Ces éléments n'amènent pas de phénomènes dangereux liés au GNL, non déjà évoqués.

En revanche, ils doivent être maîtrisés par d'éventuelles mesures spécifiques.

Ainsi, pour la maîtrise des risques d'inondation, des dispositions peuvent être prises pour supporter :

- les efforts verticaux dus à la poussée d'Archimède dans le cas des réservoirs sous pression,
- les efforts horizontaux dus au courant, aux embâcles pour tous les réservoirs,...

De la même façon, en France, les installations font obligatoirement l'objet d'une « Etude Foudre ».

S'agissant du séisme, toujours en France, lorsque la capacité de stockage excède 50 t des règles de dimensionnement au séisme doivent être satisfaites. En substance, l'analyse de risques doit déterminer si une défaillance d'équipements à la suite d'un séisme conduit à un scénario avec effets graves⁷ sur une zone à « occupation humaine permanente ». Un tel scénario implique alors de dimensionner l'équipement (réservoirs, canalisations, ...) à un séisme dont les caractéristiques sont fixées dans la réglementation.

4.3.2 Dangers liés aux activités anthropiques

Les activités à prendre en compte sont généralement :

- le transport,
- et les activités industrielles voisines.

Un événement accidentel depuis ce type d'environnement n'engendre pas de phénomènes dangereux impliquant le GNL, non déjà évoqués.

En revanche, des dispositions de maîtrise des risques peuvent être prises pour :

- limiter les risques de collisions associés au transport,
- et, le cas échéant, les risques d'effets dits dominos, déclenchés par un accident au sein des installations voisines.

En pratique, il s'agit le plus souvent de choix dans les implantations.

⁷ Comprendre effets à même d'engendrer au moins 1% de létalité sur la population exposée.

4.4 ACCIDENTOLOGIE

Sur une période de 50 ans environ, il peut être relevé les accidents succinctement décrits au tableau suivant. Les installations, sièges de ces accidents, sont qualitativement comparables avec celles envisagées dans cette étude « à un facteur d'échelle près », parfois. En pratique, bien des accidents ont en effet été observés sur des terminaux méthaniers, a priori plus importants en matière par exemple de capacité de stockage qu'une station Grand Port.

Date	Lieu	Installations	Phénomènes	Causes possibles
2015	Barcelone	Terminal GNL	Sur-remplissage cuve de navire	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
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

Date	Lieu	Installations	Phénomènes	Causes possibles
1991	-	Terminal GNL	Dommages sur rack sans fuite	Mouvement de grue
1989	Algérie	Méthanier en chargement	Rupture d'amarrage avec fuite sur bras/tuyauterie	Vent fort
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	Dommages sur canalisations sans fuite	Chute de grue (sol de mauvaise qualité)
1985	-	Terminal GNL et méthanier en déchargement	Fuite sur pont avec dommages	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
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

Date	Lieu	Installations	Phénomènes	Causes possibles
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 7 : Retours d'expériences impliquant des installations GNL dans des ports

En matière d'enseignements, et même s'il ne peut être dégagé de statistiques détaillées d'éléments aussi parcellaires que ceux-ci-avant, il ressort tout de même que :

- des fuites ont régulièrement été observées lors des opérations de transfert entre navires et quais (cf. 4.2.1),
- les cas de sur-remplissage (avec comme conséquence des fuites) lors des opérations de réapprovisionnement des unités des stockage ont été observés (cf. 4.2.1 à nouveau),
- des fuites ont été initiées par diverses causes, pas spécialement spécifiques au GNL (Chute de grue par exemple), sauf peut-être lorsque la mise en froid (procédure défectueuse, contraintes thermiques ? comme évoqué en 4.2.3) est citée.

Par ailleurs, il est aussi à relever qu'il n'y a pas de cas de BLEVE même si 2 accidents de ce type ont été observés sur des camions-citernes. Ces cas (observés en Espagne) ne figurent pas dans le tableau précédent car ils se sont produits sur la voie publique, sur des camions à simple enveloppe de type « calorifugé ». Pour mémoire, plusieurs terminaux méthaniers en Europe interdisent l'accès à leurs installations à ces véhicules dont la technologie est aujourd'hui interdite par l'ADR pour les nouveaux véhicules.

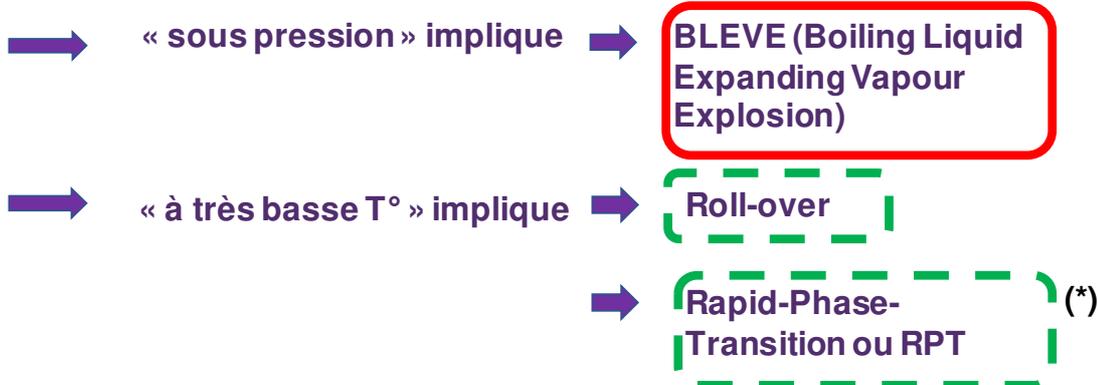
4.5 SYNTHÈSE

Il ressort finalement les phénomènes dangereux tels qu'illustrés en figure suivante.

Dangers liés au GNL : combustible !



Dangers liés aux procédés : sous pression ou à T° très basse



Ph. Dangereux aux effets les plus importants

Ph. Dangereux aux effets moins importants

(*) Ph. dangereux qui peuvent être observés après une fuite. Les fuites de plus grandes tailles seront les plus graves mais sont moins fréquentes. Les fuites de tailles moins élevées sont d'effets moindres mais de fréquences souvent plus grandes

Figure 16 : Phénomènes dangereux

Les principaux phénomènes dangereux à retenir sont ensuite « situés » en figure suivante.

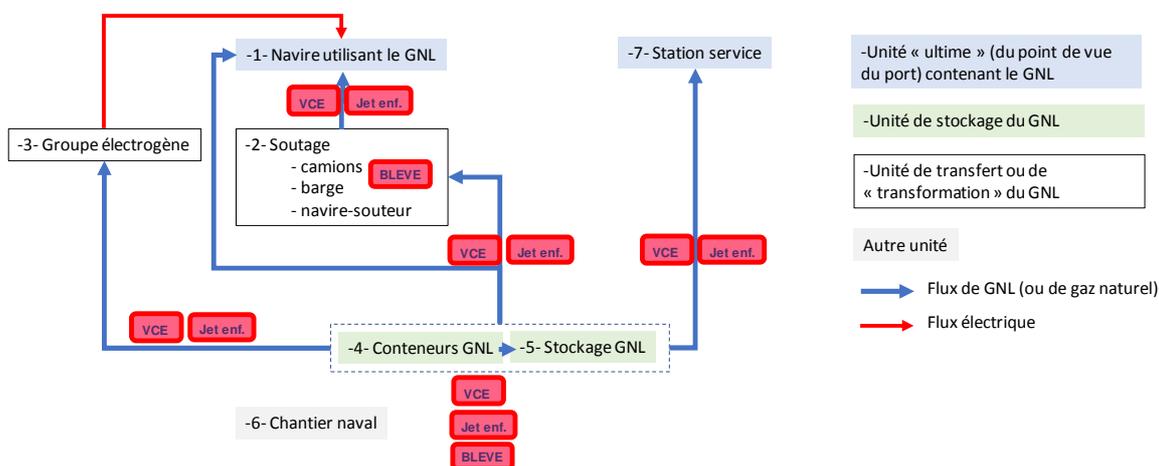


Figure 17 : Phénomènes dangereux replacés dans le contexte

Au-delà de la figure précédente relativement synthétique, il convient de rapprocher :

- les informations consignées au chapitre 3 sur les installations (diamètre de canalisation, flux typiques, etc.),
- et celles émergeant du présent chapitre pour définir les cas à étudier en couvrant un spectre le plus étendu possible des différentes conditions.

Ces rapprochements sont présentés et justifiés au tableau suivant.

Au sein de ce tableau, s'agissant de fuites, il sera souvent fait référence aux fuites majeures dites:

- 10 % section,
- ou 100 % section.

Le terme « section » désigne alors la section droite des canalisations. De fait, les fuites 10 % section désignent alors des fuites plus modestes que celles à 100 % section, toutes choses égales par ailleurs. Dans le contexte, la désignation « 100 % section » est retenue pour des circonstances de fuite de type rupture guillotine ou arrachement⁸ avec séparation complète

⁸ S'agissant des flexibles et bras de transfert, il ne sera implicitement fait référence qu'à des fuites 100 % section, soit la rupture totale des flexibles ou bras, suite à un mouvement excessif de la capacité mobile (camion, barge, navire, ...).

d'une canalisation en 2 portions. Dans de telles conditions, le GNL peut s'échapper depuis chacune des 2 portions et la section totale de fuite correspond à 2 fois la section droite, soit 200 % de celle-ci. La désignation « 100 % section » est donc quelque peu inexacte.

Conditions de Stockage	PhD ⁹	N° de cas	Dimension ou Volume	Contexte	Remarque	
Pressurisé	BLEVE	1	50 m ³	Cas typique d'une citerne routière		
		2	110 m ³	Cas typique d'une citerne ferroviaire		
		3	200 m ³	Cas typique d'un stockage pressurisé en station Usine ou Port		
		4	1000 m ³	Cas typique d'un stockage pressurisé de grande capacité en station Port		
Pressurisé	Rejet à l'atm. puis VCE	5	65 mm	Cas typique d'une fuite dite « 100 % section » d'un flexible utilisé au déchargement de camions-citernes Cas 5 et 6 comparables mais il est admis une maîtrise de la fuite en 30 s au cas 5. Au cas 6, il est admis une durée « longue » de fuite.	Au-delà du temps de fuite, d'autres différences entre les cas 5 et 6 ont été considérées mais elles sont expliquées plus loin.	
		6				
		7	80 mm	Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un flexible utilisé au déchargement de camions-citernes en station Port		Cas 5 à 8 pour des fuites depuis des flexibles ou bras
		8	200 mm	Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au déchargement d'un navire en station Port		

⁹ « PhD » pour « Phénomène Dangereux ».

Conditions de Stockage	PhD ⁹	N° de cas	Dimension ou Volume	Contexte	Remarque
Pressurisé	Rejet à l'atm. puis VCE	9	25 mm	Cas typique d'une fuite dite « 10 % section » depuis une canalisation de GNL de 3''	Cas 9 à 12 pour des fuites depuis des tuyauteries
		10	66 à 80 mm	Cas typique de fuites : - dite « 10 % section » depuis une canalisation de GNL de 8'', - ou « 100% section » depuis une canalisation de diamètre voisin de 3''	
		11	150 mm	Cas typique de fuites « 100% section » depuis une canalisation de diamètre voisin de 6''.	
		12			
Pressurisé	Rejet à l'atm. puis VCE	13	50 mm	Cas typique de débordement depuis une soupape, en stations Usine ou Port.	
		14	n ¹⁰ *67 mm	Cas typique de débordement en station Port.	

¹⁰ « n » correspond ici à un nombre de soupapes, disposées en parallèle, potentiellement sur plusieurs réservoirs.

Conditions de Stockage	PhD ⁹	N° de cas	Dimension ou Volume	Contexte	Remarque
Pressurisé	Jet enflammé	15	25 mm	Cas permettant de balayer la gamme des fuites majeures, avec inflammation, pouvant conduire à jet enflammé.	
		16	Typique d'un débit d'une pompe		
		17	66 mm		
		18	132 mm		132 mm correspond au diamètre d'une fuite de « 10 % section » depuis une canalisation de 16 '' (dimension extrême dans le contexte) mais est aussi voisin du diamètre de fuite « 100 % section » depuis des canalisations plus courantes.

Conditions de Stockage	PhD ⁹	N° de cas	Dimension ou Volume	Contexte	Remarque
Non pressurisé	Rejet à l'atm. puis VCE	19	200 mm	Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au déchargement d'un navire en station Grand Port.	Cas 19 à 22 pour des fuites depuis des bras
		20		Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au chargement d'un navire type Ferry en station Grand Port.	
		21	300 mm	Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un bras de plus grandes dimensions utilisé au déchargement d'un navire en station Grand Port.	
		22		Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au chargement d'un navire type Grand Navire en station Grand Port.	

Conditions de Stockage	PhD ⁹	N° de cas	Dimension ou Volume	Contexte	Remarque
Non pressurisé	Rejet à l'atm. puis VCE	23	66 mm	Cas typique d'une fuite dite « 10 % section » depuis une canalisation de GNL de 8'' Les cas 23 et 24 diffèrent par les temps de fuite et le fait de contenir ou pas l'épandage accidentel de GNL (voir plus loin) en « pipeway »	Fuites depuis des tuyauteries de fort diamètre pouvant aussi correspondre à des canalisations dites de transport.
		24			
		25	100 mm	Idem cas précédents sauf qu'il s'agit ici d'une canalisation en 12''	
		26			
		27	132mm	Idem cas précédents sauf qu'il s'agit ici d'une canalisation en 16''	
		28			

Tableau 8 : Liste des scénarios dits majeurs d'accident à même de « couvrir » différentes situations possibles

5 CARACTERISATION DES RISQUES

5.1 GENERALITES

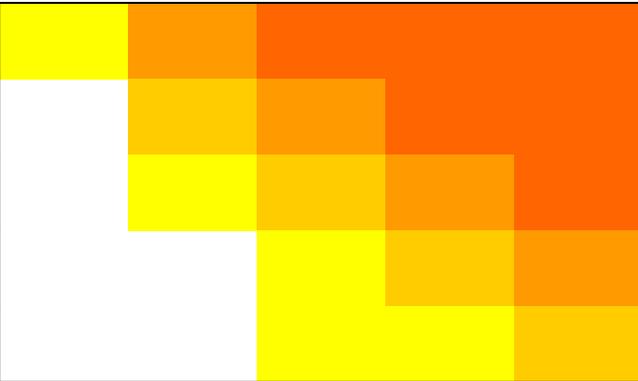
Les risques sont généralement caractérisés selon des évaluations à « 2 dimensions », avec :

- la probabilité ou fréquence selon laquelle des accidents ou phénomènes dangereux peuvent être observés,
- et la gravité des effets associés à chaque type d'accident ou phénomène.

A titre d'exemple, selon la réglementation des ICPE, la matrice reportée en figure suivante est retenue en France pour reporter les évaluations de risques et statuer sur leur acceptabilité.

Echelle de fréquence quantitative **Echelle de fréquence qualitative** **Niveau de fréquence**

NON : risque croissant du rang 1 au rang 4
MMR (Mesures de Maîtrise des Risques) : risque croissant du rang 1 au rang 2
RA : Risque acceptable

$> 10^{-2}$	Événement courant sur le site considéré	Occasionnel	A					
$10^{-3} < P < 10^{-2}$	Événement s'étant déjà produit sur le site	Peu fréquent	B					
$10^{-4} < P < 10^{-3}$	Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité	Rare	C					
$10^{-5} < P < 10^{-4}$	Événement s'étant déjà produit, mais ayant fait l'objet de mesures correctives significatives	Extrêmement rare	D					
$< 10^{-5}$	Événement non rencontré au niveau mondial, mais non impossible au vu des connaissances actuelles	Rarissime	E					
			Niveau de gravité	1	2	3	4	5
				Modéré	Sérieux	Important	Catastrophique	Désastreux
<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> Si le nombre d'accidents MMR rang 2 associés à une exposition aux effets létaux > 5 alors le risque global est équivalent à un accident NON rang 1 </div>			Effets létaux significatifs	Néant	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées	Plus de 10 personnes exposées
			Premiers effets létaux	Néant	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées
			Effets irréversibles	Moins d'1 personne* exposée	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées

RA
MMR: Mesure de Maîtrise des Risques MMR Rang 1
MMR Rang 2
RA : Risque acceptable NON Rang 1
NON Rang 2

Figure 18 : Matrice dite « MMR » retenue en France pour évaluer la criticité des risques d'une ICPE sur son environnement.

L'objet n'est pas de détailler ici l'utilisation de la matrice présentée en figure précédente qui est spécifique à:

- la France,
- et à la maîtrise des risques technologiques autour des ICPE.

Toujours en France, dans le cas de canalisations de transport de matières dangereuses (cas de certaines tuyauteries de GNL) ou dans le cas d'infrastructures comme des zones de transit de matières dangereuses dans certains grands ports, il est fait référence à des matrices différentes.

Celles-ci diffèrent de celle en figure précédente dans les échelles de fréquence ou de gravité ou dans l'appréciation des risques (acceptables ou pas ou selon conditions).

Dans d'autres pays d'Europe, les risques peuvent être caractérisés à partir d'autres moyens encore.

Toutefois, quel que soit le cas (pays, réglementation appliquée, etc.), il reste que la caractérisation des risques passe par une évaluation « à 2 dimensions » : des fréquences et des gravités.

Au présent document, il sera fait référence aux classes de fréquence définies en figure précédente. Même si les fréquences ne sont pas partout classées de cette façon, il peut être déduit des fréquences exprimées en occurrences par an (au moins en ordre de grandeur), ce qui est une unité universelle.

En revanche, s'agissant de niveaux de gravité, il ressort que ceux-ci dépendent de :

- la portée ou distance d'effets (comme la létalité),
- mais aussi du nombre de personnes exposées aux effets et des critères retenus pour considérer les différents niveaux (comme 1, 10 ou 100 personnes exposées).

Les niveaux de gravité de la figure 18 dépendent donc de l'environnement et de critères propres à une réglementation. Ces grandeurs ne sont pas universelles. Dans ces conditions, au présent document, les gravités seront évaluées à partir de distances d'effets, exprimées en m, et en tenant compte des seuils consignés au tableau suivant.

Type d'effets	Seuil des effets létaux dits significatifs ou SELS	Seuil des 1 ^{iers} effets létaux ou SEL	Seuil des effets létaux irréversibles (autres que létaux) ou SEI
Thermiques dus à une exposition dépassant 2 minutes	8 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²
Thermiques dus à une exposition inférieure à 2 minutes	1800 (kW/m ²) ^{4/3} .s	1000 (kW/m ²) ^{4/3} .s	600 (kW/m ²) ^{4/3} .s
Thermiques dus à VCE	Distance à la LIE	Distance à la LIE	Distance à la LIE majorée de 10%
Mécaniques dus aux surpressions	20 kPa	14 kPa	5 kPa

Tableau 9 : Seuils critiques d'effets en fonction des expositions dangereuses

Pour mémoire :

- le seuil SELS correspond à 5 % d'effets létaux possibles pour une population exposée à ce seuil,
- le seuil SEL correspond à 1 % d'effets létaux possibles ou l'apparition d'effets létaux pour une population exposée à ce seuil,
- le seuil SEI correspond typiquement à des effets avec séquelles pour une population exposée à ce seuil

Enfin, plusieurs types d'effets thermiques sont distingués (exposition de moins ou plus de 2 min, exposition aux flammes d'un VCE) car les variables pertinentes (flux thermiques, positions des flammes, etc.) à considérer pour prévoir les effets varient selon les cas.

5.2 GRAVITE DES PHENOMENES DANGEREUX

5.2.1 Hypothèses et approche de calculs

Ce sous chapitre présente succinctement les modèles-type utilisés dans les étapes successives de calculs des distances d'effets. Ces modèles sont mis en œuvre principalement au moyen du logiciel PHAST (version 6.7). Pour mémoire, ce logiciel est, de loin, le plus utilisé en France

pour évaluer les distances d'effets mentionnées dans les Etudes des Dangers. Son usage est aussi très courant¹¹ dans les pays de l'UE.

Sont également fournies des valeurs-guide de certaines données d'entrée, des hypothèses, etc.

a) Terme-source (débit à la brèche)

Les débits à la brèche sont calculés au moyen des modèles programmés dans le logiciel PHAST. Pour mémoire, dans le cas de GNL, l'écoulement avant la brèche est souvent diphasique avec à la fois du GNL (phase liquide) et du GN (phase gaz).

Pour les fuites majeures dites 100 %, il est admis 2 tronçons avec rejet de part et d'autre du lieu d'accident. Les 2 « contributions » sont prises en compte en combinant celles-ci, ce qui revient notamment à considérer la somme des débits de fuite, tous 2 orientés dans la même direction.

En cas de fuite majeure au refoulement des pompes, il est courant d'observer un « emballement » de celles-ci avec des débits plafonnés par leurs régimes de fonctionnement. En l'absence d'abaque de fonctionnement, des coefficients multiplicateurs forfaitaires sur le débit nominal suivant peuvent être retenus :

- Cas de GNL pressurisé : coefficient = 2,
- Cas de GNL non pressurisé : coefficient = 1.2.

b) Vaporisation avec épandage au sol

Dans le cas de GNL pressurisé (pression de vapeur saturante > 3 bar rel.), les résultats obtenus au moyen des modèles montrent une dispersion majoritairement par aérosols et un épandage au sol relativement faible.

Dans le cas du GNL non pressurisé (pression de vapeur saturante < 0.2 bar rel.), les résultats obtenus au moyen des modèles montrent cette fois un épandage au sol important. Les calculs correspondent alors à une situation avec extension (en l'absence de rétention) d'une nappe de liquide à ébullition. L'épaisseur de la nappe a été admise d'au maximum :

¹¹ Ce logiciel est distribué sous plusieurs variantes telles que celles repérées PHAST et aussi PHAST-RISK par exemple. En pratique, les modèles programmés sont très comparables.

- 1 cm pour un sol bétonné,
- 3 cm pour un sol fait de tout-venant
- et plus de 10 cm pour un sol sablonneux.

Dans ces conditions, le débit d'évaporation variable est calculé en fonction des apports thermiques du sol et de l'atmosphère. Le sol étant peu conducteur, le débit d'évaporation est généralement modéré.

c) Vaporisation avec épandage sur l'eau

Le comportement est similaire au cas au sol précédent. Dans le cas du GNL non pressurisé, l'épandage sur eau est important et il y a alors un traitement spécifique de la vaporisation sur eau.

Lorsque les modèles du logiciel PHAST sont retenus, il est calculé un débit d'évaporation du liquide en ébullition par un coefficient d'échange constant avec l'eau, estimé à $500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Avec de l'eau à 10°C par exemple, il est ainsi calculé un débit surfacique d'évaporation de $0.17 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$. L'épaisseur de la nappe étant faible (de l'ordre du mm), il s'ensuit que le débit d'évaporation atteint rapidement le débit à la brèche pour un GNL non pressurisé.

d) Dispersion atmosphérique

Les logiciels tel que PHAST donne la possibilité de simuler la dispersion du méthane dans l'atmosphère au moyen d'un modèle dit « intégral ». Celui-ci consiste à résoudre les équations de la mécanique des fluides sous une forme simplifiée qui ne sera pas reprise ici.

Relativement au comportement général dans l'air ambiant, il convient de relever les éléments ci-après.

Dans le cas du GNL pressurisé, la phase liquide -aérosols essentiellement- se vaporise par entrainement d'air du jet. Pour mémoire un jet est observé en raison de la quantité de mouvement de l'écoulement accidentel (la pression est « convertie » en vitesse). Ensuite, le panache engendré à la suite du jet a le comportement d'un gaz dit « lourd » en raison du refroidissement massif de l'air entrainé, concomitant à l'évaporation des gouttes de GNL.

Dans le cas du GNL non pressurisé, l'évaporation de nappe engendre un panache qui se disperse lui aussi en restant au niveau du sol. L'effet de densité avec mouvement ascendant (favorable au plan de la sécurité), attendu en raison de la masse volumique du méthane qui est plus faible que celle de l'air, est en pratique compensé par le refroidissement de l'air entraîné, par les vapeurs à très basse température émises par le GNL.

e) VCE (feu de nuage)

Comme expliqué plus haut (au chapitre 4), un VCE conduit à des effets :

- thermiques, associés à la température élevée des gaz chauds,
- ou mécaniques, associés aux ondes de pression engendrées par expansion de ces mêmes gaz chauds

Il est admis que les distances d'effets thermiques correspondent peu ou prou au contour du nuage ou panache explosible et sont donc quantifiables à partir des dimensions de l'emprise de celui-ci (cf tableau 9).

S'agissant des effets mécaniques dus aux ondes de pression, il convient d'analyser l'espace dans l'emprise du nuage explosible. Les questions à aborder sont alors :

- s'agit-il d'un espace sans encombrement, à « l'air libre » ?,
- ou de zones à encombrement par des obstacles solides (équipements, tuyauteries, matériels divers, etc.) ?,
- et s'il s'agit de zones encombrées, quel est le degré d'encombrement, le volume concerné, etc ?

Ces distinctions sont à faire car les observations après accident, des essais ou des calculs (Cf Mouilleau et al., 1999) montrent que l'explosion d'un nuage ou panache explosible peut en pratique correspondre non pas à un seul VCE mais à plusieurs. Sans entrer dans plus de détails, les vitesses de flamme peuvent être assez différentes d'une zone à l'autre au sein du volume explosible pour que tout se passe comme si plusieurs explosions, bien distinctes, se succédaient.

Ceci est à l'origine de la méthode dite MultiEnergies (« Multi » se référant aux possibles multiples explosions dans un même nuage) qui propose notamment de :

- dénombrer les VCE, au sein d'un même nuage,
- et d'affecter une énergie (associé au volume concerné) et un indice de sévérité à chaque VCE.

Toujours sans donner de détails, cette méthode propose des indices de sévérité de 1 (VCE les moins propices à surpressions) à 10 (VCE conduisant aux plus forts pics de surpression).

Pour des stations « port », les installations n'étant généralement pas à encombrement marqué, les indices de sévérité suivants peuvent être retenus pour un VCE 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,...), l'indice peut être porté à « 5 » (surpression = 20 kPa).

A titre d'indications des distances d'effets en fonction de volumes et niveaux de sévérité typiques de VCE sont fournies au tableau suivant.

Zone encombrée typique	Volume (m ³)	Indice (-)	Energie (MJ)	Distances SELS (m)	Distances SEL (m)	Distances SEI (m)
Stockage avec réservoirs horizontaux (sous pression) – peut aussi convenir à des postes de chargement camions par exemple.	5000	4	15650	s.n.a. ¹²	s.n.a.	73
Pomperie et autres équipements de procédé.	5000	5	15650	28	46	130
	10000	5	31300	35	58	164
Rack de quelques (2-3) tuyauteries	1250	3	3900	s.n.a.	s.n.a.	19
	5000	3	15650	s.n.a.	s.n.a.	30

Tableau 10 : Distances d'effets par surpression à compter de chaque centre de volume explosible

¹² Seuil non atteint

En pratique, pour les distances d'effets par surpression, il faut donc :

- identifier les zones et leurs centres,
- évaluer leurs volumes et les énergies libérables par combustion (cf sous chapitre 4.1.4 pour les données),
- et enfin choisir les indices de sévérité.

Ceci est à faire au cas par cas et selon l'implantation des installations, non connue dans le contexte de cette étude.

Cela étant, cette dernière remarque est en pratique peu « limitante » dans le cas des vapeurs de GNL dont la réactivité est « plutôt faible » (cf sous chapitre 4.1.4, à nouveau) de sorte que les indices sont eux aussi limités. A l'expérience, il ressort alors que les distances d'effets les plus « pénalisantes » sont celles correspondant aux effets thermiques, données directement par les calculs de dispersion.

Dans la suite de cette étude, les gravités des VCE seront caractérisés par les distances d'effets thermiques associés à ces phénomènes.

f) BLEVE

De façon quelque peu analogue au cas précédent, les BLEVE ont des effets thermiques et mécaniques par onde de surpression (et projectiles aussi). Dans le cas des BLEVE, les effets thermiques sont plus souvent encore prépondérants.

Ensuite, il n'existe a priori pas de modèle dédié au cas des GNL et les distances d'effets thermiques sont évaluées à partir des formules réglementaires du butane (circulaire du 10 mai 2010 dans MEEDDM, 2010). Le butane est ici retenu (sachant que la circulaire aborde les GPL et évoque aussi le propane) car la pression de tarage des soupapes des installations contenant le butane est voisine de celle du GNL.

5.2.2 Distances d'effets

Les distances d'effets des phénomènes dangereux sont consignées aux 3 tableaux suivants dédiés aux BLEVE, VCE et jets enflammés, respectivement.

N° cas	Dimension ou Volume	Contexte	Masse (t)	Distances SELS (m)	Distances SEL (m)	Distance SEI (m)
1	50 m ³	Cas typique d'une citerne routière	20	86	130	206
2	110 m ³	Cas typique d'une citerne ferroviaire ou d'une taille de réservoir intermédiaire	44	125	184	294
3	200 m ³	Cas typique d'un stockage pressurisé en station Usine ou Port	81	166	240	386
4	1000 m ³	Cas typique d'un stockage pressurisé de grande capacité en station Port	403	354	484	792

Tableau 11 : Distances d'effets associées aux BLEVE

Type de conditions	N° cas	Dimensions de la fuite (mm)	Contexte	Débit de fuite (kg/s)	Durée de fuite	Distances à la LIE ¹³ (= Distances SELS =Distance SEL)	Remarque	
Pressurisé	5	65 mm	Cas typique d'une fuite dite « 100 % section » d'un flexible utilisé au déchargement de camions-citernes	12	30 s	100	Fuites depuis des équipements de transfert (flexibles ou bras)	
	6			20	« longue »	123		
	7	80 mm		Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un flexible au déchargement de camions-citernes en station Port	27	30 s		148
	8	200 mm		Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au déchargement d'un navire en station Port	181	30 s		440
Pressurisé	9	25 mm	Cas typique d'une fuite dite « 10 % section » depuis une canalisation de GNL de 3''	8	30 s	60	Fuites depuis des tuyauteries	

¹³ Les distances SEI correspondent à 110 % des distances SELS et SEL mais ne sont pas explicitement évaluées ici afin de ne pas alourdir le tableau.

Type de conditions	N° cas	Dimensions de la fuite (mm)	Contexte	Débit de fuite (kg/s)	Durée de fuite	Distances à la LIE ¹³ (= Distances SELS =Distance SEL)	Remarque
	10	66 à 80 mm	Cas typique de fuites : - dite « 10 % section » depuis une canalisation de GNL de 8'', - ou « 100% section » depuis une canalisation de diamètre voisin de 3''	27 à 33	« longue »	180 à 210	
	11	150 mm	Cas typique de fuites « 100% section » depuis une canalisation de diamètre voisin de 6''.	118	30 s	290	
	12			118	« longue »	360	
Pressurisé	13	50 mm	Cas typique d'un débordement depuis une soupape d'un réservoir seul, en stations Usine ou Port.	6	« longue »	52	
	14	7*67 mm	Cas typique d'un débordement depuis plusieurs soupapes en station Port.	60	« longue »	220	
Non pressurisé	19	200 mm	Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au déchargement d'un navire en station Grand Port.	86	30 s	380	Fuites depuis des bras de transfert, au chargement ou au déchargement (bras)

Type de conditions	N° cas	Dimensions de la fuite (mm)	Contexte	Débit de fuite (kg/s)	Durée de fuite	Distances à la LIE ¹³ (= Distances SELS = Distance SEL)	Remarque
	20		Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au chargement d'un navire type Ferry en station Grand Port.	60	30 s	310	
	21	300 mm	Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un bras de plus grandes dimensions utilisé au déchargement d'un navire en station Grand Port.	434	60 s	860	
	22		Cas typique d'une fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au chargement d'un navire type Grand Navire en station Grand Port.	180	60 s	590	
Non pressurisé	23	66 mm	Cas typique d'une fuite dite « 10 % section » depuis une canalisation de GNL de 8''	32	« longue »	175	Fuite depuis des tuyauteries, avec épandage contenu en pipeway ou non.
	24		Idem ci-avant mais avec épandage contenu en « pipeway »		30 s	140	
	25	100 mm	Idem cas précédents sauf qu'il s'agit ici de canalisation en 12''	76	« longue »	270	

Type de conditions	N° cas	Dimensions de la fuite (mm)	Contexte	Débit de fuite (kg/s)	Durée de fuite	Distances à la LIE ¹³ (= Distances SELS = Distance SEL)	Remarque
	26		Idem ci-avant mais avec épandage contenu en « pipeway »		30 s	143	
	27	132mm	Idem cas précédents sauf qu'il s'agit ici de canalisation en 16''	133	« longue »	410	
	28		Idem ci-avant mais avec épandage contenu en « pipeway »		30 s	151	

Tableau 12 : Distances d'effets thermiques associées aux VCE

N° cas	Dimensions (mm) ou circonstances de la fuite	Débit de fuite (kg/s)	Longueur de flamme (m)	Flux moyen radiatif (kW/m ²)	Distance SELS (m)	Distance SEL (m)	Distance SEI (m)
15	25	5	32	82	49	53	60
16	Debit de pompe	12	47	95	73	80	90
17	66	32	79	83	125	138	155
18	132	133	131	134	215	240	270

Tableau 13 : Distances d'effets associées aux jets enflammés

Les distances d'effets au tableau précédent ne sont pas associées directement à un équipement ou une opération comme aux tableaux 11 et 12 précédents. En revanche, les dimensions ou les débits de fuite sont de bons indicateurs pour évaluer (par interpolation au besoin) des distances d'effets pour un cas pratique.

Au sein du tableau 12, dédié aux distances d'effets associés aux VCE, il apparaît une colonne relative à la durée de fuite qui prend comme valeurs :

- 30 ou 60 s,
- ou alors « longue ».

Les 2 durées explicites (30 et 60 s) correspondent à des temps d'isolement des fuites au moyen de Mesures de Maitrise des Risques (ou MMR) qui sont décrites au chapitre 6.

L'adjectif « longue » est employé pour tous les cas de fuites non maîtrisées par les MMR. Ensuite, il n'est pas donné plus de précisions (« longue » couvrant pourtant des situations pouvant être différentes) car les calculs montrent que :

- aussitôt une fuite observée, il se forme un nuage explosible dont la taille croît au fil du temps,
- et après quelques minutes généralement, la taille est maximum et ne croît plus.

Autrement dit, vis-à-vis de la distance à la LIE qui est la distance d'effets recherchée, la durée de rejet n'a plus d'influence et n'est donc pas prise en compte dans le détail.

Pour autant, réduire la durée de fuite reste très important car cela limite forcément la durée critique durant laquelle un nuage reste explosible, avant d'être assez dilué pour devenir non-explosible.

5.3 FREQUENCE DES PHENOMENES DANGEREUX

5.3.1 Approche, hypothèses et références

a) Cas des BLEVE

Comme indiqué au sous chapitre 4.4, il n'y a pas de retour d'expérience exploitable. Les fréquences des BLEVE seront donc évaluées par analogie avec ce qui est couramment admis pour les GPL notamment.

A cet égard, il peut être fait référence à (HSE, 2012) ou (Heirman, 2009) pour directement extraire une classe de fréquence. Des consultations de ces ouvrages, il ressort des fréquences variables entre les classes D et E¹⁴. En substance, la classe E est souvent justifiée par des installations :

- pour lesquelles une analyse des risques dédiée a été faite pour démontrer des fréquences très faibles de défaillances ou d'événements initiateurs capables d'aboutir à un BLEVE,
- souvent équipées de moyens de refroidissement en cas d'incendie (événement initiateur typique pour aboutir à un BLEVE)

b) Approche générale appliquée aux cas des fuites

Faute de disposer de banques de données d'accidents relatives au GNL (mis-à-part quelques éléments éparses évoqués plus loin), l'approche présentée en figure suivante peut être retenue.

¹⁴ Cf la figure 18 pour les définitions de ces classes de fréquences.

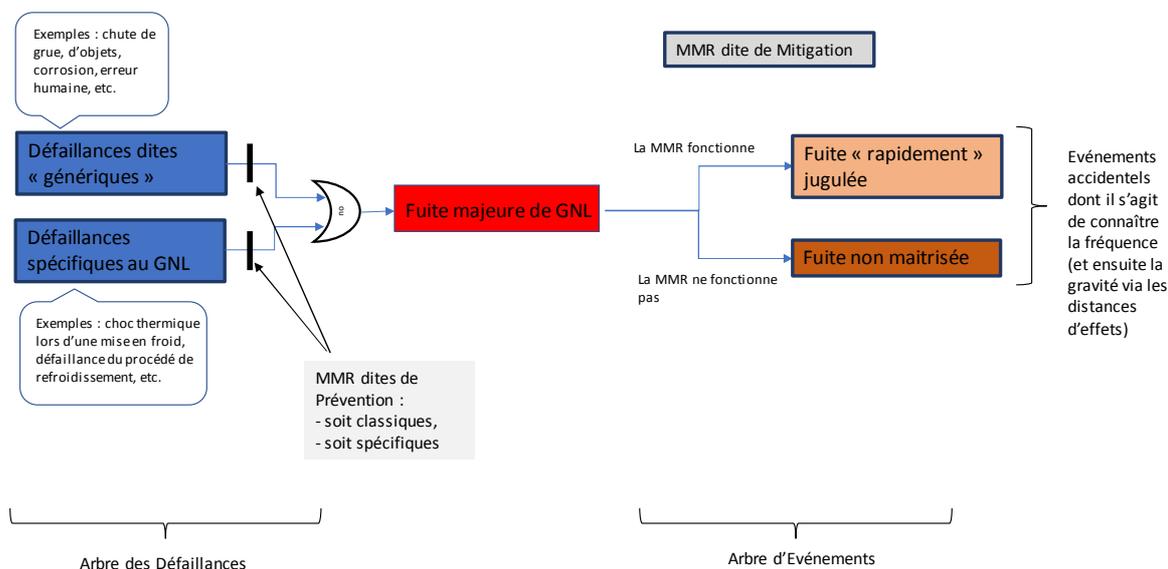


Figure 19 : Approche générale par Nœud-papillon pour la détermination des fréquences de fuites

Cela étant, développer cette approche requiert de :

- développer l'arbre des défaillances à gauche de l'événement fuite,
- et de développer aussi l'arbre dit d'événements à sa droite.

Ces développements ne sont pas viables dans le contexte d'une étude générique, applicable en divers lieux, et sans information explicite sur les moyens vraiment mis-en-œuvre.

Dans ces conditions, il est fait les hypothèses reportées en figure suivante.

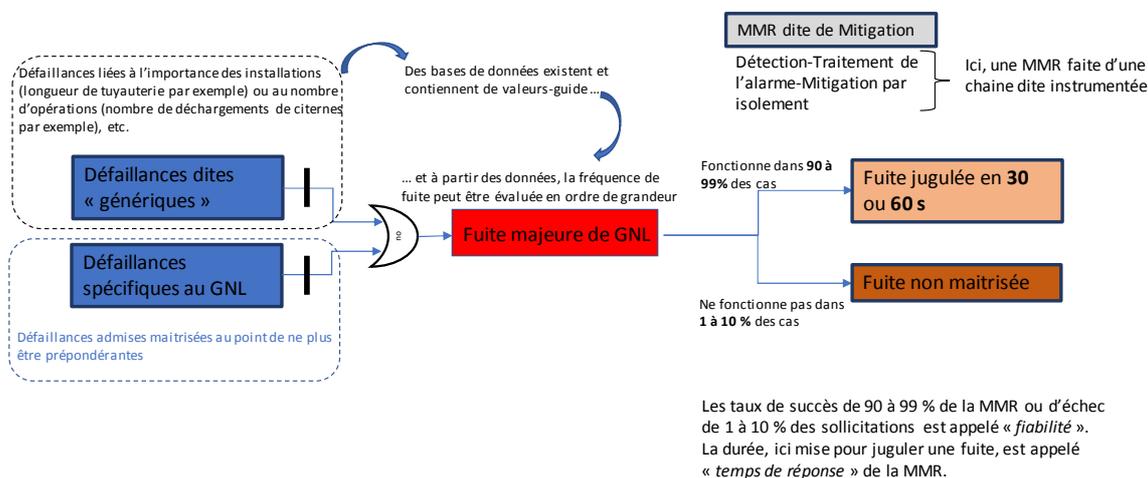


Figure 20 : Approche telle qu'appliquée dans le contexte d'étude

Cette approche pour être valable doit être confortée par le respect des pratiques évoquées au chapitre 6 ou des pratiques équivalentes.

Les données évoquées en partie gauche de la figure précédente (longueurs de tuyauterie, nombre de transferts, etc.) sont précisées plus loin.

c) Banques de données de référence

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

- un document néerlandais « Reference Manual Bevi Risk Assessment » (RIVM, 2009),
- et un document du HSE britannique « Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessment (HSE, 2012)

(RIVM, 2009) est une référence classique pour les installations industrielles en France.

(HSE, 2012) est cependant mieux documenté sur les équipements (bras, flexible, pompe,...).

Retenir ces 2 références est a priori « pénalisant » pour les défaillances dites génériques dans le cas du GNL du fait des matériaux utilisés (acier inox à forte ductilité) et des différences de technologies (cuve double paroi,...) associés à ce produit.

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 grand type d'équipements, la banque de données à utiliser.

Equipements	(RIVM, 2009)	(HSE, 2012)	Retour d'expérience SHELL
Réservoirs	×		
Tuyauteries	×		
Pompes	×	×	
Compresseurs		×	
Bras sur navire/barge		×(voir plus loin)	
Flexible sur véhicule		×	× (voir plus loin)

Tableau 14 : banques de données

d) Remarques sur les cas des flexibles sur véhicules

Les valeurs de fréquences figurant dans le document HSE (2012) sont modulées selon la présence de mesures de sécurité : cales sur véhicule, tests d'étanchéité, système « breakaway ». Cela étant, il ressort une fréquence de rupture (100 % section) de 4.10^{-6} occurrence/transfert.

De son côté, le retour d'expérience 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% => $F_{ER}^{15} = 1.4 \times 10^{-7}$ /transfert
- Niveau de confiance = 90% => $F_{ER} = 4.7 \times 10^{-7}$ /transfert

Par cet exemple, il est explicitement montré que des valeurs peuvent différer d'un facteur 10. La recherche au mieux d'un ordre de grandeur constitue donc d'ores et déjà un objectif, parfois peu aisé à atteindre.

La valeur proposée par SHELL, issue d'un retour d'expérience est retenue.

e) Remarques sur les cas des bras pour navires et barges

Dans (HSE, 2012), les bras sont supposés équipés d'un système « Emergency Release Coupling » (ERC) avec alarme de débattement. Ce système est donc supposé défaillant avec les vannes d'isolement restant ouvertes.

f) Synthèse sur les fréquences de fuite

Les fréquences typiques de fuites les plus utiles dans le contexte sont données ci-après.

¹⁵ F_{ER} pour Fréquence Evénement Redouté

Fuites sur tuyauteries

Diamètre DN	Fréquence de fuite 100 % section [33% DN-100% DN]	Fréquence de fuite brèche intermédiaire 10 % section [10% DN-33% DN] (*)
< 75 mm	$1.10^{-6}/\text{an.m}$	$9.6 \times 10^{-6}/\text{an.m}$
75 à 150 mm	$3.10^{-7}/\text{an.m}$	$1.3 \times 10^{-6}/\text{an.m}$
> 150 mm	$1.10^{-7}/\text{an.m}$	$7.9 \times 10^{-7}/\text{an.m}$

Tableau 15 : fréquences génériques de fuite sur tuyauterie

(*) : valeurs interpolées par TechnipFMC à partir des valeurs explicitement publiées.

Fuites sur bras et flexibles

	Fréquence de fuite 100 % section (/opération)	Mesures prises en compte
Flexible sur véhicule	$4.10^{-7}/\text{opération}$	2 mesures de prévention (cale,...) + test d'étanchéité
Bras sur navire	$7.10^{-6}/\text{opération}$	ERC et alarme de débatement

Tableau 16 : fréquences génériques de fuite sur bras et flexible

Il ressort du tableau précédent des fréquences de fuite par opération plus élevées sur les bras que sur les flexibles. Ce constat contre-intuitif provient de la prise en compte des retours d'expérience de Shell sur les flexibles (cf remarque en d)), non disponible sur les bras.

g) Influence des MMR dites de mitigation

Relativement à l'arbre dit d'événements (parties droites des figures précédentes), plusieurs MMR différentes peuvent être citées. Mais il s'agit généralement d'une chaîne d'éléments avec :

- un moyen de détection (par exemple des capteurs de présence de gaz naturel dans l'air),

- un moyen de traitement des alarmes (automate de sécurité),
- et un moyen de réduction des conséquences (ici, l'isolement des fuites au moyen de vannes de sécurité).

De exemples de telles MMR sont données au chapitre 6.

Ensuite, une MMR est notamment caractérisée par :

- une fiabilité,
- et un temps de réponse.

Ces 2 éléments ressortent explicitement en figure 20 précédente. Dans le contexte d'étude, il a été admis :

- une fiabilité entre 10^{-1} ou $<10^{-1}$ (mais pas $<10^{-2}$) sous quelques réserves expliquées plus loin,
- et des temps de réponse valant soit 30 s dans le cas des installations les plus modestes à 60 s dans le cas des installations les plus importantes ; ce temps de réponse dépend des durées cumulées de détection, traitement et fermeture des vannes (il est implicitement admis que la fermeture des vannes disposées sur les tuyauteries de grandes dimensions requiert plus de temps).

h) Probabilité d'inflammation

Des probabilités d'inflammation d'une fuite de gaz sont données ci-après. Ces valeurs sont relatives à l'inflammation retardée de fuites de courte (< 30 s) et de longue durée (> 30 s) et peuvent être déduite de (Flauw, 2015).

	Zone ATEX (y compris poste de dépotage)	Zone non ATEX faiblement fréquentée (en site et hors site)	Autre zone non ATEX
Fuite courte durée (<30 s)	0.1	0.1	1
Fuite longue durée (>30 s)	0.1	1	1

Tableau 17 : probabilités d'inflammation

Dans le cas des fuites de GNL, vu que les rejets sont au moins sur 30 s et vu que l'évaporation du liquide au sol (ou sur l'eau) peut perdurer après jugulation de la fuite, il ressort qu'une probabilité de 1 est à retenir, dans le contexte.

5.3.2 Fréquences des phénomènes dangereux

Les fréquences de chaque phénomène dangereux considéré jusqu'à présent sont reportées au tableau suivant.

Conditions	Phén. Dan.	N° cas	Contexte	Données importantes	Prise en compte d'une MMR	Classe de fréquence retenue
Pressurisé	BLEVE	1	Citerne routière	Citerne mobile	non	D/E
		2	Citerne ferroviaire ou d'une taille de réservoir intermédiaire	Citerne mobile		D/E
		3	Stockage pressurisé en station Usine ou Port	Capacité fixe		D/E
		4	Stockage pressurisé de grande capacité en station Port	Capacité fixe		D/E
Pressurisé	VCE	5	Fuite « 100 % section » d'un flexible 65 mm utilisé au déchargement de camions-citernes	200 opérations par poste avec typiquement 5 postes	Fonct. nominal Fuite de 30 s	C/D

Conditions	Phén. Dan.	N° cas	Contexte	Données importantes	Prise en compte d'une MMR	Classe de fréquence retenue
		6			Echec	D/E
		7	Fuite « 100 % section » d'un flexible 80 mm au déchargement de camions-citernes en station Port	Idem ci-avant	Fonct. nominal Fuite de 30 s	C/D
		8	Fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au déchargement d'un navire en station Port	10 à 50 opérations/an	Fonct. nominal Fuite de 30 s	C/D
Pressurisé	VCE	9	Fuite dite « 10 % section » depuis une canalisation de GNL de 3''	Longueur de quelques dizaines de m au plus	Fonct. nominal Fuite de 30 s	D

Conditions	Phén. Dan.	N° cas	Contexte	Données importantes	Prise en compte d'une MMR	Classe de fréquence retenue
		10	Fuites : - dites « 10 % section » depuis une longue tuyauterie de GNL de 8'', - ou « 100% section » depuis une courte tuyauterie de diamètre voisin de 3'' (tuyauterie procédé)	- 100 à 500 m longueur pour une tuyauterie de 8''. - Plusieurs dizaines de m pour une tuyauterie de 3''.	Echec Fuite « longue »	- C / D - D / E
		11	Fuites « 100% section » depuis une canalisation de diamètre voisin de 6'' (tuyauterie procédé).	Plusieurs dizaines de m	Fonct. nominal Fuite de 30 s	D/E
		12			Echec Fuite « longue »	E

Conditions	Phén. Dan.	N° cas	Contexte	Données importantes	Prise en compte d'une MMR	Classe de fréquence retenue
Pressurisé	VCE	13	Débordement depuis une soupape d'un réservoir seul, en stations Usine ou Port.	Ces cas dépendent des fréquences de transfert mais aussi des moyens de sécurité sur les niveaux de liquide en réservoir (considéré défectueux ci-contre)	Echec Fuite « longue »	B -C
		14	Débordement depuis plusieurs soupapes en station Port.			D, typiquement
Pressurisé	Jet enflammé	15	Débit de 5 kg/s depuis une brèche de 25 mm	Tous ces cas dépendent du tronçon, siège de fuite.	Fonct. nominal	C, typiquement
		16	Débit de 12 kg/s depuis une brèche en refoulement de pompe			C, typiquement
		17	Débit de 32 kg/s depuis une brèche de 66 mm			D, typiquement
		18	Débit de 133 kg/s depuis une brèche de 132 mm			E, typiquement
Non pressurisé	VCE	19	Fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au déchargement d'un navire en station Grand Port.	10 à 50 opérations/an	Fonct. nominal Fuite de 30 s	C / D

Conditions	Phén. Dan.	N° cas	Contexte	Données importantes	Prise en compte d'une MMR	Classe de fréquence retenue
		20	Fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au chargement d'un navire type Ferry en station Grand Port.	Ordre de grandeur de la centaine d'avitaillement par poste/an (en tenant compte des trafics Ferry/RoRo et LoLo)	Fonct. nominal Fuite de 30 s	C
		21	Fuite « 100 % section » d'un bras de plus grandes dimensions utilisé au déchargement d'un navire en station Grand Port.	10 à 50 opérations/an	Fonct. nominal Fuite de 60 s	C / D
		22	Fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au chargement d'un navire type Grand Navire en station Grand Port.	Typiquement 5 opération / an	Fonct. nominal Fuite de 60 s	D

Conditions	Phén. Dan.	N° cas	Contexte	Données importantes	Prise en compte d'une MMR	Classe de fréquence retenue
Non pressurisé	VCE	23	Cas typique d'une fuite dite « 10 % section » depuis une canalisation de GNL de 8''	De 100 à 500 m de longueur de tuyauterie transfert	Echec	D
		24	Idem ci-avant mais avec épandage contenu en « pipeway »		Fonct. nominal	C / D
		25	Idem cas précédents sauf qu'il s'agit ici de canalisation en 12''		Echec	D
		26	Idem ci-avant mais avec épandage contenu en « pipeway »		Fonct. nominal	C / D
		27	Idem cas précédents sauf qu'il s'agit ici de canalisation en 16''		Echec	D
					Fuite « longue »	
					Fuite de 30 s	
					Fuite « longue »	
					Fuite de 60 s	
					Fuite « longue »	

Conditions	Phén. Dan.	N° cas	Contexte	Données importantes	Prise en compte d'une MMR	Classe de fréquence retenue
		28	Idem ci-avant mais avec épandage contenu en « pipeway »		Fonct. nominal Fuite de 60 s	C / D

Tableau 18 : Fréquences de Phénomènes dangereux

Au-delà des informations déjà consignées au tableau précédent, il convient de considérer aussi les diverses remarques suivantes.

Les fréquences des BLEVE sont données sous forme de fourchettes allant de la classe D à celle repérée E (soit, 10^{-5} oc./an en ordre de grandeur ou moins). Les classes fournies en caractères gras sont celles les plus couramment retenues dans les études à l'expérience de l'auteur. Les BLEVE de capacités mobiles ressortent comme a priori plus fréquentes (alors qu'il est rappelé que dans le cas spécifique des GNL le retour d'expériences réelles reste non significatif) car elles sont plus estimées plus exposées au risque d'incendie à proximité.

D'autres fréquences sont exprimées avec des fourchettes car leurs évaluations dépendent :

- de longueur de canalisations,
- ou d'un nombre d'opérations de transfert,

qui sont elles-mêmes des données estimées au moyen de fourchettes approximatives.

Il appartient alors au lecteur de retenir une classe de fréquence plutôt qu'une autre en confrontant ses propres données aux indications fournies en 5^{ième} colonne du tableau précédent.

Par ailleurs, il est explicitement indiqué en 6^{ième} colonne du tableau précédent, la prise en compte ou pas d'une MMR. Comme cela est rappelé au sous chapitre précédent ou encore visible en figure 20, une fuite « longue » par exemple ne sera observée que si :

l'événement accidentel « Fuite » survient (fréquence qui dépend des données sur les longueurs de tuyauteries, les opérations, etc.),
Et si la MMR de mitigation ne sera pas opérationnelle pour juguler rapidement la fuite.

Le « ET » logique cité ci-avant implique une réduction de la fréquence des fuites « longues ».

Dans ces conditions, bien des fréquences peuvent être réduites en prévoyant une MMR. De plus, même les fréquences qui ont été réduites en raison d'une MMR pourraient être réduites encore au moyen d'une seconde MMR (indépendante de la 1^{ière}).

Les fréquences citées au tableau précédent peuvent donc être modulées en fonction des MMR, réellement prévues.

Dans certains cas, l'ajout d'une MMR peut permettre de réduire une fréquence (de fuite « longue » à nouveau). Toutefois, le gain sur une distance d'effets peut être relativement faible ou en tout cas estimé comme tel. Ceci permet d'expliquer au présent stade du document pourquoi certains scénarios d'accident ont été considérés avec et sans MMR : pour fournir des indications au lecteur.

Il est rappelé que les probabilités d'inflammation ont été prises partout égales à 1. Ceci est une hypothèse raisonnable au regard des fuites (majeures) considérées. Elle est toutefois par excès par nature et encore plus par excès si des fuites à débits faibles devaient être retenues.

Enfin, dans certaines réglementations¹⁶, il peut être attribué un diamètre maximum aux fuites les plus importantes. Ce diamètre peut être inférieur aux plus gros diamètres de fuite considérés dans ce document. C'est donc qu'une base de cas est fournie mais sans préjuger des choix à faire pour retenir ou pas certains cas, aussi en fonction des réglementations.

¹⁶ En France, une tuyauterie enterrée, considérée comme une canalisation de transport, sera associée à des risques de fuite majeure depuis une brèche de 70 mm en l'absence de mouvement de terrain prévisible. Pour une tuyauterie aérienne, intégrée à une ICPE, le diamètre de fuite majeure sera généralement bien plus grand.

5.4 SYNTHÈSE SUR LES RISQUES

Les distances d'effets et les fréquences des phénomènes dangereux sont regroupées au tableau suivant.

Condition	Phénomène dangereux	N° cas	Contexte	Distances d'effets SELS (m)	Distances d'effets SEL (m)	Distances d'effets SEI (m)	Fréquences
Pressurisé	BLEVE	1	Citerne routière	86	130	206	D/E
		2	Citerne ferroviaire ou d'une taille de réservoir intermédiaire	125	184	294	D/E
		3	Stockage pressurisé en station Usine ou Port	166	240	386	D/E
		4	Stockage pressurisé de grande capacité en station Port	354	484	792	D/E
Pressurisé	VCE	5	Fuite « 100 % section » d'un flexible 65 mm utilisé au déchargement de camions-citernes	100	110	C/D	
		6		123	135	D/E	
		7	Fuite « 100 % section » d'un flexible 80 mm au déchargement de camions-citernes en station Port	148	163	C/D	
		8	Fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au déchargement d'un navire en station Port	440	484	C/D	

Condition	Phénomène dangereux	N° cas	Contexte	Distances d'effets SELS (m)	Distances d'effets SEL (m)	Distances d'effets SEI (m)	Fréquences
		9	Fuite dite « 10 % section » depuis une canalisation de GNL de 3''	60		66	D
		10	Fuites : - dites « 10 % section » depuis une longue tuyauterie de GNL de 8'', - ou « 100% section » depuis une courte tuyauterie de diamètre voisin de 3'' (tuyauterie procédé)	180 à 210		200 à 230	- C / D - D / E
		11	Fuites « 100% section » depuis une canalisation de diamètre voisin de 6'' (tuyauterie procédé).	290		319	D/E
		12		360		396	E
		13	Débordement depuis une soupape d'un réservoir seul, en stations Usine ou Port.	52		57	B -C
		14	Débordement depuis plusieurs soupapes en station Port.	220		242	D, typiquement

Condition	Phénomène dangereux	N° cas	Contexte	Distances d'effets SELS (m)	Distances d'effets SEL (m)	Distances d'effets SEI (m)	Fréquences
Pressurisé	Jet enflammé	15	Débit de 5 kg/s depuis une brèche de 25 mm	49	53	60	C, typiquement
		16	Débit de 12 kg/s depuis une brèche en refoulement de pompe	73	80	90	C, typiquement
		17	Débit de 32 kg/s depuis une brèche de 66 mm	125	138	155	D, typiquement
		18	Débit de 133 kg/s depuis une brèche de 132 mm	215	240	270	E, typiquement
Non pressurisé	VCE	19	Fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au déchargement d'un navire en station Grand Port.	380		418	C / D
		20	Fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au chargement d'un navire type Ferry en station Grand Port.	310		340	C
		21	Fuite « 100 % section » d'un bras de plus grandes dimensions utilisé au déchargement d'un navire en station Grand Port.	860		946	C / D

Condition	Phénomène dangereux	N° cas	Contexte	Distances d'effets SELS (m)	Distances d'effets SEL (m)	Distances d'effets SEI (m)	Fréquences
		22	Fuite « 100 % section » d'un bras utilisé au chargement d'un navire type Grand Navire en station Grand Port.	590		649	D
		23	Cas typique d'une fuite dite « 10 % section » depuis une canalisation de GNL de 8''	175		192	D
		24	Idem ci-avant mais avec épandage contenu en « pipeway »	140		154	C / D
		25	Idem cas précédents sauf qu'il s'agit ici de canalisation en 12''	270		297	D
		26	Idem ci-avant mais avec épandage contenu en « pipeway »	143		157	C / D
		27	Idem cas précédents sauf qu'il s'agit ici de canalisation en 16''	410		451	D
		28	Idem ci-avant mais avec épandage contenu en « pipeway »	151		166	C / D

Tableau 19 : Risques associés à chaque cas

6 RECOMMANDATIONS-BONNES PRATIQUES

6.1 GENERALITES

Les recommandations des normes sont à suivre. A titre d'exemples et aucunement dans le but de fournir une liste, il convient de se référer notamment à :

- EN 1473 : Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié - Conception des installations terrestres,
- ou EN 1474 : Installations et équipements relatifs au gaz naturel liquéfié - Conception et essais des bras de chargement/déchargement.

Ensuite, quelques recommandations et bonnes pratiques sont évoquées en substance aux sous chapitres suivants en considérant :

- les règles générales de sécurité,
- les réservoirs et les lignes connectées,
- les mesures de maîtrise des risques composées d'éléments de détection, de traitement des alarmes et autres franchissements de seuils et de systèmes d'actions d'urgence (arrêts d'urgence, dépressurisation d'urgence, etc.),
- la collecte des événements,
- la collecte des fuites,
- les systèmes de protection Incendie.
- et les effets dominos.

6.2 REGLES GENERALES DE SECURITE

La classification des zones dangereuses doit être réalisée en considérant notamment les aires de chargement/déchargement.

En outre, la circulation et le stationnement de véhicules à l'intérieur du site doivent être définis en conformité avec le plan de sécurité portuaire.

6.3 LES STOCKAGES ET LIGNES CONNECTEES

6.3.1 Règles de conception

Des règles de conception des différents stockages (pressurisés ou non) sont disponibles dans les normes telles que celles citées en 6.1.

6.3.2 Lignes de connexion des stockages pressurisés

a) 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 de la citerne après remplissage.

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

b) Equilibrage

Si plusieurs réservoirs sont installés en parallèle, il est recommandé que ceux-ci soient connectés entre eux pour les parties liquide et vapeur, afin d'équilibrer leurs niveaux de liquide et de pression. La conception doit permettre d'utiliser tous les réservoirs comme un réservoir unique.

Cependant, par mesure de sécurité, chaque réservoir doit pouvoir être isolé individuellement, si nécessaire.

c) Soutirage

Pour toute ligne depuis laquelle le débit de transfert est déterminé (plutôt faible dans le contexte d'une station « usine ») et régulier, il peut être recommandé d'installer un limiteur de débit sur le piquage de soutirage.

6.3.3 Lignes de connexion des stockages non pressurisés

a) *Remplissage*

Pour des raisons de sécurité, toutes les connexions se font par le haut du ou des réservoirs. 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.

b) *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 mesure de sécurité, chaque réservoir doit pouvoir être isolé individuellement, si nécessaire.

c) *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.

6.4 CHAINE DE SECURITE / MMR DITES INSTRUMENTEES

6.4.1 Présentation générale

Les MMR instrumentées correspondent la plupart du temps à une chaîne de 3 « blocs » :

- le bloc « détection », incluant la détection par un opérateur,
- le bloc « traitement »,
- et le bloc « isolement/actions de mise en sécurité ».

Une chaîne de ce type (instrumentée), conçue pour réduire les conséquences d'une fuite (suivie potentiellement d'un feu), est décrite en figure suivante. Puisqu'il s'agit de réduire les conséquences d'un événement accidentel, ces MMR sont souvent aussi appelée MMR de mitigation.

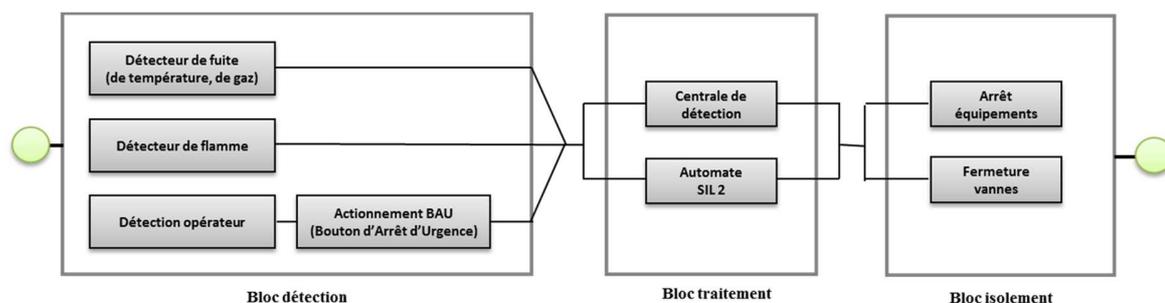


Figure 21: Architecture des chaînes de sécurité ou MMR dites instrumentées

Les sous chapitres suivants détaillent chaque bloc de sorte qu'une revue des recommandations sur les équipements de sécurité s'y trouve reportée.

6.4.2 Propriétés

Quelle que soit la technologie des éléments de chaque bloc, toutes les chaînes peuvent être caractérisées au moyen de 3 propriétés ou caractéristiques :

- leur efficacité,
- leur fiabilité,
- et leur temps de réponse

L'efficacité est sans doute la propriété la plus difficile à définir de façon univoque. Elle permet généralement de comparer les conséquences d'accident avec ou sans la chaîne ou MMR. Il peut s'agir par exemple de comparer :

- une distance à la LIE si une fuite n'est pas jugulée,
- avec celle obtenue pour une fuite jugulée grâce aux éléments de la MMR.

Toutefois, ces comparaisons sont parcellaires. Dans l'exemple cité, il ne ressort pas que dans le premier cas, le risque perdure sur une durée « longue » alors que dans le second il est effectif sur une durée bien plus courte.

En outre, l'efficacité est parfois retenue pour décrire l'adéquation de la MMR aux accidents. Une MMR peut par exemple être efficace pour les fuites importantes mais non efficace pour des fuites modestes au motif que le maillage des détecteurs peut être trop grossier pour ces

dernières. L'efficacité revient alors à justifier de la conception/ du dimensionnement parfois de la MMR.

La fiabilité et le temps de réponse sont des propriétés déjà définies et illustrées au sous chapitre 5.3.

Il sera juste précisé ici que les niveaux de fiabilité dépendent :

- des caractéristiques technologiques des éléments composant la MMR, qui est une chaîne,
- et aussi des durées entre 2 tests pour en vérifier le bon fonctionnement.

En substance, plus la durée entre 2 tests est longue moins la fiabilité est grande. Les niveaux de fiabilité retenus a priori dans ce document au sous chapitre 5.3 sont à associés à des durées entre tests d'un an.

6.5 DETECTION

6.5.1 Généralités

Les détecteurs qui ont des fonctions de sécurité (pression, niveau du GNL, etc.) doivent être indépendants des séquences de mesure pour l'exploitation.

Les mesures et alarmes doivent être transmises au lieu de contrôle.

Les alarmes doivent aussi être transmises à l'opérateur qui peut se trouver sur place ou sur un site éloigné (bureau d'exploitation, ...).

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

Toutefois, quand la mise hors service du stockage est requise, l'instrumentation doit présenter une redondance suffisante pour une intervention en sécurité.

Au-delà des généralités ci-avant, les cas de stockages pressurisés ou non-pressurisés sont à nouveau distingués avant de passer en revue chaque type de détecteur.

6.5.2 Détection/mesure de niveau

a) 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/évitement (du débordement) 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,
- disposer d'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/évitement 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.

b) Réservoirs non pressurisés

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

6.5.4 Détection/mesure de pression

a) 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...) et des équipements (pompes).

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

b) 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 primaire¹⁷ 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.

¹⁷ Les réservoirs non pressurisés sont souvent constitués des 2 enceintes de confinement, l'une, primaire, contient le produit en situation nominale et l'autre, secondaire, pourrait le contenir en cas de perte d'étanchéité de l'enceinte primaire. L'espace entre les 2 enceintes contient de l'isolant.

6.5.6 Détection/mesure de 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.

6.5.7 Détection/mesure dite LTD

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

Cet instrument dit LTD (« Level, Temperature, Density ») doit en outre 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.

6.5.8 Détection de fuite/ de feu

a) 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 dits 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 être inadéquate sur des canalisations à fonctionnement intermittent.

b) Détecteurs sur zone/équipements

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

- les capteurs catalytiques (« explosimètre ») ou IR ponctuel,
- les capteurs de basse température,
- les détecteurs de flamme UV/IR ou IR3¹⁸.

Dans certaines zones particulières (zone à confinement, surveillance périmétrique,...), des capteurs à faisceau IR¹⁹ peuvent être utilisés.

c) Détecteurs sur canalisations

Certaines canalisations sont de longueurs telles qu'elles ne peuvent être couvertes par des détecteurs de zone associés aux équipements.

Ces canalisations peuvent être équipées de fibre optique permettant de détecter une fuite par la chute de température associée à l'écoulement de GNL, très froid.

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.

d) Nombre et Positions des détecteurs

Le nombre et l'implantation des détecteurs doivent faire l'objet d'une étude spécifique qui ne sera pas abordée au présent document. De fait, des détecteurs sont à planter :

- aux aires de chargements/déchargements ,
- aux stockages,
- auprès des équipements de procédé associés (réchauffeurs, échangeurs de chaleur, etc.)

¹⁸ Les détecteurs UV/IR combinent un capteur UltraViolet et un détecteur InfraRouge. Les détecteurs IR3 combinent 3 capteurs IR.

¹⁹ Ces faisceaux intègrent en interprétant des signaux InfraRouges la concentration en gaz inflammable sur une ligne définie entre 2 points.

En cas de franchissement de seuils d'alarme des actions d'urgence, telles qu'indiquées en 6.7, sont aussi à définir.

6.6 TRAITEMENT

6.6.1 Généralités

En pratique, le traitement peut-être :

- automatique sur franchissements des alarmes délivrées par les détecteurs de fuite ou de flammes et certains détecteurs d'anomalie,
- ou par les opérateurs qui décident des actions à faire (coup de poing ou bouton d'arrêt d'urgence : BAU).

Dans ce contexte, le nombre et les emplacements de BAU doivent faire l'objet d'une étude avec a minima des BAU dédiés:

- aux postes de transfert,
- au stockage,
- à proximité de l'unité regroupant les équipements pour assurer le refroidissement du GNL,
- à proximité des bureaux d'exploitation.

Ensuite, qu'un traitement soit automatisé ou qu'il repose sur les décisions des opérateurs, il doit être défini à l'avance en considérant des actions d'urgence les plus adéquates.

Celles-ci peuvent ensuite correspondre à des mises en sécurité :

- partielles quand elles n'agissent que sur une partie ou une fonction partielle des installations,
- générales quand elles agissent sur toute l'installation y compris les postes de chargement/déchargement.

Remarque : les actions d'urgence sont généralement précédées 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.

Dans le contexte, un traitement doit être explicitement prévu en cas de :

- niveau très haut à très très haut,
- pression très haute à très très haute,
- pression très basse à très très basse,
- détection de fuite, de feu,
- etc.

Enfin, s'agissant des unités de traitement, deux types sont possibles :

- une centrale de détection,
- ou un automate de sécurité.

Si l'analyse de risque montre la nécessité de disposer de 2 MMR indépendantes de « détection-traitement-isolément » 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 SIL²⁰ « 2 » pour ne pas pénaliser la fiabilité de la chaîne complète.

6.6.2 Traitement des événements accidentels concernant le méthanier

Pour une station « port », une interface avec le méthanier est à considérer. Les mesures de sécurité associées aux transferts devront être conçues avec :

- un poste de déchargement équipé de vannes d'arrêt d'urgence commandées à distance ; les arrêts d'urgence étant intégrés dans des séquences automatisées,
- un câble de communication/AU (tel que recommandé par le SIGTTO²¹ et rendu obligatoire par les codes et normes) entre le méthanier et la station pour déclencher un arrêt d'urgence si besoin.

²⁰ De l'anglais "Safety Integrated Level". Différents niveaux de SIL existent (1, 2, 3, ...) repérant des fiabilités croissantes suivant la norme IEC 511.

²¹ De l'anglais : «Society of International Gas Tanker and Terminal Operators».

- système de break-away sur les flexibles ou PERC²² sur les bras (relève des systèmes d'actions d'urgence considérés au sous chapitre suivant).

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

6.7 SYSTEMES D' ACTIONS D'URGENCE

6.7.1 Généralités

Par systèmes d'actions d'urgence, sont désignés les dispositifs de mise en sécurité des installations par fermeture des vannes d'isolement, arrêt des pompes de transfert, des compresseurs, ...

De façon générale et analogue à la situation de l'instrumentation, le système des actions d'urgence est à distinguer du système de suivi des procédés.

Le système de protection incendie n'est pas inclus (non pas qu'il ne soit pas associé à des actions d'urgence) car un sous chapitre spécifique lui est dédié.

6.7.2 Organes d'isolement

Les vannes commandées par les arrêts d'urgence ont des caractéristiques principales qui doivent être passées en revue avant mise en place et exploitation :

- 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.

²² De l'anglais : « Powered Emergency Release Coupling ».

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 alors « gaz service ») peut être utilisé pour la motorisation de vannes pneumatiques.

Parmi, les organes d'isolement, il convient aussi de rappeler les dispositifs :

- dits « break-away » ou encore « raccords flip-flap » implantés sur les flexibles, consistant en des raccords conçus pour se rompre au droit d'une section précise en cas de traction excessive et équipés de clapets se refermant concomitamment à la rupture et bien sûr disposés de part et d'autre de la section où celle-ci est prévue,
- ou dits « PERC » qui est un dispositif hydraulique permettant la déconnexion rapide d'un bras de chargement sur ordre opérateur, défaut d'énergie ou lorsque l'enveloppe opérationnelle²³ d'un bras de chargement est dépassée ; ce dispositif est en outre équipé de 2 vannes commandées à distance disposées de chaque côté du point de déconnexion pour limiter les déversements.

6.7.3 Dispositifs de contrôle en cas de pression haute

Il est rappelé que la pression des réservoirs devra être maintenue entre les valeurs opérationnelles autorisées.

Pour cela, en exploitation nominale, 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, voir sous chapitre suivant).

En exploitation nominale (hors situation de protection ultime), le délestage de gaz ne peut être envoyé à l'atmosphère que s'il s'agit d'épisodes très occasionnels. Les volumes de gaz évacués à l'atmosphère doivent être réduits autant que possible. Le délestage à l'atmosphère n'est acceptable que pour les installations modestes (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),
- ...

²³ Zone de l'espace au sein de laquelle il est prévu que le bras puisse se déplacer au gré des besoins

Ensuite, revenant aux situations d'urgence, lorsque la pression devient excessive malgré le système de contrôle de la pression, des soupapes de sécurité ou éventuellement des disques de rupture sont implantés pour évacuer le gaz dans les situations ultimes suivantes :

- l'évaporation due à un apport thermique, y compris en cas d'incendie,
- le mouvement dû à un éventuel sur-remplissage,
- un flash brusque lors du remplissage,
- les variations brutales de la pression atmosphérique,
- le recyclage soudain et à débit important d'une pompe,
- un débordement dans l'espace inter-parois pour les réservoirs non pressurisés,
- le phénomène de roll over pour les réservoirs non pressurisés

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 (voir plus loin). 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 lieu et 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.

6.7.4 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 d'un vaporisateur à air ambiant. Ce vaporisateur est installé sur un piquage de la ligne de soutirage avec un retour en phase gazeuse du réservoir. Ce vaporisateur comportant des pièces en aluminium vulnérables en cas d'incendie, la ligne de vaporisation doit être équipée de vannes d'isolement commandables à distance.

6.8 SYSTEMES DE COLLECTE DES EVENTS

Comme évoqué ci-avant, 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 évité, 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 évité par l'intermédiaire d'un évènement, ou éventuellement une torche pour les très grosses installations (si les volumes de gaz libérés deviennent trop importants).

Si des gouttelettes de liquides sont présentes dans le flux gazeux, 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'évènement tel qu'un ballon séparateur.

Les fonctionnalités de(s) évènements et torches sont alors de :

- récupérer/canaliser 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,
- orienter/diriger les volumes de gaz récupérés pour que ceux-ci soient libérés dans l'atmosphère à des endroits précis, localisés et contrôlés,
- éviter la dispersion de gouttelettes liquides de GNL à travers le site,
- favoriser la dispersion du gaz pour atteindre des concentrations inférieures aux limites d'inflammabilité.

Les objectifs de sécurité sont de plusieurs natures :

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

Le système de collecte d'évent peut être constitué d'un seul événement 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 conçu pour empêcher l'accumulation d'eau (de pluie) dans les collecteurs ou la construction de nid d'oiseau ou d'abris d'animaux, etc... pouvant obstruer la sortie de l'évent.

6.9 SYSTEMES DE COLLECTE DE FUITE

6.9.1 Fonctions et objectifs

Le système de récupération de fuite est destiné à retenir le GNL localement à l'aplomb de la brèche ou dans une capacité déportée.

Les objectifs de sécurité sont de 2 natures :

- réduire l'extension d'une nappe et par suite la taille d'un nuage explosible,
- prévenir la formation d'un feu de nappe engendrant un flux intense et prolongé sur une capacité de GNL (réservoirs, citerne,...).

Le dimensionnement d'un tel système nécessite de se référer aux scénarios de fuite sur phase liquide et d'examiner les conditions et le délai d'isolement pour ces scénarios (en pratique, le temps de réponse des MMR évoqué plus haut). Ces éléments peuvent être extraits de l'Etude de dangers, telle qu'établie en France. 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. Les fréquences de ces fuites peuvent en effet être assez hautes pour, combinées aux gravités, engendrer un risque non acceptable.

Des recommandations supplémentaires sont reportées aux sous chapitres suivants en distinguant :

- les aires de récupération, qui doivent collecter et « canaliser » le GNL,
- et les aires de rétention qui doivent temporairement « stocker » le GNL.

6.9.3 Aires de récupération

Concrètement, des aires sont à concevoir à partir :

- d'aires en béton, ceinturées par des caniveaux,
- ou de cuvettes en béton à l'aplomb des principaux équipements avec des pentes suffisantes dirigées vers des caniveaux.

Ces caniveaux peuvent être couverts de panneaux légers pour :

- limiter l'évaporation,
- et éviter une situation de propagation de flamme en milieu confiné et de forme allongée qui est propice aux fortes accélérations de flammes et par suite à des explosions avec de fortes surpressions.

6.9.4 Capacités de rétention

Les capacités ou cuvettes de rétention sont le plus souvent à déporter de sorte qu'en cas d'inflammation, les flux thermiques associés au feu de nappe ne viennent pas impacter les équipements environnant en les chauffant dangereusement.

Ensuite, comme déjà indiqué plus haut, les capacités sont à dimensionner en tenant compte des quantités de GNL pouvant être accidentellement déversées à extraire des études de dangers ou de sécurité. De façon pratique, les rétentions prévues pour les postes de transfert doivent avoir au moins la capacité d'une citerne (ferroviaire ou routière selon les cas).

Le débit d'évaporation depuis chaque cuvette peut être réduit au maximum par un dispositif du type écran flottant. La nécessité ou pas de ce type d'équipement dépend du contexte et des résultats des études des dangers.

Par ailleurs, 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.

Enfin, dans le cas des stockages non pressurisés, les rejets de GNL sont a priori les plus à même d'engendrer des épandages au sol. Dans ce contexte, la meilleure technologie est de disposer les canalisations (en particulier les longues canalisations reliant les postes de transfert navire au stockage) 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 des risques. Le volume nécessaire dépend en effet du temps de réponse du système de détection-isolement dans les compartiments.

6.10 SYSTEME DE PROTECTION INCENDIE

Le tableau ci-après présente :

- les fonctions pouvant être assurées par un système dit de protection incendie (alors qu'il s'agit parfois aussi de protection explosion),
- le type d'équipements assurant ces fonctions,
- et des remarques/informations.

Fonctions	Equipements	Remarques
Dilution/dispersion nuage	Rideau d'eau	La dilution s'opère 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 engendrant un nuage sans quantité de mouvement notable. Il permet ainsi d'éviter une dérive du nuage vers une zone à point d'inflammation ou à présence de personnes (voie de circulation,...).
Prévention allumage cuvette GNL	Déversoirs à mousse	Ce dispositif est réservé aux installations de grandes dimensions 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 engendre des effets dominos aggravant.
Mitigation feu de cuvette GNL	Déversoirs à mousse	
Extinction feu de camion-citerne	Extincteur mobile	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, dans un lieu sûr (abrité du rayonnement de l'incendie à arrêter).
Refroidissement de capacités	Arrosage à eau	Dans le cas des réservoirs et citernes de transport, l'arrosage peut être peu indiqué car : - s'il y a impact direct des flammes, les parois externes se trouvent portées à haute température (à cause des flammes mais aussi du fait que l'isolant

Fonctions	Equipements	Remarques
		<p>derrière les parois empêche/limite les transferts de chaleur) ; il s'ensuit potentiellement de la caléfaction de l'eau d'arrose et par suite un refroidissement peu efficace,</p> <p>- et s'il n'y a pas impact et que les flux thermiques transmis par rayonnement sont modérés alors l'isolation (perlite) des capacités de GNL permet d'emblée une tenue, relativement longue.</p>
Protection bureau exploitation, local instrumentation	Arrosage à eau	En comparaison des remarques en ligne précédente, il est en revanche généralement indiqué de refroidir des installations comme des capacités de procédé par exemple, une installation dangereuse voisine, ou encore un bureau d'exploitation en tant que refuge pour le personnel d'exploitation.
Protection installations voisines	Rideau d'eau Arrosage à eau	

Tableau 20: fonctions de protection incendie

6.11 EFFETS DOMINOS

Il ressort des considérations au sous chapitre précédent qu'une des fonctions importantes du système de protection incendie est d'éviter une séquence avec enchaînements de plusieurs phénomènes dangereux, le plus souvent appelée « effets dominos ».

L'objet n'est de détailler ici les critères ou seuils qui permettent de juger de la plausibilité d'effets dominos ou encore de méthodes pour prendre en compte ceux-ci. Pour mémoire, il convient juste de rappeler que la maîtrise des effets dominos est en pratique souvent assurée par :

- les choix d'implantations,
- ou par des barrières comme un mur de protection par exemple

Cela étant, il est ajouté comme recommandation de considérer :

- de façon « classique », les impacts entre 2 installations dangereuses (comme un poste de transfert et un stockage par exemple),
- mais aussi entre une installation dangereuse et les éléments sensibles comme par exemple, les principaux moyens de protection incendie (pomperie notamment) ou les lieux abritant les opérateurs et les commandes à distance des moyens de sécurité.

7 CONCLUSIONS -RESUME

Le présent document est consacré à l'étude des risques associés à différentes installations et opérations dans les ports, impliquant le GNL, comme celui de Toulon.

Outre les introductions, conclusions et références bibliographiques, il comporte :

- un chapitre 2 décrivant une situation pratique, qui est celle du port de Toulon ; au travers de la description du port, il ressort les éléments typiques à prendre en compte pour une étude comme les flux de GNL envisagés, la localisation ou l'environnement des installations,
- il est ensuite déduit ce à quoi pourraient correspondre des installations de stockage et transferts typiques de GNL, ainsi que les flux entre divers équipements ; les descriptions reportées au chapitre 3 sont elles aussi a priori typiques sachant que dans un cas réel des flux différents, des dimensions de canalisations différentes, etc pourraient être à considérer ; les valeurs retenues dans ce document doivent toutefois encadrer bien des cas pratiques,
- puis, les dangers associés au GNL et aux procédés sont passés en revue et identifiés quant à leurs natures au chapitre 4 ; il ressort ainsi 28 phénomènes dangereux introduisant autant de risques types ; parmi ceux-ci se trouvent principalement des jets enflammés et différentes explosions,
- ces risques sont ensuite caractérisés en matière de fréquences et conséquences au chapitre 5 suivant ; les fréquences sont exprimées en classes de fréquences d'occurrence par an (en considérant différentes puissances de 10, : 1 oc. tous les 100 ans,, tous les 1000 ans, etc.) ; les conséquences sont exprimées en termes de distances en deçà desquelles des effets sur la santé humaine pourraient être ressentis ; les risques ainsi caractérisés pourraient, en situation réelle, être acceptés ou pas selon le référentiel réglementaire à appliquer (ce référentiel est variable d'un pays de l'UE à l'autre et n'est pas défini au présent document),
- enfin, le chapitre 6 est consacré aux recommandations pouvant permettre de réduire les risques.

8 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Flauw Y. (2015)

Proposition d'une méthode semi-quantitative d'évaluation des probabilités d'inflammation
DRA 71 - Opération B
Rapport INERIS référencé DRA-13-133211-12545A.

Health and Safety Executive (2012),

Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments.
PCAG chp_6K Version 12 – 28/06/12

Heirman J.P. (2009)

HANDBOOK FAILURE FREQUENCIES 2009 for drawing up a SAFETY REPORT.
Deposit Number : D/2009/3241/355
Flemish Government.

MEEDDM (2010)

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.

Mouilleau Y., Lechaudel J.F. (1999)

Guide des Méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre
Rapport INERIS référencé INERIS DRA – YMo/YMo-1999-20433.

RIVM (2009)

Reference Manual Bevi Risk Assessments, version 3.2, 01.07.2009
National Institute of Public Health and the Environment (RIVM)