

Projet TDI RETE-GNL

Technologies et dimensionnement des installations pour le RÉSEAU de distribution
primaire de GNL dans les ports de la zone transfrontalière

Produit T2.4.1 “Rapport sur la classification et examen du risque des installations de GNL dans la zone portuaire”

TDI RETE-GNL
Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet

Sommaire

INTRODUCTION	6
1 RÉFÉRENCES RÉGLEMENTAIRES	13
1.1 PRINCIPES RÉGLEMENTAIRES INTERNATIONAUX, EUROPÉENS ET NATIONAUX.....	13
1.2 RÈGLEMENTS PERTINENTS POUR L'UTILISATION DU GNL	16
1.3 NORMES TECHNIQUES (ISO, CEN, UNI) ET LIGNES DIRECTRICES	20
2 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DES RISQUES.....	34
2.1 PRÉMISSE.....	34
2.2 LE CONCEPT DE RISQUE.....	35
2.3 LES MÉTHODES D'ÉVALUATION	36
2.3.1 Méthode qualitative	39
2.3.2 Application de la méthode d'évaluation qualitative (QualRA).....	43
2.3.3 Méthode quantitative	44
2.3.4 Application de la méthode d'évaluation quantitative (QRA).....	47
2.4 VALEURS SEUILS ET CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ.....	50
3 CARACTÉRISTIQUES GNL ET TAXONOMIE DES RISQUES.....	65
3.1 PRINCIPAUX EFFETS PHYSIQUES DU GNL.....	65
3.1.1 Limites d'inflammabilité.....	66
3.1.2 Comparaison GNL/GPL	70
3.2 RISQUES LIÉS AU GNL.....	71
3.2.1 Gaz d'évaporation (boil-off gas)	74
3.2.2 Contact avec le GNL.....	75
3.2.3 Stratification et roll-over.....	76
3.2.4 Sloshing.....	78
3.2.5 Transition de phase rapide (RapidPhaseTransition)	80
3.2.6 Bleve (boiling liquid expanding vapour explosion).....	81
3.2.7 Explosion d'un nuage de vapeur (Vapor Cloud Explosion).....	83
3.2.8 Jet fire, pool fire e flash fire.....	84

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



3.2.9	Asphyxie	90
3.2.10	Terrorisme.....	90
3.2.11	Tremblements de terre	91
3.2.12	Considérations finales concernant les pertes de GNL	92
3.3	SYSTÈMES DE TRANSFERT DE GAZ GNL	94
3.3.1	Configuration ship to ship.....	96
3.3.2	Configuration truck to ship	100
3.3.3	Configuration terminal (o port) to ship, via pipeline	104
3.3.4	Configuration mobile fuel tanks	106
4	LA GESTION DES RISQUES DANS LE SECTEUR PORTUAIRE.....	109
4.1	ZONAGE	112
4.2	ZONE DE DANGER	118
4.2.1	Standard ISO.....	119
4.2.2	Codice IGF/IGC.....	121
4.2.3	Calcul Informatique	122
4.3	ZONE DE SÉCURITÉ.....	123
4.3.1	Approche déterministe	124
4.3.2	Approche probabiliste.....	129
4.3.3	Le calcul informatique	131
4.4	ZONE DE CONTRÔLE ET DE SURVEILLANCE	134
5	APPLICATION PRÉLIMINAIRE DANS LE SECTEUR PORTUAIRE.....	136
5.1	ÉVALUATION DES RISQUES.....	136
5.1.1	Identification des risques	137
5.1.2	La quantification du risque	143
5.1.3	L'acceptabilité du risque	151
5.2	LA MISE EN PLACE DE ZONES DE CONTRÔLE	156
6	CONCLUSIONS	161
7	BIBLIOGRAPHIE.....	165
	ANNEXE 1	167

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
 Contribution du partenaire du projet



Index des figures

Figure 1. Réglementation de référence pour le GNL.....	33
Figure 2. Organigramme Méthode qualitative –.....	41
Figure 3. Schema extrait à partir de la norme ISO / TS 18683.....	42
Figure 4. Flow Chart Méthode quantitative.....	46
Figure 5. Critères d'acceptabilité des risques.....	51
Figure 6. Coûts liés à la réduction des risques.....	53
Figure 7. Exemple où les valeurs sont exprimées comme la distance à laquelle le dommage est considéré comme intolérable.....	55
Figure 8. Valeurs seuils et critères d'acceptabilité – ISO/TS 18683.....	56
Figure 9. Exemple de matrice d'évaluation des risques – ISO17776.....	57
Figure 10. Exemples de cartographies des risques isolés et de répartitions individuelles des risques.....	60
Figure 11. Exemples de cartographies des risques isolés et de répartitions individuelles des risques.....	62
Figure 12. Exemples de critères d'acceptabilité.....	64
Figure 13. Intervalle d'inflammabilité du GNL.....	68
Figure 14. Risques spécifiques du GNL.....	73
Figure 15. Le Phénomène de rollover.....	77
Figure 17. RapidPhase Transition (RPT) di GNL.....	81
Figure 18. Phénomène BLEVE.....	82
Figure 19. Scénario VCE possible en cas de navire méthanier amarré.....	84
Figure 20. Arbre des événements liés à la libération du GNL.....	86
Figure 21. GNL et pool fire: quelques exemples.....	87
Figure 22. Pool diameter et surface emission power pour différents types de combustibles.....	88
Figure 23. Exemple de phénomène de flash fire produit par un déversement de GNL.....	89
Figure 24. Causes potentielles des pertes de GNL.....	94
Figure 25. Supply chain del GNL.....	95
Figure 26. Configurations possibles de soutage du GNL.....	96
Figure 27. Approvisionnement en GNL selon la configuration STS.....	97
Figure 28. Navire de ravitaillement en GNL de l'Argos selon la configuration STS: rendering.....	98
Figure 29. Approvisionnement en GNL selon la configuration TTS.....	100
Figure 30. Approvisionnement en GNL selon la configuration PTS.....	104
Figure 31. ISO-container cryogéniques.....	107
Figure 32. Placement d'un conteneur ISO pour le soutage de GNL sur un navire.....	107
Figure 33. Zones de contrôle - Zone de danger, de sécurité et de surveillance.....	115
Figure 34. Zones de contrôle - Zones dangereuses, de sécurité, de surveillance, marines et extérieures.....	116
Figure 35. Zones de danger - Code IGC/IGF.....	122
Figure 36. Zones de danger - Calcul CFD.....	123
Figure 37. Extension de la zone par rapport au volume de GNL libéré et piégé dans l'interconnexion.....	126
Figure 38. Extension de la zone par rapport à la pression au point de rejet de GNL.....	127
Figure 39. Schéma de calcul - approche probabiliste.....	129
Source : notre élaboration à partir de EMSA Guidance on LNG Bunkering.....	143
Figure 41. Exemple de diagramme de synthèse pour chaque technologie.....	146
Figure 42. Exemple de graphique comparatif des risques évalués.....	147
Figure 43. Diagramme radar se rapportant au soutage Ship to Ship.....	148
Figure 44. Diagramme radar faisant référence au soutage TTS.....	149

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale”
 Contribution du partenaire du projet



Figure 45. Diagramme radar faisant référence au soutage PTS..... 150
 Figure 47. Diagramme radar se référant au soutage de STP..... 153
 Figure 48. Exemples de proximité avec le port de la ville (La Spezia - Gênes - Cagliari - Ajaccio - Savone) 157
 Figure 49. Situation de la traversée de la zone de sécurité par un navire - STS..... 160

Index des tableaux

Tableau 1. Index synthétique du document préparé par le partenaire CCIVAR et son consultant TECHNIP 9
 Tableau 2. Étapes techniques de l'élaboration de la méthode quantitative 45
 Tableau 3. Scénarios standard et exceptions pour l'application QualRA pour le soutage LNG 49
 Tableau 4. Caractéristiques d'inflammabilité..... 69
 Tableau 5. Comparison of properties of Liquid Fuels..... 70
 Tableau 6. Caractéristiques des zones dangereuses..... 118
 Tableau 7 Exigences du projet pour la définition des distances : une méthode basée sur le risque 130
 Tableau 8 Caractéristiques des principales tools software 132
 Tableau 9. Méthodologie de calcul des distances de sécurité 133
 Tableau 10. Identification des risques par solution technologique 137
 Tableau 11. Répartition des risques majeurs en macro-zones 142
 Tableau 12. Classification des fréquences d'occurrence..... 144
 Tableau 13. Classification des dommages..... 144
 Tableau 14. Quantification des risques liés aux STS pour chaque macrozone 148
 Tableau 15. Quantification des risques liés aux STT pour chaque macrozone 149
 Tableau 16. Quantification des risques PTS pour chaque macro-zone..... 150
 Tableau 17. Comparaison des risques pour chaque macrozone 152
 Tableau 18. Système d'évaluation des risques à appliquer dans le soutage..... 155

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

INTRODUCTION

L'objectif de ce rapport est d'arriver à la définition de lignes directrices pour la définition et l'évaluation des risques associés au soutage du GNL afin d'obtenir une méthode claire de classification et d'interprétation des zones destinées à accueillir ces activités dans la zone portuaire.

Ce document fait partie du projet TDI RETE-GNL (UNIGE-CIELI Lead Partner), dans le cadre du programme maritime Interreg Italie-France 2014-2020, qui vise à identifier des solutions de production technologique pour la distribution et Soutage de GNL dans les ports de la zone transfrontalière, sur la base de normes et procédures opérationnelles partagées: en particulier, au sein de la Composante T2 prévue dans le formulaire, le projet est dédié à l'analyse de la localisation possible des installations et des entrepôts du réseau de distribution primaire, vérification de leurs externalités potentielles et de leur durabilité économique et financière.¹

Plus précisément, le présent document représente le produit final T.2.4.1, prévu dans le cadre de l'activité T2.4, et, selon le formulaire, voit la participation du partenaire **chef de file (UNIGE_CIELI)** et du **consultant du chef de file (TECNOCREO)** ainsi que du **partenaire 5 (CCIVAR)** et du consultant associé (TECHNIP FMC). En particulier, en ce qui concerne le rapport du partenaire 5 (CCIVAR) et du consultant correspondant, l'ensemble du rapport est présenté à l'annexe 1. Toutefois, aux fins et pour les besoins de l'activité T.2.4.1, le chapitre 3 du document susmentionné de l'annexe 1 est pertinent.

Les **partenaires P2 (UNIFI)**, **P3 (UNICA/CIREM)**, **P4 (OTC)**, ont contribué, selon le formulaire, aux activités techniques et fonctionnelles pour la préparation du produit final T2.4.1, en fournissant un soutien constant dans la définition du cadre du produit, en effectuant le suivi in itinere des activités de recherche et en contribuant à assurer la validation des résultats de la recherche, également par l'implication des acteurs concernés liés à leur zone géographique de référence.

¹ Cfr.: Projet Interreg Maritime IT-FR "TDI RETE-GNL", in: <http://interreg-maritime.eu/web/diretegnl>

Il convient de noter que, en ce qui concerne le produit T2.4.1 "Classification du rapport et examen du risque lié aux installations de GNL dans l'environnement portuaire", la définition du cadre conceptuel de l'ensemble du document et la rédaction des chapitres : "1. Références normatives "et "3. Caractéristiques du GNL et taxonomie des risques ". Les chapitres "2. Méthodologie d'analyse des risques", "4. Gestion des risques dans les ports", "5. Application préliminaire dans les ports" et "6. Conclusions", doivent être attribués au consultant externe TECNOCREO du P1/CF, et l'annexe 1 du document doit être attribué au partenaire P5 et à son consultant.

La création d'infrastructures et de solutions technologiquement productives pour la distribution et le soutage du GNL implique des décisions stratégiques concernant la localisation des installations de fourniture, de stockage et d'approvisionnement en GNL et leur dimensionnement, selon une logique systémique. La question de l'évaluation des risques associés à la gestion de ce type d'installations et aux activités liées à leur exploitation est certainement un nœud central du processus décisionnel, notamment pour les choix concernant les critères de localisation et l'identification des meilleurs sites. L'approche de la question est nécessairement transfrontalière, précisément IT-FR maritime, est une conséquence directe de la densité des services maritimes avec origine/destination dans la zone et la nécessité de disposer d'installations avec des caractéristiques technologiques homogènes dans des zones qu'il est raisonnable de définir comme voisines indépendamment de la nationalité.

Ce document est divisé en une première section définissant le cadre réglementaire applicable au système de soutage du GNL (chapitre 1), suivie d'une section sur le cadre conceptuel et technique pour l'analyse et l'évaluation des risques (chapitre 2). Le chapitre suivant (chapitre 3) vise à illustrer tous les risques possibles découlant de l'utilisation du GNL, en fournissant une description détaillée des différentes options technologiques pour le soutage et le stockage du GNL dans l'environnement marin et portuaire. Le chapitre 4 traite de la gestion des risques dans le scénario spécifique de la chaîne d'approvisionnement en GNL à petite échelle dans les zones portuaires, en illustrant les méthodologies et pratiques établies pour définir les zones de sûreté et de contrôle autour des installations afin de prévenir les effets des événements indésirables.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



La contextualisation de toutes les approches présentées se trouve au chapitre 5, section où les profils de risque des différentes solutions technologiques de soutage sont comparés sur une base qualitative, afin d'introduire quelques éléments de base associés aux spécificités des zones portuaires impliquées dans ce projet. Le dernier chapitre est consacré aux conclusions (chapitre 6).

En outre, comme mentionné précédemment, dans le cadre de l'activité 2.4, qui se réfèrent au produit final T.2.4.1, incluent également les analyses et études réalisées par le Partenaire 5 (CCIVAR), également à travers le soutien du consultant externe correspondant TECHNIP FMC. Le Tableau 1, ci-dessous, montre l'index du rapport du partenaire P5 et de son consultant qui fait partie des activités T.2.4 du projet TDI RETE-GNL.

TDI RETE-GNL
Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

Tableau 1. Index synthétique du document préparé par le partenaire CCIVAR et son consultant TECHNIP

Titolo	N° pagina
1. Introduzione	5
1.1. Scopo e contesto generale	5
1.2. Scopo e contesto specifici	5
1.3. Cronologia	6
1.4. Contenuto	7
2. Il porto di Tolone	8
2.1. Generale	8
2.2. Siti principali	8
2.3. Ambiente del sito	13
3. Installazioni tipiche	16
3.1. Ipotesi e dati generali sul traffico GNL	16
3.2. Flusso - Pressione - Temperatura - Condizioni di temperatura - Dimensioni tipiche	18
4. Classificazione e revisione dei diversi tipi di rischio	23
4.1. Pericoli associati al prodotto	23
4.2. Pericoli di processo	33
4.3. Pericoli ambientali	37
4.4. Incidentologia	39
4.5. In sintesi	43
5. Caratterizzazione del rischio	51
5.1. Generale	51
5.2. Gravità dei fenomeni pericolosi	55
5.3. Frequenza degli eventi pericolosi	68
5.4. Sintesi del rischio	84
6. Raccomandazioni di buona pratica	89
6.1. Generale	89
6.2. Norme generali di sicurezza	89
6.3. Stoccaggio e linee collegate	90
6.4. Catena di sicurezza / mmr chiamato strumentato	91
6.5. Rilevazione	93
6.6. Trattamento	98
6.7. Sistemi di azione d'emergenza	100
6.8. Sistemi di raccolta dello sfianto	102
6.9. Sistemi di raccolta delle perdite	104
6.10. Sistema di protezione antincendio	106
6.11. Effetti domino	109
7. Conclusioni - Sommario	110
8. Riferimenti bibliografici	111

Source : Nt. Élaboration à partir du document “LOT 3 - ANALYSE DES RISQUES DES INSTALLATIONS GNL DANS LES ” CCI du VAR

Le document est très utile pour intégrer non seulement le produit T2.4.1 mais également les produits T2.4.2 et T2.4.4. Cependant, aux fins et objectifs visés dans ce produit final, nous rappelons principalement le **chapitre 3** du document en annexe 1, qui fournit la description des installations suivantes :

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale”
 Contribution du partenaire du projet



- La Gare Usine;
- La Gare Portuaire;
- La Gare Grand Port

En particulier, en référence à la "Gare 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. De plus, grâce à la technologie de stockage de cette station, c'est-à-dire la double enveloppe / le réservoir sous pression à simple intégrité, un certain niveau de flexibilité opérationnelle est garanti.

En ce qui concerne la "Station Portuaire", en revanche, dont l'objectif premier est de fournir du GNL aux navires, cette station offre une capacité de stockage volumétrique supérieure à celle de la station usine, ce qui la rend plus adaptée si la demande de GNL est plus élevée. La technologie utilisée dans cette station peut généralement être identifiée dans un réservoir pressurisé d'une taille moyenne telle qu'une installation horizontale est nécessaire.

En ce qui concerne le dernier type de station mentionné, c'est-à-dire la " Station Grand Port", il convient de noter qu'elle a les mêmes fonctions que la station portuaire, mais qu'elle est plus adaptée au ravitaillement en carburant et à l'approvisionnement des grands navires. Dans ce cas, la technologie appropriée à utiliser est un ou plusieurs réservoirs non pressurisés caractérisés par la présence d'un double confinement. Cette technologie de stockage convient, selon les indications fournies par le consultant externe de Partner 5, également aux installations offshore, sous forme de barge flottante ou de structure gravitaire (GBS)².

Il convient de noter que, bien que les chapitres 4 et 5 du rapport fourni par le partenaire 5 (CCIVAR) aient été intégrés dans le produit T2.4.2, ils sont également pertinents en ce qui concerne les questions examinées en détail dans le produit T2.4.1 du projet TDI RETE-GNL (c'est-à-dire le présent

² Structure en béton conçue pour reposer sur le fond marin à faible profondeur.

document). De ce point de vue, il convient en effet de noter que le chapitre 4 ci-dessus fournit une classification des risques basée sur leur identification à travers une analyse à 4 niveaux donnée par :

- les dangers associés au produit ;
- risques opérationnels;
- les risques environnementaux;
- les risques liés aux activités anthropiques

En référence aux **dangers associés au produit**, une description générale du gaz naturel est fournie, puis en analysant en détail sa composition chimique, ses propriétés physiques, avec une référence spécifique aux différents types de GNL existants³ et en les comparant également au méthane. Le rapport fournit également des informations utiles sur les propriétés d'inflammabilité et de combustion qui caractérisent le gaz naturel.

Les **risques opérationnels**, également appelés «dangers de processus», sont principalement identifiables dans les opérations de transfert et de stockage. A ce titre, dans les cinq rapports Partenaires, nous sommes régulièrement décrits les aléas liés aux opérations liées au transfert, au stockage sous pression et au stockage non pressurisé du GNL.

Concernant les **risques environnementaux**, le document cité à plusieurs reprises examine l'ensemble des risques et dangers dus aux conditions naturelles, tels que :

- inondation ou submersion,
- foudre,
- tremblements de terre.

Le rapport précise l'importance de l'étude et de l'analyse de ces éléments de risque/danger pendant l'exécution des différentes activités d'évaluation des risques ; chaque événement potentiel doit bien entendu être également considéré en fonction de sa probabilité d'occurrence. Les **risques associés aux activités anthropiques** sont évidemment attribuables aux activités ou compléments réalisés par l'homme et proviennent principalement du contexte des activités de transport/transfert ou des activités

³ Dans ce document, le GNL est distingué selon son origine puis subdivisé selon la masse moléculaire ; la température d'ébullition à la pression atmosphérique ; la densité du liquide à la température d'ébullition ; la densité de vapeur à la température d'ébullition ; la densité de vapeur à 20°C.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

industrielles adjacentes aux zones de soutage et de stockage de GNL dans le contexte des ports maritimes.

En ce qui concerne le chapitre 5, en revanche, le rapport du partenaire 5 fournit une brève description des principales composantes du "risque", qui se décompose en : gravité des phénomènes et probabilité/fréquence avec laquelle ils peuvent se produire.

En ce qui concerne l'évaluation et l'estimation de la gravité des phénomènes dangereux, le rapport fournit une application empirique grâce à l'utilisation du logiciel "PHAST", qui est utilisé pour la mise en œuvre des modèles de calcul des distances d'effet. Il analyse donc, d'un point de vue essentiellement technique, les distances des effets pour le phénomène BLEVE et le phénomène VCE. Enfin, le chapitre 6, un document fourni par le partenaire P5, qui a été inclus dans le produit T2.4.4, fournit des recommandations de bonnes pratiques à suivre en ce qui concerne les installations et les équipements de GNL. Ce chapitre traite à la fois en termes techniques les règles générales de sécurité, les citernes et les lignes connexes, les mesures de contrôle des risques éventuels en référence également aux systèmes d'alarme en cas de dépassement des valeurs seuils, la collecte des événements et des fuites, les systèmes de protection contre l'incendie et les effets domino.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

1 RÉFÉRENCES RÉGLEMENTAIRES

1.1 PRINCIPES RÉGLEMENTAIRES INTERNATIONAUX, EUROPÉENS ET NATIONAUX

L'attention croissante portée aux questions de la propulsion des navires par le GNL et de son soutage dans les zones portuaires dédiées, fait de la question de la durabilité environnementale et de la sécurité des systèmes de transport et des opérations de soutage un moteur essentiel du développement. Afin de remédier à la grave préoccupation environnementale causée par les niveaux croissants de pollution produits par le secteur du transport maritime à l'échelle mondiale, une série de mesures et de dispositions réglementaires ont été adoptées au fil du temps par les organismes internationaux et les autorités compétentes en vue de réduire les émissions de polluants ayant des effets négatifs sur l'air, la santé humaine et le climat. Les impacts indéniables des polluants atmosphériques ont déclenché un processus réglementaire qui, depuis les années 1970, vise de plus en plus à atténuer ces problèmes, tout en sensibilisant le public sur le contrôle et la surveillance de la pollution atmosphérique. Dans cette optique, l'Organisation maritime internationale (OMI) a introduit en 1973 la "Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires", connue sous le nom de MARPOL 73/78⁴. L'annexe VI de la Convention MARPOL⁵ introduit des limites de teneur en soufre plus

⁴ La Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL) a été adoptée le 2 novembre 1973 à l'OMI et couvre la pollution par les hydrocarbures, les produits chimiques et les substances nocives sous forme d'emballages, d'eaux usées et de déchets. Le protocole de 1978 relatif à la Convention internationale de 1973 pour la prévention de la pollution par les navires (protocole MARPOL de 1978) a été adopté en février 1978 lors d'une conférence sur la sécurité des pétroliers et la prévention de la pollution, tenue à la suite d'une vague d'accidents en mer en 1976-1977.

⁵ Dans l'ensemble, la Convention se compose de VI annexes : Annexe I Règlement pour la pollution par les huiles minérales (2.10.1982) ; Annexe II Règlement pour la prévention de la pollution par les substances liquides nocives transportées en vrac (6.04.1987) ; Annexe III Règlement pour la prévention de la pollution par les substances nocives transportées en colis (1.07. 1992) ; Annexe IV Règlement pour la prévention de la pollution par les eaux usées des navires (23.09.2003) ; Annexe V Règlement pour la prévention de la pollution par les déchets solides rejetés par les navires (31.12.1988) ; Annexe VI Règlement pour la prévention de la pollution de l'air par les SOx et NOx provenant des gaz d'échappement des moteurs (19.05.2005).

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



strictes que par le passé pour les combustibles marins dans les zones SECA (1,00 % à partir du 1.07.2010 et 0,10 % à partir du 01.01.2015) ainsi que dans les zones maritimes hors SECA (3,50 % à partir du 01.01.2012 et, en principe, 0,50 % à partir du 01.01.2020). En particulier, en ce qui concerne les sujets traités, on note l'importance du règlement n° 14 sur les concentrations d'émissions de SOx et de particules et du règlement n° 13 sur les concentrations d'émissions de Nox.

Afin d'assurer la cohérence avec le droit international ainsi que l'application correcte dans l'Union européenne des règles de teneur en soufre établies au niveau international, la directive 2016/802 / UE (directive sur le soufre) du 11 mai 2016 est conforme à l'annexe VI de la convention MARPOL. La directive 2016/802 a pour objectif de réduire les émissions de dioxyde de soufre résultant de la combustion de certains types de combustibles liquides, diminuant ainsi les effets nocifs de ces émissions pour les personnes et l'environnement, conformément aux politiques européennes de protection du climat. Dans le cadre réglementaire de l'UE, une autre norme pertinente pour l'analyse de la stratégie pour une croissance intelligente, durable et inclusive, pour améliorer la compétitivité et garantir la sécurité énergétique grâce à une utilisation plus efficace de l'énergie et des ressources est la directive 2014/94 / UE (DAFI) du 22 octobre 2014 relative à la création d'un système d'infrastructures pour soutenir la diffusion de carburants alternatifs. La directive DAFI, mise en œuvre dans la loi de délégation européenne en 2014, crée les conditions d'une clé européenne pour le développement d'un marché unique et des économies d'échelle dans la création d'un système d'infrastructure pour la diffusion de carburants alternatifs. Conformément aux dispositions de la directive, les États membres, par le biais de leurs cadres stratégiques nationaux, veillent à ce que :

- D'ici le 31 décembre 2025, un nombre suffisant de points de ravitaillement en GNL sera mis en place dans les ports maritimes pour permettre la circulation des bateaux de navigation intérieure ou des bateaux de mer alimentés au GNL dans le réseau central du TEN-T (Trans - European Network- Transport) ;

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



- D'ici le 31 décembre 2030, un nombre suffisant de points de ravitaillement en GNL sera établi dans les ports intérieurs pour permettre le mouvement des bateaux de navigation intérieure ou des navires utilisés pour la navigation maritime alimentés au GNL dans le réseau central du TEN-T. Les États membres coopèrent avec les États membres voisins, le cas échéant, pour assurer une couverture adéquate du réseau central du TEN-T ;
- D'ici le 31 décembre 2025, un nombre suffisant de points de ravitaillement en GNL accessibles au public au moins le long du réseau central TEN-T sera mis en place pour assurer la circulation dans l'ensemble de l'Union des poids lourds fonctionnant au GNL.

L'Italie a transposé la directive 2014/94 / UE (DAFI) du 22 octobre 2014 sur la construction d'une infrastructure pour les carburants alternatifs avec le décret législatif 257/2016, afin de réduire la dépendance au pétrole et d'atténuer l'impact environnemental dans le secteur des transports. Le décret législatif 257/2016 établit les exigences minimales pour la construction d'infrastructures pour les carburants alternatifs, y compris les points de recharge pour les véhicules électriques et les points de ravitaillement pour le gaz naturel liquéfié et comprimé, l'hydrogène et le gaz de pétrole liquéfié, à mettre en œuvre par le Cadre stratégique national, dont la section C indique les lignes directrices à suivre pour le développement du GNL comme carburant pour la navigation maritime, pour le transport routier et pour d'autres usages en Italie.

En ce qui concerne les autorisations, le décret 257/2016 couvre tous les types de systèmes nécessaires à la croissance de l'infrastructure de distribution, décrivant les procédures nécessaires à la construction des stockages, à travers des procédures simplifiées et prévoyant certains moments de conclusion de celles-ci :

- Les installations de regazéification qui ont également l'intention d'offrir des services de transport, de stockage et de distribution de GNL (art. 9) ;
- Installations définies comme " small scale LNG " (art. 10) ;

TDI RETE-GNL

**Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet**



- Installations de stockage de GNL à petite échelle destinées à approvisionner les utilisateurs finaux (article 11).

1.2 RÈGLEMENTS PERTINENTS POUR L'UTILISATION DU GNL

Outre les réglementations internationales, européennes et nationales, qui ont souligné la nécessité de plus en plus pressante d'adopter des carburants verts, tels que le GNL, capables d'assurer un impact environnemental moindre, des conventions, codes, normes techniques et directives ont également été élaborés, élaborés par organismes et opérateurs du secteur s'appuyant sur les compétences des entreprises impliquées, sur le terrain de ce secteur, qui en ont actualisé le contenu à la lumière de l'expérience.

Selon la publication d'août 2013 "Standards and Guidelines for Natural Gas Fuelled Ship Projects" par SIGTTO (Society of International Gas Carrier and Terminal Operators) et la SGMF, l'industrie du transport maritime de GNL a un bilan de sécurité enviable et, au cours des 49 années écoulées depuis que la première cargaison commerciale a été transportée d'Algérie au Royaume-Uni, 7 200 millions de m³ de GNL ont été livrés en toute sécurité avec environ 75 000 voyages dans des conditions de cargaison. Cet excellent bilan en matière de sécurité est le résultat du respect par les opérateurs de l'industrie du GNL de codes et de normes stricts pour la conception, la construction et l'exploitation des navires et des terminaux maritimes où ils chargent et déchargent. Avec l'avènement de l'utilisation du GNL "à petite échelle" (également connu sous le nom de SSLNG, ou "Small Scale LNG"), en particulier si l'on considère son utilisation comme combustible marin, il est essentiel que les connaissances et l'expérience soient partagées entre les nouveaux participants au scénario GNL. Une liste non exhaustive des principales réglementations et directives internationales et européennes relatives à la sûreté et à la sécurité des opérations de soutage, des installations, des machines et des infrastructures portuaires sera fournie ci-dessous, tandis que le paragraphe suivant examinera les principales règles et normes techniques relatives au "système navire", en fournissant pour chacun de ces documents une brève description du contenu le plus pertinent.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



IMO- SOLAS

La Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS), publiée par l'OMI en 1974, est l'un des accords internationaux les plus importants visant à protéger la sécurité de la navigation et la sauvegarde de la vie humaine en mer. Parmi les règles figurent celles relatives à la construction, à l'équipement et à l'exploitation des navires en matière de sécurité. Les États du pavillon sont chargés de veiller à ce que les navires battant leur pavillon se conforment aux exigences de la convention, et la convention exige un certain nombre de certificats pour prouver que cela a été fait. Les dispositions relatives au contrôle permettent également aux gouvernements contractants d'inspecter les navires d'autres États contractants s'il y a des raisons manifestes de penser que le navire et son équipement ne satisfont pas pour l'essentiel aux exigences de la convention - cette procédure est connue sous le nom de contrôle par l'État du port. L'actuelle convention SOLAS comprend des articles énonçant les obligations générales, la procédure d'amendement, etc., suivis d'une annexe divisée en 14 chapitres.

IMO – CODE IGF

L'objectif de l'International code of safety for ships using Gases or other low-flashpoint fuels constructions & bunkering of LNG Fueled vessels (IGF) est de fournir une norme internationale pour les navires non couverts par le Code IGC, opérant avec des combustibles tels que les gaz ou les liquides à faible point inflammabilité. Le code prévoit des critères obligatoires pour le logement et l'installation des machines, des installations, des équipements et des systèmes afin de minimiser les risques pour le navire, son équipage et l'environnement.

IMO – CODE IGC

L'international code for the construction and equipment of ships carrying liquefied Gases in bulk construction of LNG Carrier vessels (IGC) fournit un standard international pour le transport en toute sécurité des gaz liquéfiés et de certaines autres substances en vrac par mer. Elle prescrit les normes

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



de conception et de construction des navires-citernes et des équipements qui doivent permettre de minimiser les risques pour le navire, son équipage et l'environnement.

IMO – CODE IMDG

International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code – Ce code énonce les principes de base, ainsi que des recommandations détaillées pour les différentes substances et matières, et un certain nombre de recommandations de bonnes pratiques opérationnelles, notamment des conseils sur la terminologie, l'emballage, l'étiquetage, l'arrimage, la séparation et la manutention, et les procédures d'urgence liées au transport de marchandises en colis.

IMO - STCW CONVENTION AND CODE

L'objectif de la Convention Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW) adoptée par l'OMI en 1978 est de promouvoir la sécurité des personnes et des biens en mer et d'assurer la protection de l'environnement en établissant des normes internationales de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille (STCW '95). Outre la convention, qui fournit le cadre juridique et les principes généraux, le code STCW a été publié, fournissant les éléments plus techniques et détaillés. Une révision générale de la convention STCW de 1978 et du code STCW a débuté en janvier 2006 et a abouti à la conférence des contractants de la convention STCW, qui s'est tenue à Manille, aux Philippines, du 21 au 25 juin 2010, et qui a adopté un nombre important d'amendements à la convention STCW et au code STCW. Parmi les modifications figurent également les exigences de compétence pour le personnel servant à bord de tous les types de navires-citernes, y compris les nouvelles exigences pour le personnel fournissant des gaz liquéfiés.

IMO - ISPS CODE

The International Ship and Port facility Security Code a été publié en 2002 et contient de nouvelles dispositions à caractère obligatoire. Il vise à renforcer la protection du transport maritime en

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



présentant un ensemble de mesures de sûreté à trois niveaux (normal, renforcé et élevé) dont la mise en œuvre concrète est liée à une analyse des risques. Le nouveau système rend obligatoire l'identification des personnes responsables tant à bord du navire que dans les installations portuaires et la définition d'un plan de sûreté portuaire qui doit tenir compte d'une analyse minutieuse des risques tant du navire que de l'installation portuaire/du terminal du navire destinataire.

IMO – RESOLUTION MSC 285(86) “INTERIM GUIDELINES ON SAFETY FOR NATURAL GAS FUELLED ENGINE INSTALLATIONS IN SHIPS”

Les lignes directrices provisoires ont été élaborées afin de fournir une norme internationale pour les navires, autres que les navires soumis au code IGC⁶, équipés d'un dispositif d'avitaillement en gaz naturel. L'objectif est de fournir des critères pour le logement et l'installation des machines de propulsion ou auxiliaires utilisant le gaz naturel comme combustible afin d'atteindre un niveau d'intégrité en termes de sécurité et de fiabilité équivalent à celui existant pour les navires équipés de machines conventionnelles fonctionnant au pétrole.

DIRECTIVE 2012/18/EU SEVESO III

La directive Seveso III établit des règles visant à prévenir les accidents majeurs impliquant des substances dangereuses et à limiter leurs conséquences pour la santé humaine et l'environnement afin de garantir un niveau de protection élevé, cohérent et efficace dans toute l'Union. La directive 2012/18/UE remplace intégralement, à compter du 1er juin 2015, les directives 96/82/CE et 2003/105/CE. Adaptation de l'annexe I (champ d'application) aux modifications du système

⁶ L'international code for the construction and equipment of ships carrying liquefied Gases in bulk construction of LNG Carrier vessels (IGC) est le code international pour la construction et l'équipement des navires transportant des gaz liquéfiés en vrac, adopté par la résolution MSC.5, est obligatoire en vertu du chapitre VII de la convention SOLAS depuis le 1er juillet 1986. Le code IGC s'applique aux navires de toutes tailles, y compris ceux d'une jauge brute inférieure à 500, qui transportent des gaz liquéfiés ayant une pression de vapeur supérieure à 2,8 bars absolus à une température de 37,8 °C et certaines autres substances énumérées au chapitre 19 du code.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet



communautaire de classification des substances : introduction de mécanismes correcteurs pour adapter l'annexe I aux classifications "futures" (substances ne présentant pas de caractéristiques donnant lieu à un danger d'accident majeur) ; renforcement des dispositions relatives à l'accès du public aux informations sur la sécurité, à la participation au processus décisionnel et à l'accès à la justice, et amélioration de la manière dont les informations sont collectées, gérées, mises à disposition et partagées. Introduction de règles plus strictes pour les inspections des installations afin d'assurer une mise en œuvre et une application efficaces des règles de sécurité et de nouvelles modifications techniques pour clarifier et mettre à jour certaines dispositions, y compris certaines rationalisations et simplifications pour réduire les charges administratives inutiles

1.3 NORMES TECHNIQUES (ISO, CEN, UNI) ET LIGNES DIRECTRICES

Ci-dessous, en référence à ce qui a été rapporté par l'Organisation italienne de normalisation et le site officiel de l'Organisation internationale de normalisation (ISO), les principales normes techniques ISO et les normes UNI/EN ISO concernant le Gaz Naturel Liquéfié sont rapportées.

ISO 8943:2007 - REFRIGERATED LIGHT HYDROCARBON FLUIDS -- SAMPLING OF LIQUEFIED NATURAL GAS -- CONTINUOUS AND INTERMITTENT METHODS

Cette norme définit les normes méthodologiques internationales spécifiques pour la fourniture continue et intermittente de GNL pendant son transport via une ligne de transfert. La norme définit également le système d'échantillonnage, l'équipement, la procédure d'échantillonnage et les méthodes d'établissement du rapport d'échantillonnage.

ISO 10976:2012 - REFRIGERATED LIGHT HYDROCARBON FLUIDS - MEASUREMENT OF CARGOES ON BOARD LNG CARRIERS

La norme internationale définit les étapes nécessaires pour mesurer et quantifier les charges de gaz naturel liquéfié (GNL). Elle comprend, sans s'y limiter, la mesure du volume de liquide, du volume

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



de vapeur, de la température et de la pression et le comptage de la quantité totale de la charge à bord. Cette norme internationale décrit l'utilisation des systèmes de mesure couramment utilisés à bord des transporteurs de GNL ; l'objectif est d'améliorer les connaissances générales et les processus de mesure du GNL pour toutes les parties concernées. La norme définit les exigences générales applicables aux négociants en GNL à bord des navires et à terre.

ISO 12991:2016 - LIQUEFIED NATURAL GAS (LNG) -- TANKS FOR ON-BOARD STORAGE AS A FUEL FOR AUTOMOTIVE VEHICLES

La norme spécifie les exigences de construction des réservoirs rechargeables utilisés dans les véhicules alimentés au gaz naturel liquéfié (GNL) ainsi que les propriétés et les méthodes d'essai nécessaires pour assurer un niveau raisonnable de protection contre l'incendie et l'explosion. Il s'applique aux citernes destinées à être fixées de manière permanente aux véhicules à moteur, mais peut servir de guide pour les autres modes de transport.

ISO 18132-1:2011 - REFRIGERATED HYDROCARBON AND NON-PETROLEUM BASED LIQUEFIED GASEOUS FUELS - GENERAL REQUIREMENTS FOR AUTOMATIC TANK GAUGES - AUTOMATIC TANK GAUGES FOR LIQUEFIED NATURAL GAS ON BOARD MARINE CARRIERS AND FLOATING STORAGE

La norme définit les exigences en matière de précision, d'installation, d'étalonnage et de vérification des dispositifs de mesure automatiques (ATGS) utilisés pour la mesure pendant le transfert de gaz naturel liquéfié (GNL) à bord d'un méthanier ou d'un stockage flottant. Le GNL décrit dans la norme ISO 18132-1 : 2011 est soit entièrement réfrigéré (c'est-à-dire en condition cryogénique), soit partiellement réfrigéré, et le fluide est donc proche de la pression atmosphérique. Les exigences techniques pour la collecte, la transmission et la réception des données sont également précisées.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



UNI EN ISO 23251:2008 - INDUSTRIES PÉTROLIÈRE, PÉTROCHIMIQUE ET DU GAZ NATUREL - SYSTÈMES DE DÉPRESSURISATION ET DE PROTECTION CONTRE LA SURPRESSION

La norme est la version officielle en langue anglaise de la norme européenne EN ISO 23251 (édition de juillet 2007) et de la mise à jour A1 (édition de mai 2008) et tient compte du rectificatif erroné d'avril 2008 (AC : 2008). La norme s'applique aux systèmes de protection contre la dépressurisation et la surpression. Bien que principalement destiné à être utilisé dans les raffineries de pétrole, il s'applique également aux usines pétrochimiques, aux usines à gaz, aux usines de gaz naturel liquéfié et aux usines de production de pétrole et de gaz naturel. Les informations fournies ont pour but d'aider à choisir le système le plus approprié en fonction des risques et des conditions qui peuvent se présenter dans les différentes installations. La norme complète les procédures mises en évidence dans la norme ISO 4126 ou API RP 520-I pour établir une base de conception.

UNI EN ISO 28460:2011 - INDUSTRIES DU PÉTROLE ET DU GAZ NATUREL - INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS POUR L'INTERFACE TERRE-NAVIRE DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ ET LES OPÉRATIONS PORTUAIRES

La norme est la version officielle en langue anglaise de la norme européenne EN ISO 28460 (édition de décembre 2010). La norme précise ce qui est requis pour que le navire, le terminal et les services portuaires assurent le transit sûr du matériel dans la zone portuaire et le transfert sûr et efficace de sa cargaison. Elle s'applique aux services de pilotage et de trafic maritime (VTS), aux équipages des remorqueurs, au personnel des terminaux, aux équipages et aux soutes des navires, aux lubrifiants et aux fournitures ou aux autres prestataires de services qui opèrent pendant que le méthanier est amarré au terminal.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

EN 1474-1: 2008 –INSTALLATION ET SYSTÈMES DE GNL - CONCEPTION ET EXPÉRIMENTATION DES SYSTÈMES DE TRANSFERT MARITIMES - PARTIE 1: CONCEPTION ET ESSAI DES BRAS DE TRANSFERT

La réglementation en question définit la conception, les critères de sécurité minimums requis, les inspections et les tests requis pour les tuyaux de transfert de GNL destinés à être utilisés sur les terminaux terrestres. Elle traite également des exigences minimales de sécurité pour le transfert de GNL entre le navire et la terre. Bien que les exigences relatives à un système de commande à distance soient couvertes, les normes ne comprennent pas de détails sur la conception et les caractéristiques des matériaux associés aux tuyaux de transfert.

EN 1474-2: 2008 - INSTALLATION ET ÉQUIPEMENT DE GNL - CONCEPTION ET ESSAIS DES SYSTÈMES DE TRANSFERT EN MER - PARTIE 2 : CONCEPTION ET ESSAIS DES TUYAUX DE TRANSFERT

La norme fournit les lignes directrices générales pour la conception, la sélection des matériaux, la qualification, la certification et les essais pour le GNL pour les tuyaux de transfert utilisés "au large" ou dans les zones côtières exposées aux intempéries. Bien que cette norme soit applicable à tous les tuyaux, il est nécessaire d'envisager des exigences spécifiques supplémentaires dans le cas de tuyaux flottants ou sous-marins.

BS EN 1160 1997 – PROPRIÉTÉS ET MATÉRIAUX POUR LE GNL (EN COURS DE RÉVISION COMME ISO - CD 16903)

Cette norme internationale fournit des orientations sur les caractéristiques du gaz naturel liquéfié (GNL) et des matériaux cryogéniques utilisés dans l'industrie du GNL. La norme fournit également des conseils en matière de santé et de sécurité, dans le but d'être utilisée comme ligne directrice par ceux qui construisent ou exploitent des installations de GNL. Une définition du GNL, de ses propriétés et de la manière dont il est livré est également fournie dans le but de fixer des normes. En

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



ce qui concerne les matériaux de construction, une liste illustrative de matériaux est fournie, distinguant les matériaux en contact étroit, et non en contact étroit pendant le fonctionnement normal.

IEC60092-502:1999- INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DES NAVIRES:PÉTROLIERS – PARTICULARITÉS

Cette partie de l'IEC 60092 traite des installations électriques dans les navires-citernes transportant des liquides inflammables, soit intrinsèquement, soit par leur réaction avec d'autres substances, ou des gaz liquéfiés inflammables.

UNI EN 1160 :1998 - INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS POUR LE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ - CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ

La norme est la version officielle en italien de la norme européenne EN 1160 (édition de juin 1996). La norme prescrit les caractéristiques du gaz naturel liquéfié (GNL) et des matériaux cryogéniques utilisés dans l'industrie du GNL et fournit des recommandations concernant la sécurité et la santé des personnes impliquées dans l'exploitation des installations de GNL.

UNI EN 1473:2007 - INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS POUR LE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ (GNL) - CONCEPTION DES INSTALLATIONS AU SOL

Cette norme est la version officielle en langue anglaise de la norme européenne EN 1473 (édition de janvier 2007). La norme définit les lignes directrices pour la conception, la construction et l'exploitation de toutes les installations terrestres de gaz naturel liquéfié (GNL), y compris celles de liquéfaction, de stockage, de gazéification, de transport et de transit du GNL.

La norme s'applique aux types d'installations suivants : - les bornes d'exportation entre la limite définie de la batterie d'entrée de gaz et les bras de charge ; - les bornes de réception entre les collecteurs du méthanier et la limite définie de la batterie de sortie de gaz ; - les installations de nivellement de pointe entre les limites définies de la batterie d'entrée de gaz et de la batterie de sortie

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



de gaz. Une brève description de chaque installation est donnée à l'annexe G. La norme ne s'applique pas aux stations satellites. Les stations satellites ayant une capacité de stockage inférieure à 200 t sont couvertes par la norme UNI EN 13645.

UNI EN 1474-1:2009 - INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS POUR LE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ - CONCEPTION ET ESSAIS DES ÉQUIPEMENTS DE TRANSFERT MARITIME - PARTIE 1 : CONCEPTION ET ESSAIS DES BRAS DE CHARGEMENT/DÉCHARGEMENT

Cette norme est la version officielle en langue anglaise de la norme européenne EN 1474-1 (édition de décembre 2008). La norme spécifie la conception et les exigences minimales en matière de sécurité, d'inspection et de procédures d'essai pour les bras de chargement/déchargement utilisés dans les terminaux de mise à la terre du gaz naturel liquéfié (GNL). Elle définit également des exigences minimales pour le transfert en toute sécurité du GNL entre le navire et la terre.

UNI EN 1474-2:2009 - INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS POUR LE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ - CONCEPTION ET ESSAIS DES ÉQUIPEMENTS DE TRANSFERT EN MER - PARTIE 2 : CONCEPTION ET ESSAIS DES TUYAUX DE TRANSFERT

Cette norme est la version officielle en langue anglaise de la norme européenne EN 1474-2 (édition de décembre 2008). La norme fournit des lignes directrices générales pour la conception, la sélection des matériaux, la qualification, la certification et les essais du gaz naturel liquéfié (GNL) pour les tuyaux de transfert utilisés en mer ou dans les équipements côtiers exposés aux intempéries, conditionnés par des configurations naturelles flottantes ou sous-marines ou une combinaison de celles-ci. La norme s'applique à tous les tuyaux de GNL, mais il faut tenir compte du fait qu'il peut y avoir des exigences spécifiques supplémentaires pour les tuyaux flottants et sous-marins.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

UNI EN 1474-3:2009 - INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS POUR LE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ - CONCEPTION ET ESSAIS DES ÉQUIPEMENTS DE TRANSFERT EN MER - PARTIE 3 : SYSTÈMES DE TRANSFERT EN MER

La norme européenne EN 1474-3 (édition de décembre 2008). La norme fournit des lignes directrices générales pour la conception de gaz naturel liquéfié (GNL), de systèmes de transfert destinés à être utilisés dans des équipements de transfert en mer ou des équipements côtiers altérés par les intempéries. Le matériel de transfert considéré peut être entre unités flottantes ou entre unités flottantes et fixes. Les détails spécifiques aux contrôles des systèmes de transfert de GNL ne sont pas pris en compte dans la norme.

UNI EN 12065:1999 INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS POUR LE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ (GNL) - ESSAIS D'ÉMULSIFIANTS POUR LA PRODUCTION DE MOUSSE À MOYEN ET HAUT FOISSONNEMENT ET DE POUDRES POUR L'EXTINCTION DES FEUX DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ

Cette norme est la version italienne officielle de la norme européenne EN 12065 (édition de septembre 1997). La norme spécifie les essais qui doivent être effectués pour évaluer l'adéquation de l'utilisation des émulsifiants pour la production de mousse à moyen ou haut foisonnement et de poudres d'extinction conformes à la norme UNI EN 615, utilisés de manière unique ou combinée, sur des feux de gaz naturel liquéfié. La norme ne concerne pas les dispositions générales relatives aux émulsifiants et aux poudres d'extinction.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



UNI EN 12066:1999 - INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS POUR LE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ (GNL) - ESSAIS SUR LES REVÊTEMENTS ISOLANTS DES RÉSERVOIRS DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ

La norme est la version officielle en italien de la norme européenne EN 12066 (édition de septembre 1997). La norme spécifie les tests à effectuer pour évaluer l'aptitude à l'utilisation des revêtements isolants des bassins de confinement du GNL.

UNI EN 12308:2001 - INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS POUR LE GNL - TESTS D'APTITUDE À L'UTILISATION DE JOINTS POUR RACCORDS À BRIDES DANS LES CONDUITES DE GNL

Cette norme est la version italienne officielle de la norme européenne EN 12308 (édition de juin 1998). La norme spécifie les tests permettant d'évaluer l'adéquation des joints pour les raccords à brides utilisés dans les gazoducs de gaz naturel liquéfié (GNL). Elle s'applique aux joints caractérisés par : - plage de pression nominale, entre PN 16 et PN 100 ; - plage de diamètre nominal, entre DN 10 et DN 1 000 ; - plage de classe, entre la classe 150 et la classe 900 ; - plage de diamètre nominal, pour les brides définies par un numéro de classe, entre NPS 1/4 et NPS 42.

UNI EN 12567:2002 - VANNES INDUSTRIELLES - VANNES D'ISOLEMENT POUR GNL - EXIGENCES CONCERNANT LES POSSIBILITÉS D'APPLICATION ET LES MÉTHODES D'ESSAI APPROPRIÉES

Cette norme est la version italienne officielle de la norme européenne EN 12567 (édition de juillet 2000). La norme définit les exigences génériques de performance des vannes d'arrêt (robinets-vannes, robinets à soupape, vannes mâles, robinets à boisseau sphérique et vannes papillon) utilisées pour la production, le stockage et le transport (par gazoduc, rail, route ou mer) de gaz naturel liquéfié (GNL). Les vannes de remplissage de GNL pour les systèmes de ravitaillement des automobiles ne sont pas couvertes par le champ d'application et l'objectif de la norme.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



***UNI EN 12838:2003 - INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ
- TESTS D'APTITUDE À L'UTILISATION DES SYSTÈMES D'ÉCHANTILLONNAGE DE
GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ***

Cette norme est la version italienne officielle de la norme européenne EN 12838 (édition de janvier 2000). La norme spécifie les tests à effectuer pour évaluer l'aptitude à l'utilisation des systèmes d'échantillonnage de gaz naturel liquéfié conçus pour déterminer la composition du gaz naturel liquéfié, ainsi que l'utilisation de dispositifs d'analyse, tels qu'un chromatographe.

***UNI EN 13645:2006 - INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS POUR LE GAZ NATUREL
LIQUÉFIÉ (GNL) - CONCEPTION D'INSTALLATIONS AU SOL AYANT UNE CAPACITÉ
DE STOCKAGE COMPRISE ENTRE 5 T ET 200 T***

La norme est la version officielle en anglais et en italien de la norme européenne EN 13645 (édition de décembre 2001). La norme définit les exigences relatives à la conception et à la construction d'installations terrestres fixes de gaz naturel liquéfié (GNL) d'une capacité totale de stockage comprise entre 5 et 200 tonnes.

***UNI EN 13766:2010 - TUBES ET TUYAUX THERMOPLASTIQUES MULTICOUCHES (NON
VULCANISÉ) POUR LE TRANSFERT DE GAZ DE PÉTROLE LIQUÉFIÉ ET DE GAZ
NATUREL LIQUÉFIÉ - SPÉCIFICATIONS***

Cette norme est la version officielle en langue anglaise de la norme européenne EN 13766 (édition de juin 2010). La norme spécifie les exigences relatives à deux types de tubes et tuyaux thermoplastiques multicouches (non vulcanisé) pour le transfert de gaz de pétrole liquéfié et de gaz naturel liquéfié.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



UNI EN 14620-1:2006 - CONCEPTION ET FABRICATION DE RÉSERVOIRS EN ACIER VERTICAUX, CYLINDRIQUES, À FOND PLAT, CONSTRUITS SUR PLACE, POUR LE STOCKAGE DE GAZ LIQUÉFIÉS RÉFRIGÉRÉS FONCTIONNANT À DES TEMPÉRATURES COMPRIS ENTRE 0 °C ET -165 °C - PARTIE 1 : INFORMATIONS GÉNÉRALES

Cette norme est la version officielle en langue anglaise de la norme européenne EN 14620-1 (édition de septembre 2006). La norme définit les exigences générales applicables aux réservoirs verticaux, cylindriques, en acier à fond plat, construits sur site, en surface, pour le stockage de gaz liquéfiés réfrigérés fonctionnant à des températures comprises entre 0 °C et -165 °C. Un réservoir externe peut être en acier, en béton ou une combinaison des deux. La norme ne traite pas des réservoirs internes fabriqués exclusivement en béton précontraint.

Outre les règlements et normes techniques mentionnés ci-dessus, il existe d'autres documents très importants dans ce domaine, tels que des lignes directrices. Compte tenu de la multiplicité des directives (NFPA 59A Standard for the production, storage, and handling of liquefied natural gas (LNG); IACS REC 142 LNG bunkering guidelines; IACS REC 146 Risk assessment as required by the IGF Code; BV NI 618 DT R00 E Guidelines on LNG bunkering (guidance note); ABS (2014) Guide for propulsion and auxiliary systems for gas-fuelled ships (guide); PRS rules No. 116/P Bunkering guidelines for LNG as marine fuel), une liste non exhaustive de certaines directives considérées comme particulièrement intéressantes est donnée ci-dessous.

SIGTTO - ESD ARRANGEMENTS AND LINKED SHIP/SHORE SYSTEMS FOR LIQUEFIED GAS CARRIERS

Cette procédure de la SIGTTO (Society of International Gas Tanker & Terminal Operators) a été préparée comme référence pour l'industrie en ce qui concerne les différentes interprétations des exigences fonctionnelles pour les systèmes d'arrêt d'urgence (ESD), en particulier dans les secteurs du GNL et du GPL et la manière dont ceux-ci peuvent interagir avec les systèmes d'arrêt d'urgence

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



connectés au navire/à la terre. Le document vise également à promouvoir et à encourager une utilisation plus répandue des systèmes ESD connectés dans les terminaux de GNL et de GPL, en particulier lorsque les taux de transfert de charge sont élevés ou lorsque la cargaison traitée est l'un des produits visés au chapitre 17 de l'édition 1993 du code IGC.

SGMF - GUIDELINES FOR LNG BUNKERING SAFETY, SIMULTANEOUS OPERATIONS, AND PERSONNEL TRAINING.

Ce document produit par l'organisation-cadre Society for Gas as a Marine Fuel (SGMF), qui couvre le secteur émergent du gaz comme combustible marin, en collaboration avec d'autres organismes industriels, agences gouvernementales et intergouvernementales, dont l'OMI,) fournit un résumé des lignes directrices pour l'approvisionnement et le soutage en GNL des navires de mer et de l'environnement (par exemple le port), où ces transferts de GNL ont lieu, ainsi que les connaissances qui les sous-tendent, en tenant dûment compte des meilleures pratiques et de l'expertise existante dans le secteur. Le document est conçu pour être applicable à tout le personnel susceptible d'être impliqué dans l'exécution des tâches requises, quel que soient ses antécédents ou son lieu de travail. Ces lignes directrices ne couvrent que l'opération de soutage/transfert et visent à compléter et à accroître, plutôt qu'à remplacer, d'autres programmes de formation dans le secteur (par exemple, la formation STCW pour les marins sur les navires alimentés au GNL, les normes de la IGC, les programmes de formation locaux ou nationaux pour les conducteurs de méthaniers, etc.)

API - PROTECTION AGAINST IGNITIONS ARISING OUT OF STATIC, LIGHTNING, AND STRAY CURRENTS – API RECOMMENDED PRACTICE 2015, 8TH EDITION

Le document de l'American Petroleum Institute présente l'état actuel des connaissances et des technologies dans le domaine de l'électricité statique, de la foudre et des courants vagabonds, applicables à la prévention de l'inflammation des hydrocarbures dans le secteur pétrolier et s'appuie sur la recherche scientifique et l'expérience pratique. Les principes discutés sont applicables à d'autres

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

opérations où des liquides et des gaz inflammables sont manipulés. Leur utilisation devrait permettre d'améliorer les pratiques de sécurité et les évaluations des installations et procédures existantes.

OCIMF (OIL COMPANIES INTERNATIONAL MARINE FORUM) - LINEE GUIDA PER I SISTEMI DI ORMEGGIO

Ces lignes directrices donnent un aperçu général des exigences pour un amarrage sûr, y compris le calcul des besoins d'amarrage d'un navire, la sélection des types de câbles, les types de logement, les critères de montage et de mise sous tension des câbles d'amarrage.

Au niveau national, l'Italie ne dispose pas d'un corps de règles explicitement dédié au GNL, mais le Département des pompiers, du sauvetage public et de la protection civile a publié deux documents d'orientation très importants concernant respectivement les installations de stockage inférieures⁷ et supérieures⁸ à 50 tonnes. Ces lignes directrices portent sur l'analyse des risques et sur l'aménagement de l'installation et de ses éléments potentiellement dangereux. Les lignes directrices sur la sécurité et la gestion publiées respectivement par les ports d'Helsinki (Manuel de sécurité du port d'Helsinki sur les procédures de soutage du GNL, 2017) et de Göteborg (Règlement du port énergétique de Göteborg

⁷Lettre circulaire Prot. N. 5870 du 18.05.15 avec lequel des lignes directrices sont élaborées pour l'élaboration de projets de prévention des incendies pour différents types d'installations, et notamment : • Systèmes de distribution automobile L-LNG, L-GNC ET L-GNC / LNG • Centrales à GNL avec réservoir cryogénique fixe desservant des usines autres que l'automobile (usines hors réseau). La règle technique de prévention des incendies de décembre 2019, la règle technique de prévention des incendies approuvée pour la construction de stations-service de GNL qui remplacera les guides techniques 2015 en fournissant un outil réglementaire mis à jour.

⁸ Guide technique de prévention des incendies pour l'analyse des projets de systèmes de stockage de GNL d'une capacité supérieure à 50 tonnes publié en septembre 2018 par la Direction centrale de la prévention et de la sécurité technique, l'organisme national des pompiers. Le guide technique, conçu dans le but de soutenir le personnel de la CNVVF engagé dans l'évaluation des projets à des fins de prévention des incendies, est d'une importance fondamentale pour le développement harmonieux et cohérent de systèmes à petite échelle sur tout le territoire national.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



concernant la manutention des cargaisons de GNL et le soutage du GNL, 2017) sont également utiles en tant que référence actualisée.

TDI RETE-GNL
Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet

Figure 1. Réglementation de référence pour le GNL

	<i>Denominazione</i>	<i>Ente di normazione</i>	<i>Anno</i>
Livello internazionale	<i>Marpol 73/78</i>	IMO	1973
	<i>Solas</i>	IMO	1974
	<i>International code of safety for ships using Gases or other low-flashpoint fuels constructions & bunkering of LNG Fueled vessels</i>	IMO	2017
	<i>International code for the construction and equipment of ships carrying liquefied Gases in bulk construction of LNG Carrier vessels code</i>	IMO	1986
	<i>International Maritime Dangerous Goods code</i>	IMO	2018
	<i>Convenzione Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers</i>	IMO	1978
	<i>International Ship and Port facility Security Code</i>	IMO	2002
Livello europeo	<i>Direttiva 2016/802/UE (Sulphur Directive)</i>	UE	2016
	<i>Direttiva 2014/94/UE (DAFI)</i>	UE	2014
	<i>Direttiva 2012/18/UE (Seveso III)</i>	UE	2018
Livello nazionale	<i>Dlgs 257/2016</i>	PdR	2016
Norme tecniche	<i>ISO 8943:2007</i>	ISO	2007
	<i>ISO 10976:2012</i>	ISO	2012
	<i>ISO 12991:2016</i>	ISO	2016
	<i>ISO 18132-1:2011</i>	ISO	2011
	<i>EN 1474-1: 2008</i>	EN	2008
	<i>EN 1474-2: 2008</i>	EN	2008
	<i>BS EN 1160 1997</i>	BS EN	1997
	<i>UNI EN ISO 23251:2008</i>	UNI EN ISO	2008
	<i>UNI EN ISO 28460:2011</i>	UNI EN ISO	2011
	<i>UNI EN 1160:1998</i>	UNI EN	1998
	<i>UNI EN 1473:2007</i>	UNI EN	2007
	<i>UNI EN 1474-1:2009</i>	UNI EN	2009
	<i>UNI EN 1474-2:2009</i>	UNI EN	2009
	<i>UNI EN 1474-3:2009</i>	UNI EN	2009
	<i>UNI EN 12065:1999</i>	UNI EN	1999
	<i>UNI EN 12066:1999</i>	UNI EN	1999
	<i>UNI EN 12308:2001</i>	UNI EN	2001
	<i>UNI EN 12567:2002</i>	UNI EN	2002
	<i>UNI EN 12838:2003</i>	UNI EN	2003
	<i>UNI EN 13645:2006</i>	UNI EN	2006
<i>UNI EN 13766:2010</i>	UNI EN	2010	
<i>UNI EN 14620-1:2006</i>	UNI EN	2006	
<i>IEC60092-502:1999</i>	IEC	1999	
Linee guida	<i>Interim guidelines on safety for natural gas fuelled engine installations in ships</i>	IMO	1986
	<i>Esd arrangements and linked ship/shore systems for liquefied gas carriers</i>	SIGTTO	2009
	<i>Guidelines for LNG bunkering safety, simultaneous operations, and personnel training</i>	SGMF	2017
	<i>Protection against ignitions arising out of static, lightning, and stray currents</i>	API	2015
	<i>Linee guida per i sistemi di ormeggio</i>	OCIMF	2008

Source: Notre élaboration

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
 Contribution du partenaire du projet

2 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DES RISQUES

2.1 PRÉMISSSE

L'utilisation du gaz naturel liquéfié (GNL) dans l'histoire industrielle est désormais consolidée, à tel point que les aspects de construction, de gestion et de sécurité liés à son utilisation sont traités dans de nombreuses normes techniques et de sécurité européennes et internationales.

Les réglementations techniques nationales et internationales jouent un rôle fondamental pour garantir la sécurité des produits et des installations, tant lors de la conception et de l'évaluation que lors du choix des matériaux et du stockage.

En fait, la conception de systèmes et d'opérations GNL sûrs exige non seulement une compréhension approfondie des aspects de la sûreté du GNL, une modélisation adéquate des scénarios d'accident, mais surtout un système solide d'évaluation des risques fondé sur des méthodes et des valeurs seuils homogènes et harmonisées.

C'est en effet l'élément qui peut permettre l'identification et le développement de mesures de protection et d'atténuation capables d'empêcher le rejet de GNL, la présence de sources d'inflammation et l'apparition de dommages graves et significatifs.

Si, d'une part, d'un point de vue technologique, les systèmes de sûreté directement liés à l'utilisation du GNL ont atteint des niveaux très élevés⁹, d'autre part, il convient de noter que les analyses de risques des activités liées au stockage et au rejet de GNL, tout en tenant compte de tous les dispositifs spécifiques utilisés, des systèmes d'arrêt et du contrôle des installations, doit se limiter à une évaluation de la sécurité de certains des scénarios les plus prudents (avec des hypothèses importantes et des hypothèses sur les rejets et les pertes pendant les phases de transfert) afin de permettre de

⁹ Par exemple, pour le ravitaillement des véhicules utilitaires lourds, les systèmes de livraison sont équipés de raccords rapides basés sur des technologies avancées, tandis que les installations sont dotées de systèmes de sécurité capables de disséquer rapidement tous leurs composants tout en limitant au maximum la dispersion

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



minimiser la probabilité d'occurrence d'événements accidentels plus importants, indépendamment du respect des conditions réelles du site de soutage.

Dans les sections suivantes, en partant du concept de risque, les différentes méthodes utilisées pour l'identification et la quantification des risques seront illustrées, en mettant en évidence leur portée, leurs particularités, leurs forces et leurs faiblesses, et enfin en introduisant les critères et les valeurs seuils utilisés pour l'évaluation des risques et la définition de leur tolérance ou non.

La dernière partie sera consacrée à un bref résumé des mesures d'atténuation et de réduction des risques qui peuvent être mises en œuvre.

2.2 LE CONCEPT DE RISQUE

Ce rapport portera principalement sur la définition de lignes directrices pour l'évaluation des externalités et de l'impact environnemental causés par d'éventuels accidents et dysfonctionnements, en lien plus étroit avec le dernier concept de risque mentionné.

Dans l'absolu, cependant, il est possible d'exprimer le concept de risque comme la probabilité qu'un certain événement capable de causer des dommages aux biens et aux personnes se produise.

La notion de risque implique donc l'existence d'une source de danger et d'un ensemble probabiliste, c'est-à-dire un nombre plus ou moins important de possibilités, qu'il pourrait transformer en dommage.

Dans chaque contexte mentionné, quel que soit le type de menace, il est devenu de plus en plus nécessaire et obligatoire, au fil des ans, d'utiliser une approche préventive, de gestion des risques à tous les niveaux, afin que tous les événements négatifs puissent être limités ou atténués dès les premières étapes d'un projet, et que lorsqu'ils se produisent, toutes les parties prenantes concernées ne soient pas prises au dépourvu.

La Gestion du Risque - ou Risk Management - nécessite inévitablement une quantification, ou plutôt une évaluation des risques individuels présents dans un scénario donné et pour permettre une telle évaluation dans la multiplicité des situations, l'estimation du niveau de **Risque [R]** est obtenue à partir

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



du produit entre la **Fréquence** [F] à laquelle l'événement se produit et **Magnitude** [M] ou l'intensité des dommages consécutifs, selon la formulation connue :

$$\mathbf{R} = \mathbf{F} \times \mathbf{M}.$$

2.3 LES MÉTHODES D'ÉVALUATION

Les activités d'évaluation des risques peuvent être menées avec différents degrés de détail, en commençant par des méthodes de niveau supérieur et qualitatives, jusqu'à des méthodes capables de fournir des résultats utiles pour les phases de conception exécutive des usines et des sites.

Le niveau de détail à atteindre est certainement une exigence de l'évaluation, et guide donc le choix de la méthode à utiliser, mais souvent, c'est la qualité et le type d'informations disponibles, c'est-à-dire le degré de connaissance du domaine, qui détermine le choix de la méthode appropriée.

Toutefois, il ne faut pas oublier que le contexte réglementaire impose des systèmes de référence ou des algorithmes spécifiques, fonctionnels au type de résultats que l'évaluation doit fournir et qui peuvent concerner aussi bien les phases d'autorisation d'une usine que la conformité périodique, tant la certification des matériaux que les procédures de gestion opérationnelle du système.

Néanmoins, en général, il est possible d'envisager deux ensembles méthodologiques :

- des méthodes de niveau supérieur - de nature déterministe - visant à évaluer la faisabilité et à poursuivre le processus d'autorisation. Il comprend à la fois des évaluations qualitatives préliminaires de nature qualitative et des évaluations quantitatives pour le dimensionnement général. Ils sont généralement identifiés comme **Consequence-Based**.
- des méthodes de niveau de conception - de type probabiliste - qui comprennent toutes ces analyses ponctuelles du système, en prenant en considération chaque élément et sa probabilité de défaillance. Elles sont généralement identifiées comme **Risk-Based**

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Au vu de ce qui précède, compte tenu de la pratique établie dans l'utilisation des méthodes utilisées au niveau européen pour les différents projets, il convient d'envisager :

Méthodes qualitatives " d'évaluation des conséquences" – Consequence-Based - QualRA

L'approche est basée sur l'évaluation des conséquences d'accidents qui peuvent faire l'objet d'une hypothèse (ou être crédibles sur la base d'un historique au cas par cas), mais sans quantifier explicitement la probabilité que de tels accidents se produisent.

Les conséquences des accidents sont largement prises en compte puis évaluées en calculant la distance atteinte par certains impacts, en se basant sur les effets de ces impacts (par exemple, l'effet sur la santé humaine du rayonnement thermique), en fixant une certaine période d'exposition et en se référant à l'occurrence de certaines valeurs seuils (par exemple, les effets réversibles/irréversibles/mortels sur la santé, etc.)

En fonction de ces distances, on obtient des zones de sécurité qui permettent la mise en œuvre d'actions d'atténuation spécifiques, la gestion des situations d'urgence ou la gestion opérationnelle des centrales.

Méthodes qualitatives " d'évaluation des conséquences simplifiées" – Consequence-Based - SQualRA

Il s'agit d'une évaluation des conséquences menée selon des scénarios codifiés et simplifiés, définis en examinant puis en utilisant des distances de séparation "génériques".

Ces scénarios sont sélectionnés et développés sur une base conservatrice, qui, bien que dans leur forme la plus simple, peuvent être définis par des commissions d'experts, sont généralement inclus dans la norme de référence technique et obtenus à partir de l'analyse de données historiques provenant de l'expérience directe et de l'exploitation d'installations similaires.

Méthodes quantitatives " d'évaluation probabiliste" – Risk Based - QRA

Les approches fondées sur le risque définissent le risque comme le résultat des conséquences d'un certain nombre d'accidents possibles et de la probabilité que des accidents se produisent.

En général, les données obtenues sont représentées sous la double forme du risque individuel¹⁰ et du risque social¹¹, et les critères de comparaison sont basés sur des valeurs d'acceptabilité spécifiques par rapport au risque calculé.

Méthodes quantitatives de "l'évaluation semi-quantitative ou hybride"- Risk Based - HQRA

L'utilisation de méthodes semi-quantitatives, combinant ainsi l'évaluation probabiliste, basée sur le risque, et l'approche déterministe, basée sur les conséquences ou les effets, a été développée et largement utilisée au fil du temps pour fournir une réponse plus flexible et adaptable aux nombreuses situations où d'éventuels événements négatifs doivent être étudiés.

Avec ces méthodes, c'est généralement la probabilité d'occurrence qui est, pour des raisons évidentes, évaluée de manière plus qualitative, c'est-à-dire en utilisant des classes ou des catégories, plutôt que des nombres ou des quantifications ponctuelles, mais il existe des méthodes d'évaluation semi-quantitatives ou hybrides qui utilisent une approche basée sur les conséquences pour la détermination

¹⁰ Elle est exprimée par la fréquence (annuelle) à laquelle, en un point donné d'une zone géographique, le dommage de référence, c'est-à-dire le décès d'un individu, peut se produire. La représentation du risque individuel peut être faite selon des directions prédéterminées partant de la source du risque, au moyen de tableaux ou de graphiques montrant comment le risque varie en fonction de la distance ; ou la répartition du risque sur l'ensemble de la zone peut être fournie par des courbes de niveau joignant des points de risque égal, ou des cartes dans lesquelles les zones comprises dans des plages prédéterminées de valeurs de risque sont indiquées par des couleurs différentes

¹¹ Le risque social ne concerne pas des points individuels d'une zone, mais la zone dans son ensemble. Les systèmes de représentation les plus connus sont les tableaux F-N et I-N, où le risque social est représenté respectivement par des courbes et des histogrammes. Les courbes F-N montrent les valeurs F de fréquence cumulative (annuelle) avec lesquelles, à la suite de tous les accidents hypothétiques, il y a dans la zone considérée un dommage de référence non inférieur à N (et donc, comme le dommage de référence a été défini, un nombre de décès supérieur ou égal à N unités). Les histogrammes I-N montrent plutôt la répartition de la population de la zone dans différentes classes de risque individuelles (N personnes appartenant à la classe de risque I)

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



des zones par le biais des seuils de dommages, et des approches basées sur les risques pour la détermination des scénarios d'accident considérés.

Enfin, il existe des méthodes, également utilisées en Italie, qui utilisent une approche basée sur le risque pour prendre en compte les probabilités, qui sont toutefois considérées davantage du point de vue d'un facteur sur lequel intervenir avec des actions d'atténuation (garantissant une faible occurrence à la place de plus ou moins certains événements) pour limiter ou réduire l'étendue des zones de dommages, qui, au contraire, sont identifiées en utilisant une approche conservatrice et déterministe.

Les méthodes présentées sont toutes des alternatives valables et le choix est étroitement lié au type d'informations disponibles, à l'objectif de l'évaluation en cours et - plus que tout autre chose - aux dispositions réglementaires régissant le processus d'autorisation d'un projet et d'une construction d'une centrale.

Compte tenu de l'orientation géographique de ce projet de recherche, il convient de noter qu'en Italie (et dans une certaine mesure en France)¹², les méthodes d'évaluation requises et utilisées sont hybrides, avec une approche sensiblement fondée sur le risque, c'est-à-dire très étroitement liée au concept de risque, fréquence x magnitude, initialement exprimé.

Il est donc clair que les éléments des méthodes probabilistes et déterministes utilisées dans les pays participant à ce projet doivent être abordés avec une plus grande spécificité.

2.3.1 Méthode qualitative

La norme ISO/TS 18683 indique le champ d'application de la méthode d'évaluation qualitative des risques, en limitant aux installations de soutage correspondant aux scénarios standard, c'est-à-dire aux types indiqués par la norme ISO/TS 18683, à savoir les installations TTS, PTS ou STS qui respectent certaines conditions d'utilisation, de construction et d'emplacement.

¹²Study on the completion of an eu framework on lngfuelled ships and its relevant fuel provision Infrastructure - Lot 1- Report 1HJCT2Q-4 - 2015

Pour les installations de soutage qui s'écartent de ces scénarios "standard" ou, pour être plus précis, qui ne répondent pas à toutes les exigences, l'évaluation qualitative des risques, aussi fiable soit-elle, doit être complétée par une évaluation détaillée des différences par rapport à la norme, qui peut également être quantitative et limitée aux éléments de divergence.

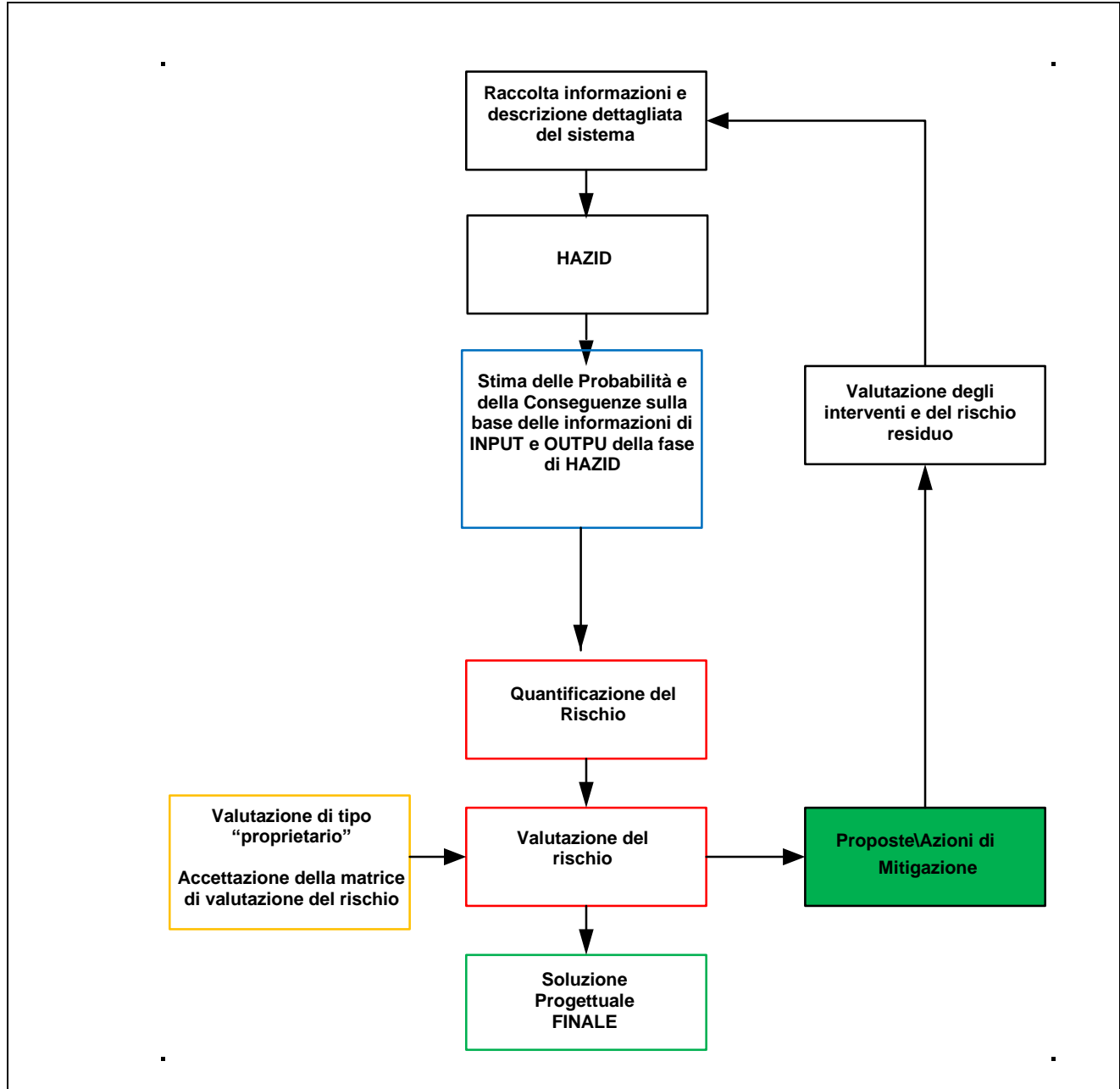
En partant des prescriptions contenues dans les normes techniques de référence¹³, il est devenu habituel de prendre comme objectifs de l'évaluation des risques à appliquer également dans le cas de l'avitaillement les profils suivants :

- Obtenir un niveau de risque conforme aux seuils fixés et, en tout état de cause, aussi faible qu'il est raisonnablement possible de l'atteindre, en démontrant que toutes les menaces pour l'homme et l'environnement ont été analysées, évaluées, éliminées lorsque cela était possible ou atténuées lorsque cela était nécessaire ;
- Définition des mesures, indications et informations permettant de classer les zones autour des infrastructures et superstructures de soutage et des "opérations" connexes.

Enfin, comme le rappelle la norme ISO / TS 18683, l'évaluation des risques doit être effectuée conformément aux normes reconnues, telles que ISO 31010, ISO 17776 et ISO 16901 et en utilisant l'une des meilleures pratiques connues en matière d'évaluation, la plus grande indépendance possible de l'équipe d'évaluation technique par rapport aux concepteurs, aux propriétaires et en général aux parties prenantes concernées est valable.

¹³ ISO/TS 18683 e ISO 20519

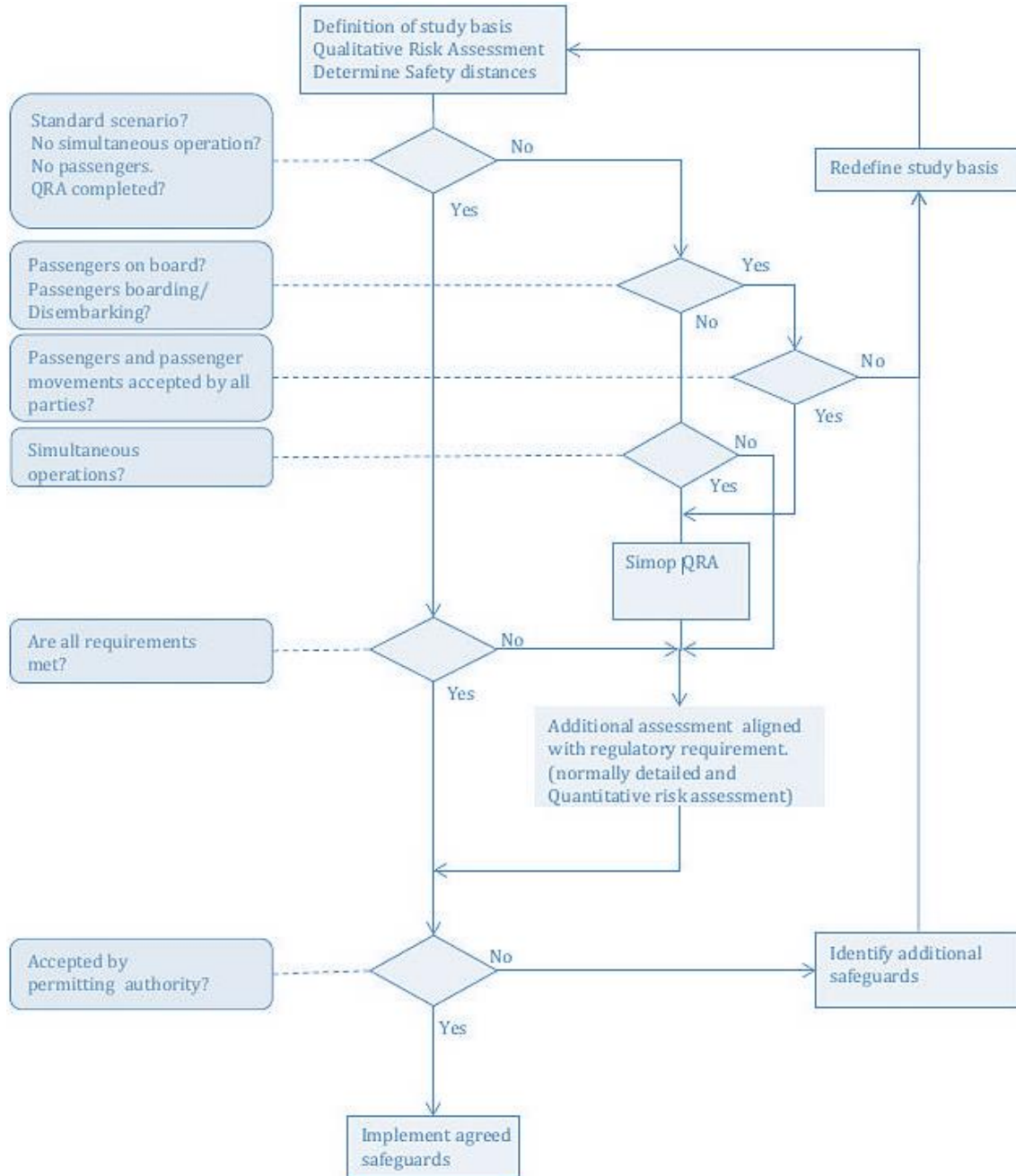
Figure 2. Organigramme Méthode qualitative –



Source : notre élaboration à partir de la norme ISO / TS 18683

TDI RETE-GNL
 Prodotto T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

Figure 3. Schema extrait à partir de la norme ISO / TS 18683



Source: ISO TS 18683:2013

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

2.3.2 Application de la méthode d'évaluation qualitative (QualRA)

La référence technique pour l'élaboration d'une évaluation déterministe ou qualitative est la norme ISO/TS 18683, qui indique comme éléments minimums de l'évaluation la définition des aspects suivants :

- A. DOMAINE D'APPLICATION** : définition des limites de la batterie d'évaluation, familiarisation - entendue comme la prise de connaissance et de maîtrise - avec la conception et le fonctionnement de la structure de soutage.
- B. HAZID** : analyse approfondie visant à identifier les dangers et à évaluer les risques à l'aide d'une matrice des risques. C'est également dans cette matrice que les mesures d'atténuation des risques de niveau moyen ou élevé sont identifiées et que le scénario de "fuite maximale crédible" est défini pour servir de base à la détermination des zones de sécurité ;
- C. ZONE DE SÉCURITÉ** : Détermination des zones de contrôle et de sécurité,
- D. MATERIAUX TECHNIQUES** : traitement selon les normes internationales des rapports, plans, etc.

Afin d'atteindre ces objectifs minimaux, l'évaluation des risques est menée selon cette méthode en tenant compte des cinq activités/opérations les plus critiques, c'est-à-dire

- Préparation préliminaire à l'arrivée du navire et pendant l'amarrage ;
- Préparation, contrôle et raccordement des équipements (côté bâbord et côté navire) ;
- Le transfert effectif de GNL avec la gestion conséquente de boil-off gas (BOG) ;
- La phase d'achèvement et la fin du transfert (déconnexion de l'équipement)
- La possibilité d'opérations simultanées pendant le transfert (SIMOPS).

2.3.3 Méthode quantitative

Une méthode quantitative (QRA) peut fournir des informations sur les risques, pour la vie humaine ou les objets au sens large, d'une activité donnée en calculant les effets dangereux potentiels de divers scénarios et en considérant la probabilité qu'ils se produisent¹⁴.

Les objectifs typiques d'une étude QRA sont généralement identifiés avec :

- Quantifier le niveau des risques de sécurité (pour les personnes ou les biens) associés à l'exploitation d'une usine ou à des activités impliquant la manipulation de matières dangereuses.
- Vérifier que les niveaux de risque sont conformes aux critères d'acceptation des risques convenus avec les autorités.
- Définir les mesures de réduction et de gestion des risques et évaluer leur efficacité.

La méthode est divisée en phases, qui visent à répondre à cinq questions de manière séquentielle, en élaborant une analyse spécifique pour chaque réponse. Le tableau¹⁵ suivant montre les 5 phases techniques avec la question correspondante.

¹⁴ “Qualitative Risk Assessment for an LNG Refueling Station and Review of Relevant Safety Issues.” Siu, N, Herring, J S, Cadwallader, L, Reece, W, and Byers, J. - United States: N. p., 1998. “Model-based qualitative risk assessment for availability of IT infrastructures” Emmanuele Zambon, Sandro Etalle, Roel J. Wieringa & Pieter Hartel. “The application of qualitative risk assessment methodology to prioritize issues for fisheries management “ W.J. Fletcher ICES Journal of Marine Science, Volume 62, Issue 8, 2005. “Qualitative risk assessment fulfils a need “- Paul Krause, John Fox, Philip Judson and Mukesh Patel -School of Chemistry, University of Leeds, LS2 9JT.

¹⁵Notre Elaboration à partir des données et tableau “Hazop and Hazan: Identifying and Assessing Process Industry Hazards Di Trevor A. Kletz” e European Maritime Safety Agency - Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities/Administrations

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet



Tableau 2. Étapes techniques de l'élaboration de la méthode quantitative

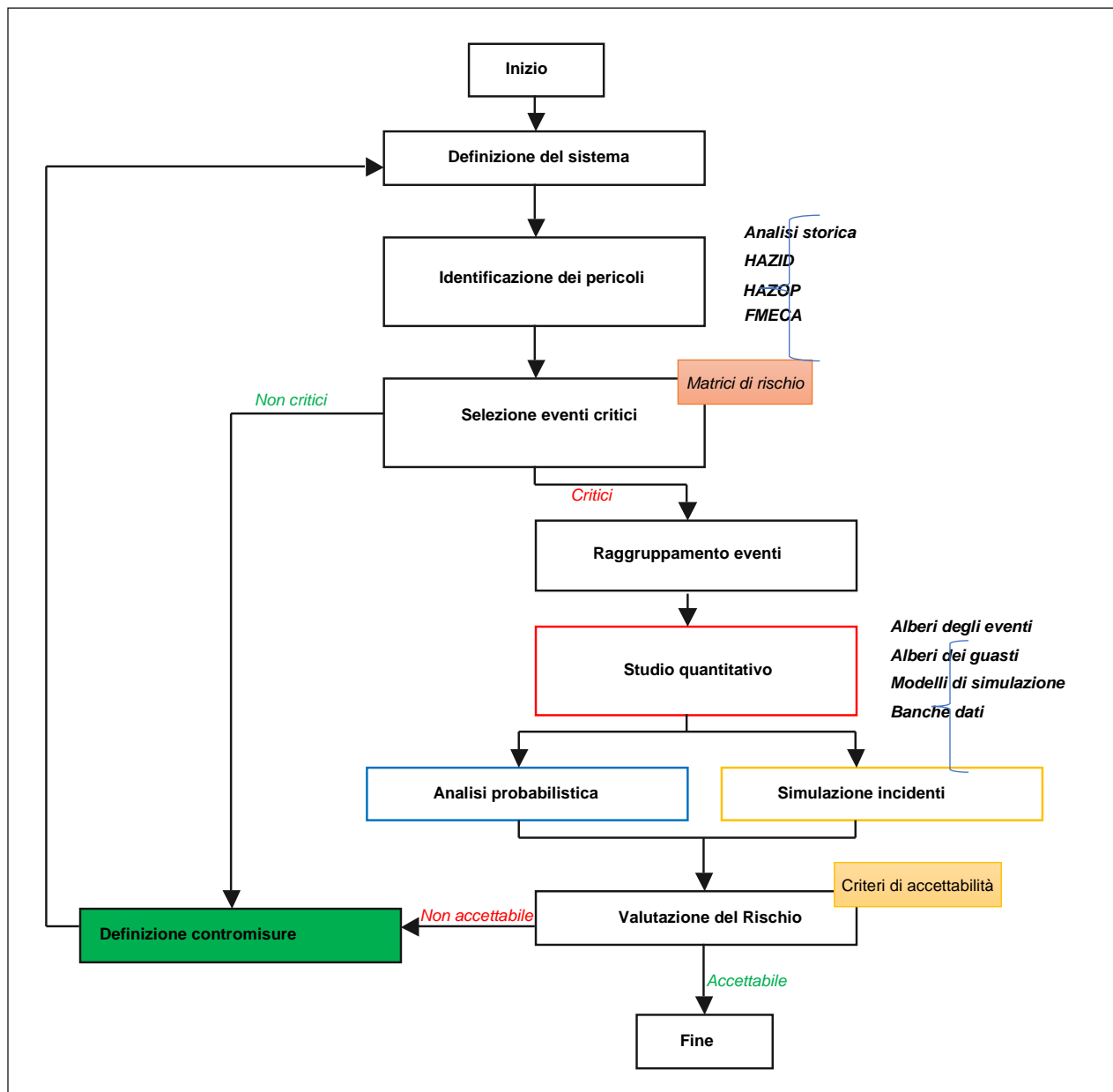
ATTIVITES	DEMANDE	TERMINOLOGIE	NOTE
Identification des risques	Que peut-il arriver ?	HazId (Hazard Identification)	Identification des dangers (HAZID) pour identifier et passer au crible les situations potentielles. Les scénarios d'anomalie typiques sont basés sur des données historiques d'accidents et peuvent être évalués en fonction de leur pertinence pour le site spécifique.
Simulation numérique des événements	Quels seront les dégâts ?	Modelling	Les conséquences doivent être évaluées à l'aide d'outils de modélisation reconnus par les organismes de contrôle et la communauté scientifique. Ils doivent pouvoir déterminer les effets qui en résultent et leur impact sur la population, les opérateurs, les équipements et les installations. Ces outils sont normalement validés par des données expérimentales, se référant à la taille et à la précision spécifiques du site à évaluer.
Calcul probabiliste des événements	Avec quelle probabilité cela se produira-t-il ?	Frequency Estimation	L'estimation de la fréquence à laquelle les événements peuvent se produire est réalisée à l'aide de techniques et d'outils tels que : <ul style="list-style-type: none"> • Analyse des données historiques sur les accidents ; • Analyse de l'arbre de défaillance ; • Analyse de l'arbre d'événements ; • Simulations. La technique choisie dépend de la disponibilité des données historiques et statistiques
Évaluation du niveau de risque	Quel est le niveau de risque ?	Risk Assessment	Les résultats doivent être évalués en les comparant à des valeurs seuils, des limites ou des critères afin de pouvoir définir si les risques sont "acceptables", "tolérables" ou "négligeables". C'est à ce stade que les considérations techniques sur l'acceptabilité des risques et la prise de décision commencent à être introduites
Définition des procédures opérationnelles et du plan d'urgence	Que dois-je faire ?	Risk Management	Afin de rendre les risques acceptables, des mesures de réduction des risques peuvent être nécessaires, dont le bénéfice doit être évalué en recalculant le risque et en définissant non seulement l'efficacité mais surtout le risque résiduel (<i>risque aussi faible que raisonnable - en anglais As Low as Reasonably Practical ALARP</i>)

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Figure 4. Flow Chart Méthode quantitative



Source: Carpignano A., Il rischio tecnologico, in: Pianificazione del Territorio e Rischio Tecnologico, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Politecnico e Università di Torino, CELID, 2002

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



2.3.4 Application de la méthode d'évaluation quantitative (QRA)

Comme dans le cas qualitatif, la méthode quantitative est également fortement basée sur les dispositions de la norme technique ISO / TS 18683 et son élaboration peut être nécessaire à la fois pour une étude approfondie des sections de l'installation ou des scénarios non standard exclus du champ d'application d'une Méthode QualRA, à la fois dans des cas complets tels que ceux énumérés ci-dessous :

- Le projet fait référence à des systèmes de soutage non standard (PTS, TTS ou STS autres que la configuration standard simple définie dans la norme ISO / TS 18683).
- Le projet et les méthodes de fonctionnement sont différents des indications fournies dans la norme ISO / TS 18683 ou IACS Rec.142.
- Le projet prévoit que les opérations simultanées (SIMOPS) auront lieu pendant le soutage du GNL.
- Le projet implique l'utilisation de systèmes d'automatisation pour réduire l'intervention humaine dans les opérations.
- L'évaluation en question vise à déterminer la taille exacte d'une zone de sécurité en la calculant, sur la base de données de sites spécifiques.
- Chaque fois qu'un nombre, une valeur, un calcul numérique est nécessaire pour quantifier un élément de risque (par exemple pour vérifier le respect d'une limite ou d'un critère spécifique)

La nécessité d'effectuer une évaluation quantitative est normalement déterminée par les organismes de contrôle, sur la base des conclusions et des résultats de QualRA ou de dispositions réglementaires spécifiques. Dans les deux cas, l'évaluation quantitative nécessite la présence des éléments suivants

- A. **DOMAINE D'APPLICATION** : définition des limites de la batterie d'évaluation, familiarisation - entendue comme la prise de connaissance et de maîtrise - avec la conception et le fonctionnement de la structure de soutage.

- B. HAZID : analyse approfondie visant à identifier les dangers et à évaluer les risques à l'aide d'une matrice des risques. C'est également dans cette matrice que les mesures d'atténuation des risques de niveau moyen ou élevé sont identifiées et que le scénario de "fuite maximale crédible" est défini pour servir de base à la détermination des zones de sécurité ;
- C. ZONE DE SÉCURITÉ : Détermination des zones de contrôle et de sécurité,
- D. MATERIAUX TECHNIQUES : traitement selon les normes internationales des rapports, plans, etc.

L'évaluation quantitative doit traiter et prendre en considération de manière exhaustive :

- a. Identification des scénarios critiques ;
- b. Le logiciel utilisé pour la modélisation et les hypothèses utilisées pour la modélisation
- c. Données de probabilité et simplifications utilisées dans le modèle de calcul ;
- d. Calcul des risques;
- e. Le périmètre des zones à risques à une échelle adéquate

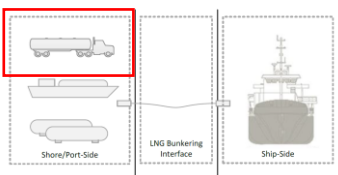
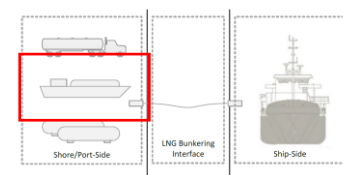
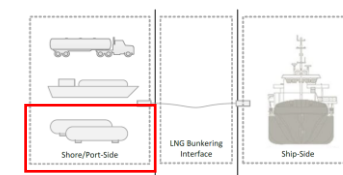
Le Tableau 3 montre les cas les plus fréquents qui nécessitent l'utilisation d'une évaluation quantitative pour compléter ou remplacer totalement une évaluation qualitative.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Tableau 3. Scénarios standard et exceptions pour l'application QualRA pour le soutage LNG

Système		
Truck-to-Ship – TTS	Ship-to-Ship - STS	Terminal (Port)-to-Ship - PTS
		
Caractéristiques typiques du système		
Volume V ≈ 50-100m ³ Portée Q ≈ 40- 60m ³ /h	Volume V ≈ 100 -6500m ³ Portée Q ≈ 500 – 1000 m ³ /h	Volume V ≈ 500- 20000m ³ Portée Q ≈ 1000- 2000m ³ /h
Situations exceptionnelles telles que prévues par la norme ISO 18683 exigeant des méthodes QRA		
<ul style="list-style-type: none"> • Combinaison TTS avec plusieurs camions simultanés et avec une ou plusieurs interconnexions en commun. • Capacité de soutage supérieure aux valeurs moyennes communes. • Utilisation de technologies automatisées ou semi-automatisées pour la gestion et la manutention des conduites. • Opérations de ravitaillement en GNL avec des camions sans surveillance. • Les cas dans lesquels les procédures de purge et d'inertage des conduites sont soumises à des exigences spécifiques ou sont équipées de systèmes de contrôle spéciaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Chaque fois que l'évaluation des risques nautiques identifie des points critiques particuliers dans certaines situations, comme les manœuvres, l'augmentation de l'intensité du trafic nautique, etc. • Capacité de soutage supérieure aux valeurs moyennes communes. • Cas de bunkers sans autopropulsion, nécessitant donc des remorqueurs pour la manœuvre et la propulsion. • Les cas où les procédures de purge et d'inertage des conduites sont soumises à des exigences spécifiques ou sont équipées de systèmes de contrôle spéciaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • QRA est généralement recommandée pour les installations de STP afin de traiter correctement les éléments de stockage du GNL et le routage des pipelines dans la zone portuaire. • Chaque fois que les systèmes de gestion de la Commission ont des détails ou sont suffisamment complets dans leur traitement. • QRA recommandée pour toutes les situations de STP afin de traiter correctement les éléments de stockage de GNL et le routage des pipelines de distribution dans la zone portuaire. • Les cas où les procédures de purge et d'inertage des conduites sont soumises à des exigences spécifiques/exemptions ou sont équipées de systèmes de contrôle spéciaux. • - Débit de soutirage supérieur aux valeurs moyennes communes

Source : Notre Elaboration sur les données et tableaux “European Maritime Safety Agency - Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities/Administrations

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
 Contribution du partenaire du projet

2.4 VALEURS SEUILS ET CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ

La quantification du risque décrite ci-dessus, bien qu'extrêmement importante, reste une fin en soi si elle ne peut être utilisée comme un outil de décision pour l'acceptabilité ou non d'une nouvelle installation ou infrastructure.

Ce processus décisionnel doit toutefois être fondé sur un critère comparatif qui permette à la fois de comparer la situation avant la nouvelle construction et celle qui se produira après la nouvelle construction et, plus fréquemment, de procéder à une évaluation de nature absolue.

La pratique adoptée dans les différents pays est très différente, mais l'approche qui est formellement plus avancée est l'utilisation de seuils d'acceptabilité et d'inacceptabilité du risque, une pratique qui est maintenant consolidée dans les pays d'Europe du Nord où la culture du risque est bien établie et mise en œuvre¹⁶.

Il est important de souligner que, tant dans les évaluations qualitatives que quantitatives, les critères et les limites de comparaison du niveau de risque calculé doivent être établis, de manière à permettre l'évaluation et l'approbation d'un projet spécifique, y compris les mesures d'atténuation et un plan de gestion.

Il convient de noter que les critères de seuil qui peuvent être utilisés pour évaluer le niveau de risque, définissant l'acceptabilité du risque lui-même, sont souvent également utilisés pour établir des distances de sécurité externes ou internes.

¹⁶ “ La première évolution a conduit à l'utilisation des diagrammes FN et les premiers critères d'acceptabilité proposés sont nés dans le domaine nucléaire (Royaume-Uni) principalement dans le but de clarifier la question de la sûreté des réacteurs nucléaires ("how safe is safe enough") tiré de la source : " ANALYSE COMPARATIVE DES CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES ET DES CONSIDÉRATIONS SUR D.M. 9 MAY 2001 Andrea Carpignano, Sara Tuninetti Dipartimento di Energetica – Politecnico di Torino Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino andrea.carpignano@polito.it sara.tuninetti@polito.it - D.J. Higson, Nuclear Safety, “Nuclear safety assessment criteria”, Vol.31, No.2 Aprile-giugno 1990

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet



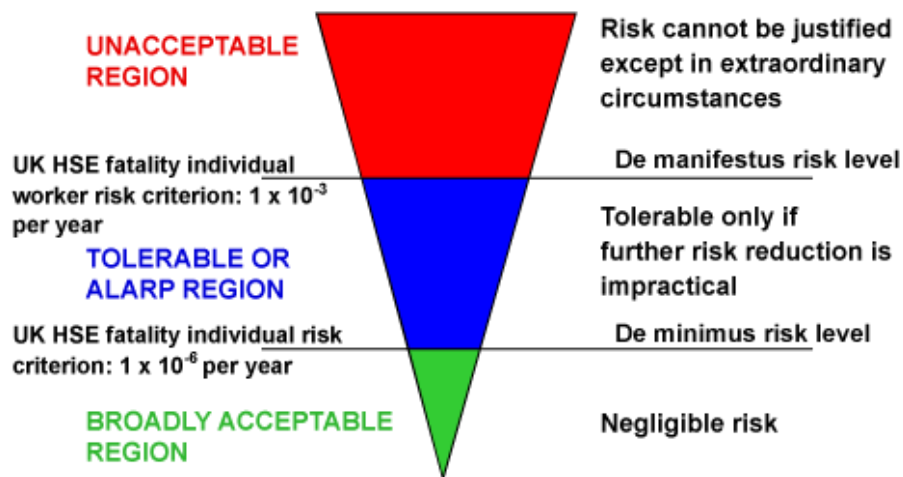
Ces critères seuils ou valeurs limites sont fixés et doivent être contraignants, qu'ils aient une valeur non juridique, c'est-à-dire qu'ils constituent un objectif de conception ou une valeur réglementaire obligatoire. En général, on peut distinguer les types de critères suivants :

- A. Valeurs génériques
- B. Valeurs exprimées comme la distance à laquelle le dommage est considéré comme intolérable
- C. Valeurs de référence exprimées dans les normes techniques
- D. Risque individuel
- E. Risque social

A. Valeurs génériques

Un premier schéma pour définir le niveau de risque calculé peut être simplement une échelle à deux ou trois bandes, qui divise les risques tolérables des risques intolérables (c'est-à-dire les activités acceptables des activités inacceptables). En d'autres termes, on utilise une échelle à deux bandes ou à deux niveaux, ce qui implique un seul critère de risque, ou bien deux critères peuvent être pris en compte ; ce qui permet de diviser les niveaux de risque en trois bandes :

Figure 5. Critères d'acceptabilité des risques



Source: Web <https://www.primatech.com/technical/alarp-principle> - HSE Principles for Cost Benefit Analysis (CBA) in Support of ALARP Decisions, <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarpcba.htm>.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

La **bande supérieure** est celle dans laquelle le risque est généralement considéré comme intolérable, quel que soit le bénéfice que l'activité peut apporter ou dans le processus de définition des mesures d'atténuation, les actions de réduction des risques sont essentielles quel que soit leur coût.

La **bande intermédiaire** est le point où la définition des mesures d'atténuation est souhaitable dans la phase d'évaluation des risques, la possibilité de les mettre en œuvre peut être raisonnée en termes d'**ALARP** (As Low As Reasonably Achievable) ou **ALARA** (As Low As Reasonably Achievable) ou risque minimal raisonnablement réalisable.

La **bande inférieure** comprend les risques dont le niveau doit être considéré comme négligeable, de sorte que l'adoption obligatoire de mesures d'atténuation supplémentaires par rapport à celles déjà prévues n'est pas nécessaire, laissant ainsi au proposant et à une évaluation des possibilités/avantages d'adopter des mesures supplémentaires.

Chaque incident peut alors être représenté par un diagramme sous forme de point en fonction de sa fréquence et par un dommage théorique. Sa position dans le diagramme conduira à une évaluation et éventuellement à la nécessité d'intervenir.

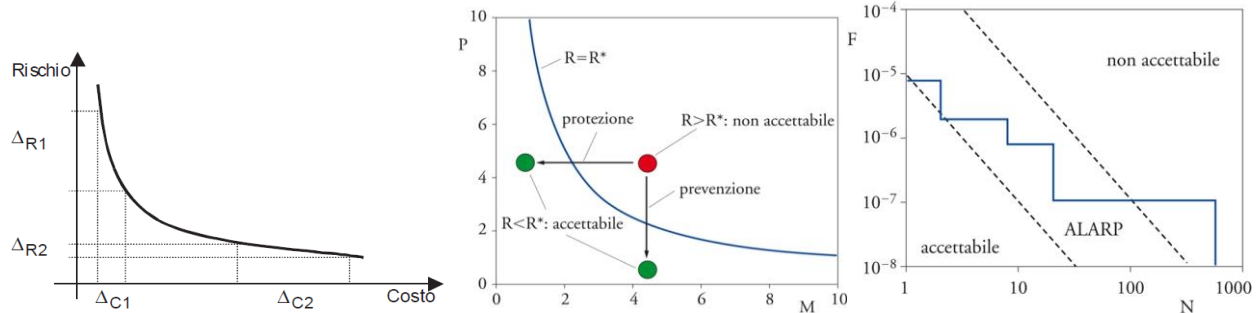
La bande centrale prévoit une évaluation de la possibilité, en introduisant un concept de "caractère raisonnable" qui naît de l'observation de la tendance hyperbolique de la variation du risque à l'augmentation des investissements.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Figure 6. Coûts liés à la réduction des risques



Source: Treccani - <http://www.treccani.it/enciclopedia/curve-f-n> (Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica) e Carpignano A., Il rischio tecnologico, in: Pianificazione del Territorio e Rischio Tecnologico, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Politecnico e Università di Torino, CELID, 2002

B. Valeurs exprimées comme la distance à laquelle le dommage est jugé intolérable

En utilisant cet "ensemble de critères seuils", les valeurs sont exprimées comme la distance à laquelle le dommage est considéré comme intolérable. Il est évident que dans le cas où la valeur seuil dépend tout d'abord de l'événement générateur spécifique qui est analysé (par exemple explosion, incendie, etc.), ensuite de l'effet généré qui est évalué (par exemple rayonnement thermique, concentration de contaminants dans l'air, dommages physiologiques à l'individu) et troisièmement, mais pas moins important, de la sensibilité avec laquelle vous voulez évaluer (par exemple pourcentage de concentration plus ou moins élevé, dommages légers ou graves, brûlure de différents niveaux, etc.) Ce système implique que les différents niveaux de seuil peuvent être différents d'un projet à l'autre, même en tenant compte des mêmes événements générateurs. Par exemple, il est possible d'avoir :

- ✓ Événement de rejet de vapeur toxique : concentration létale de 1% (abrév. LC1% - Lethal Concentration 1%)¹⁷ en utilisant des valeurs dont la présence est immédiatement dangereuse

¹⁷ La valeur LC% exprime la valeur de concentration d'une substance d'un environnement (par exemple l'atmosphère) qui est mortelle pour une valeur% donnée de l'ensemble de la population examinée. Par exemple, la CL50 (concentration létale 50) est définie comme la concentration létale pour 50% des individus d'une population. Dans notre cas, la LC1 identifie la valeur de concentration de la substance dans l'atmosphère qui provoque la mort d'un individu parmi la

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

pour la vie ou la santé (abrév. IDLH) ou des valeurs de dose équivalentes pour des périodes d'exposition fixes (par exemple, la dose létale médiane, la dose létale 50 ou la DL50, qui exprime la valeur comme la dose de la substance qui cause la mort de 50% des individus dans un certain temps après l'événement générateur).

- ✓ Événement Incendie : exposition à un rayonnement thermique, avec des seuils fixes tenant compte d'une durée d'exposition déterminée et évaluant l'apparition éventuelle d'effets plus ou moins mineurs, par exemple des effets graves (brûlures au 3ème degré) ou moins graves (brûlures au 1er degré et 2e degré).
- ✓ Onde de pression : seuil d'endommagement du système auditif, vérifiant en termes de dB de pression que certains niveaux ont été atteints qui peuvent causer des dommages permanents, réversibles ou temporaires (perte d'intelligibilité du son, perte d'audition, perforation du tympan, etc.)

Pour les besoins de l'application, une fois que la valeur seuil d'intolérabilité spécifique a été fixée (par exemple, le niveau IDLH d'un produit chimique émis dans l'atmosphère), la zone affectée par

population présente dans la zone touchée par l'événement ". Source:" Le risque des produits chimiques et la réglementation REACH Dr. Silvia Marchini - ISS - Présentation ISPRA Ambiente "

"Il existe plusieurs valeurs de référence pour l'acceptabilité sur lesquelles définir une distance maximale, par exemple

- *LOAEL : Lowest-Observed Adverse-Effect Level. Représente le niveau le plus bas (généralement la dose) auquel un effet négatif peut être détecté.*
- *LOEC : Lowest-Observed Effect Concentration. Représente la plus faible concentration à laquelle un effet peut être détecté.*
- *LOEL : Lowest-Observed-Effect Level. Représente le niveau le plus bas auquel un effet pourrait être détecté.*
(...)
- *LT50 : Lethal Time 50. Temps mortel médian. Représente le temps nécessaire pour déterminer la mort de 50% des individus exposés à une concentration donnée d'une substance.*
- *NOAEC : No-Adverse Effect Concentrations. Concentration qui ne produit aucun effet nocif.*
- *NOEC : No-Observed Effect Concentration. Concentration d'aucun effet observé.*
- *NOEL : No-Observed Effect Level. Représente le niveau le plus élevé (concentration ou dose) auquel aucun effet ne s'est produit. »*

Source : "Rapport de comparaisons entre laboratoires dans le domaine écotoxicologique: l'esperienza di ISPRA (2003 - 2016)" – ISPRA

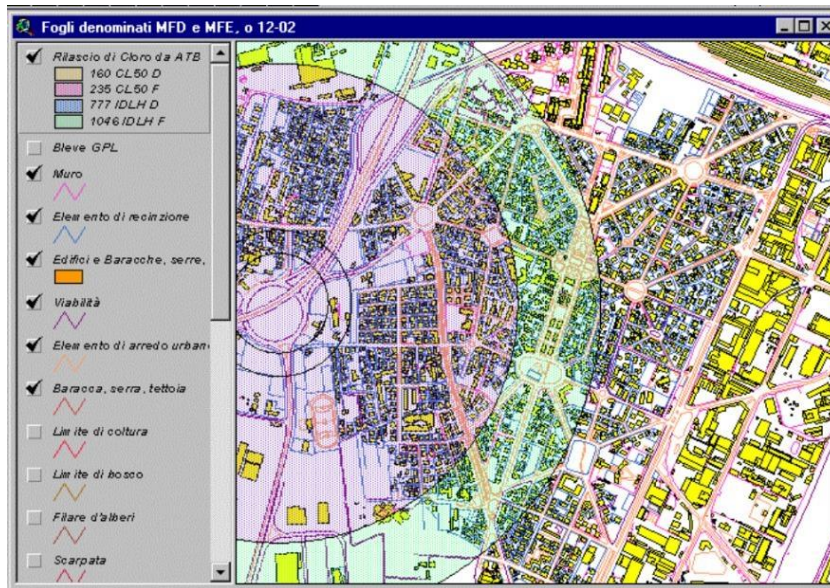
TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



l'événement est cartographiée de manière plus ou moins ponctuelle, avec une définition dépendant de l'outil de calcul utilisé, ce qui permet d'obtenir des courbes iso-niveaux de l'effet (dans notre cas, des valeurs de concentration, c'est-à-dire qu'il y aura des courbes d'iso-concentration) et donc des distances auxquelles les dommages se produiront avec des niveaux (c'est-à-dire des concentrations) égaux au niveau seuil d'intolérabilité. Arrivé à ce point, il suffit de vérifier que la distance calculée à laquelle la valeur fixe se produit est inférieure à la distance de la valeur seuil supposée.

Figure 7. Exemple où les valeurs sont exprimées comme la distance à laquelle le dommage est considéré comme intolérable



Source "Analyse des risques de zone, état de l'art, diffusion et utilité" – E.Galatola - Eidos Servizi Ambientali Padani
 C.Clini e R.Caroselli -Ministero Ambiente – G.Macchi ANPA

C. Valeurs de référence exprimées dans les normes techniques

Les valeurs de référence technique peuvent également être exprimées dans la norme de référence technique. De ce point de vue, en particulier, dans la norme ISO18683, par exemple, les valeurs seuils de risque individuel sont mises en évidence, ce qui devient très utile si une évaluation des résultats d'une méthode EQR appliquée aux scénarios dangereux sélectionnés doit être effectuée.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

Les critères de risque dans les évaluations quantitatives des risques se réfèrent généralement au risque individuel (et en partie au risque de la population) et sont liés à la mortalité ou à d'autres mesures des blessures.¹⁸.

Figure 8. Valeurs seuils et critères d'acceptabilité – ISO/TS 18683

	Acceptance criteria	Comment
Individual risk 1 st party personnel	IR < 10 ⁻⁵	Applies to crew and bunkering personnel directly involved in the activity.
Individual risk 2 nd party personnel	IR < 5·10 ⁻⁶	Port personnel and terminal personnel.
Individual risk 3 rd party personnel with intermittent risk exposure	Risk contour for IR < 5·10 ⁻⁶	3 rd party personnel should not have access for prolonged period.
Individual risk 3 rd party personnel with prolonged risk exposure	Risk contour for IR < 10 ⁻⁶	General public without involvement in the activity. No residential areas, schools, hospitals etc. inside this risk contour.

Source : notre élaboration à partir de ISO/TS 18683

Les catégories de probabilité peuvent toutefois être liées à la durée de vie utile d'un bien, d'un «équipement», etc., ou à un autre horizon de référence en rapport avec l'évaluation à effectuer.

Prenons le cas d'un navire de soutage de GNL, en supposant que la durée de vie utile de l'actif est de 25 ans. Si l'on suppose un scénario avec une probabilité annuelle de 1 sur 1 million (c'est-à-dire évaluation 1 - Éloigné), la probabilité que l'événement se produise pendant la vie du navire est de 1 sur 40 000 (c'est-à-dire 1/ (10⁻⁶ x 25)).

Si au lieu de considérer la durée d'un navire, un intervalle typique cohérent avec la durée d'une opération de soutage était considéré, nous aurions (pour une opération TTS) 2 heures, soit 0,00024 ans, le même scénario avec une probabilité annuelle de 1 sur 1 un million (c.-à-d. évaluation 1- à

¹⁸ La question est traitée en détail dans la recommandation 142 du SIGC : "... le risque pour tout individu peut être "faible", mais le risque de nuire à de nombreuses personnes lors d'un seul incident ou accident peut être suffisant pour justifier une réduction du risque. Les parties prenantes devraient examiner ce qui constitue un nombre important de personnes nécessitant une évaluation des risques sociaux.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

distance) aurait une probabilité d'occurrence pendant l'opération d'avitaillement égale à 1 sur 4.166.666.667 (c.-à-d. $1 / (10^{-6} \times 0,00024)$).

Il s'agit d'une probabilité extrêmement faible, afin de mettre en évidence le fait que le critère de moyenne annuelle peut ne pas convenir pour représenter la probabilité d'occurrence en référence à des durées limitées ou à des transactions peu fréquentes.

L'adéquation des critères joue donc un rôle fondamental et, dans le cas du soutage, il est plus raisonnable d'établir des critères de probabilité "par opération".

Figure 9. Exemple de matrice d'évaluation des risques – ISO17776

Consequence (Severity)	Multiple fatalities C	Yellow			Red		Red	HIGH	
	Single fatality or multiple major injuries B	Green	Yellow		Yellow	Red	Yellow	MEDIUM	
	Major injury A	Green			Yellow		Yellow	LOW	
		1 Remote $10^{-6}/y$	2 Ext. Unlikely $10^{-5}/y$	3 V. Unlikely $10^{-4}/y$	4 Unlikely $10^{-3}/y$	5 Likely			
		Likelihood (Chance per year)							

Source : notre élaboration à partir de la Source ISO17776

D. Risque individuel

Le risque individuel définit la probabilité annuelle qu'un individu subisse un certain niveau de dommage à proximité d'un élément ou d'un système à la suite d'un événement de toute nature qui provient des activités de processus ou les affecte. La représentation du risque individuel est plus complexe et plus détaillée, mais elle peut donner une image très précise du niveau de risque associé à une installation. Il s'agit de déterminer, à l'aide de tableaux ou de graphiques, de longues directions prédéterminées qui partent de la source du risque, la façon dont le risque individuel varie en fonction

de la distance ou, de manière similaire, la répartition du risque individuel sur une zone entière peut être fournie au moyen de courbes de niveau joignant des points de risque égal.

À cette fin, le risque individuel est ensuite calculé, aux points géographiques situés autour de l'usine, comme la somme, sur ce point, du risque découlant de chaque incident concevable. La formule de base utilisée est la suivante :

$$I.R.(x, y) = \sum_{i=1}^n I.R.(x, y)_i$$

Où :

I.R.(x,y) = Risque individuel au point géographique (x,y) (exprimé en fréquence de décès par an)

I.R.(x,y)_i = Risque individuel au point géographique (x,y) résultant du i-ème scénario (exprimé en fréquence de décès par an)

n = nombre total d'événements accidentels pris en compte dans l'analyse.

Le terme I.R.(x,y)_i est obtenu à partir de la formule:

$$I.R.(x, y)_i = f_i \cdot pd_i \cdot Pf_i$$

Où :

f_i = fréquence du i-ème événement (occasions/année), dérivée de l'estimation de la fréquence ;

pd_i = facteur associé à l'événement (prend en compte la direction du rejet, les conditions météorologiques, etc ;)

Pf_i = probabilité que les effets du i-ème événement entraînent la mort au point géographique (x,y).

Le résultat final de l'analyse consiste en une cartographie avec des courbes d'iso-risque, chacune d'entre elles délimitant une région géographique dans laquelle la fréquence prévue de décès d'une personne est égale à une probabilité donnée.

Pensez, par exemple, à la probabilité annuelle qu'un individu subisse une blessure non mortelle lors d'un accident de la route, c'est-à-dire qu'il s'agit de déterminer la probabilité que tout citoyen subisse une blessure non mortelle en étant victime d'un accident de la route au cours de chaque année de sa

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

vie. Notez que la valeur précédente est simplement obtenue en divisant le nombre d'accidents de la route au cours d'une année donnée par la population de la même année.

Le calcul ne tient pas compte du fait que certains citoyens voyagent très peu alors que d'autres ne voyagent pas du tout (par exemple, les enfants ou les patients des hôpitaux) ou que d'autres passent leur temps à voyager (les chauffeurs de bus). Elle ne tient pas compte de la variabilité du risque individuel en fonction des différents groupes sociaux, c'est-à-dire de l'exposition différente au risque (c'est-à-dire le moment réel où ils sont exposés à un risque bien défini).

Par rapport à cela, le risque individuel est calculé et exprimé pour des individus appartenant à des groupes de caractéristiques homogènes, c'est-à-dire des groupes d'individus qui sont exposés à un risque donné pour une durée annuelle donnée, sinon identique, comparable.

Par conséquent, les niveaux d'acceptabilité sont aussi généralement distingués par catégories de personnes potentiellement exposées, telles que :

- ✓ La fréquence de 10^{-4} occasions/an (probabilité annuelle) est acceptable pour les travailleurs travaillant dans l'installation.
- ✓ La fréquence de 10^{-4} occasions/an (probabilité annuelle) est acceptable pour la population en dehors de l'installation.

D'un point de vue graphique, et en référence à des scénarios complexes et multi-événements, il est possible d'obtenir à partir des courbes de dommages une représentation du risque individuel en utilisant généralement deux méthodes : les courbes d'isolevel ou les distributions spatiales.

Dans le premier cas, le risque individuel est généralement visualisé par un ensemble de points organisés dans une grille à mailles carrées de pas de base, dont le choix est dicté en partie par l'extension de la zone d'étude elle-même et en partie par les limitations du code de calcul en ce qui concerne le nombre maximum de points sources et de points de calcul représentables. À chaque point est associée la valeur du risque qui est conventionnellement étendue à toute la cellule dont le point représente le centre (approximation du risque par point).

TDI RETE-GNL

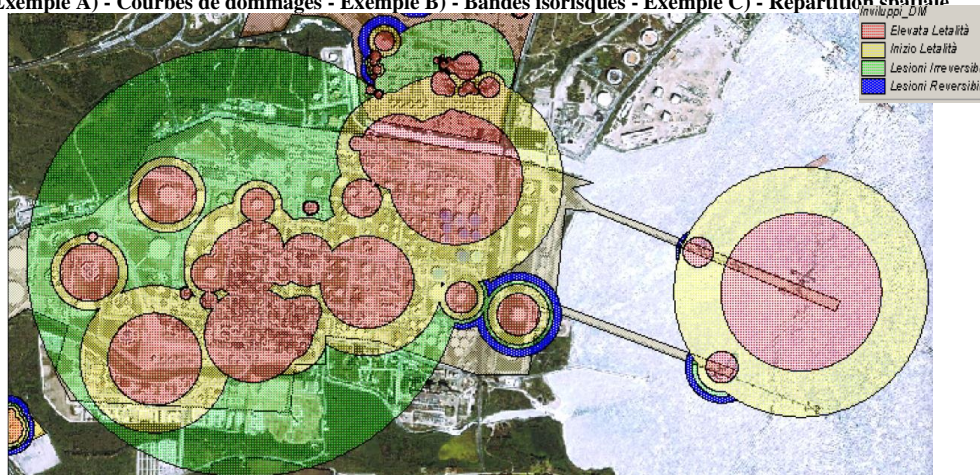
Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

Dans le second cas, la représentation du risque individuel se fait au moyen de courbes ou de bandes d'iso risques qui, par rapport au précédent, s'avèrent plus immédiates pour la comparaison avec les valeurs seuils mais moins efficaces pour évaluer les tendances de l'ensemble du phénomène de risque sur une base territoriale.

La représentation avec des courbes d'iso-risque se fait par l'interpolation des valeurs de risque, associées à chaque point de la grille, en utilisant des algorithmes d'interpolation qui permettent d'estimer ces valeurs même dans des positions qui ne coïncident pas avec les points de calcul.

Voir un extrait typique de la représentation cartographique des courbes d'iso-risque et la répartition des images suivantes.

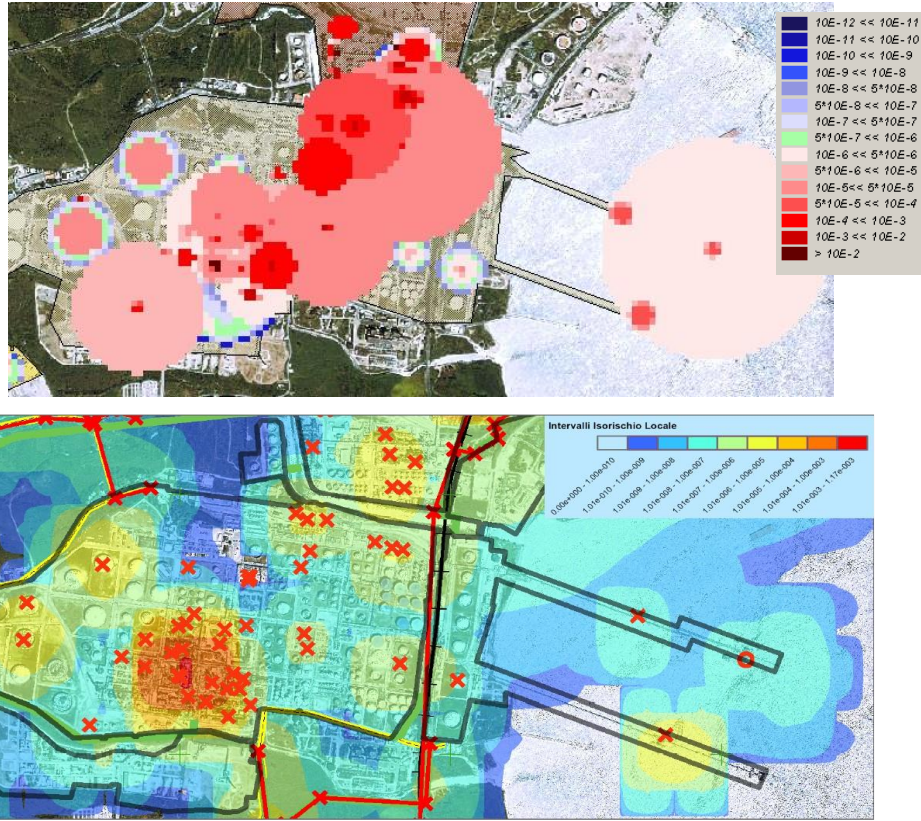
Figure 10. Exemples de cartographies des risques isolés et de répartitions individuelles des risques
Exemple A) - Courbes de dommages - Exemple B) - Bandes isorisques - Exemple C) - Répartition spatiale



TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



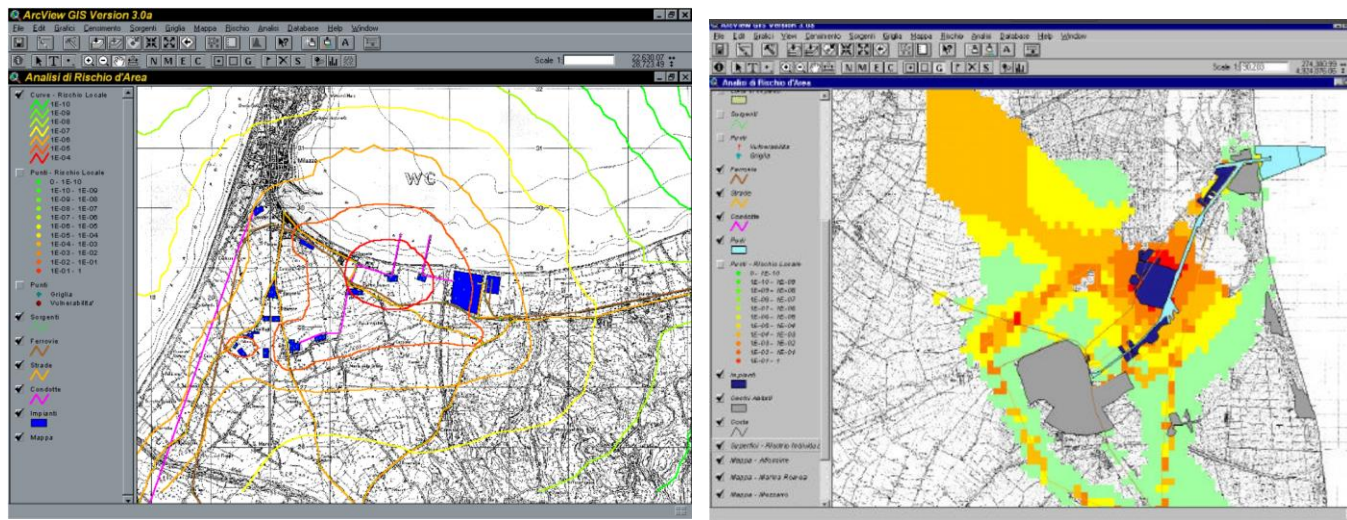


Source : “Expériences dans l'utilisation de codes de calcul géoréférencés pour la recomposition des risques de zone” – R. Marrazzo - Servizio rischio industriale, APAT

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet

Figure 11. Exemples de cartographies des risques isolés et de répartitions individuelles des risques
Exemple A) - Courbes isorisques - Exemple B) - Distribution spatiale e



Source : “Aripar-gisle soutien aux activités de prévision et de prévention des risques et à la préparation aux situations d'urgence dans les zones industrielles et portuaires à la suite d'accidents majeurs.” G. Spadoni, S. Contini, D .Egidi

E. Risque social

L'utilisation d'un risque social est une méthode qui complète généralement la méthode du "risque individuel". Le risque social est calculé comme un produit pondéré entre N, le nombre de personnes potentiellement exposées à un risque bien défini en raison des effets d'un événement accidentel et la fréquence (F) de survenance de l'événement lui-même.

La fréquence globale est obtenue comme la somme de tous les événements accidentels identifiés (HazId) qui, avec leur intensité, peuvent causer un nombre d'occurrences individuelles égal à N.

La fréquence prévue de l'événement est calculée sur la répartition réelle des personnes à l'intérieur et à l'extérieur de la centrale et cela représente peut-être l'élément de détermination le plus critique, surtout dans les zones fortement anthropisées. Le nombre d'occurrences associées à chaque i-ème événement est donc obtenu avec la formule :

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale”
 Contribution du partenaire du projet

$$N_i = \sum_{n=1}^n p_{(x,y)_i} \cdot pd_i \cdot Pf_i$$

Où:

$p_{(x,y)_i}$ = nombre de personnes présentes dans la zone d'influence du i -ème événement ;

pd_i = facteur associé à l'événement (prend en compte la direction du rejet, les conditions météorologiques, etc ;)

Pf_i = probabilité que les effets du i -ème événement déterminent une occurrence au point géographique (x,y)

Le graphique qui en résulte montre la combinaison entre le nombre de décès, N et la valeur de fréquence correspondante : les résultats de l'évaluation doivent ensuite être comparés aux critères d'acceptation des risques référencés et faisant autorité.

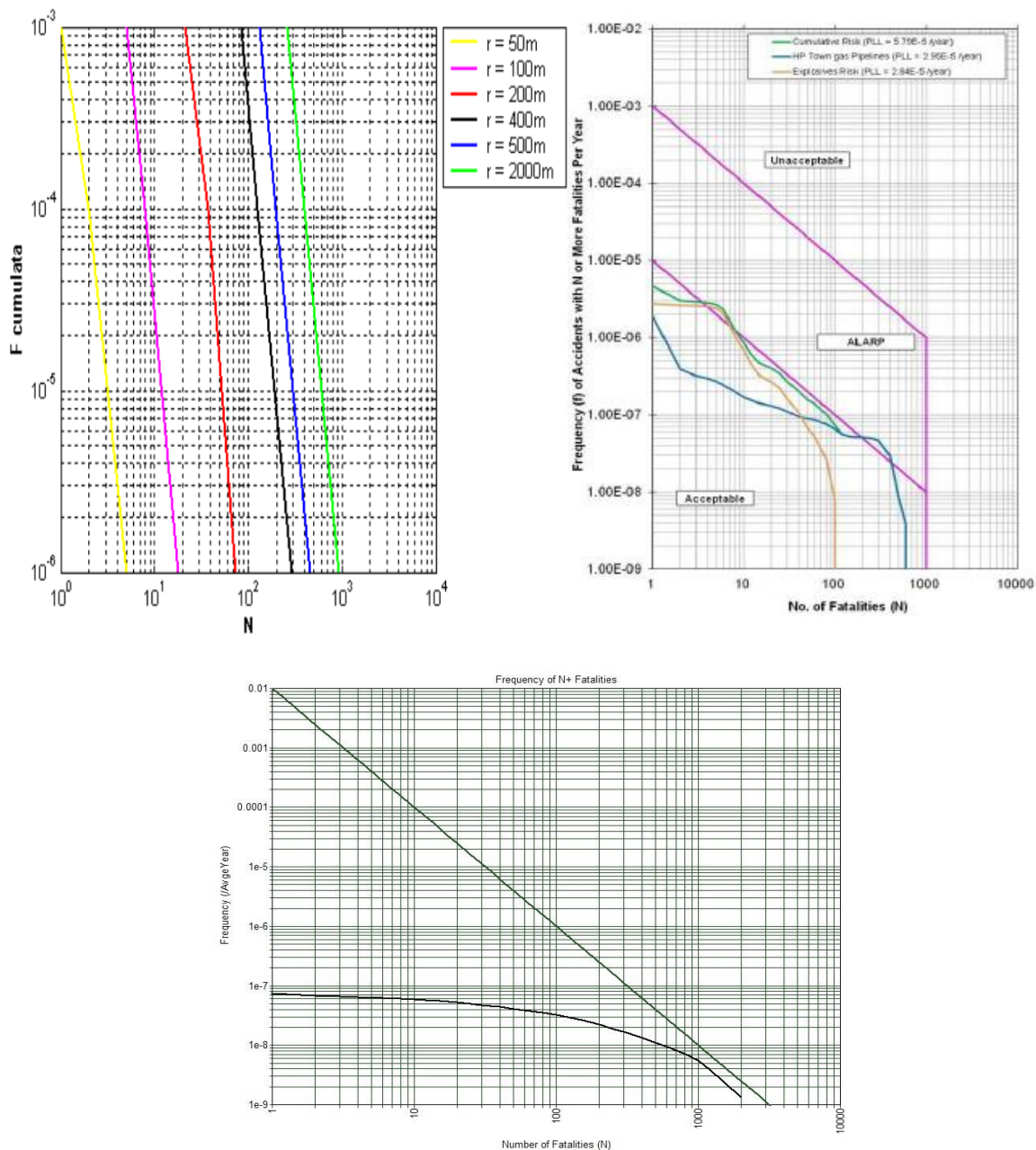
Par exemple : une valeur de 1 occurrence est acceptable avec une fréquence d'occurrence de 10^{-4} occasions/an, des valeurs de 100 occurrences sont acceptables avec une fréquence d'occurrence de 10^{-6} occasions/an.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



Figure 12. Exemples de critères d'acceptabilité



Source : "Analyse comparative des critères d'acceptabilité des risques et considérations sur d.m. 9 maggio 2001" - Politecnico di Torino - Carpignano, Tuninetti

TDI RETE-GNL
 Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

3 CARACTÉRISTIQUES GNL ET TAXONOMIE DES RISQUES

3.1 PRINCIPAUX EFFETS PHYSIQUES DU GNL

L'utilisation du gaz naturel liquéfié (GNL) pour la propulsion navale permet de répondre à de multiples besoins environnementaux et économiques, principalement composé de méthane et, en termes minoritaires, d'éthane, de propane, de butane et d'azote, le gaz Naturel, il se trouve couramment dans la nature dans les gisements fossiles avec le pétrole et le charbon. En outre, il peut également être produit lors de processus de décomposition naturels dans les décharges ou dans les marécages. Le gaz naturel liquéfié (GNL) est obtenu, après un traitement de purification et de déshydratation, soumettant le gaz naturel à des phases successives de refroidissement et de condensation : on obtient ainsi un gaz liquide inodore et transparent ayant une température d'ébullition d'environ -160°C à pression atmosphérique.

Le stockage et l'utilisation du gaz GNL nécessitent donc des mesures d'ingénierie et de gestion des installations qui ne coïncident pas parfaitement avec celles qui caractérisent le stockage du méthane en phase gazeuse et GPL, dont les caractéristiques, y compris l'ingénierie des installations, sont désormais normalisées et connues des techniciens qui travaillent à l'évaluation et à l'analyse des projets de construction des gisements correspondants. Afin de définir les risques spécifiques associés aux installations de stockage de GNL, les caractéristiques physiques et le comportement de ce gaz combustible doivent être expliqués. Tout d'abord, la densité du GNL dépend de la composition du mélange : elle se situe normalement entre 430 kg/m^3 et 470 kg/m^3 , bien que dans des cas particuliers elle puisse atteindre 520 kg/m^3 .

Ces conditions dépendent également de la température du liquide, en fait sa masse est réduite lorsque la température diminue avec un gradient d'environ $-1,35\text{ kg/m}^3\text{C}$. En outre, le GNL a une température d'ébullition généralement comprise entre -166°C et -157°C à la pression atmosphérique, ce qui dépend de la composition du mélange lui-même.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Per poter liquefare il GNL non serve incrementare la pressione a temperatura ambiente, poiché esso si comporta come un gas compresso, bensì, indipendentemente dalla pressione, occorre ridurre la sua temperatura a valori inferiori a -80° .

Per quanto concerne l'impiego di GNL per la propulsione navale, esso offre vantaggi significativi rispetto ai combustibili tradizionali (ad esempio l'HFO), infatti, come citato in precedenza, il GNL comporta inferiori emissioni di NO_x , emissioni di particolato pressoché azzerate, apprezzabile riduzione di emissioni di CO_2 in fase di combustione, legate al maggior contenuto di idrogeno, assenza di zolfo, alta densità energetica. In relazione alle particolari proprietà fisiche del metano sussistono molteplici problematiche: data la temperatura critica (-82°C), lo stoccaggio deve essere mantenuto a temperature criogeniche (-161°C a pressione ambiente) e ciò comporta un elevato costo di impianto. Afin de liquéfier le GNL, il n'est pas nécessaire d'augmenter la pression à température ambiante, car il se comporte comme un gaz comprimé, mais, quelle que soit la pression, sa température doit être réduite à des valeurs inférieures à -80° .

En ce qui concerne l'utilisation du GNL pour la propulsion marine, il offre des avantages significatifs par rapport aux carburants traditionnels (par exemple le HFO), en effet, comme mentionné ci-dessus, le GNL implique des émissions de NO_x plus faibles, presque zéro émission de particules, réduction appréciable des émissions de CO_2 lors de la combustion, liée à la plus forte teneur en hydrogène, à l'absence de soufre, à la haute densité énergétique. En ce qui concerne les propriétés physiques particulières du méthane, les problèmes sont multiples : compte tenu de la température critique (-82°C), le stockage doit être maintenu à des températures cryogéniques (-161°C à pression ambiante) et cela entraîne un coût d'installation élevé.

3.1.1 Limites d'inflammabilité

L'utilisation du gaz naturel liquéfié comme carburant pour la propulsion marine ainsi que les avantages environnementaux possibles considérables peuvent également déterminer différents types de risques en raison de la nature et des caractéristiques du produit. En ce qui concerne ces risques, il

est donc nécessaire de procéder à des évaluations minutieuses et approfondies par le biais de processus d'analyse spécifiques qui doivent être menés selon des principes et des règles de procédure spécifiques. Les analyses en question, en particulier, doivent être effectuées strictement pendant la phase de conception, avant le début de la phase de construction de la centrale.

Les principaux risques liés à l'utilisation des installations de GNL, selon la doctrine la plus récente et les analyses empiriques existant à ce jour sur le sujet, sont essentiellement liés au rejet accidentel de GNL à température cryogénique dans le milieu environnant. Ces risques concernent principalement les réservoirs de GNL et les zones de stockage, mais aussi les différentes zones dans lesquelles les terminaux de regazéification, en tant qu'unités d'approvisionnement, et les navires, en tant qu'unités à approvisionner. En ce qui concerne les navires individuels, il convient également de prendre en considération des variables et facteurs supplémentaires qui contribuent à augmenter le niveau de risque : parmi ceux-ci, le mouvement des vagues, qui peut entraîner des mouvements soudains et inattendus du navire pendant les opérations de ravitaillement, ou la présence d'un trafic maritime supplémentaire dans les zones portuaires consacrées aux activités de ravitaillement, ou encore l'exécution simultanée de différents types d'opérations à quai menées en même temps (pensez en ce sens aux problèmes liés aux opérations simultanées ou SIMOPS).

Afin de procéder à l'identification et à l'évaluation ultérieure des risques associés à l'utilisation du GNL comme carburant pour la propulsion marine et au développement des infrastructures et superstructures connexes pour le soutage du GNL, il est donc nécessaire, en premier lieu, d'étudier les principaux types de risques associés à l'utilisation du GNL. Pour ce faire, cependant, il est d'abord nécessaire de comprendre les propriétés du GNL et, par conséquent, les conditions de base dans lesquelles les dangers et les risques liés à l'utilisation du GNL se produisent. En fait, le GNL à l'état liquide n'est ni inflammable ni explosif (Foss, 2006). Cependant, lorsqu'il est rejeté dans l'atmosphère, il est chauffé par l'air (ou l'eau, s'il entre en contact avec lui), ce qui entraîne un déphasage en fonction de la composition du produit de départ et des différents taux d'évaporation des

TDI RETE-GNL

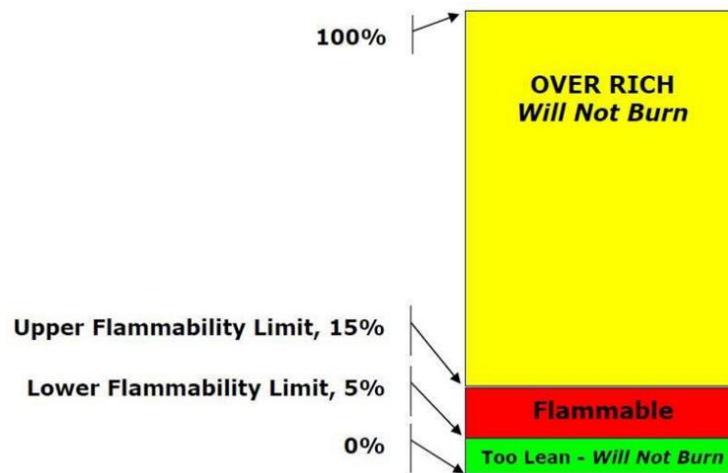
Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



composants du mélange.¹⁹. De cette façon, on obtient un gaz qui, plus froid et plus lourd que l'air, peut créer un mélange inflammable très dangereux, bien que la plage d'inflammabilité du gaz naturel soit assez étroite. En fait, les caractéristiques dangereuses du GNL à l'état gazeux sont essentiellement celles du méthane pur (Uguccioni et al, 2006), c'est-à-dire l'inflammabilité dans le cas d'une concentration d'air identique égale à une valeur comprise entre le niveau inférieur d'inflammabilité (*Lower Flammability Leve:LFL*), qui s'élève à 5 % (un pourcentage inférieur de gaz serait trop dilué pour permettre l'inflammation) et le niveau supérieur d'inflammabilité (*UpperFlammability Level:UFL*), égal à 15 % ; en fait, une quantité de gaz plus importante entraînerait une concentration d'oxygène trop faible pour entretenir la flamme. (

Figure 13).

Figure 13. Intervalle d'inflammabilité du GNL



Source: Foss, 2006 ("LNG Safety and Security")

¹⁹ La composition du GNL varie en fonction de la composition du GN dont il provient et des processus de purification et de liquéfaction ultérieurs ; il convient de rappeler que, à son tour, la composition du GN de départ varie en fonction de son origine (zone géographique de production).

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

Le tableau ci-dessous (Tableau 4) indique les limites inférieure et supérieure d'inflammabilité des principaux composés présents dans le GNL (méthane, éthane, propane, butane et pentane) selon la norme CEI-EN 61779-1 "Appareils électriques de détection et de mesure des gaz combustibles - Partie 1 : Règles générales et méthodes d'essai", dans laquelle sont indiquées les limites indicatives pour la réalisation d'essais spécifiques sur les appareils électriques de détection et de mesure des gaz combustibles (prévues par la norme elle-même).

Tableau 4. Caractéristiques d'inflammabilité

	Limite inférieure di infiammabilità (% volume)	Limite superiore di infiammabilità (% volume)	Flash Point	Temp.di ignizione
Metano	4,40	17,0		537
Etano	2,50	15,5		515
Propano	1,7	10,9	-104 gas	470
n-Butano	1,40	9,3	- 80 gas	372
i-Butano	1,3	9,8	gas	460
Pentano (miscela di isomeri)	1,40	7,8	-40	258

Source : norme CEI-EN 61779-1

Comme indiqué dans le Tableau 5, la limite inférieure d'inflammabilité du GNL est généralement plus élevée que celle d'autres combustibles, tels que le GPL (la comparaison entre le GNL et le GPL sera rappelée dans le paragraphe suivant) et l'essence : en pratique, le risque d'inflammabilité et d'explosivité dans une zone donnée n'est présent qu'avec une concentration plus élevée de GNL que les autres combustibles.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



Tableau 5. Comparison of properties of Liquid Fuels

Properties	LNG	LPG	Gasoline	Fuel Oil
Toxic	No	No	Yes	Yes
Carcinogenic	No	No	Yes	Yes
Flammable Vapor	Yes	Yes	Yes	Yes
Forms Vapor Clouds	Yes	Yes	Yes	No
Asphyxiant	Yes, but in a vapor cloud	Same as LNG	Yes	Yes
Extreme Cold Temperature	Yes	Yes, if refrigerated	No	No
Other Health Hazards	None	None	Eye irritant, narcosis, nausea, others	Same as gasoline
Flash point in °F (°C) ²	-306 (-188)	-156 (-104)	-50 (-46)	140 (60)
Boiling point °F (°C)	-256 (-160)	-44 (-42)	90 (32)	400 (204)
Flammability Range in Air (%)	5-15	2.1-9.5	1.3-6	N/A
Stored Pressure	Atmospheric	Pressurized (atmospheric if refrigerated)	Atmospheric	Atmospheric
Behavior if Spilled	Evaporates, forming visible "clouds". Portions of cloud could be flammable or explosive under certain conditions.	Evaporates, forming vapor clouds which could be flammable or explosive under certain conditions.	Evaporates, forms flammable pool; environmental clean-up required.	Same as gasoline

Source: Foss, 2006 ("LNG Safety and Security")

3.1.2 Comparaison GNL/GPL

Le GNL diffère du GPL (gaz de pétrole liquéfié) en ce que le GPL est constitué d'un mélange de gaz liquéfiés dont la température critique est beaucoup plus élevée que la température ambiante, de sorte qu'ils peuvent être liquéfiés par compression, refroidissement ou par compression suivie d'un refroidissement. À une température de 15 °C, selon la composition du mélange stocké, le GPL a une pression de vapeur comprise entre 1,5 et 4 bars ; en outre, le GPL peut être stocké dans des conteneurs

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

en acier au carbone non isolés dont la pression maximale peut atteindre 30 bars. Le GPL a également une densité plus élevée dans la phase gazeuse que l'air; les nuages de gaz ont tendance à rester près du sol quelle que soit la température à laquelle ils se trouvent.

Le Gaz Naturel, en revanche, a une température critique très basse et ne peut être liquéfié que s'il est refroidi en dessous de cette température ; en fait, le gaz naturel à la pression atmosphérique n'est sous forme liquide que si la température est de -162°C . Ainsi, le GNL est stocké à des températures proches de -160°C dans des conteneurs à isolation thermique en acier spécial. Le comportement d'un nuage de gaz produit par le GNL varie en fonction de la température du gaz évaporé par la masse liquide : à basse température, le gaz a une densité plus élevée que l'air, en fait il reste près du bassin liquide mais, à mesure que la température augmente, le gaz a tendance à réduire sa densité en devenant plus léger que l'air.

Le GPL et le GNL diffèrent en termes de caractéristiques physiques : ces écarts prennent en fait la forme de normes de sécurité différentes, de réglementations différentes pour la construction des réservoirs de stockage (voir les nouveaux guides techniques des pompiers pour le stockage du GNL en annexe) et d'applications complémentaires dans la mesure où le GNL est destiné à des utilisateurs de taille beaucoup plus importante que le GPL (un exemple clair est le transport routier où, alors que le GPL est utilisé pour l'approvisionnement des véhicules légers, le GNL est principalement utilisé pour l'approvisionnement des véhicules lourds).

3.2 *RISQUES LIÉS AU GNL*

Comme le souligne la littérature universitaire (Uguccioni et al., 2006), les risques associés à l'utilisation du GNL dépendent également du type de configuration technologique adoptée pour le soutage ainsi que du type d'usine GNL dans son ensemble. Cependant, il est possible d'identifier les principaux types de risques liés à l'utilisation du GNL dans l'environnement maritime-portuaire, quelle que soit la configuration technologique adoptée.

Les risques associés à l'utilisation du GNL comme carburant pour la propulsion marine sont essentiellement dus à son rejet dans l'environnement (Fiorucci et al., 2008). En fait, le déversement accidentel de GNL peut avoir des conséquences importantes qui constituent des situations dangereuses pour la sécurité non seulement du personnel employé dans les opérations de soutage, mais aussi pour l'équipement et les infrastructures ; en outre, il existe également des problèmes critiques potentiels liés à l'environnement et à la sécurité pour la communauté vivant dans la zone environnante.

Dans la législation italienne, les **seuils de dommages** pour l'évaluation des conséquences attendues des accidents et des situations dangereuses liées à des installations telles que celles à l'étude sont principalement fournis par trois sources.

- Le décret du ministère des travaux publics du 9 mai 2001 "Exigences minimales de sécurité pour l'aménagement du territoire dans les zones d'implantation d'établissements présentant un risque d'accident majeur", dont l'objectif est de prévenir les accidents majeurs impliquant des substances dangereuses et de limiter leurs conséquences pour l'homme et l'environnement, sans oublier la détermination de distances de sécurité appropriées entre les établissements et les zones d'habitation ;
- Le décret du ministère de l'environnement du 15 mai 1996 "Critères pour l'analyse et l'évaluation des rapports de sécurité relatifs aux gisements de gaz et de pétrole liquéfié" ; ces analyses fourniront les éléments de référence à l'administration publique non seulement pour l'évaluation de la sécurité de ces installations, mais aussi pour la phase ultérieure d'évaluation de leur compatibilité avec le territoire ;
- Le décret du président du Conseil des ministres du 25 février 2005 "Planification externe d'urgence des installations industrielles exposées à des risques d'accidents majeurs", qui détermine l'activation d'un ensemble d'activités par les différentes entités publiques et privées

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

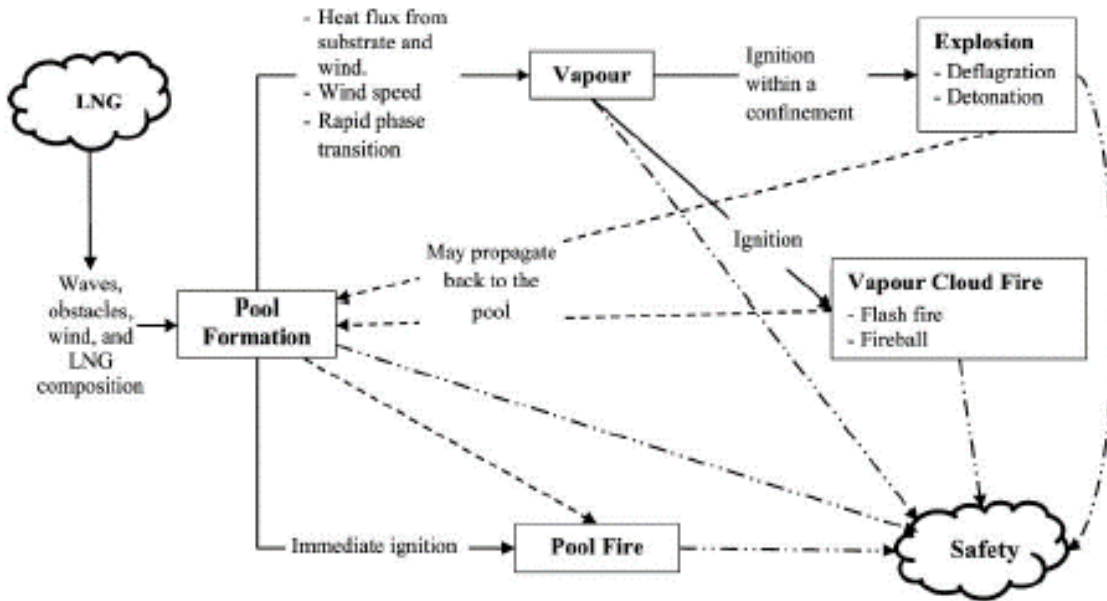


afin de prévenir les accidents majeurs liés à certaines substances dangereuses et de réduire et d'atténuer les conséquences de ces accidents sur la santé humaine et l'environnement.

Les dangers potentiels découlent principalement des propriétés fondamentales du gaz naturel lui-même.

Afin d'examiner plus en détail les différents types de risques associés à l'utilisation du GNL dans l'environnement marin et portuaire, voici les scénarios accidentels potentiellement associés aux opérations qui ont lieu dans les terminaux de stockage ou de soutage de GNL.

Figure 14. Risques spécifiques du GNL



Source: "Concepts for Regasification of LNG in Industrial Parks" – T. Morosuk, S. Tesch, G. Tsatsaronis

Les sous-paragraphes suivants examinent les principales catégories de risques associés aux opérations les plus généralement effectuées dans un terminal GNL au niveau d'un port maritime :

- Boil-off gas;
- Contact avec le GNL;

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

- Stratification et Rollover;
- Sloshing;
- Rapid Phase Transition (RPT);
- BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosions);
- Vapour Cloud Explosion (VCE);
- Flash Fire, Jet fire e Pool fire;
- Asphyxie;
- Terrorisme;
- Tremblements de terre;
- Considérations finales concernant les pertes de GNL.

3.2.1 Gaz d'évaporation (boil-off gas)

Lorsque l'on examine les risques de sécurité et de sûreté associés à l'avitaillement en GNL, il est nécessaire de prendre en compte les différents impacts que l'avitaillement en GNL peut avoir sur l'environnement et la communauté locale. À cet égard, il convient de considérer que le méthane, dont le GWP²⁰ est 21 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone, est beaucoup plus nocif pour l'environnement que le CO₂ ; en d'autres termes, les éventuelles pertes de GNL contribuent davantage au réchauffement de la planète et au changement climatique.

Afin d'éviter les émissions de gaz naturel tant en cas d'urgence exceptionnelle que pendant le fonctionnement normal de l'usine et le transfert habituel du produit du navire au réservoir, il existe plusieurs solutions techniques : par exemple le système de récupération *Boil-Off Gas* (BOG). Le *Boil-Off Gas* (BOG) est produit par l'évaporation du GNL en raison de la chaleur transmise de l'extérieur

²⁰ Le Global Warming Potential (GWP, en français potentiel ou indice de réchauffement planétaire) est un indice utilisé pour déterminer dans quelle mesure un gaz contribue au réchauffement de l'atmosphère dans un intervalle de temps donné (normalement 20, 100 ou 500 ans). Il est calculé par rapport au PRP de 1 kg de CO₂ pour 100 ans. En fait, le méthane, avec un PRP de 25, est 25 fois plus puissant que le CO₂ pour chauffer le climat. Par conséquent, la réduction de l'émission de gaz à fort PRP dans l'atmosphère est un moyen efficace de réduire les émissions d'équivalents CO₂.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



du réservoir au produit stocké à l'intérieur. Dans le BOG se trouvent, à l'état de petites traces, les composants inflammables les plus lourds du mélange, c'est-à-dire ceux dont la température d'ébullition à la pression atmosphérique est beaucoup plus élevée que celle du méthane (-89°C pour l'éthane, -40°C pour le propane). En outre, la BOG a une densité plus élevée que l'air pour des températures inférieures à -113°C, en l'absence d'azote, ou à -85°C en présence de 20% d'azote. Lorsque la température mentionnée est atteinte, le BOG a une densité égale à celle de l'air, alors qu'à des températures plus élevées, la densité est réduite, en fait, à température ambiante, la densité est d'environ 60% de celle de l'air. Le BOG se comporte donc, à des températures inférieures à -113°C (ou -85°C en présence de 20% d'azote), comme un gaz lourd, ayant tendance à se stratifier vers le bas, tandis qu'à des températures supérieures à -113°C, il se comporte comme un gaz léger.

Comme cela se produit par exemple à Panigaglia, où le système de récupération de GNL est constitué de compresseurs cryogéniques (pour une capacité journalière maximale de regazéification de GNL égale à 17 500 m³), le gaz est récupéré dans la colonne d'absorption par condensation des vapeurs au détriment du GNL sous-refroidi.

Les usines de «reliquéfaction» ont pour but de re-liquéfier le gaz qui se forme inévitablement dans l'espace entre la surface de chargement et le toit du réservoir, sinon, en l'absence de ce système, les gaz précités contribueraient à augmenter la pression à l'intérieur du réservoir, déclenchant ainsi la soupape de sécurité puis se dispersant dans l'atmosphère. Le principe de fonctionnement de ce système est le suivant : le gaz d'ébullition est comprimé au moyen d'un compresseur, refroidi dans un condenseur au moyen d'un liquide réfrigérant (visant à éliminer la chaleur générée par la compression elle-même) et, enfin, laissé à se dilater dans le réservoir. Dans ce contexte, l'expansion génère une baisse de température, exigence fondamentale pour la phase dite de «reliquéfaction».

3.2.2 Contact avec le GNL

Comme le GNL à la pression atmosphérique reste à l'état liquide jusqu'à environ -162°C, les structures utilisées pour utiliser ce combustible sont dangereuses, notamment en cas de contact entre

le combustible et les employés des zones de soutage ou d'autres opérateurs. En réalité, ce risque concerne également un éventuel contact entre le GNL et des éléments tels que des marchandises transportées, des équipements non adaptés à la contiguïté mentionnée ci-dessus ou, encore, des matériaux du navire ou d'autres instruments/équipements situés à proximité. En cas d'exposition et de contact entre le GNL et le personnel, des "brûlures de gel" peuvent se produire si le liquide entre en contact avec la peau, mais aussi de graves dommages aux poumons et au système respiratoire en raison de l'inhalation de vapeur à des températures extrêmement basses (du moins pendant les premiers instants où elle prend naissance). En outre, le contact entre le GNL et la coque du navire, sans parler de tous les autres matériaux, instruments ou composants non adaptés aux températures cryogéniques, peut entraîner des dommages et même la rupture de ces objets.

Compte tenu de ce qui précède, il est nécessaire que le personnel employé dans les activités de soutage et de stockage du GNL soit équipé d'outils et d'équipements de protection appropriés en ce qui concerne l'exposition à ce combustible (notamment des gants, des masques, des vêtements appropriés, etc.) Il est évident que ce danger potentiel n'est circonscrit que dans les limites de l'installation, sans affecter les communautés locales voisines.

En même temps, en ce qui concerne les risques liés aux instruments et aux équipements, il est essentiel de mettre en œuvre des systèmes de confinement des liquides, visant à séparer la cuve de l'environnement extérieur et donc des autres machines et équipements à proximité. Souvent, cet aspect n'est pas traité en profondeur dans les études car les conséquences de ce phénomène ne sont pas considérées comme particulièrement graves par rapport aux autres risques potentiels liés au GNL. Les systèmes de confinement autour du dispositif de stockage de GNL sont normalement conçus pour contenir jusqu'à 110 % de la capacité du réservoir de GNL.

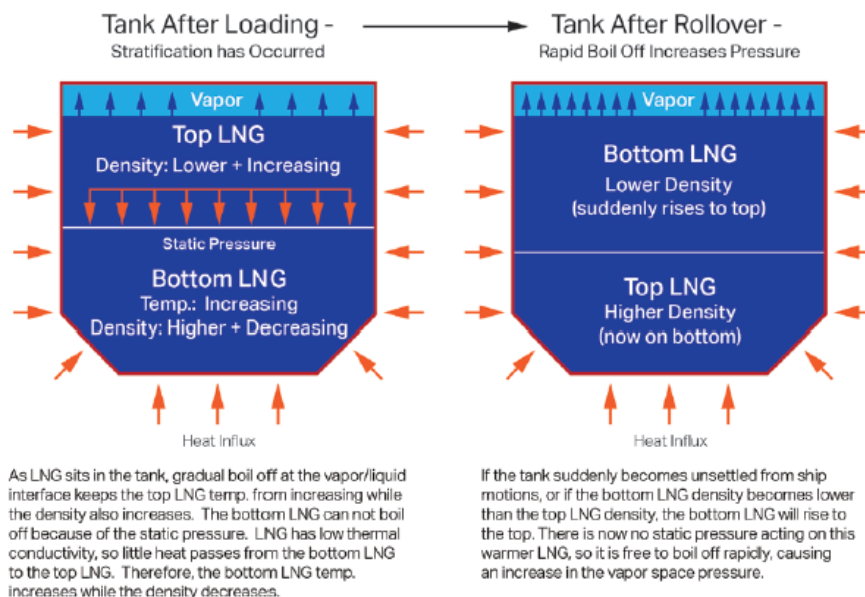
3.2.3 Stratification et roll-over

Le phénomène de " *rollover* " se produit fréquemment lors des opérations de remplissage d'un réservoir de stockage de GNL : en effet, lorsque du GNL de densité différente est introduit dans le

réservoir de GNL, ce qui se produit assez souvent en raison des températures généralement différentes, le GNL de densité plus élevée aura tendance à se stratifier au fond. Cependant, le fond du réservoir commencera à augmenter sa température, ce qui entraînera non seulement une réduction de la densité présente, mais aussi une forte augmentation de la vitesse d'évaporation, entraînant l'émission de quantités importantes de gaz. S'il n'y a pas de mélange ou de mouvement brusque à l'intérieur du réservoir, il y a normalement une réduction de la pression hydrostatique exercée par le GNL de plus faible densité (placé à l'état supérieur) qui empêche l'évaporation du liquide en dessous.

Si la différence de densité est trop élevée, il peut y avoir une altération de l'immobilité avec un mélange conséquent des couches à différentes densités, ce qui entraîne un contact entre le GNL à une pression de vapeur plus élevée et la zone au-dessus à une pression plus basse. Comme le montre la Figure 15, le phénomène connu sous le nom de "rollover" peut entraîner une évaporation rapide du liquide, qui se traduit par une augmentation rapide de la pression à l'intérieur du réservoir. Dans ce contexte, les vannes de purge sont activées et une grande quantité de gaz naturel est libérée.

Figure 15. Le Phénomène de rollover



Source: Stavros, 2015 (Technological Guidance on LNG Bunker Vessels and Barges - American Bureau of Shipping)

Normalement, le phénomène de rollover affecte principalement les réservoirs à terre présents dans les terminaux de ravitaillement ; au contraire, pour les navires, la probabilité d'occurrence de ce phénomène est plus faible en raison des multiples mouvements au cours de la navigation qui induisent un mélange continu, sauf dans le cas des unités stationnaires au port.

Afin d'éviter le phénomène de *rollover*, il est essentiel, pendant la phase de soutage, de veiller à ce que le produit frais soit mélangé au produit déjà présent dans la cuve (par exemple par un système de buses). Une autre méthode pour réduire le risque de ce phénomène consiste à utiliser des systèmes de remplissage au-dessus et au-dessous du réservoir, en fonction de la densité du GNL à injecter dans le réservoir. Dans ce contexte, si le GNL introduit a une densité inférieure à celle déjà présente dans le réservoir, il faut utiliser le système de remplissage "inférieur" : de cette façon, le liquide introduit aura tendance à monter vers le haut poussé par la densité inférieure, provoquant le mélange nécessaire pour éviter la stratification. Au contraire, si le GNL introduit a une densité plus élevée que celle déjà présente, le système de remplissage "supérieur" peut être utilisé.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

Outre l'absence de mélange de GNL pendant la phase de soutage, le retournement se produit plus fréquemment en présence de réservoirs à axe vertical de grand volume et fonctionnant à la pression atmosphérique. Comme le renversement implique la formation soudaine d'une grande quantité de vapeur, celle-ci, comme déjà indiqué, doit être libérée par des systèmes de sécurité spéciaux tels que les soupapes de mise à l'air libre à voûte ; si ces systèmes ne fonctionnent pas ou sont sous-dimensionnés, le phénomène peut entraîner la rupture de la citerne.

3.2.4 Sloshing

Le phénomène de *sloshing* se produit lorsque les réservoirs de GNL des navires ne sont pas complètement remplis. Pendant la navigation, en effet, le carburant contenu dans les réservoirs se heurte à une pression élevée sur la surface et les parois du réservoir, ce qui entraîne de graves dommages à la structure (Autorité maritime danoise, 2012). De toute évidence, des facteurs tels que la forme et la structure du réservoir influent sur la façon dont les fluides contenus dans le réservoir réagissent au mouvement de l'appareil pendant la navigation. Les événements dus à des conditions météorologiques défavorables peuvent également contribuer à des problèmes de manœuvre et de positionnement du navire, entraînant un *Sloshing*.

Le phénomène de *sloshing* se produit donc plus fréquemment dans les petites unités, car le mouvement tend à être plus important et, par conséquent, à avoir des impacts significatifs.

La technologie SPB (*Self Supporting Prismatic* IMO type B), développée au début des années 1980 par le chantier naval japonais Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co.Ltd, est souvent mise en œuvre pour résister aux contraintes causées par le phénomène de "sloshing". Ce système de réservoir prismatique est constitué d'un réservoir en aluminium A 5038-0 de forme prismatique et d'éléments de renforcement structurel à l'intérieur du réservoir lui-même (ce sont des supports cunéiformes en bois spécial renforcé).

Les citernes du navire sont séparées à la fois des autres compartiments et les unes des autres par des compartiments transversaux étanches spéciaux : en effet, la citerne possède une division longitudinale

TDI RETE-GNL

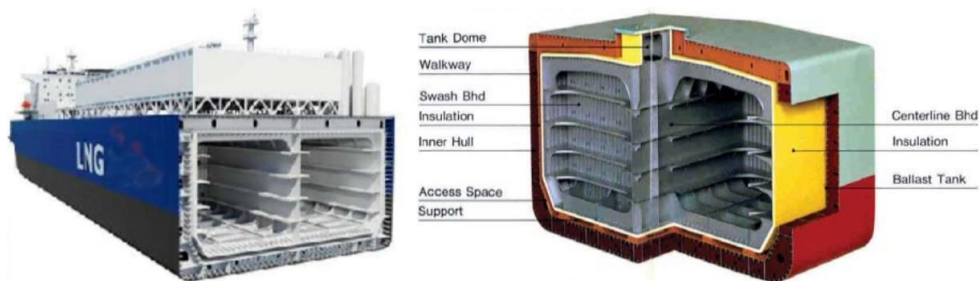
Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

interne, constituée d'une cloison étanche, et une division transversale octogonale (qui coïncide avec la coque de support interne), réalisée au moyen de cloisons perforées capables de réduire le mouvement du GNL et l'effet *sloshing* qui en découle, permettant ainsi de remplir les citernes sans limites opérationnelles.

De plus, le réservoir de type SPB est constitué d'un système d'isolation constitué de panneaux préfabriqués en mousse de polyuréthane recouverts de PVC. Cette technologie de stockage ne nécessite aucune activité de contrôle de la pression différentielle entre la citerne et la coque ; en outre, le vide entre la coque intérieure et la citerne est utilisé comme espace d'inspection, afin de faciliter à la fois les activités de contrôle et de maintenance. Au contraire, les espaces entre la coque intérieure et extérieure sont utilisés pour le ballast et ont également pour fonction de protéger le réservoir en cas de situations d'urgence telles que collision, échouage, etc. L'espace autour des réservoirs de GNL pour le ballastage est divisé en quatre réservoirs respectivement : deux réservoirs doubles au fond et deux réservoirs latéraux (vers l'écouille et à tribord²¹). Par conséquent, l'eau de ballast s'écoule dans le conduit de la tuyauterie au moyen de vannes spéciales (Gianelli et al, 2008).

Nella Figura si riporta una sezione di serbatoio *Self Supporting Prismatic* – Type B (SPB), con indicazione dei principali profili tecnologici rilevanti.

Figura 16. Système de réservoirs de stockage de type Self Support Prismatic type B (SPB)



Source: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/independent-tank>

²¹ Le terme " tribord " désigne le côté droit du bateau qui regarde vers la proue.

3.2.5 Transition de phase rapide (RapidPhaseTransition)

Le phénomène connu sous le nom de "transition de phase rapide" (ou RapidPhaseTransition- RPT), consiste en un changement de phase physique d'un liquide en vapeur : il se produit normalement lorsque deux liquides, de températures très différentes, entrent en contact, par exemple lorsqu'une grande quantité de GNL est versée dans l'eau (Uguccioni et al. 2006 ; Foss, 2006 ; Autorité maritime danoise, 2012 ; Vandebroek et Berghmans, 2012). Le liquide à plus basse température (dans ce cas le GNL), une fois en contact avec l'eau, qui a une température beaucoup plus élevée, passe alors rapidement de l'état liquide à l'état gazeux (une véritable ébullition), produisant de la vapeur à une vitesse explosive (Figure 16).

Figure 16. RapidPhase Transition (RPT) di GNL



Source: Niedelka D., Sauter V., GoanvicJ., Ohba R., "Last developments in Rapid Phase Transition knowledge and modeling techniques, Offshore Technology conference", OTC 15228, Maggio 2003

Le déphasage abrupt actuel est accompagné d'ondes de pression, comme dans le cas d'une explosion ; cependant, dans le cas de la RPT, aucune combustion n'a lieu. Cette transformation est considérée comme une expansion mécanique qui donne lieu à la libération d'une grande quantité d'énergie : certaines études réalisées à cet égard ont montré que les effets de ce phénomène se limitent généralement à la zone où la perte se produit.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Bien que la combustion ne se produise pas, la probabilité du phénomène de transition de phase rapide est liée non seulement à la température et à la pénétration du GNL dans l'eau, mais aussi à la présence d'autres substances non méthaniques telles que l'éthane, le propane et le butane.

En particulier, le RPT constitue un risque concret et significatif lors de la conduite d'opérations de soutage dans l'environnement portuaire maritime.

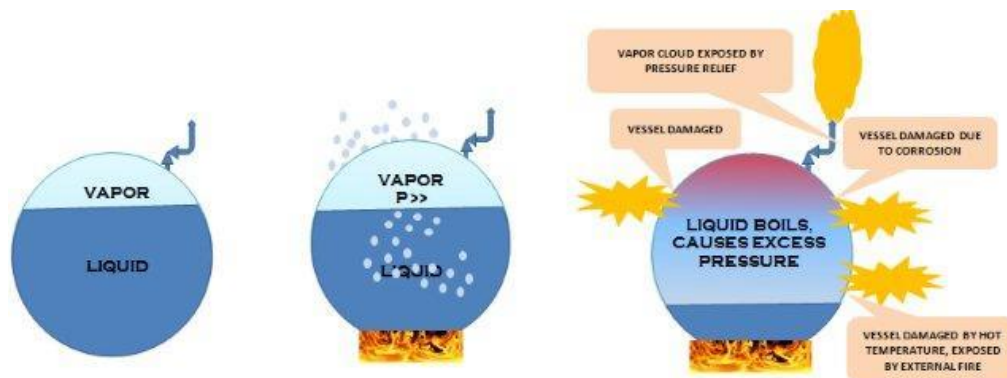
3.2.6 Bleve (boiling liquid expanding vapour explosion)

Un risque supplémentaire qui contribue à accroître les problèmes de sûreté et de sécurité liés aux opérations de soutage de GNL dans les ports est lié au phénomène connu sous le nom de BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosions). Ce terme désigne l'explosion de vapeurs qui se dilatent en raison de l'ébullition d'un liquide, c'est-à-dire un type d'explosion qui se produit lorsqu'un récipient sous pression se brise. Cela peut se produire en cas de fuite rapide, si une explosion de gaz à grande vitesse avec un mouvement turbulent est générée, mais aussi en cas d'impact à partir duquel des fragments se forment (Vanderbroek et Berghmans, 2012). Évidemment, ce type d'explosion peut aussi être extrêmement dangereux en raison de l'onde de choc et de la projection des fragments du navire qui sont associés à l'explosion. Ce phénomène est en effet souvent accompagné de l'éclair de la partie du liquide encore présente dans la cuve au moment de la rupture, car le nuage de vapeur généré par l'explosion peut servir de déclencheur à d'autres substances inflammables présentes dans une très large gamme. Le phénomène "BLEVE" peut également être causé par la surchauffe d'un réservoir contenant un gaz liquéfié ; en termes de prévention, les réservoirs de GNL doivent être équipés de soupapes d'évent calibrées pour permettre l'évacuation du gaz en évitant l'explosion du réservoir lui-même, même s'il existe toujours le risque (plus ou moins éloigné) que la soupape ne puisse pas libérer une quantité suffisante de vapeur, provoquant le phénomène susmentionné²². De plus, ce phénomène est moins probable si le conteneur en question est protégé et isolé thermiquement.

²²Source: <https://it.wikipedia.org/wiki/BLEVE>.

La Figure 17 figure 18 montre certains événements qui peuvent conduire à l'apparition du phénomène BLEVE.

Figure 17. Phénomène BLEVE



Source : <https://www.marineinsight.com/tech/what-is-boiling-liquid-expanding-vapour-explosion-bleve-on-gas-carrier-ships/>

Certaines études récentes (Uguccioni et al. 2006) ont souligné que le phénomène "BLEVE", généralement associé aux gaz liquéfiés sous pression, n'existe pas dans le cas du GNL car il est stocké à la pression atmosphérique.

3.2.7 Explosion d'un nuage de vapeur (Vapor Cloud Explosion)

L'explosion de nuage de vapeur (VCE) désigne le phénomène par lequel une grande quantité de vapeur de GNL est enflammée dans un environnement confiné (ou presque confiné), provoquant une explosion (Foss, 2006 ; Vanderbroek et Berghmans, 2012).

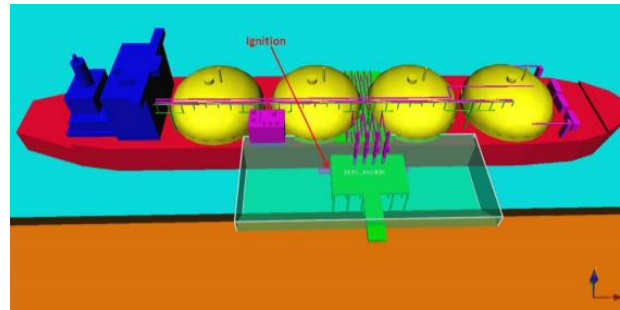
D'un point de vue pratique, lorsque le GNL commence à se réchauffer au contact de l'air (plus léger et à une température plus élevée que le GNL), il se mélange avec lui et commence à se disperser, créant une sorte de nuage de vapeur (vapourcloud). Ce dernier ne sera sujet à une explosion que si, en plus d'avoir une concentration de GNL dans la plage d'inflammabilité, il entre en contact avec une source d'inflammation.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

Selon une partie de la littérature (Uguccioni et al., 2006), ce phénomène ne peut se produire dans les espaces ouverts, car la combustion se déroule si lentement que la vapeur a tendance à augmenter sa part en raison de la chaleur générée (les surpressions sont considérées comme négligeables²³). De même, le risque d'explosion de toute la masse de GNL stockée dans les réservoirs de stockage à terre et/ou à bord du navire n'est pas un événement physiquement possible puisque le GNL saturant les réservoirs de stockage n'est pas mélangé à l'air et n'est donc pas dans la plage d'inflammabilité (Uguccioni et al., 2006). Selon d'autres études (Gavenelli et al., 2011), en revanche, ce type de risque peut exister dans le cas des transporteurs de GNL, si des conditions contextuelles spécifiques sont rencontrées comme indiqué in Figure 18.

Figure 18. Scénario VCE possible en cas de navire méthanier amarré



Source: Gavelli et al., 2011

3.2.8 Jet fire, pool fire et flash fire

Si du GNL est rejeté, le déclenchement immédiat du GNL entraîne un "*jet fire*" (également appelé "*sprayfire*") ou un "*poolfire*", selon la phase rejetée et la fraction de liquide capable de s'accumuler sur le sol. Si ces événements ne se produisent pas, la dispersion du jet de gaz ou l'évaporation de la masse de matière inflammable crée un nuage inflammable capable de créer, en cas d'allumage retardé,

²³ Au contraire, une surpression importante peut être générée lorsque la combustion a lieu dans des zones encombrées ou confinées, entraînant des explosions aux effets plus graves.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



un "flashfire" ; en outre, dans le cas où un tel nuage atteint une zone confinée, une explosion est susceptible de se produire à la suite de l'allumage.

Nous identifions ci-dessous les trois phénomènes distincts : "jetfire", "poolfire" et "flashfire".

Le phénomène appelé "jetfire" ou "sprayfire" consiste en la formation d'un jet de feu à diffusion assez violente ; il est généré par l'allumage d'un mélange composé d'un agent de combustion et d'un combustible gazeux libéré en continu, au moyen d'une force importante, dans une ou plusieurs directions. Dans ce cas, le gaz est enflammé immédiatement en aval de la perte de GNL ; au contraire, en cas d'allumage retardé, il se produit un phénomène d'éclair qui, en revenant à son origine, pourrait conduire à un phénomène de *jetfire* (Uguccioni et al., 2006 ; Vandebroek et Berghmans, 2012).

Normalement, le *jetfire* provient d'une fuite de substances gazeuses inflammables causée par un forage accidentel de réservoirs ou de tuyaux sous pression²⁴. Le jet de GNL qui s'échappe dans l'atmosphère s'évapore et se dilate simultanément, se mélangeant à l'air avec lequel il entre en contact, générant de véritables fléchettes de feu. Ce phénomène peut déterminer différents effets et conséquences en fonction des conditions spécifiques dans lesquelles le même phénomène se produit:

- La distance atteinte par le "jet" ;
- La quantité de carburant affectée par la combustion ;
- La distance du trou du point d'allumage.

À leur tour, les paramètres ci-dessus peuvent être influencés par d'autres conditions qui contribuent à aggraver ou non l'évolution, les implications et les effets de l'accident : parmi elles, la pression interne du composant perforé, la taille du trou et la friction du gaz qui s'échappe, qui peut déclencher l'allumage.

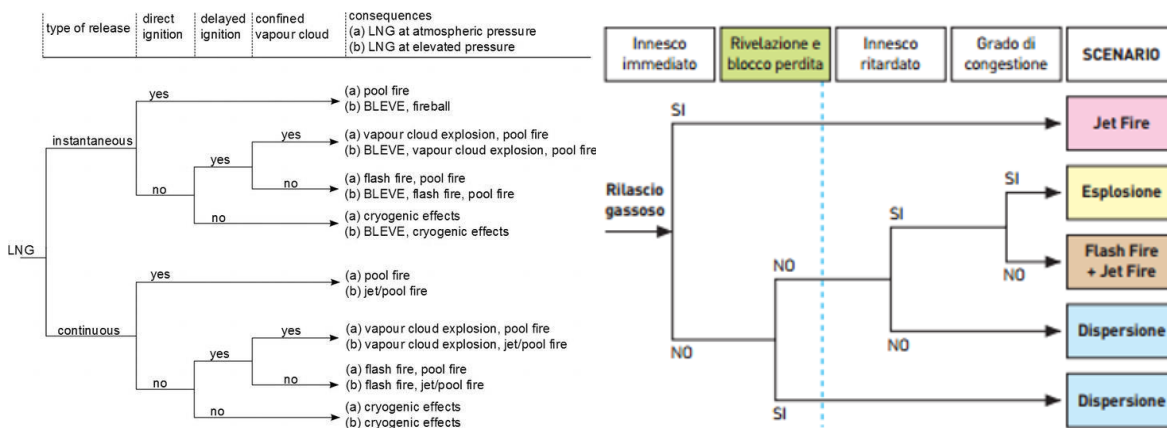
²⁴ Le décret ministériel du 24 novembre 1984 "Règles de sécurité incendie pour le transport, la distribution, l'accumulation et l'utilisation du gaz naturel d'une densité ne dépassant pas 0,8" présente les tableaux récapitulatifs permettant d'indiquer le rayonnement thermique susceptible de causer de graves dommages aux structures et aux équipements, ou de blesser le personnel éventuellement exposé.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

Le phénomène de *jetfire* peut se produire avec une inflammation immédiate ou retardée, si un gros nuage inflammable se forme. Dans ce dernier cas (allumage retardé), une explosion peut se produire si le dégagement de gaz a lieu dans un espace confiné ou encombré ou si un nuage d'une taille telle a été préalablement créé que le front de flamme s'accélère jusqu'à atteindre des vitesses importantes, capables de produire des phénomènes déflagrants²⁵. La détection soudaine de ce phénomène permet de réduire considérablement non seulement la probabilité d'événements accidentels, mais aussi la gravité et la dangerosité de leurs conséquences. La Figure 19 montre un exemple d'arbre d'événements relatif au rejet de GNL dans une zone non confinée.

Figure 19. Arbre des événements liés à la libération du GNL



Source : Norme ISO/TS 18683, pour la figure de gauche ; Andreolli, Il perito Industriale, 2007 ("Preventing Jet Fire : discovering new solutions") pour la figure de droite.

De ce point de vue, afin de garantir des niveaux de sûreté et de sécurité adéquats dans les opérations de soutage du GNL, il est essentiel d'adopter des précautions adéquates au niveau des installations afin de minimiser le risque que les phénomènes susmentionnés se produisent. De ce point de vue, plusieurs codes et réglementations de référence sont disponibles (émis par des instituts tels que

²⁵ Le terme technique "déflagration" décrit une combustion subsonique qui se propage généralement par conduction ; la déflagration est caractérisée par une diminution significative de la densité du gaz et une légère perte de pression. (source : <https://it.wikipedia.org/wiki/Deflagrazione>).

l'ASME²⁶, l'ANSI²⁷, l'API²⁸, etc.) qui fournissent des informations précises sur les contrôles à effectuer en ce qui concerne le dimensionnement des systèmes de tuyauterie et des réservoirs afin de minimiser les risques encourus.

Voici quelques exemples de précautions techniques et de contrôles / vérifications périodiques :

- Réalisation de tests de composants ;
- Utilisation de soupapes de sécurité et de composants "coupe-flamme" ;
- Insertion à l'intérieur de l'installation de protections contre l'apparition de rejets atmosphériques ;
- Utilisation de systèmes de confinement et de ségrégation appropriés ;
- Respect total des distances de sécurité par rapport aux sources potentielles de risque ;
- Certification des soudures et des procédures de maintenance ;
- Minimisation du nombre de jonctions et de ruptures dans le système de soutage du GNL.

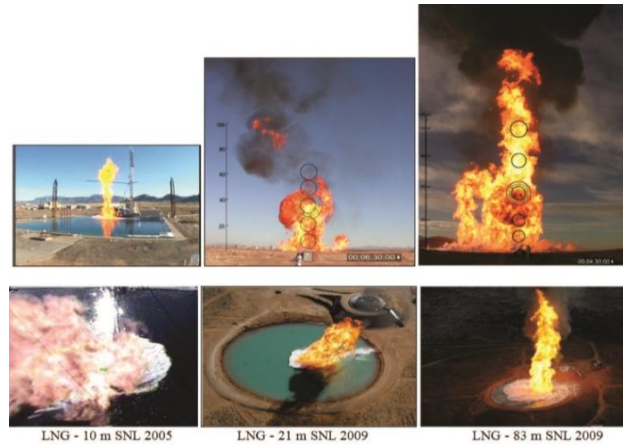
Dans la littérature (Danish Maritime Authority, 2012 ; Vandebroek et Berghmans), le terme "poolfire" fait référence au phénomène dit de "flaque d'eau" : comme le montre la Figure 20, ce phénomène, peu probable en raison de la vaporisation rapide du GNL qui est rejeté (Uguccione et al., 2006), peut se produire en présence d'une quantité de GNL présente sur une surface solide horizontale plane ou à la surface de l'eau suite à une fuite.

Figure 20. GNL et pool fire: quelques exemples

²⁶ American Society of Mechanical Engineers.

²⁷ American National Standards Institute.

²⁸ American Petroleum Institute.



Source : Blanchat et al., 2013

Dans ce contexte, le liquide constituant la flaque en question commence à s'évaporer par mélange avec l'air ambiant et, si la concentration minimale pour la combustion est atteinte en présence d'une source d'inflammation, le gaz commence à brûler, générant ainsi de la chaleur ; évidemment, le rayonnement thermique diminue à mesure que la distance de la flaque d'où provient la vapeur augmente.

Normalement, le phénomène de *poolfire* se produit en cas de rejets instantanés de grandes quantités de GNL ou en présence de rejets obstrués. Toutefois, dans l'environnement portuaire maritime, le *poolfire* est plus susceptible de se produire en cas de perte de GNL à la suite, par exemple, d'un impact entre navires, car le contact brutal entre les deux coques métalliques contribue à générer des étincelles qui déclenchent la vapeur produite.

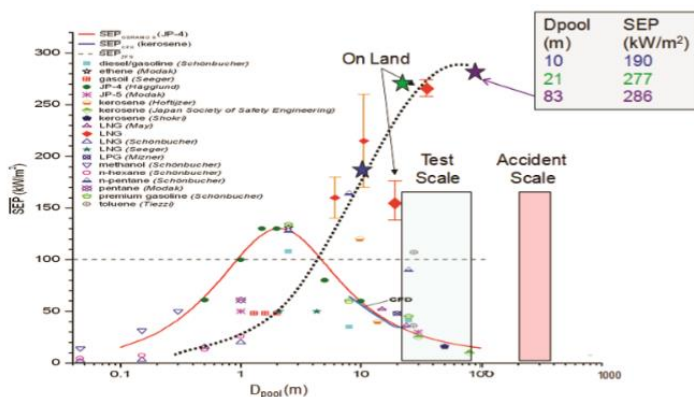
C'est pourquoi plusieurs études ont récemment été menées pour tester les options de conception et les technologies permettant de réduire ce type de risque, notamment en ce qui concerne les méthaniers (Blanchat et al., 2013). À cet égard, les paramètres les plus pertinents à prendre en compte sont le

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

diamètre de la piscine (*pool diameter*) et la *SurfaceEmissionPower* (SEP²⁹) qui varient selon le type de carburant (Figure 21).

Figure 21. Pool diameter et surface emission power pour différents types de combustibles



Source : Blanchat et al., 2013

Le terme "*flash fire*" désigne le phénomène de combustion "rapide" non explosive provenant de la formation d'un nuage de gaz dans un environnement où la concentration de GNL dépasse la limite inférieure d'inflammabilité (Uguccioni et al., 2006 ; Vandebroek et al., 2012). Le méthane étant un gaz peu réactif, la possibilité de générer une onde de choc est limitée aux cas de nuages confinés ou à la présence de niveaux élevés de congestion des installations ; en fait, le phénomène de feu instantané se produit en présence de nuages de gaz développés dans un environnement non confiné (par exemple, il peut être déclenché à la suite du rejet de GNL à l'air libre).

Figure 22. Exemple de phénomène de flash fire produit par un déversement de GNL

²⁹ Le "pouvoir émissif" d'une surface ("SurfaceEmissionPower") est défini comme le flux de chaleur résultant du rayonnement thermique d'une flamme, exprimé en W/m² (source : ARPAV, Annexe : Méthodologie d'approche pour l'identification et l'évaluation du risque d'effet domino dans l'industrie de transformation). Ce paramètre est directement proportionnel à l'émittance (W), c'est-à-dire à la puissance émise par unité de surface, et inversement proportionnel à la superficie de la surface émettrice (m²).

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Source: “Effective fire-fighting strategies for LNG during bunkering” Dimitrios- Dalaklis Assistant Professor (Safety & Security)

Les terminaux GNL sont souvent l'objet de ce phénomène car ils sont développés à l'air libre et se caractérisent par une faible densité d'équipements et de tuyauteries. En fait, avant de trouver une source d'inflammation, le nuage de gaz susmentionné parvient à s'étendre de manière significative dans l'espace entourant toutes les zones consacrées aux activités de soutage. Par conséquent, dès le début de la combustion, celle-ci se poursuit tant que la concentration est telle qu'elle le permet, jusqu'à ce qu'elle retourne à la source de la fuite de gaz.

Ce phénomène peut entraîner des risques élevés pour la sécurité du personnel impliqué dans les opérations, en particulier dans le cas où une piscine de stockage de GNL est située à la source de la fuite de GNL : ce contexte peut générer des accidents graves tels que des "jet fire" ou des "pool fire", qui seront abordés dans les paragraphes suivants. Si le flash fire est fatal pour les sujets qui peuvent s'y trouver, le rayonnement global généré autour du flash fire est nettement inférieur aux phénomènes de pool ou de jet fire (à distances égales), ces derniers ayant une durée d'occurrence nettement plus longue (Woodward et Pitbaldo, 2010).

Après avoir donné les définitions de "*flashfire*", "*jetfire*" et "*poolfire*", il convient de préciser les conditions dans lesquelles ces phénomènes se produisent le plus fréquemment. Normalement, dans le cas d'un rejet de GNL, le détonateur déclenche un *jetfire* ou un *poolfire*, par rapport à la même phase de rejet et avec la fraction de liquide qui peut s'accumuler sur le sol. En cas d'absence des

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet

événements mentionnés ci-dessus, la dispersion du jet de gaz ou l'évaporation de la masse de matière inflammable crée un nuage de matière inflammable qui, en cas d'allumage retardé, provoque un *flashfire*. En cas d'inflammation et dans la situation où le nuage atteint une zone confinée, une explosion est également probable.

3.2.9 Asphyxie

Bien que le gaz naturel ne soit pas toxique ou cancérigène, il peut être étouffant, car il contribue à réduire le pourcentage d'oxygène dans l'air, le remplaçant directement (Autorité maritime danoise, 2012). Ce risque semble plus élevé, lorsque vous vous trouvez dans des espaces fermés, comme à l'intérieur de terminaux ou de réservoirs, ou en présence d'un dégagement important de gaz dans un espace ouvert mais à proximité de personnes, générant, dans le pire des cas, la mort par asphyxie. C'est précisément en raison de ce facteur de risque qu'il est devenu essentiel de garantir la présence de systèmes spéciaux et sophistiqués pour le contrôle continu de la concentration en oxygène, en particulier dans les environnements fermés, notamment parce que le GNL est inodore et incolore.

3.2.10 Terrorisme

Compte tenu des multiples risques associés au bon déroulement des opérations de soutage et de stockage du GNL, une grande partie de la littérature a mis en évidence la nécessité de protéger les installations et les équipements manipulant ce type de combustible contre les actes de violence ou de terrorisme (Autorité maritime danoise, 2012 ; Foss, 2006). Cela nécessite la mise au point de systèmes et de procédures spécifiques pour la protection des zones et des installations en question ; toutefois, il convient de souligner que les réservoirs de stockage de GNL, s'ils sont construits conformément aux règles et réglementations imposées, également pour des raisons de sécurité, nécessitent d'importantes quantités d'énergie pour leur altération. Par conséquent, la probabilité que le risque d'attentats terroristes se produise est liée au cas d'un incendie, par opposition à celui d'une explosion. D'un point de vue théorique, en revanche, l'impact d'un avion à proximité d'un terminal GNL

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

provoquerait d'abord la combustion du carburant de l'avion et, seulement ensuite, l'inflammation des vapeurs de GNL, en raison de la chaleur développée.

Afin de réduire les risques de dommages aux personnes, aux structures et aux équipements, il est essentiel de définir des distances de sécurité spécifiques et des procédures d'autorisation spécifiques pour l'accès aux zones les plus sensibles et les plus critiques. Les contre-mesures supplémentaires visant à prévenir les attaques terroristes ou d'autres actes violents comprennent des inspections, des patrouilles, des plans de sécurité en cas de violation de la sécurité et des systèmes de communication d'urgence.

3.2.11 Tremblements de terre

Une évaluation adéquate des risques d'une installation de soutage et de stockage de GNL doit également tenir compte de la possibilité d'une activité sismique dans la zone où elle est située. Cette évaluation doit être effectuée de manière appropriée lors de la phase de conception au moyen d'études techniques appropriées.

Si l'infrastructure GNL n'est pas construite en tenant compte du profil de risque ci-dessus, il est possible qu'en cas de tremblement de terre, les structures de la centrale soient gravement endommagées, ce qui pourrait être suivi de graves événements fortuits.

Mais de ce point de vue également, il convient de noter qu'à ce jour, il n'y a pas eu d'accidents directement liés à l'activité sismique, même si, en 1995, un tremblement de terre de magnitude 6,8 sur l'échelle de Richter a eu lieu au Japon. Le tremblement de terre n'a pas causé de dommages structurels importants aux réservoirs de stockage de GNL des installations situées dans les zones touchées par le séisme.

3.2.12 Considérations finales concernant les pertes de GNL

Il ressort clairement des considérations ci-dessus que les principaux risques associés au soutage et au stockage de GNL dans l'environnement marin et portuaire sont dus à l'apparition de fuites de liquides

cryogéniques, qui peuvent donner lieu à différents scénarios d'incidents possibles. Les pertes se produisent normalement lors des opérations de soutage, mais elles peuvent aussi résulter d'une erreur humaine, d'une défaillance technique ou dans d'autres contextes tels qu'un trafic maritime excessif dans des conditions météorologiques extrêmes ou lors de la navigation à proximité d'une zone portuaire. Dans ce dernier cas, seules les collisions à haute énergie, c'est-à-dire lorsque les navires impliqués entrent en collision perpendiculairement, sont généralement capables de provoquer une perte de carburant.

Dans le cas où les opérations de ravitaillement se déroulent dans des conditions de mer agitée et, en particulier, en présence d'une configuration de type STS, il est nécessaire d'envisager le risque de mouvement excessif non seulement des unités de ravitaillement mais aussi des unités à ravitailler, car le matériel utilisé dans les opérations concernées peut se rompre.

Un examen de la littérature sur le sujet et des antécédents historiques montre qu'il n'y a eu aucun cas de rejet de quantités élevées de GNL depuis l'indice Cove Poin (États-Unis) en 1979 (Foss, 2006 ; Uguccioni et al., 2006). Les accidents majeurs les plus récents semblent n'avoir impliqué que quelques incendies à proximité d'installations de liquéfaction, qui impliquaient cependant des systèmes différents de ceux utilisés pour le stockage et le soutage du GNL.

D'autre part, en ce qui concerne le trafic maritime de GNL, il n'y a jamais eu d'accidents entraînant des pertes importantes de GNL, que ce soit à la suite d'impacts entre navires ou d'échouages. Les seuls accidents qui se sont produits dans le passé ont révélé des erreurs et des insuffisances importantes dans les systèmes utilisés : par exemple, l'accident de l'Ohio en 1944, mentionné par Foss (2006), s'est produit en raison de l'utilisation de matériaux non adaptés aux chars, causant la mort de 128 personnes. Au niveau national, plus récemment, le phénomène de retournement s'est produit au terminal de Panigaglia, ce qui a conduit à la définition de nouveaux critères de conception plus sûrs, visant à éviter des événements similaires à l'avenir.





TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

La Figure 23 montre les principales causes qui peuvent entraîner des pertes de GNL, bien que, comme mentionné ci-dessus, les accidents dans le secteur maritime-portuaire avec d'importantes fuites de gaz liquéfié soient rares.

Figure 23. Causes potentielles des pertes de GNL

TDI RETE-GNL
Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet

Initiating Events	Common Causes
Leaks from LNG pumps, pipes, hoses or tanks 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosion/erosion • Fatigue failure • Hose failure • Improper maintenance • Piping not cooled down prior to transfer • Seal failure • Use of inappropriate hoses (e.g., not LNG rated) • Vibration • Improper installation or handling • Improper bunkering procedures
Inadvertent disconnection of hoses 	<ul style="list-style-type: none"> • Improper hose connection • Hose failure • Excessive movement of the loading arm or transfer system • Inadequate mooring or mooring line failure • Supply truck drives or rolls away with hose still connected • Supply vessel drifts or sails away with hose still connected • Extreme weather (wind, sea state) • Natural disaster (e.g., earthquake)
Overfilling/over pressuring vessel fuel tanks 	<ul style="list-style-type: none"> • Operator and level controller fail to stop flow when tank is full
External impact 	<ul style="list-style-type: none"> • Cargo or stores dropped on bunkering equipment (piping, hoses, tanks) • Another vessel collides with the receiving vessel • Vehicle collides with bunkering equipment

Source: STAVROS, 2016 (“LNG Bunkering: Technical and operational Advisory”)

3.3 SYSTÈMES DE TRANSFERT DE GAZ GNL

En examinant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement en GNL (figure 25), il est possible d'identifier les différents types de véhicules de transport utilisés tout au long de la chaîne d'approvisionnement en GNL (côté mer et côté terre). En ce qui concerne le transport maritime, on

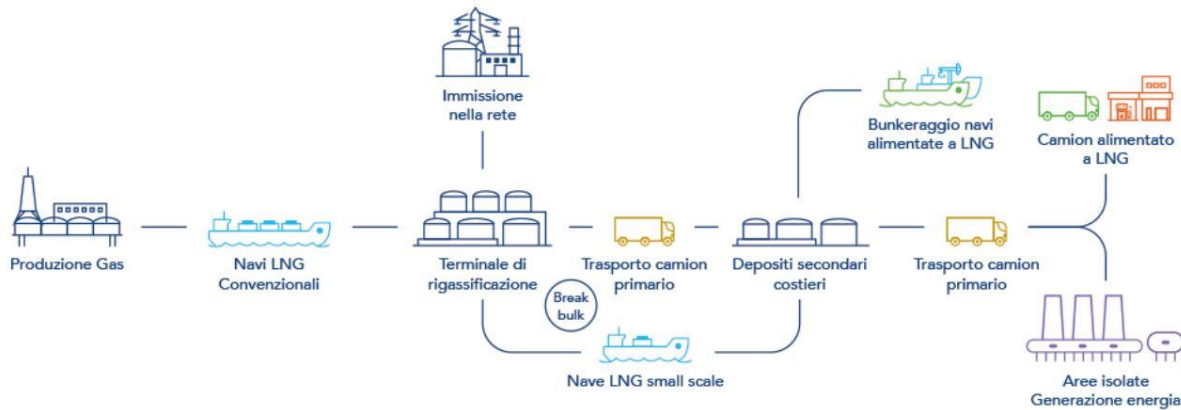
TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet



utilise des méthaniers (navires méthaniers conventionnels), c'est-à-dire des navires à fort contenu technologique et dont les normes de qualité, de sécurité et de protection de l'environnement des installations sont parmi les plus élevées au niveau international. Une fois arrivé à destination, le GNL est déchargé au terminal d'importation, où il peut être regazéifié et injecté dans le réseau ou transporté à l'état liquide par des navires-citernes ou des petits méthaniers (navires SSLNG) afin d'atteindre l'ensemble du territoire national.

Figure 24. Supply chain du GNL



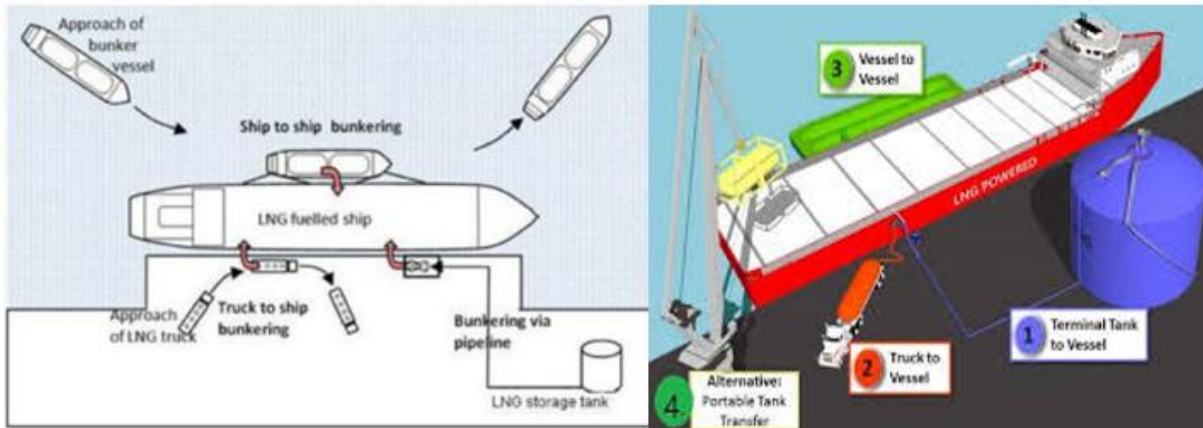
Source : <https://www.snam.it/en/Natural-gas/green-energy/liquefied-natural-gasLNGx/>

Compte tenu des caractéristiques techniques du GNL mentionnées dans les paragraphes précédents et des options de soutage mentionnées dans la littérature, ainsi que des systèmes individuels présents aux niveaux international et européen, il est possible d'identifier quatre configurations principales pour le soutage du GNL dans l'environnement portuaire maritime (Figure 25) :

- Configuration Ship to Ship (STS);
- Configuration Truck to Ship (TTS);
- Configuration Via Pipeline o Terminal /Port To Ship(TPS);
- Configuration Mobile Fuel Tanks.

Figure 25. Configurations possibles de soutage du GNL

TDI RETE-GNL
 Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



Source: DNV, 2015 (“LNG Bunkering, Regulatory Framework and LNG bunker procedures”).

Les paragraphes suivants expliquent la configuration potentielle de soutage du GNL et les caractéristiques technologiques, opérationnelles et techniques connexes, sans oublier les avantages spécifiques en termes organisationnels et économiques et les questions critiques spécifiques en termes de gestion et de sûreté et sécurité qui caractérisent les différentes opérations.

3.3.1 Configuration ship to ship

La configuration de soutage "Ship To Shipp" signifie qu'un navire ou une barge de ravitaillement (appelée bunkerina), équipé de réservoirs de transport de GNL spécifiques, charge le produit directement sur le navire à ravitailler, garantissant ainsi également l'approvisionnement des navires qui ne peuvent débarquer dans certains ports équipés d'un stockage sur place, ou dans un dépôt ou un terminal côtier qui livre ensuite le GNL au navire à ravitailler.

Ce type de configuration découle de la nécessité de répondre à des demandes de transfert de volumes importants de GNL (même jusqu'à 10 000 m³), en raison d'éléments multiples. Tout d'abord, la capacité de stockage des réservoirs des barges ou des navires de ravitaillement est sensiblement supérieure à celle des réservoirs dont sont équipés en moyenne les camions et les pétroliers, utilisés dans la configuration de type TTS (DNV, 2014). En outre, la solution STS permet une vitesse de transfert de GNL plus élevée entre les deux navires, même jusqu'à 1 000 m³/h. Il en résulte l'avantage

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet



économique et de gestion de la configuration de type STS, même dans le cas du soutage de navires opérant sur de courtes distances et devant donc minimiser le temps passé dans l'infrastructure portuaire pour le soutage, le chargement/déchargement des marchandises, des passagers, etc.

Figure 26. Approvisionnement en GNL selon la configuration STS



Source : https://www.trelleborg.com/en/marine-and-infrastructure/news--and--events/news/may2016_2

Le transfert de GNL dans cette configuration exige que la barge ou le navire de ravitaillement soit rempli de GNL au préalable dans un terminal ou une installation de stockage de GNL dans le port ou à proximité, car le navire peut, d'un point de vue opérationnel, se déplacer sans complications importantes. Dans le cas des barges utilisées dans cette configuration technologique, il est souvent nécessaire de disposer de remorqueurs spéciaux pour remorquer ou pousser l'unité jusqu'à ce qu'elle soit à côté du méthanier à ravitailler. En présence, par contre, de grands navires de ravitaillement en GNL, ce navire peut être équipé à bord d'une grue et d'autres structures permettant de soulever les conduites d'approvisionnement en GNL (Figure 27).

Figure 27. Navire de ravitaillement en GNL de l'Argos selon la configuration STS: rendering.



Source : <http://hhpinsight.com/>.

Normalement, l'opération relative au transfert du GNL de la barge ou du navire ravitailleur vers l'unité à ravitailler n'interfère pas avec le chargement/déchargement des marchandises ou des passagers, qui peut donc être effectué simultanément avec la phase de soutage, puisque le navire à propulsion GNL peut s'amarrer d'un côté du quai pour procéder à la phase de manutention et, en même temps, être rejoint par un "bunkerina" pour les opérations de soutage. Cette possibilité d'effectuer des opérations simultanées, appelées SIMOPs, c'est-à-dire des opérations simultanées, nécessite une autorisation préalable pour les activités à effectuer délivrée par les autorités compétentes, notamment en raison des risques éventuels et possibles pour les personnes, les biens et les équipements que ces SIMOPs peuvent entraîner.

Outre les avantages susmentionnés, la configuration STS présente un certain nombre de points critiques, notamment la nécessité d'un investissement initial important, en particulier pour l'acquisition de navires ou de barges de ravitaillement. Les coûts d'exploitation liés au déplacement de la barge ou du navire ravitailleur sont également très élevés, surtout lorsque le navire à ravitailler n'est pas à proximité du terminal GNL ou de l'installation de stockage à laquelle la "bunkerina" est approvisionnée.

Un autre problème critique lié à la configuration des STS est le risque de collision entre les unités participant au ravitaillement, en particulier lorsque les opérations sont effectuées en mer et non avec le méthanier ancré dans le port. Ce danger, susceptible d'impliquer également les tiers qui peuvent être présents dans la zone, augmente en fonction de la présence de conditions météorologiques

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



défavorables et du fait que l'équipage concerné doit s'occuper en même temps des opérations de navigation et de soutage. Les autres risques que les unités peuvent encourir pendant les multiples phases de la configuration STS sont les suivants :

- Mouvements brusques du navire qui pourraient provoquer une tension excessive sur le tuyau de soutage (et donc la rupture du tuyau) ;
- Perte de GNL pendant le chargement/déchargement, augmentation du trafic maritime, rupture du réservoir cryogénique et inflammation ou explosion du GNL accidentellement déversé ;
- Dans le cas des dangers susmentionnés impliquant des navires pendant les opérations de ravitaillement en carburant, il est très difficile pour les équipes de secours concernées d'accéder au site de l'accident.

Outre la possibilité d'approvisionner des navires qui ne pourraient pas accoster dans certains ports, par exemple parce qu'il s'agit de terminaux éloignés en l'absence d'installations spécifiques de soutage de GNL, la configuration STS prévoit la conception des barges ou des navires de soute selon les règles de l'IGC (International Gas Carrier), qui fournit une norme internationale pour la sécurité du transport maritime en vrac de gaz liquéfié et d'autres substances ayant des caractéristiques de produit et une criticité opérationnelle similaires³⁰.

Malgré les problèmes techniques et les inconvénients potentiels de la configuration technologique STS pour le soutage du GNL, cette solution est actuellement utilisée dans de nombreux ports européens, notamment en Suède et en Norvège. Alors qu'en Norvège le méthanier "Pioneer Knutsen" est équipé pour les opérations de soutage, en Suède le ferry "Viking Grace" est approvisionné quotidiennement par la barge "Seagas", équipée de réservoirs d'une capacité de 187 m³. Parmi les

³⁰ L'IGC code prescrit les règles de conception et de construction des navires participant à l'exploitation des gaz liquéfiés. Ils indiquent les équipements dont l'équipement minimise les risques non seulement pour le navire mais aussi pour son équipage et l'environnement. Le code maritime international des marchandises dangereuses (IMDG), qui énonce les principes de base et les recommandations à suivre pour le traitement de ces matières et substances (emballage, étiquetage, arrimage, séparation et manutention), doit également être pris en considération avec le code IGC.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



caractéristiques distinctives de la technologie à bord, conçue par Linde³¹, figurent l'absence de tuyau de retour de vapeur pour compenser la variation de pression dans la cuve du navire de soutage (qui fonctionne au moyen d'un vaporisateur d'eau) ; l'absence de système de pompage du GNL, de sorte que le transfert du gaz liquéfié s'effectue en utilisant la pression de la cuve du navire de soutage, mais avec la nécessité de maintenir des valeurs de pression allant jusqu'à 15 bar (Bar Gauge).

3.3.2 Configuration truck to ship

La configuration de soutage Truck To Ship, également connue sous l'abréviation TTS, exige que le navire alimenté en GNL soit ravitaillé à partir d'un pétrolier ou d'un camion-citerne. Du côté des opérations, il est nécessaire que le navire soit amarré au quai ou à l'embarcadère et que le pétrolier ou le camion atteigne le quai pour être positionné sur le quai à proximité du navire à ravitailler (Figure 28).

Figure 28. Approvisionnement en GNL selon la configuration TTS



Source: <http://www.donga.com/news/article/all/20190921/97506677/1>

En analysant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, on constate que les différents navires-citernes sont approvisionnés dans de grands terminaux de stockage de GNL ou dans des terminaux

³¹ Le groupe Linde (Linde Aktiengesellschaft) est une société allemande basée à Munich qui opère dans le domaine des gaz industriels

intermédiaires le long de la chaîne d'approvisionnement, voire à proximité d'une usine de liquéfaction.

Parmi les aspects critiques de la configuration de type TTS, la capacité réduite des citernes des camions et des camions-citernes (40-80 m³) se distingue, de sorte que ce service est normalement destiné aux navires nécessitant quelques centaines de m³. Un autre aspect critique de cette configuration technologique est la vitesse de transfert limitée du GNL, qui est d'environ 40-60 m³/h. La longue durée du ravitaillement en GNL fait que cette configuration (TTS) est moins compétitive que d'autres types par rapport aux volumes de soutage élevés : pour les réservoirs de grande capacité, il n'y a pas de commodité économique-financière associée à l'utilisation de ce type de soutage.

Dans les cas où le navire à ravitailler a besoin de petites quantités de GNL, soit parce qu'il est équipé de petits réservoirs, soit parce qu'il a une faible consommation de carburant, soit parce qu'il opère sur de courtes distances, les opérations de soutage peuvent être effectuées à l'aide d'un seul véhicule ou camion : la gestion des opérations est extrêmement simple, non seulement parce que le calendrier global peut être limité, mais aussi parce qu'il n'y a pas de problèmes particuliers liés à la sécurité à quai du GNL (un seul accès par un seul camion). Au contraire, dans le cas des grands navires méthaniers à ravitailler, il est nécessaire d'utiliser un nombre plus élevé de camions/voitures ou de trajets par le même véhicule pour le ravitaillement : dans ce contexte, les temps de soutage sont allongés et, en outre, les risques de gestion liés aux opérations à quai augmentent.

Par rapport à la configuration STS, le réapprovisionnement en GNL de type TTS peut comporter des risques plus importants en ce qui concerne les activités de manutention simultanée de la cargaison et du personnel que les activités de réapprovisionnement. En outre, le conducteur du pétrolier ou du camion-citerne pour le ravitaillement en carburant ne fait pas partie du personnel préparé à effectuer les opérations, de sorte que, ne faisant pas partie de la catégorie de personnel spécialisé, il ne connaît pas les procédures et, par conséquent, les aptitudes et les compétences nécessaires pour effectuer les tâches liées au ravitaillement du navire. En raison des deux considérations ci-dessus, les aspects procéduraux liés à l'existence de niveaux adéquats de sûreté et de sécurité en rapport avec les activités

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



individuelles menées sont d'une importance considérable pour la configuration technologique Truck To Ship, en particulier en présence de personnel non spécialisé.

Outre la durée extrêmement longue des activités de ravitaillement, un autre inconvénient lié aux solutions technologiques de type TTS réside dans le coût (variable unitaire) par m³ de GNL transféré, car celui-ci est fortement influencé par le coût du transport, même dans la mesure où il dépasse les bénéfices liés aux investissements initiaux réduits que cette configuration requiert. Afin de résoudre ou au moins de compenser cette criticité, la capacité de chargement des camions et des autocars est souvent augmentée au moyen de remorques. En outre, ces camions/autocars sont dans la plupart des cas équipés de tout le matériel nécessaire au chargement et au déchargement du GNL, y compris les tuyaux et la pompe nécessaires au ravitaillement du navire, qui peut se faire soit directement du camion au réservoir du navire, soit via un pipeline. Au contraire, la citerne du camion est remplie en utilisant les tuyaux appartenant à la structure de remplissage en terre : pendant cette phase, il est nécessaire, sur la base des règles et des procédures, de faire attention à la température de la citerne elle-même.

D'autres aspects critiques de la configuration "Truck To Ship" sont liés à des événements tels que :

- La rupture du réservoir cryogénique ;
- Le déclenchement d'un incendie ou l'explosion de GNL accidentellement déversé ;
- L'effet domino;
- L'augmentation du trafic routier (et tout accident et/ou interférence avec les autres activités portuaires qui en résulte).

En se concentrant plutôt sur les points forts de la configuration TTS, il est nécessaire de souligner les niveaux élevés de flexibilité et de réversibilité qui la caractérisent. En ce qui concerne la souplesse d'utilisation de la solution technologique en question, elle découle de l'absence d'investissements idiosyncrasiques élevés et de la possibilité de placer le camion à côté du navire à ravitailler le long

de différents quais et dans différentes zones du port (sauf si les procédures de sûreté l'exigent). Compte tenu des investissements d'infrastructure réduits que cette configuration requiert pour la préparation des opérations, le type de ravitaillement TTS peut être considéré comme une solution d'essai visant à vérifier l'éventuelle viabilité économique du terminal (ou d'autres entités économiques qui ont l'intention de développer l'activité de ravitaillement en GNL dans un port), avant de procéder à des investissements importants, concernant par exemple la configuration de type *Terminal To Ship*. La configuration TTS est donc un moyen viable de ravitailler un navire nécessitant des volumes allant jusqu'à 200-400 m³ de GNL et, en outre, elle pourrait devenir une véritable incitation à la transition vers la propulsion des navires par GNL à l'avenir.

En ce qui concerne la méthode de transfert à terre (Truck to ship e via pipeline), la législation de référence est la suivante :

- ISO 28460:2010 'Petroleum and natural gas industries – Installation and equipment for liquefied natural gas – Ship-to-shore interface and port *operations*';
- SIGTTO ESD Systems;
- BS EN 1160 Properties and Materials for GNL;
- IMO 'Recommendations on the Safe Transport of Dangerous Cargoes and Related activities in Port Areas';
- Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents – API Recommended Practice 2003, Sixth Edition;
- EN 1474 part 1 GNL Transfer Arms;
- EN 1474 part 2 GNL Hoses;
- EN 1473 Design of Onshore GNL Terminals (comme reference);
- NFPA 59A Storage and Production of GNL;
- BS EN 13645 Installations and equipment for GNL – Design of onshore installations with a storage capacity between 5 & 200 tonnes;

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



- BS 4089: 1999 Metallic Hose Assemblies for Liquefied Petroleum Gases and Liquefied Natural Gases;
- EU Directive 96/82/EC (Seveso II);
- ATEX Directive 94/9/EC (ATEX 95);
- ATEX Directive 99/92/EC (ATEX 137);
- European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR).

3.3.3 Configuration terminal (o port) to ship, via pipeline

La configuration de ravitaillement de type "*Terminal To Ship*" ou "*Port To Ship*" (PTS), également appelée "shore to ship", consiste à approvisionner une station de ravitaillement à terre, normalement sur un quai ou une jetée dédiée (Figure 29). Également connue sous l'acronyme PTS, cette configuration exige que les navires alimentés en GNL s'amarrent à ce quai ou à cette darse et soient ensuite ravitaillés en carburant à l'aide de tuyaux rigides et flexibles (à l'extrémité de l'installation de ravitaillement) afin d'assurer un niveau plus élevé d'adaptabilité de la disposition, de l'équipement et de l'instrumentation aux exigences opérationnelles du navire à ravitailler.

Figure 29. Approvisionnement en GNL selon la configuration PTS



Source: <https://www.unitest.pl/?p=3131>; <https://www.manntek.se/lng/applications/ship-to-shore>

Le réservoir de stockage de GNL à terre, normalement alimenté par des camions, des méthaniers ou même des gazoducs (et donc par une usine de liquéfaction) peut avoir des caractéristiques différentes.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

En fait, il peut être de grande taille et à la pression atmosphérique, si le GNL provient d'une usine de regazéification, ou de petite taille et sous pression, s'il est fourni par des trains, des pétroliers, des navires-citernes ou une usine de liquéfaction.

Concrètement, comme le soulignent plusieurs études (DNV, 2014), le navire GNL à ravitailler peut soit accoster directement à la jetée où se trouve la station/installation de ravitaillement, soit se connecter à un pont flottant (relié à la terre par des canalisations spéciales) où le GNL est stocké. Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'assurer la présence d'une infrastructure capable de minimiser le mouvement de la plate-forme flottante, par exemple dû aux mouvements des vagues, car cela entraîne souvent des dommages aux équipements de ravitaillement en GNL.

Néanmoins, la solution PTS présente un certain nombre d'avantages :

- Offre une plus grande flexibilité car elle n'est pas affectée par les variations du niveau de la mer, la différence de hauteur par rapport au navire à approvisionner restant pratiquement inchangée ;
- Se caractérise par la possibilité de fournir de grands volumes de GNL (même 20 000 m³), avec un débit de livraison compris entre 1 000 et 2 000 m³/h, ce qui permet de réduire considérablement les délais de ravitaillement en GNL.

Au contraire, la configuration SPS a moins de souplesse opérationnelle que la solution STS car le navire doit atteindre le quai pour être ravitaillé en carburant, de sorte qu'aucun chargement/déchargement de marchandises ou de personnes ne peut être effectué pendant la phase de soutage.

Malgré les avantages mentionnés ci-dessus, cette configuration de soutage pose de nombreux problèmes critiques, à commencer par les problèmes typiques qui caractérisent toutes les solutions technologiques, à savoir la rupture du réservoir cryogénique et/ou des pipelines, l'allumage d'incendies ou d'explosions du GNL accidentellement échappé et l'éventuel effet domino, jusqu'aux inconvénients spécifiques du TPS. Parmi ces derniers, nous trouvons les énormes investissements

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



nécessaires au développement de toutes les infrastructures/équipements fondamentaux pour la mise en œuvre correcte des opérations : ces investissements, configurés comme des coûts irrécupérables, sont précisément impossibles à reconverter en cas d'abandon de l'activité susmentionnée. En outre, dans le cas des installations de GNL sur le terrain, il est essentiel de se conformer à la vaste gamme de réglementations relatives aux installations et aux équipements de GNL³².

En raison de l'infrastructure requise, la configuration PTS est une option particulièrement adaptée aux installations portuaires ayant une demande de soutage stable à long terme et un trafic maritime adéquat ; des exemples au niveau européen sont les ports de Norvège et de Finlande (y compris le port de Pori, qui est l'un des plus importants d'Europe).

3.3.4 Configuration mobile fuel tanks

La configuration de type *Mobile Fuel Tank* nécessite l'utilisation de réservoirs de GNL mobiles contenant du GNL qui peuvent être utilisés à la fois à terre, pour ravitailler les navires, et à bord puis chargés sur le navire pour être utilisés comme un véritable réservoir de GNL pour ce dernier. Ces réservoirs sont des citernes mobiles ou des conteneurs ISO cryogéniques utilisés précisément comme réservoirs de stockage de carburant.

La configuration Mobile Fuel Tanks présente l'avantage d'être une installation de stockage mobile et donc transférable partout où elle est nécessaire (

Figure 30), malgré le risque de chute accidentelle des réservoirs eux-mêmes.

³² D'un point de vue réglementaire, la norme UNI EN 1473 de 2007 "Installations et équipements pour le gaz naturel liquéfié (GNL) - Conception des installations au sol", entrée en vigueur le 22 mars 2007, est fondamentale. Ce règlement établit les lignes directrices à suivre lors de la conception, de la construction et du bon fonctionnement des différents types d'installations de GNL sur le terrain, y compris celles destinées à la liquéfaction, au stockage, à la gazéification, au transport et au passage du GNL. En revanche, cette norme ne peut être appliquée dans le cas des stations "satellites", car elles sont soumises à la réglementation UNI EN 13645, la capacité de stockage correspondante étant inférieure à 200 tonnes.

Figure 30. ISO-container cryogéniques



Source : https://it.made-in-china.com/co_longtengindustrial/product_T75-Cryogenic-Liquid-Gas-LNG-Lo2-Ln2-20FT-ISO-Tank-Container_egsosesy.html

Avant que ces citernes mobiles ne soient attribuées à bord des navires à approvisionner, notamment sur le pont ou dans les zones de stockage (DNV, 2014), elles sont transférées à quai par transport terrestre, c'est-à-dire par camion, ou par transport ferroviaire, en utilisant les trains appropriés, ou par cargo. La phase de chargement du conteneur ISO cryogénique à bord du navire peut se faire par une gestion typique des marchandises dangereuses, pour laquelle il existe déjà des procédures et des règles spécifiques, ou par des grues ou d'autres systèmes de levage. Par conséquent, cette solution est extrêmement avantageuse en présence d'un espace limité dans la zone des machines du navire, même si, en même temps, elle réduit, par sa présence, l'espace disponible sur le pont.

Figure 31. Placement d'un conteneur ISO pour le soutage de GNL sur un navire



Source: Wartsila

Parmi les principaux **avantages** liés à la solution technologique Mobile Fuel Tanks, on peut citer la quantité réduite des investissements dans les infrastructures et les équipements dédiés, la réduction significative des temps de soutage et l'extrême flexibilité d'un point de vue opérationnel, puisqu'elle favorise la capillarité dans la distribution. Ces avantages font de cette configuration l'une des solutions technologiques les plus avantageuses. En outre, la configuration du réservoir mobile permet d'effectuer d'autres opérations (SIMOPs) en même temps que les opérations de ravitaillement en carburant : en effet, la possibilité d'effectuer des activités de manutention de cargaison rend cette configuration très attrayante lors de l'utilisation de navires porte-conteneurs ou de navires fonctionnant avec des grues.

Toutefois, cette configuration présente également certains inconvénients/critiques qui la rendent peu répandue dans la pratique. Parmi les critiques opérationnelles, nous trouvons la capacité réduite du réservoir, qui se fait sentir lorsque les navires doivent être approvisionnés avec une grande quantité de réservoirs (soit parce qu'ils sont grands, soit parce qu'ils sont utilisés sur de très longs trajets) : ce mode d'approvisionnement nécessite l'occupation de grands espaces à bord du navire, ce qui entraîne une capacité réduite pour les marchandises commerciales.

En outre, du point de vue de l'armateur ou de la compagnie de navigation, cette solution entraîne une augmentation significative du risque de fuite de liquide à des températures extrêmement dangereuses,

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



car elle nécessite la reproduction répétée des activités de connexion/déconnexion des réservoirs du réseau d'approvisionnement du navire.

TDI RETE-GNL
Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet

4 LA GESTION DES RISQUES DANS LE SECTEUR PORTUAIRE

La gestion des risques est, dans un sens général, la composition structurée d'un nombre considérable d'aspects différents, qui doivent être pris en compte afin d'atteindre des niveaux de risque plus faibles. De l'élément technique à l'élément humain, on peut considérer comme justifié que dans la chaîne complexe et articulée de fonctionnement d'un processus industriel, quatre grands domaines de gestion des risques peuvent être définis ³³:

- L'environnement réglementaire
- Analyse de la menace
- L'historique des événements négatifs
- Formation

Dans le cas du soutage, nous pouvons décrire et décliner ces domaines comme suit :

L'environnement réglementaire

Les attentes et les besoins de l'industrie et, plus généralement, des utilisateurs éventuels, nécessitent des réglementations, des règles et des règlements qui non seulement promeuvent le Gaz Naturel Liquide comme carburant pour la logistique, mais qui spécifient et encouragent des mesures homogènes, appropriées et précises pour la mise en œuvre et la gestion correctes de la sécurité, permettant la compétitivité et le bon déroulement des activités.

Il est clair que l'alignement et l'harmonisation des différents niveaux réglementaires sont des facteurs clés pour le succès des diverses initiatives GNL à l'échelle régionale. Si la logistique est une activité mondiale, (l'avitaillement) visant le trafic de marchandises ne peut être qu'une activité mondiale et les environnements réglementaires qu'elle implique doivent être alignés et interfacés.

³³Kletz T., HAZOP & HAZAN, The Institution of Chemical Engineering, England, 1986

L'élaboration de réglementations internationales, comme le code IGF, adopté en juin 2015, est essentielle pour établir des exigences fondées sur l'analyse des risques.

L'analyse de la menace

La sécurité de l'utilisation du GNL dans l'environnement portuaire maritime dépend directement de la compréhension des aspects et des situations qui constituent une menace pendant le fonctionnement des systèmes de soutage. En fait, le scénario auquel nous sommes habituellement confrontés voit la présence toujours certaine de ces éléments d'analyse prioritaires :

- Teneur énergétique élevée de la substance ;
- Fuites et émissions de gaz ;
- Systèmes cryogéniques ;
- Présence et localisation des navires ;
- Contacts entre les zones non dangereuses et les zones non dangereuses ;
- Une main-d'œuvre "inexpérimentée" grâce à un nouveau type de carburant ;
- Systèmes technologiques hétérogènes (Interface entre le navire et le système de soutage).

C'est grâce à la connaissance et à l'analyse de ces événements qu'il est possible, comme nous l'avons vu, de parvenir à la valorisation d'un risque et par conséquent à la définition de méthodes de gestion appropriées, telles que la classification des zones de contrôle.

Historique des événements négatifs

La maxime "Apprenez de vos erreurs" est, dans le cas de la gestion des risques, plus fondamentale que jamais. Sur la base de ce qui est déjà fait en matière d'enregistrement des accidents dans le domaine de la sécurité des travailleurs sur le lieu de travail, la notification des accidents ou des défaillances dans l'utilisation des soutes à GNL et de la chaîne d'approvisionnement est très utile pour pouvoir:

TDI RETE-GNL
Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

- Apprendre et améliorer les procédures ;
- Rendre les calculs de prévision plus efficaces et plus précis ;
- Améliorer la conception des équipements et des systèmes ;
- Développer de nouvelles approches d'évaluation.

Formation

L'élément humain est un facteur central dans la conduite sûre de toutes les opérations, quel que soit le secteur analysé. Cela est encore plus évident, comme dans le cas du soutage du GNL, lorsqu'il y a interaction avec de nouvelles applications, de nouveaux carburants, de nouvelles procédures et de nouveaux scénarios de danger. Des procédures d'urgence à la maintenance à bord, du fonctionnement des machines à la communication entre les opérateurs, il est très important que l'équipage de bord et le personnel au sol aient non seulement toutes les compétences nécessaires mais soient également bien formés pour assurer à la fois le fonctionnement et le système de gestion des risques.

La gestion opérationnelle de ces 4 aspects est réglée dans les différents cas réels par une **structure hiérarchique** de domaines ou plus exactement de zones, grâce à laquelle il est possible de définir en détail tous les éléments opérationnels dans les 4 secteurs mis en évidence.

Exemple :

- pour opérer dans une région ou une zone donnée nécessitera une formation et un enseignement spécifiques,
- Pour installer certains équipements, il faut répondre à des exigences réglementaires spécifiques,
- Les procédures opérationnelles seront définies en distinguant la zone de référence,
- une analyse des risques sera effectuée pour obtenir des validations, des réductions ou des augmentations de zones

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



La prochaine section abordera donc la question des critères de définition des zones et de leurs caractéristiques.

4.1 ZONAGE

La définition des **zones de contrôle** est une question importante en matière de soutage du GNL, et de nombreuses garanties en termes de sécurité pendant l'exploitation peuvent être maintenues grâce à la présence de zones de contrôle à dangerosité croissante, capables d'atténuer par des règles et des procédures les risques découlant de rejets potentiellement dangereux de GNL, de dommages potentiels en dehors du soutage du GNL, de manœuvres opérationnelles incorrectes.

Le thème de la classification des zones est très vaste et une discussion complète de celui-ci dépasserait les sujets de ce document spécifique, dans lequel nous avons essayé d'illustrer les différentes zones de contrôle instables à l'intérieur des zones portuaires en fonction des installations possibles caractérisées par des risques significatifs et pertinents. Ce chapitre illustre donc **les méthodes de classification des zones proches et en face des installations** qui, après l'évaluation des risques, mettent en évidence, avec la présence de zones de dommages et de zones de respect, la nécessité de mesures spécifiques dans l'installation, la gestion opérationnelle et la formation du personnel.

Dans la description, on a tenté de combiner les normes internationales existantes avec les lignes directrices industrielles actuellement publiées (les normes ISO/TS 18683 et ISO20519 comprennent toutes deux une section sur les zones de sécurité relative aux dispositions pertinentes pour l'évaluation des risques) afin d'indiquer les caractéristiques significatives de chaque type de zone (objet, fonction, taille, etc.).

Au niveau réglementaire et technique, les zones de contrôle sont définies dans le cadre des normes ISO/TS 18683 et EN ISO 20519 et prévoient 3 niveaux de risque décroissants :

- 1. Zones dangereuses (hazardous zone)**
- 2. Zone de sécurité (safety zone)**

3. Zone de contrôle et de surveillance (zone de contrôle et de sécurité)

Nous y avons récemment ajouté les dispositions des lignes directrices du SGMF, v2, 2017, qui maintiennent les 3 zones existantes mais en définissent deux autres, plus externes, appelées :

4. Zone marine

5. Zone extérieure

Vous trouverez ci-dessous les définitions des 5 zones qui seront prises en compte dans les paragraphes suivants :

1. **Zone de danger** : Espace tridimensionnel dans lequel une atmosphère inflammable peut exister à tout moment.
2. **Zone de sécurité** : Zone tridimensionnelle autour du système de transfert de GNL déterminée par le résultat d'une fuite, d'une urgence lors du déchargement du GNL ou du retour des vapeurs qui se produisent. Il n'existe que pendant l'exploitation d'un système spécifique de soutage de GNL, dans notre cas, le GNL.
3. **Zone de surveillance et de sécurité** : zone entourant la zone de transfert de GNL qui doit être surveillée par mesure de précaution pour éviter toute interférence avec l'opération de transfert de GNL.
4. **Zone marine** : une zone de taille suffisante pour empêcher d'autres navires de heurter le navire pendant l'opération de transfert de GNL.
5. **Zone extérieure** : la distance par rapport à un niveau de risque défini qui comprend les endroits où, la population et le personnel non formé à la manipulation du GNL peuvent normalement être présents pendant les activités de soutage.

Les figures ci-dessous, à titre d'exemple, montrent la classification du même scénario de centrale TTS selon les 3 zones établies par la norme ISO/TS18683 et ensuite selon les 5 zones telles qu'établies par LG SGMF v2 -2017.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



L'exemple prend en compte la survenance d'une perte accidentelle lors du soutage de GNL sur la centrale TTS. Dans ce cas, le GNL serait libéré et dispersé en fonction de conditions locales spécifiques. En se basant sur les propriétés thermodynamiques intrinsèques du GNL et sur le comportement météorologique spécifique du site, nous aurons un dynamisme particulier du nuage. Cependant, bien qu'il ne soit pas possible de définir avec précision la position exacte du nuage dans l'espace et le temps, ce qui est certain, c'est qu'une fois le bon rapport air/carburant atteint pour favoriser la combustion, le mélange produira une combustion dès qu'une source d'inflammation (ignition source) sera trouvée, quelle qu'elle soit (étincelle, surfaces ou éléments chauds, etc.).

Il est donc raisonnable de penser qu'une première zone, appelée zone de sécurité³⁴, où la probabilité de trouver une atmosphère explosive en cas de rejet accidentel de GNL lors du soutage est importante, doit être établie afin d'éviter l'admission de personnel autre que celui nécessaire à la réalisation des activités ou la présence de sources d'ignition.

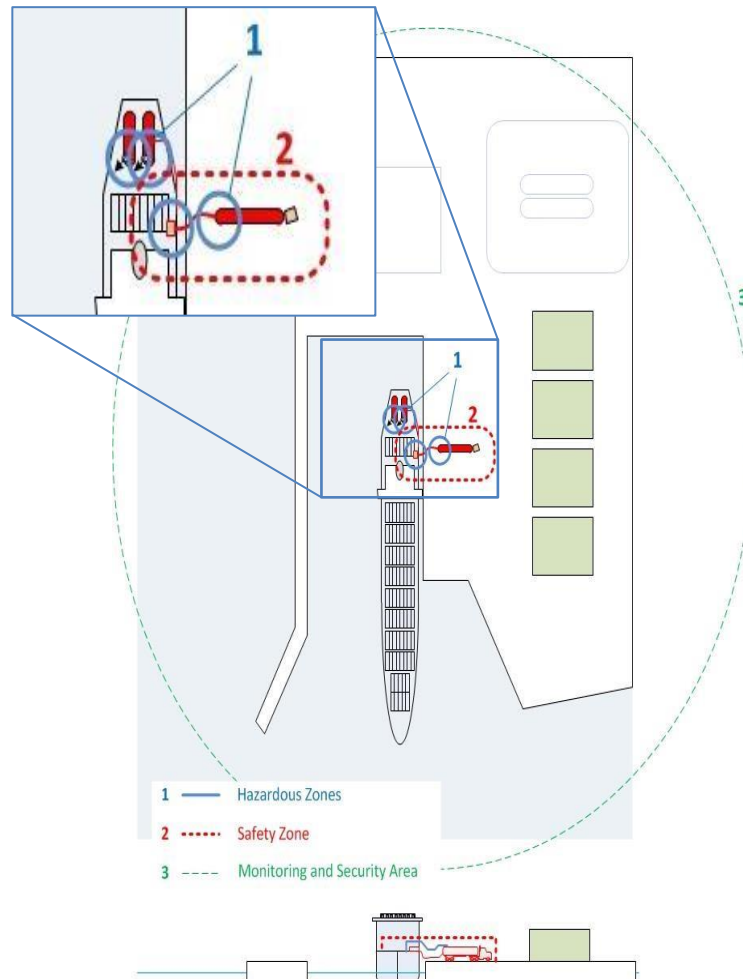
Par la suite, les zones dangereuses (y compris, par exemple, les sorties d'évent de la soupape de sécurité) doivent être prises en compte dans l'évaluation des risques, en particulier si elles se trouvent à proximité de prises d'air non protégées.

Les zones de contrôle et de surveillance sont les plus vastes et s'étendent normalement bien au-delà de la zone de sécurité. Elles sont établies pour surveiller et contrôler le trafic des navires et toutes les autres activités d'interférence qui pourraient constituer un danger pendant les opérations de soutage

Vous trouverez ci-dessous les images illustratives des différentes zones de contrôle présentes dans le port (zones de danger, zone de sécurité, zone de contrôle et de surveillance).

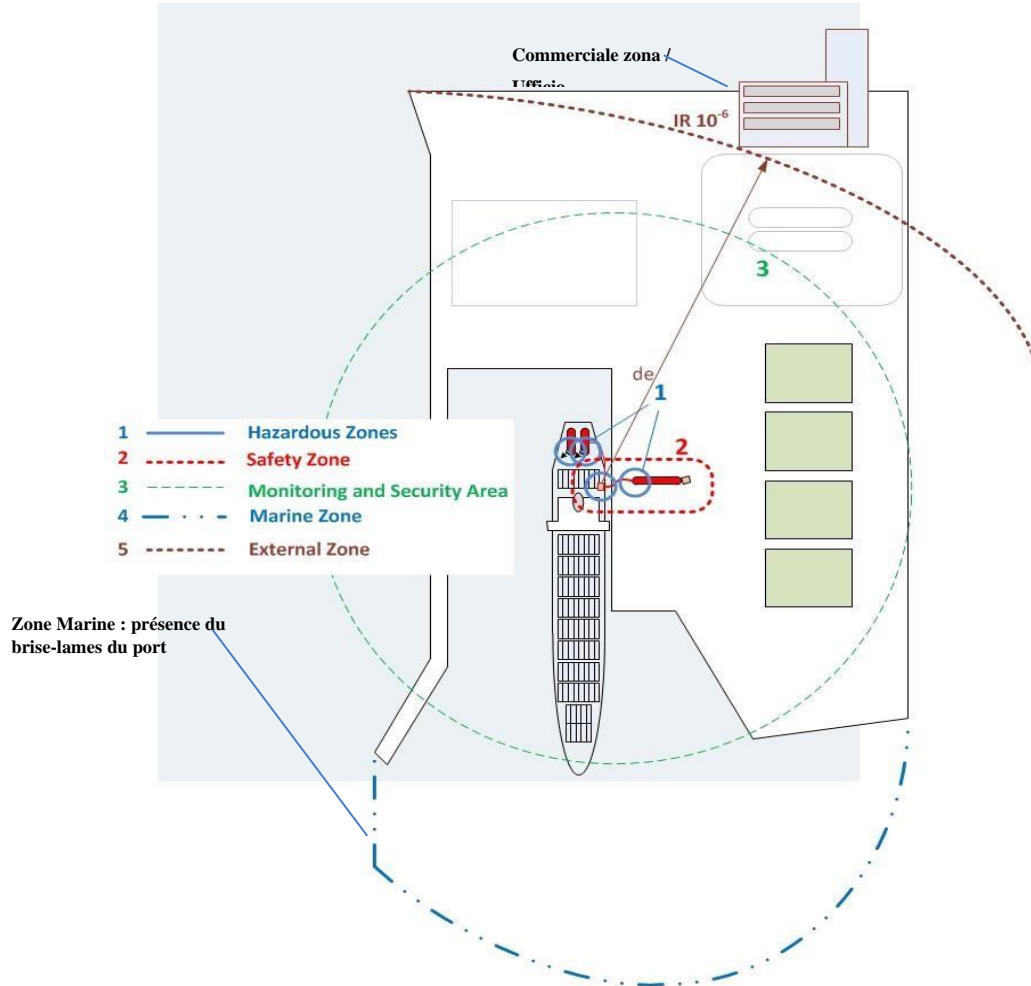
³⁴ La zone de sécurité comprend normalement des zones dangereuses telles que définies par la norme CEI 60079-10-1 ou d'autres réglementations pertinentes telles que CEI 35-10, etc

Figure 32. Zones de contrôle - Zone de danger, de sécurité et de surveillance



Source : Adapter à partir ISO / TS 18683 e ISO 20519

Figure 33. Zones de contrôle - Zones dangereuses, de sécurité, de surveillance, marines et extérieures



Source : Adapter à partir ISO / TS 18683 + LG SGMF

Cependant, l'importance de comprendre le concept de zones de contrôle dans son ensemble ne dépend pas des définitions du SGMF ou de la norme ISO.

Les **zones de contrôle** sont en fait des zones de sauvegarde, résultat d'une analyse critique et minutieuse des scénarios de risques potentiels, des problèmes de sécurité relatifs, de la planification des activités et du contexte dans lequel on opère. Il n'y a donc pas de hiérarchie entre les zones de contrôle. Au-delà du niveau de risque, les zones dangereuses n'ont pas un rôle et une importance plus

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

importants que, par exemple, la zone de surveillance et de contrôle, car ce n'est qu'en travaillant ensemble, en définissant l'ensemble du système de protection dû aux zones, que le système permet d'atteindre un niveau de protection adéquat.

Les zones dangereuses sont alors toujours présentes et dépendent spécifiquement de l'équipement, de l'architecture du système, des raccords à bride, des collecteurs, des entrées de ventilation, etc., à la seule exception qui les rend temporairement absentes, en raison de l'inertisation de l'équipement, c'est-à-dire l'élimination du GNL et des vapeurs connexes de tous les dispositifs. Au contraire, les zones de sécurité et les zones de surveillance, qui sont liées à l'opération, ne seront présentes que pendant les opérations de soutage, c'est-à-dire que leur efficacité ne se matérialisera que pendant le transfert du GNL.

Par conséquent, bien qu'il existe des conventions (par exemple, la zone de sécurité doit être plus grande que la zone de danger dans les trois dimensions, et par conséquent la zone de surveillance doit être plus grande que la zone de sécurité), il n'existe pas de zones de contrôle adaptées à toutes les situations/conditions car de nombreux facteurs déterminent la taille et la forme des différentes zones de contrôle.

En résumé, la définition des zones de contrôle doit être spécifique au port, au navire et au poste de mouillage, avec différents facteurs de conditionnement de nature technique ou opérationnelle, tels que ³⁵:

- Paramètres de soutage (pression, température).
- Potentiel de génération excessive de BOG.
- Les facteurs climatiques (en particulier l'énergie éolienne).
- Autres activités de proximité et contemporanéité possible.
- Infrastructures locales.

³⁵ Les variables qui déterminent l'étendue des zones sont mentionnées par exemple dans la norme ISO / TS 18683

- Caractéristiques des navires.

4.2 ZONE DE DANGER

Une zone de danger est définie comme tout volume tridimensionnel dans lequel la présence d'une atmosphère inflammable et/ou explosive peut se produire avec des effets nécessitant des précautions particulières pour protéger la sécurité des travailleurs et des tiers. Dans le cas du soutage, les zones dangereuses sont liées aux équipements installés pour le soutage et le stockage du GNL et seront également présentes en dehors de la durée des opérations de soutage. Elles sont liées à la conception de l'installation et du système, la définition de ces zones passe par une "classification" de 3 sous-zones dangereuses, correspondant à des résultats spécifiques de calculs particuliers basés sur la probabilité d'occurrence.

Tableau 6. Caractéristiques des zones dangereuses

Scenario\ Événement	IEC EN 60079 -10-1	Probabilité de l'événement	Exemples dans le cas d'un soutage	Distance de référence
Un endroit où une atmosphère explosive consistant en un mélange d'air et de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard est présente de manière continue ou pendant de longues périodes ou fréquemment	Zone 0	Présence d'une atmosphère explosive pendant plus de 1000 heures/an	A l'intérieur du réservoir de stockage de GNL, de tout type.	Elle n'est pas définissable car les atmosphères sont contenues dans les réservoirs.
Un endroit où une atmosphère explosive consistant en un mélange d'air et de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard est susceptible de se produire en fonctionnement normal.	Zone 1	Présence d'une atmosphère explosive pendant plus de 10 heures/an mais moins de 1000 heures/an	Système de transfert interne (tuyau, lignes de transfert, bras de transfert). Cela ne se produira que si l'inertisation n'a pas été réalisée correctement. Cela devrait se produire avant et après l'avitaillement.	Il ne peut être défini car les atmosphères sont contenues dans les appareils répertoriés..
Un lieu où une atmosphère explosive consistant en un mélange d'air et de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard n'est pas susceptible de se produire en fonctionnement normal et, si elle	Zone 2	Présence d'une atmosphère explosive pendant moins de 10 heures/an, mais en tout	Raccords à brides pour le transfert de GNL en soutage et retour de vapeur/BOG. Manifolds pour le soutage. Systèmes d'interface d'urgence (ERC - PRV).	Généralement une sphère de 3 mètres autour de tous les appareils répertoriés.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

Scenario\ Événement	IEC EN 60079 -10-1	Probabilité de l'événement	Exemples dans le cas d'un soudage	Distance de référence
se produit, n'est que de courte durée.		cas avec la nécessité de contrôler les sources d'inflammation		

Source : défini par la norme CEI 60079-10-1 et d'autres réglementations techniques nationales, par exemple CEI 35-10

Les zones de danger, qui représentent une caractéristique de l'installation car elles décrivent un volume dans lequel une atmosphère "explosive/inflammable" sera présente, en un lieu donné, avec une certaine fréquence d'occurrence, n'ont pas de distances de référence et nécessitent en pratique un calcul spécifique qui n'a pas de références univoques, mais au moins 3 grandes méthodes de détermination possibles qui seront examinées ci-dessous :

- Formulations analytiques spécifiées dans les normes ISO
- Orientations et estimations approximatives fournies dans les codes IGF/IGC
- Utilisation d'outils logiciels qui tirent parti du calcul

4.2.1 Standard ISO

Les normes ISO/TS 18683 et ISO 20519 ne donnent pas de références pour l'étendue des zones dangereuses, mais indiquent que les calculs doivent être conformes à la méthodologie de la série de normes IEC 60079.

En particulier la norme IEC 60079-10-1 "Atmosphères explosives". La partie 10-1 : *Classification des lieux - Atmosphères explosives dues à la présence de gaz*" (CEI:31-87) "traite de la classification des lieux où des dangers liés à la présence de gaz ou de vapeurs ou de brouillards inflammables peuvent se présenter et peut servir de base pour le choix et l'installation corrects des équipements à utiliser dans un lieu dangereux.

Elle s'applique aux endroits où il peut y avoir un danger d'inflammation en raison de la présence de gaz ou de vapeurs inflammables mélangés à l'air dans des conditions atmosphériques normales.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



La norme qu'il contient établit une méthodologie générale de travail, indiquant des formules, des considérations, des paramètres d'estimation et est basée sur la détermination analytique de la taille d'un volume (défini dans la norme **comme Volume Hypothétique** et indiqué comme VZ) capable d'enfermer tout l'espace dans la concentration moyenne de gaz ou de vapeurs inflammables est égale à une certaine valeur K de la limite inférieure d'explosivité (ou LEL).

Le facteur K est généralement considéré comme étant de 0,25 ou 0,5, selon la valeur du facteur de sécurité à utiliser.

Il est clair que des facteurs K plus petits déterminent des volumes hypothétiques plus importants et, par conséquent, des dimensions et des distances de sécurité plus grandes.

Tout aussi important est le concept lié à l'adjectif hypothétique, avec lequel la norme entend préciser comment, dans le volume calculé, la présence d'une atmosphère explosive n'est pas certaine mais seulement probable, c'est-à-dire possible.

La méthode permet de déterminer le type de zone (c'est-à-dire la zone de classe 0.1 ou 2 comme ci-dessus) par les étapes suivantes :

- a. Estimation du débit de ventilation minimal nécessaire pour éviter une accumulation importante d'une atmosphère gazeuse explosive ;
- b. Calcul d'un volume hypothétique [VZ] avec ce taux de ventilation estimé ;
- c. Estimation de la durée de persistance du volume VZ ;
- d. Identification du type de zone à partir du degré et de la disponibilité de la ventilation effectivement présente.

Le résultat obtenu est un volume hypothétique, il n'est pas directement lié à la taille de la zone dangereuse, mais à la présence éventuelle d'une atmosphère explosive dans une partie de ce volume.

En fin de compte, le grand intérêt de la conception des activités de soutage de GNL n'est pas seulement de déterminer les zones dangereuses, mais de pouvoir les déterminer autant que possible avec des volumes réalistes et non théoriques.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



4.2.2 Codice IGF/IGC

En l'absence d'une méthode de calcul obligatoire et compte tenu des limites théoriques de la méthode IEC 60079-10-1, une autre méthode de définition des zones dangereuses consiste à adopter le code IGF/IGC, document dans lequel ces zones sont définies à la fois pour le navire destinataire (code IGF, point 12.5) et, dans le cas des STS, pour les soutes (code IGC, point 1.2.24).

En particulier, dans ce cas, les dimensions minimales des zones de danger comprennent :

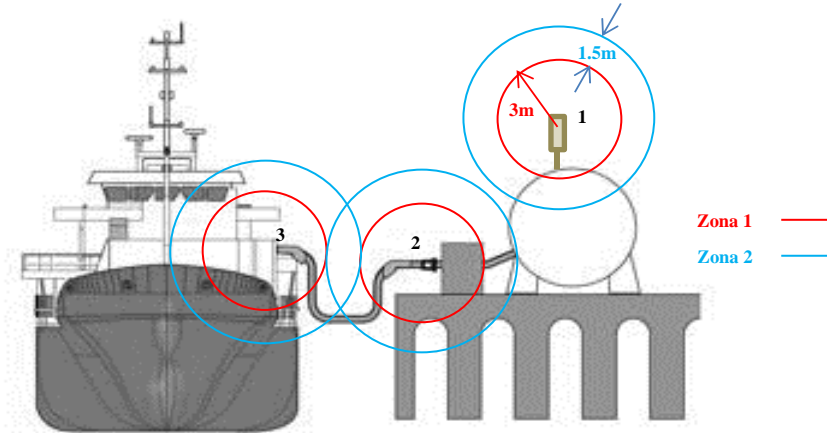
- Zones de pont ouvertes ou espaces de pont semi-fermés à moins de 3 m de tout élément de sortie de la citerne (gaz ou vapeur éventuelle), vanne, collecteur, bride ou système de décharge de surpression,
- Zones sur le pont ouvert, à proximité des tuyauteries et des revêtements environnants pour un tirant d'eau de 3 m jusqu'à une hauteur de 2,4 m au-dessus du pont,
- Stations de ravitaillement et leurs environs à moins de 1,5 m.

Sur la base de cette approche, la zone de danger de soutage comprendra des zones tout au long du système complet de soutage du GNL (camion, installation fixe au sol, collecteur de soutage à quai, etc.) et la taille de la zone de danger ne dépassera pas environ 4,5 m.

L'avantage des références utilisées pour le code IGF, ou code IGC, est sans aucun doute la possibilité d'harmonisation et d'homogénéité, en revanche, les résultats peuvent ne pas être très représentatifs des conditions réelles sur le site, en particulier dans les cas spéciaux ou articulés où des raccordements multiples sur un collecteur de soutage commun sont utilisés.

La figure suivante illustre, dans une installation générique de STP, la présence de zones dangereuses conformément au code IGF/IGC.

Figure 34. Zones de danger - Code IGC/IGF



Source : notre élaboration à partir EMSA Guidance on LNG Bunkering

4.2.3 Calcul Informatique

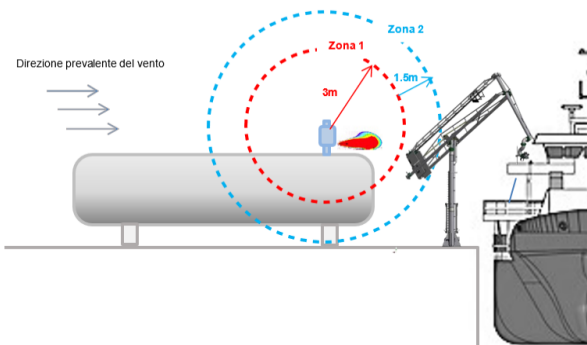
En gardant toujours à l'esprit les limites et les avantages des deux méthodes mentionnées ci-dessus, une dernière (ou plus exactement un ensemble de méthodes) méthode alternative de calcul pour la définition de l'étendue réelle des zones dangereuses est le calcul par ordinateur.

Quel que soit l'algorithme ou le code de calcul, tous les systèmes sont basés sur le calcul d'un volume de rejet grâce à une *Computational Fluid Dynamics* (CFD) qui est capable, par l'intégration d'effets non linéaires, tels que la turbulence, le terrain et les conditions environnementales, de déterminer la présence réaliste et non théorique de l'atmosphère explosive.

La

Figure 35 montre un exemple de la présence d'une atmosphère explosive et, par conséquent, la classification de la zone comme dangereuse.

Figure 35. Zones de danger - Calcul CFD



Source : notre élaoration à partir de EMSA Guidance on LNG Bunkering

4.3 ZONE DE SÉCURITÉ

Bien que la zone de sécurité soit définie comme l'enveloppe tridimensionnelle dans laquelle le gaz naturel/GNL peut être présent en raison d'une fuite ou d'un accident pendant la phase de soutage, il convient de rappeler que les normes ISO/TS 18683 et ISO 20519 donnent une définition différente, considérant la zone de sécurité comme la zone autour du poste de soutage où seuls le personnel et les activités considérées comme essentielles sont autorisés à être présents pendant la phase de soutage. Néanmoins, les objectifs de la mise en œuvre d'une **zone de sécurité** commune peuvent être définis comme suit :

- Contrôle des sources d'inflammation afin de réduire la probabilité qu'un nuage de gaz inflammable s'enflamme après un rejet accidentel de GNL ou de gaz naturel lors du ravitaillement.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



- Limitation de l'exposition du personnel non essentiel pendant le soutage à des effets potentiellement dangereux (par exemple, un incendie).
- Évaluation des infrastructures locales pour l'identification des éventuels points de piégeage du gaz, où la formation d'atmosphères explosives est plus probable après le rejet accidentel de GNL.

Pour le calcul de l'étendue de ces zones, il convient à nouveau de se référer à l'allenorme ISO/TS 18683 et à la norme ISO 20519, qui regroupent les méthodes de calcul en deux approches possibles pour la détermination des différentes zones, d'une manière similaire à celle utilisée pour l'évaluation des risques, à savoir :

- **L'approche déterministe** basée sur le calcul de la distance par rapport à la condition limite d'inflammabilité inférieure dans le cas où le rejet maximum crédible de GNL se produit ;
- **L'approche fondée sur le risque ou probabiliste.**

L'approche déterministe est basée sur l'identification des risques (HAZID) et peut utiliser des outils de calcul analytique, basés sur le rejet simple de GNL ou une formulation plus simple, comme décrit dans la norme CEI 60079-10-1, mais cela rend l'approche extrêmement conservatrice et pas suffisamment réaliste en termes de modélisation. Au contraire, l'utilisation de l'approche probabiliste fondée sur le risque aboutira à une zone de sécurité plus petite au prix d'une charge de calcul plus élevée et d'un plus grand détail dans les données nécessaires au calcul lui-même, détail qui n'est souvent pas disponible en forçant l'estimation des facteurs et en introduisant ainsi plus d'incertitude dans le résultat final.

4.3.1 Approche déterministe

Dans ce cas, la zone de sécurité est définie comme la zone située à une distance des conditions de la limite inférieure d'inflammabilité (LII³⁶) déterminée par un modèle de dispersion reconnu et validé basé sur la libération maximale crédible.

L'approche déterministe peut être réalisée selon 4 méthodes mathématiques différentes :

- **Calculs analytiques**
- **Étude d'une étude de cas conservatrice "Libération d'un volume piégé"...**
- **Étude de cas conservatrice : libération continue sous pression constante**
- **Calculs informatiques**

Calculs analytiques

Dans ce cas, des équations mathématiques standard sont utilisées, c'est-à-dire des formulations connues et disponibles dans la littérature technique de référence³⁷ pour la modélisation de la dispersion des nuages de gaz. Les données typiques à utiliser pour les calculs analytiques impliquent une variété de paramètres différents qui devraient pouvoir se rapprocher des modèles mathématiques dans un contexte de solutions algébriques linéaires quasi-statiques.

Etude d'un cas conservateur : Libération d'un volume piégé

La norme technique décrit un scénario comme le pire lors du transfert de soutage de GNL, c'est-à-dire la rupture de la ligne de soutage en raison d'un événement catastrophique accidentel (comme la

³⁶ Pour le GNL, le LFL est d'environ 5% de gaz naturel dans l'air

³⁷ Voici quelques références bibliographiques pertinentes pour les calculs analytiques : *le livre jaune de TNO (CPR 14E) qui fournit un grand nombre de ces modèles et équations, le livre de Milton Beychok "Fundamentals of Stack Gas Dispersion"*.

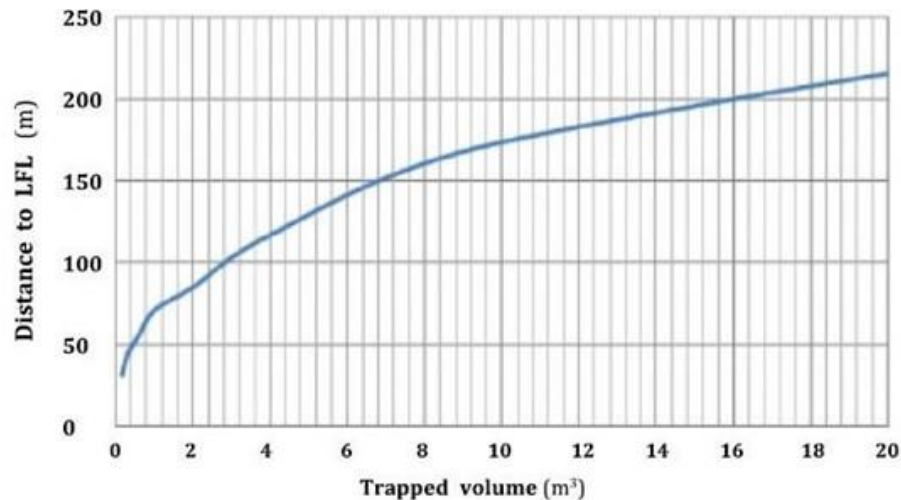
dérive d'un navire en raison d'une collision ou d'une panne d'amarrage).

Le calcul de la libération crédible maximale est donc basé sur les hypothèses suivantes :

- Le système d'arrêt d'urgence du système est activé avant la rupture de la conduite. Cela nécessite un préavis crédible ou, mieux, un délai de préavis, comme le prévoient les normes ISO / TS 18683 et ISO 20519 ;
- Défaillance partielle du système de dégagement d'urgence ou d'un seul des deux côtés du système (côté navire ou côté bâbord), entraînant un dégagement partiel du contenu en GNL.

Les hypothèses ci-dessus conduisent à considérer la libération de GNL dans l'espace entre l'extrémité du tuyau d'alimentation et le système de libération défectueux correspondant, puis à définir la distance en fonction du volume disponible dans l'interconnexion au moyen d'un graphique simple.

Figure 36. Extension de la zone par rapport au volume de GNL libéré et piégé dans l'interconnexion



Source : Reproduit à partir de ISO 20519 figure B.3

Cependant, la plus grande criticité de cette méthode réside dans l'hypothèse en amont, c'est-à-dire que le système de verrouillage d'urgence peut être actionné avant de tomber en panne.

L'avertissement de tout événement catastrophique dépend nécessairement de l'efficacité des alarmes et l'arrêt complet peut prendre quelques secondes, non seulement en raison de limitations techniques intrinsèques mais aussi pour éviter des augmentations de pression tout aussi dangereuses.

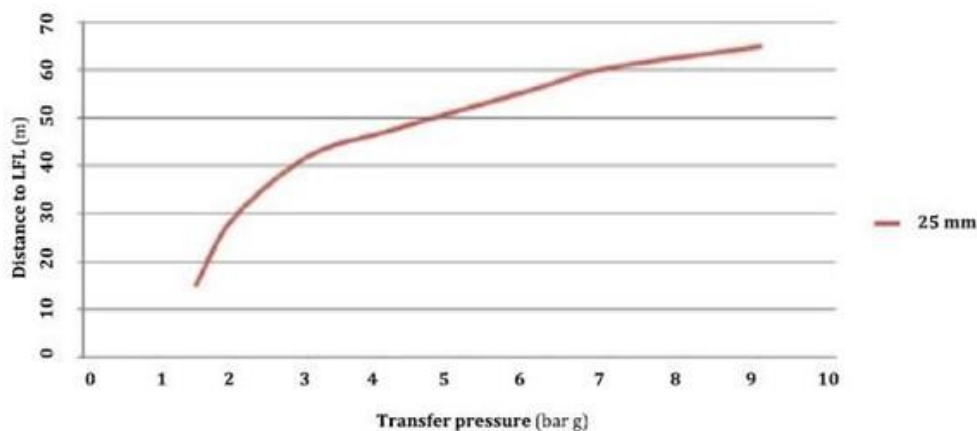
Etude d'un cas conservateur : libération continue à pression constante

La libération crédible maximale est définie à partir de la rupture de l'interconnexion avec un outil de contrôle du système. Ce scénario, qui peut se produire sans détection automatique par les systèmes, détermine un volume de GNL rejeté en priorité lié au délai, ou au temps d'intervention, nécessaire pour que les systèmes d'arrêt interviennent.

Compléter le tableau des hypothèses, compte tenu du rejet à pression constante, puisque les systèmes et donc les pompes fonctionnent toujours, à travers un trou de 25 mm

Le graphique qui permet d'obtenir la distance est montré dans la figure ci-dessous, qui montre comment avec l'augmentation de la pression de transfert, pour la même taille du trou de faille, il y a la limite inférieure d'inflammabilité (LII) à de plus grandes distances du point de défaillance, c'est-à-dire impliquer et mettre à risque d'explosion une plus grande zone autour du point de défaillance.

Figure 37. Extension de la zone par rapport à la pression au point de rejet de GNL



Source : Reproduit à partir de ISO 20519 figure B.4

L'élément critique de cette méthode est représenté par les hypothèses très conservatrices qui conduisent à obtenir des distances de sécurité peu pratiques dans la plupart des cas réels.

TDI RETE-GNL
Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

Calculs informatiques

Comme souligné, les deux approches envisagées par la norme technique (ISO/TS 18683 et ISO 20519), bien que capables de fournir des estimations indicatives fiables, ne sont pas assez souples pour s'adapter à la grande variété de scénarios possibles de soutage de GNL.

En raison du grand nombre de variables définissant les processus physiques impliqués dans la formation et la dispersion du GNL, l'utilisation d'outils de calcul pour la modélisation et l'analyse est devenue de plus en plus populaire, devenant la base pour soutenir et définir les distances de sécurité lors de la conception des soutes à GNL.

La tendance à des taux de transfert de GNL plus élevés, des pressions plus fortes et une gestion plus complexe des bunkers sont quelques-unes des raisons de l'adoption plus fréquente de techniques et d'outils de modélisation plus complexes.

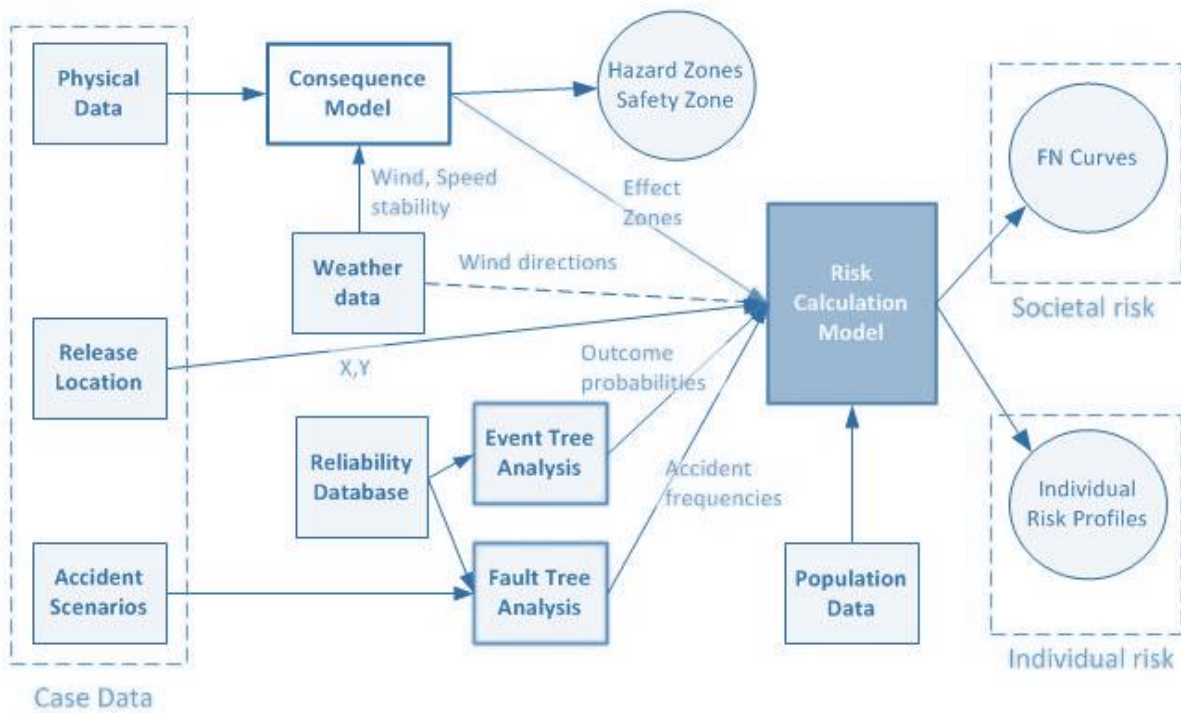
Quel que soit l'outil utilisé, pour le scénario de rejet maximal, l'utilisation de ces outils nécessite de modéliser l'événement en tenant compte des éléments suivants :

- La propriété du GNL, qui reflète les conditions de rejet.
- La taille de trou, en analysant l'équipement installé et la probabilité de défaillance ;
- Rugosité de la surface sur laquelle la vapeur/le gaz (c'est-à-dire la terre ou l'eau) est dispersé ;
- Hauteur de sortie et élévation par rapport à la mer du point de rejet ;
- Conditions de ruissellement, débit et orientation du rejet, espace disponible dans la direction du rejet ;
- Les structures et les caractéristiques physiques peuvent augmenter ou diminuer considérablement les distances de fuite.
- Conditions météorologiques au lieu de soutage : vitesse du vent, humidité, température de l'air et température de surface à laquelle la perte de carburant se produira.

4.3.2 Approche probabiliste

Considérant que l'approche déterministe examinée peut conduire à des zones de sûreté dont l'extension n'est pas facilement gérable dans le contexte portuaire de référence, il est utile de souligner comment la limitation géométrique de ces zones est possible en tenant compte **d'une approche probabiliste** ou par une évaluation quantitative des risques.

Figure 38. Schéma de calcul - approche probabiliste



Source: Study on the completion of an EU framework on LNG-fuelled ships and its relevant fuel provision infrastructure - European commission dg move -2015

L'approche probabiliste doit être réalisée en deux phases, la première basée sur l'identification du risque (HazId) et la seconde sur l'évaluation des systèmes d'atténuation et de sauvegarde capables de définir des mesures concrètes (barrières physiques, alarmes ou autres dispositifs de sécurité capables

de réduire la conséquence ou la probabilité d'un certain danger) qui peuvent tous les scénarios de risque aux niveaux ALARP/ALARA.

Le tableau suivant présente les exigences de base auxquelles le domaine d'étude doit répondre afin de procéder à l'évaluation des risques.

Tableau 7 Exigences du projet pour la définition des distances : une méthode basée sur le risque

Évaluation des risques	Description
Probabilité d'inflammation	<p>Les probabilités de déclenchement doivent représenter les installations et les opérations et être appliquées en référence à la norme CEI 600079-10-1 pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> A) les zones de danger; B) dans la zone de sécurité ; C) en dehors de la zone de sécurité
Protection des objectifs	<p>L'évaluation des risques doit prendre en compte l'exposition au risque du personnel de premier, deuxième et troisième niveau.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le personnel de premier niveau (équipage et professionnels du soutage) est présent en permanence dans la zone de sécurité pendant le soutage ; • Le personnel de deuxième niveau (opérateur des terminaux et autres équipages) est présent en permanence directement à l'extérieur de la zone de sécurité pendant les phases de soutage ; • Le personnel de troisième niveau (passagers et autres visiteurs du site) peut être présent, mais ne sera pas exposé en permanence à des risques ;
événements en pleine croissance	<p>L'impact sur le personnel doit être évalué en premier lieu en termes d'événements initiaux. Les événements successifs seront à la traîne par rapport au premier, ce qui facilitera l'évacuation et la mise en œuvre des mesures d'urgence.</p>
Scénarios à Défaillances Multiples	<p>Les scénarios de défaillances multiples ne devraient, en principe, pas être nécessaires. Il doit être possible de faire face à tout danger lié à un seul risque. Pour ce qui est des événements ultérieurs, les scénarios initiaux devraient être les principaux points d'enquête.</p>

Évaluation des risques		Description		
Critères de risque	Par exemple, les critères d'acceptation des risques définis par l'annexe A de la norme ISO / TS 18683 et indiqués dans le tableau ci-dessous		Acceptance criteria	Comment
		Individual risk 1 st party personnel	IR < 10 ⁻⁵	Applies to crew and bunkering personnel directly involved in the activity.
		Individual risk 2 nd party personnel	IR < 5 · 10 ⁻⁶	Port personnel and terminal personnel.
		Individual risk 3 rd party personnel with intermittent risk exposure	Risk contour for IR < 5 · 10 ⁻⁶	3 rd party personnel should not have access for prolonged period.
		Individual risk 3 rd party personnel with prolonged risk exposure	Risk contour for IR < 10 ⁻⁶	General public without involvement in the activity. No residential areas, schools, hospitals etc. inside this risk contour.

Source : notre élaboration à partir de EMSA Guidance on LNG Bunkering

4.3.3 Le calcul informatique

Ces dernières années, la modélisation de la CFD est devenue un outil très utile dans de nombreux domaines de la recherche et du développement. Le soutage de GNL ne fait pas exception à la règle et les calculs représentent un mélange entre l'approche déterministe et probabiliste : d'une part, l'objectif du logiciel est de déterminer un modèle plus réaliste ou plus représentatif de la dispersion du nuage de vapeur de GNL, mais, d'autre part, il y a ainsi une série d'hypothèses pour la construction des données d'entrée, et l'analyse ultérieure, qui sont basées sur des scénarios plus ou moins probables. C'est pourquoi il n'est pas rare de les utiliser dans des approches déterministes et probabilistes.

Il existe plusieurs options pour la modélisation informatique des déversements accidentels de GNL pendant les opérations de soutage, qui diffèrent essentiellement par leur niveau d'exigence en termes d'effort de calcul et par la manière dont elles peuvent modéliser avec précision les phénomènes physiques des déversements de GNL dans des conditions spécifiques.

Bien que l'analyse de ces outils et de leurs caractéristiques dépasse le cadre de ce rapport, elle pourrait au contraire être très utile dans le développement futur de ce travail, en définissant les caractéristiques minimales des variables les plus sensibles avec lesquelles ces systèmes logiciels devraient être comparés.

TDI RETE-GNL

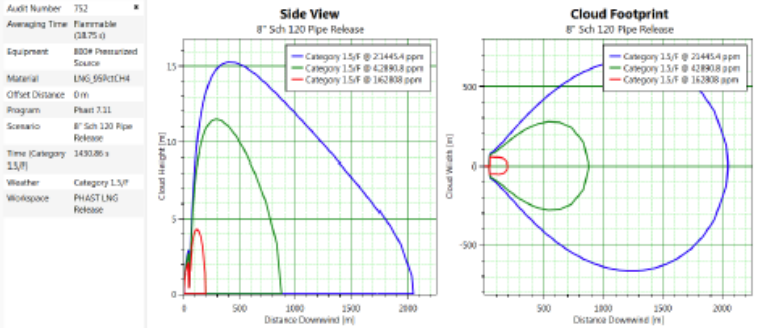
Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

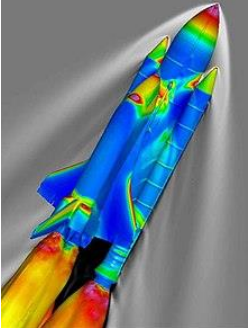
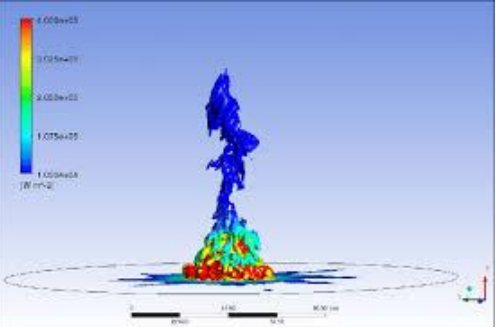


Tous les logiciels actuellement disponibles se prêtent évidemment à être utilisés dans les deux approches mises en évidence, et le choix d'un produit plutôt qu'un autre est fonction des intrants disponibles et de la définition des résultats que l'on veut obtenir, c'est-à-dire, en bref, de la complexité du problème à résoudre.

Cela dit, certains exemples ne sont donnés qu'à titre indicatif des résultats obtenus par les outils logiciels de calcul.

Tableau 8 Caractéristiques des principales tools software

TIPOLOGIE	DESCRIPTION
	<p>Ces modèles combinent la nécessité d'obtenir une modélisation plus détaillée avec la simplification de l'algorithme, de sorte que les coûts de calcul puissent être réduits et que le domaine spatial de l'étude puisse être élargi. Voici des exemples de logiciels : SOURCE5, GASP, SafeSite3G, PHAST, ALOHA, , LNGMAP, et FLACS.</p> <p>PHAST a notamment obtenu une grande visibilité grâce à la possibilité, utile dans les systèmes de soudage, d'envisager des rejets aussi bien dans l'eau que sur le sol et de pouvoir modéliser des flaques qui ne sont pas exclusivement circulaires.</p>
Modèles intégraux	 <p>The screenshot shows the PHAST software interface for an 8" Sch 120 Pipe Release. The parameters listed are: Audit Number 752, Averaging Time Flammable (0.875 s), Equipment 800W Pressurized Source, Material LNG_95021CH4, Offset Distance 0 m, Program Phast 7.3.1, Scenario 8" Sch 120 Pipe Release, Time (Category 1.5/F) 1430.86 s, Weather Category 1.5/F, and Workspace PHAST LNG Release.</p> <p>The Side View graph plots Cloud Height (m) from 0 to 15 against Distance Downwind (m) from 0 to 2000. It shows three curves for different categories: Category 1.5/F @ 21445.4 ppm (blue), Category 1.5/F @ 42890.8 ppm (green), and Category 1.5/F @ 162808 ppm (red).</p> <p>The Cloud Footprint graph plots Cloud Width (m) from -500 to 500 against Distance Downwind (m) from 0 to 2000. It shows three elliptical cloud footprints corresponding to the same categories as the side view.</p>
Box o Top-Hat	<p>Il existe deux types de modèles de type box o top-hat: ceux basés sur des formules gaussiennes modifiées et ceux basés sur le profil de similarité, et se distinguent précisément par la complexité des équations de conservation qui doivent et peuvent être résolues. Parmi les exemples de modèles, citons SCIPUFF, TWODEE, LASTRA, HEGADAS, DEGADIS, ALOHA et GASTAR. LASTRA et ALOHA sont couramment utilisés dans l'industrie en raison de leur temps de calcul plus court et de leur précision acceptable.</p>

TIPOLOGIE	DESCRIPTION
<p>Navier-Stokes CFD Tools</p>	<p>Ces modèles fournissent la description la plus complète de la physique des fluides et des gaz. Le processus de dispersion du GNL est reconstruit sur la base d'équations tridimensionnelles, en fonction du temps et selon le principe de conservation de la quantité de mouvement, de la masse et de l'énergie.</p> <p>Bien qu'ils fournissent une description plus complète des processus physiques disponibles et qu'ils fonctionnent mieux que les modèles box o top-hat, les modèles Navier-Stokes sont les plus exigeants en termes de ressources de calcul, et c'est aussi leur limite actuelle.</p> <p>Exemples de modèles Navier-Stokes pouvant être utilisés dans le cas de gaz à plus forte densité d'air tels que FEM3, FEMSET, FLACS, HEAVYGAS et Zephyr</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>

Source : notre élaboration à partir de EMSA Guidance on LNG Bunkering

4.3.3.1 Comparaison des distances de sécurité

Le tableau ci-dessous contient un résumé des méthodologies présentées dans les paragraphes précédents et utilisées pour le calcul des distances de sécurité.

Tableau 9. Méthodologie de calcul des distances de sécurité

Méthode	Avantages	Inconvénients
Analytique	<ul style="list-style-type: none"> Bon pour une première estimation approximative. Pas besoin de logiciels complexes, compte tenu des principes fondamentaux. 	<ul style="list-style-type: none"> Peut impliquer des calculs mathématiques complexes Difficulté de représentation géométrique des modèles de dispersion Sous réserve d'erreurs
Libération d'un volume piégé	<ul style="list-style-type: none"> Courbes faciles à utiliser, disponibles dans les normes ISO 	<ul style="list-style-type: none"> Manque d'information sur les paramètres

Méthode	Avantages	Inconvénients
Libération continue à pression constante		<ul style="list-style-type: none"> Les scénarios pour (a) et (b) peuvent ne pas être complètement réalistes et extrêmement conservateurs.
Calcul informatique - Intégral	<ul style="list-style-type: none"> Facilité d'utilisation Coût de calcul durable par rapport à des outils informatiques plus complexes (outils CFD). Convient pour la définition de distances de sécurité lorsque les conditions locales ne présentent pas de contraintes compliquées. PHAST a la capacité de modéliser les déversements à la fois sur terre et sur l'eau. 	Généralement limité à la modélisation de réservoirs circulaires, de surfaces planes et au transfert de chaleur uniquement à partir de substrats. Elle peut être insuffisante pour les situations où la modélisation de la Dispersion des flux de vapeur de GNL est principalement non linéaire.
Calcul informatique - Box / Top-Hat	<ul style="list-style-type: none"> Temps de calcul rapide Précision raisonnable. 	<ul style="list-style-type: none"> La perte de la structure complète du nuage de GNL due aux médias. Un terrain complexe ou un terrain autour d'obstacles ne peut pas être modélisé
Calcul informatique - CFD / Navier-Stokes	<ul style="list-style-type: none"> Peut façonner des terrains complexes et contourner les obstacles Interface personnalisée conviviale typique 	<ul style="list-style-type: none"> Un effort de calcul excessif et de longs temps de calcul. Peut introduire des erreurs difficiles à trouver

Source : notre élaboration à partir de EMSA Guidance on LNG Bunkering

4.4 ZONE DE CONTRÔLE ET DE SURVEILLANCE

Contrairement aux zones de danger et aux zones de sécurité, qui sont déterminées par la probabilité d'atmosphères explosives dans les zones de contrôle respectives et la nécessité d'atténuer le risque d'inflammation et d'aggravation des accidents, la **zone de sécurité** tient compte de facteurs externes. Comme défini dans la norme ISO / TS 18683 et ISO 20519 : *La zone de surveillance est une zone où le trafic maritime et les autres activités doivent être surveillés pendant le soutage, en notant qu'elle doit toujours être plus grande que la zone de sécurité.*

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Le terme "surveillé" dans la définition est le terme le plus important pour la zone de surveillance ou de contrôle. Elle attribue généralement aux autorités du système portuaire (AdSP) un autre organisme de contrôle, mais aussi, dans l'absolu, à l'opérateur du système de soutage, la responsabilité de surveiller les activités à proximité du soutage du GNL, en élaborant les mesures nécessaires pour atténuer tout risque que ces activités affectent les opérations de soutage du GNL.

Les objectifs de la zone de surveillance et de contrôle sont donc :

- Définition d'une zone de surveillance des autres activités et opérations à proximité du site de soutage du GNL.
- Identification des risques potentiels pour l'opération de soutage de GNL découlant des activités en cours ou prévues dans la zone portuaire.
- Définition d'une zone où des dispositions spéciaux sont possibles, pour une période limitée, juste avant l'opération de soutage du GNL jusqu'à peu de temps après (du pré-soutage au post-soutage).

Les activités suivantes, en dehors de la zone de sécurité mais à proximité du site de soutage du GNL, doivent être envisagées pendant la construction de la zone de surveillance :

- Autre(s) navire(s) passant à proximité de la zone de soutage.
- Les navires amarrés à proximité de la zone de soutage.
- Installations industrielles, usines et équipements publics et privés (restaurants, centres commerciaux, etc.).
- La circulation routière autour et à l'intérieur de la zone portuaire (également les drones).
- Présence d'activités logistiques (grues et autres opérations de chargement et de déchargement)
- Travaux de construction et d'entretien des infrastructures portuaires
- Présence de services publics, c'est-à-dire d'activités et de sous-services (par exemple, infrastructure de télécommunications).

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

5 APPLICATION PRÉLIMINAIRE DANS LE SECTEUR PORTUAIRE

5.1 ÉVALUATION DES RISQUES

Conformément à l'objectif de ce rapport, nous procéderons à une évaluation des risques des différentes solutions technologiques, en supposant un contexte de mise en œuvre générique.

L'approche suivie sera inévitablement de type hybride ou semi-quantitatif et se fera sur une base déductive, c'est-à-dire qu'à partir d'une phase d'identification du risque qui permettra de considérer différents facteurs en même temps, de manière qualitative, l'événement final sera hypothéqué afin de retracer les événements qui pourraient le provoquer.

Par la suite, la quantification du risque se fera par une formulation quantitative, dans laquelle le risque sera évalué par une fonction $R=f(P,D)$, en utilisant toutefois une méthode simplifiée qui, sans réduire les facteurs d'analyse impliqués, permet une vision synthétique de la perception du risque des différentes solutions technologiques possibles.

Une telle approche semble pouvoir fournir un exemple méthodologique souple et facile à comprendre pour analyser le processus d'évaluation des risques. En fait, il faut se rappeler ce qui est souligné au chapitre 2 concernant les objectifs de l'évaluation des risques, qui, par nature, ne peut aboutir à un résultat fiable sans partir de l'analyse des dangers et de leurs causes de manière spécifique au site.

C'est pourquoi il n'est pas possible de procéder à une analyse des risques dont le premier élément est l'identification des risques communs associés aux opérations des terminaux GNL au niveau des ports maritimes (c'est-à-dire gaz d'évaporation, contact avec le GNL, stratification et rollover du GNL, sloshing, RPT, BLEVE, VCE, Flash fire, Jet fire et Pool fire, Asphyxie), mais il ne sera possible de traiter que certains événements négatifs typiques en relation avec les différents types d'installations, qui peuvent fournir des indications de plus haut niveau sur le niveau de risque des systèmes individuels.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Les phases qui seront développées, en pleine conformité avec les méthodes connues, peuvent être résumées comme suit :

1. Identification des risques : tous les dangers liés à l'activité examinée et les facteurs de risque associés sont systématiquement identifiés (en utilisant la connaissance bibliographique du secteur)
2. Quantification du risque : le risque est estimé pour chaque catégorie de danger identifiée.
3. Évaluation de l'acceptabilité du risque : cette étape consiste à juger du degré d'acceptabilité du risque et à indiquer les situations dans lesquelles des mesures d'atténuation semblent indiquées ou nécessaires.

5.1.1 Identification des risques

Étant donné le niveau général ("élevé") d'application auquel nous procédons, compte tenu également de l'objectif même du présent rapport, il n'est pas possible d'appliquer une méthode HazId complète, mais il est nécessaire de se limiter à une identification des risques par solution technologique basée sur les éléments généralement connus des systèmes et sur les caractéristiques typiques des environnements portuaires de la haute et de la moyenne mer de Ligurie, où le soutage est censé opérer.

Tableau 10. Identification des risques par solution technologique

Technologie de réalisation	Risque identifié
SHIP TO SHIP:	Conditions de mer défavorables (collision) ; Mouvement brusque du navire qui pourrait provoquer une tension excessive sur le tuyau de soutage (rupture de tuyau) ; Perte de GNL pendant le chargement/déchargement ; Augmentation du trafic maritime ; Rupture du réservoir cryogénique ; Incendie ou explosion de GNL accidentellement déversé.
TRUCK TO SHIP:	Rupture du réservoir cryogénique ; Incendie ou explosion de GNL accidentellement déversé ; Effet domino ; Augmentation du trafic routier ; Vulnérabilité aux attaques terroristes.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



Technologie de réalisation	Risque identifié
PORT TO SHIP VIA PIPELINE	Rupture du réservoir cryogénique ; Rupture de conduite ; Incendie ou explosion de GNL accidentellement déversé ; Effet domino ; Vulnérabilité aux attaques terroristes

Source: notre élaboration

Une fois identifiés pour chaque type de soutage les éventuels risques spécifiques liés à chaque solution technologique pour les différents procédés et les différentes phases (voir tableau ci-dessus), il a été possible de les placer en fonction des macro-environnements afin de pouvoir comparer les résultats de l'évaluation préliminaire.

Les macro-zones de risque identifiées sont les suivantes :

1. L'environnement
2. L'usine,
3. Socio-politique,
4. les activités d'interférence interne
5. accidentel externe

Cette catégorisation renvoie évidemment à l'origine de la menace de risque qui pourrait se concrétiser.

Environnement

Tous les événements d'origine naturelle, qui avec leur occurrence, pourraient augmenter la probabilité ou - en cas de calamités majeures - certainement la survenue de défaillances\dysfonctionnements\ ruptures des systèmes constituant l'installation de soutage.

Il est important de souligner que, bien que pour certains types de phénomènes naturels (par exemple la foudre, les inondations, etc.), une atténuation ou une sécurité supplémentaire puisse être prévue, pour certains d'entre eux (par exemple les tremblements de terre, les raz-de-marée), même si l'on

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



procède à une conception, selon des facteurs très prudents, l'efficacité réelle de l'action n'est pratiquement possible qu'après.

Par conséquent, la phase d'autorisation de l'installation devient pertinente, même si ce n'est pas son but, lorsqu'il sera possible de vérifier que tous les éléments cognitifs du contexte territorial (risque hydraulique, risque d'inondation, risque sismique, etc.) ont été dûment pris en compte et évalués.

En outre, ce sous-domaine comprend la menace représentée par le contexte territorial dans lequel les équipements seraient exploités. En fait, il est possible qu'en contiguïté relative avec les zones portuaires identifiées pour le système de GNL, il soit possible de trouver des réalités industrielles, des services et des sous-services, etc., de manière à rendre le risque d'effet domino très pertinent en cas d'accident primaire potentiel sur l'équipement GNL.

Dans le cadre l'usine

Les risques qui peuvent être placés dans l'usine sont attribuables au dysfonctionnement des vannes ou des tuyaux utilisés pour le transport de GNL, ce qui pourrait entraîner des pertes de GNL avec risque d'incendie et / ou d'explosion.

Il est évident que la plupart des menaces potentielles déjà décrites au paragraphe **“Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. – Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.”** et qui sont liées à la partie opérationnelle des activités les plus généralement menées au sein d'un terminal méthanier au niveau des ports maritimes sont évidentes.

Dans le sens absolu, il ne s'agit pas seulement de dysfonctionnements et d'échecs, qui jouent certainement un rôle important, mais aussi d'une mauvaise clarté ou d'erreurs dans les procédures, d'un manque de formation, d'un mauvais entretien des dispositifs de surveillance, d'une superficialité et d'une mauvaise gestion de la routine de travail, ou résumé de l'inefficacité du système de gestion. Cette menace comprend certains des événements les plus importants qui, s'ils sont mal gérés, peuvent entraîner une augmentation considérable de la probabilité d'un accident.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet



La formation de gaz d'ébullition, le contact du GNL avec des systèmes non adaptés aux températures cryogéniques, les situations de transition de phase rapide (RPT) sont des événements en soi, mais peu fréquents dans le fonctionnement d'un système de soutage de GNL et si, d'une part, l'ensemble de l'installation est équipé de capteurs, de soupapes de sécurité, etc. d'autre part, la présence de procédures opérationnelles claires et bien communiquées reste l'outil pour une plus grande maîtrise des risques potentiels.

Cadre Socio-politique

Dans le cadre social/politique, le risque dicté par la vulnérabilité aux attaques terroristes a été pris en compte. Compte tenu des multiples risques liés au bon déroulement des opérations de soutage et de stockage du GNL, une grande partie de la littérature³⁸ a mis en évidence la nécessité de protéger les structures et les installations manipulant ce type de combustible contre les actes de violence ou de terrorisme.

Cela nécessite la mise au point de systèmes et de procédures spécifiques pour la protection des zones et des installations en question ; toutefois, il convient de souligner que les réservoirs au sol pour le confinement du GNL, s'ils sont construits conformément aux règles et réglementations imposées, également pour des raisons de sécurité, nécessitent des systèmes et des équipements peu courants pour leur manipulation.

D'un point de vue théorique, par exemple, l'impact d'un avion à proximité d'un terminal GNL provoquerait d'abord la combustion du carburant de l'avion, et seulement ensuite la vapeur de GNL s'enflammerait en raison de la chaleur développée.

³⁸Danish Maritime Authority, 2012; Foss, 2006

Afin de réduire les risques de dommages aux personnes, aux structures et aux équipements, la définition de distances de sécurité spécifiques (zonage) et de procédures d'autorisation spécifiques pour l'accès aux zones les plus sensibles et les plus critiques est une fois de plus essentielle.

Les inspections, les patrouilles, les plans de sécurité en cas de violation de la sécurité et les systèmes de communication d'urgence constituent d'autres contre-mesures visant à prévenir les attaques terroristes ou d'autres actes violents.

Cadre des Activités interférentes internes

Cela comprend l'ensemble des menaces d'interférence générées par le contexte dans lequel les usines fonctionnent.

Il est évident qu'en réalité les ports ont un scénario opérationnel plutôt hétérogène et articulé, à la fois en fonction des zones individuelles au sein d'une même zone portuaire et entre des zones portuaires géographiquement différentes.

Bien qu'il soit possible de définir au sein de la catégorie, certaines sous-zones, qui prennent encore plus en considération les particularités du site soumis à intervention, ou les activités maritimes ou terrestres, compte tenu de l'objectif de l'évaluation.

Cela dit, il est possible d'inclure dans ce contexte les menaces liées à la logistique, au chargement et au déchargement de conteneurs ou de marchandises, la présence de navires avec des marchandises dangereuses et tous les risques associés de collision avec les véhicules mécaniques de levage et de manutention utilisés pour la gestion de la charge. Il est possible de prendre en considération, plutôt que l'augmentation du nombre de véhicules (moins pertinent puisqu'il s'agit du transport routier, l'incidence de tout "camion" de GNL sur l'ensemble de la logistique portuaire ne semble pas si importante) la présence de véhicules avec charges dangereuses et, de manière similaire au cas maritime, le plus grand risque de collision qui peut être généré par la présence de camions de GNL dans le port.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Cadre accidentel externe

Cela inclut toutes les menaces générées par le contexte urbain dans lequel les usines peuvent fonctionner. D'un point de vue très pratique, il s'agit de la possibilité qu'un événement accidentel en dehors des périmètres portuaires puisse déclencher un effet domino sur le système de GNL.

Des éléments tels que la présence de routes et de chemins de fer, souvent caractérisés par des transports exceptionnels, sont certainement un élément commun, et le scénario dans lequel même un accident insignifiant peut augmenter de manière significative l'image de risque de l'avitaillement ne doit pas être sous-estimé.

De même, les activités sur ou à proximité de l'eau sont également un scénario qui peut aggraver l'évaluation des risques à effectuer avant l'installation d'un bunker. Enfin, il n'est pas rare que d'autres dépôts côtiers et non côtiers, des industries d'exploitation, des terminaux énergétiques pertinents soient présents, dont la présence simultanée explique tous les facteurs de risque individuels qui sont profondément différents d'un cas à l'autre. À la lumière de ce qui a été représenté, dans le Tableau 11, une division des risques dans les zones décrites a été émise comme hypothèse, ce qui permet, avec le niveau de traitement possible dans ce rapport, de comparer les différents profils de risque dans des conditions communes et standard.

Tableau 11. Répartition des risques majeurs en macro-zones

TYPE	ENVIRONNEMENTAL	USINE	SOCIO POLITIQUE	ACTIVITÉS INTERFÉRENTES	ACCIDENTAL EXTERNE
STS	Conditions de mer défavorables (collision) Tremblements de terre Raz de marée	Rupture d'un réservoir cryogénique Incendie ou explosion du GNL déversé Dysfonctionnement des systèmes d'urgence Perte de GNL pendant les phases de chargement/déchargement	Vulnérabilité aux attaques terroristes	Augmentation du trafic maritime	Erreurs de manoeuvre des autres navires présents

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



TYPE	ENVIRONNEMENTAL	USINE	SOCIO POLITIQUE	ACTIVITÉS INTERFÉRENTES	ACCIDENTAL EXTERNE
TTS	L'effet domino Tremblements de terre Raz-de-marée	Rupture d'un réservoir cryogénique Incendie ou explosion du GNL déversé Dysfonctionnement des systèmes d'urgence Perte de GNL pendant les phases de chargement/déchargement	Vulnérabilité aux attaques terroristes	Présence d'activités logistiques dans la zone portuaire (Chargement et déchargement des marchandises)	Possibilité que des véhicules hors de contrôle entrent en collision avec le système
PTS	L'effet domino Tremblements de terre Raz-de-marée	Défaillance du réservoir cryogénique Incendie ou explosion de GNL renversé accidentellement Interférence de travail externe Perte de GNL pendant les phases de chargement / déchargement	Vulnérabilité aux attaques terroristes	Collisions avec des structures fixes de moyens de transport dédiés à la logistique	Possibilité que des véhicules hors de contrôle entrent en collision avec l'installation Présence de sociétés ERIR à proximité des installations

³⁹Source : notre élaboration à partir de EMSA Guidance on LNG Bunkering

5.1.2 La quantification du risque

La méthode utilisée pour simplifier l'évaluation d'une multiplicité de situations et pour identifier, de manière significative, l'estimation et le choix du type de soutage, est celle qui fournit le niveau de risque [R] comme un produit entre la fréquence [F] à laquelle l'événement se produit et la magnitude conséquent [M] :

$$R = F \times M$$

La **matrice des risques** fournira une représentation des dangers découlant de l'occurrence des scénarios accidentels identifiés sans qu'il soit nécessaire de procéder à une évaluation quantitative du risque associé, mais en se fondant sur une évaluation distincte de la fréquence et du niveau de conséquence de chaque événement individuel.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



La matrice a été obtenue en indiquant dans un plan la fréquence prévue de l'événement et la gravité des conséquences associées aux catégories d'accidents identifiées.

La position d'un événement dans la matrice est donc une quantification, même qualitative, du risque qui lui est associé et peut être utilisée pour évaluer l'acceptabilité des dangers associés à l'événement en question, ce qui permet de distinguer tous les scénarios les plus critiques. La fréquence d'occurrence des événements accidentels a été divisée en cinq classes comme suit :

Tableau 12. Classification des fréquences d'occurrence

FREQUENCE F [Scenario/années]	DEFINITION	CLASSE	VALEUR
F >= 1.0 E-03	Un scénario non négligeable	F1	5
1.0 E-04 <= F < 1.0 E-03	Scénario improbable	F2	4
1.0 E-05 <= F < 1.0 E-04	Scénario rare	F3	3
1.0 E-05 <= F < 1.0 E-06	Scénario très rare	F4	2
F < 1.0 E-06	Un scénario extrêmement rare	F5	1

Source: Notre Elaboration à partir des données "General Guidance on Emergency Planning within the CIMAH regulation for chlorine installation CIA" – "Chapitre 2 de l'anneze III al D.P.C.M. 31/03/89" - Décret du ministère des travaux publics du 9 mai 2001, "Exigences min

La classification des dommages utilisée est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13. Classification des dommages

DEFINITION CLASSE	CLASSE DE DOMMAGE	VALEUR
Létalité élevée près de la libération (5 ÷ 15 m), début de la létalité dans les limites de l'installation.	A	1
Létalité élevée dans les limites de l'installation, début de létalité dans les limites de la propriété, blessures irréversibles en dehors de la propriété mais dans les limites du port.	B	2
Létalité élevée dans les limites de la propriété, début de létalité près des bureaux et des salles de contrôle non souillés, effets domino sur les grands réservoirs et les structures élevées, blessures irréversibles en dehors des limites du port.	C	3

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

DEFINITION CLASSE	CLASSE DE DOMMAGE	VALEUR
Létalité élevée dans les zones industrielles en dehors de la propriété, début de létalité en dehors des limites du port.	D	4
Létalité élevée dans les zones non industrielles situées en dehors des limites du port, événements donnant lieu à des surpressions dépassant la pression nominale dans les salles de contrôle soutirées, effets domino sur les grands réservoirs de stockage de produits liquéfiés, début de létalité sur les systèmes de protection (pompes à incendie), début de létalité dans les zones habitables.	E	5

Source : Notre élaboration sur la référence normative Tab.2 D.M. 9/05/2001

Afin de comparer les différents types de soutage, les résultats ont été représentés par des diagrammes de Kivat ou des diagrammes de radar.

Ce type de visualisation permet de comparer les données collectées pour différentes catégories, et permet de montrer de multiples variables sous la forme d'un graphique bidimensionnel de trois catégories ou plus, en les référant à des axes ayant la même origine. Plus vous vous éloignez du centre, plus le phénomène est pertinent, évidemment dans un sens positif ou négatif selon ce que vous mesurez et comment vous l'avez mesuré. Au centre, nous donnons conventionnellement la valeur 0, et tous les segments individuels du graphique augmentent de valeur en fonction du déplacement qu'ils ont vers la périphérie, avec une échelle qui doit être commune à tous les segments individuels. À chaque segment ou rayon correspond donc un élément, généralement qualitatif, et la lecture du graphique qui en résulte est très simple et immédiate, se prêtant facilement à des considérations critiques et stratégiques grâce à la vision large mais synthétique de toute la variabilité du domaine analysé.

Dans l'étude de cas pour chaque système de soutage, le résultat de l'évaluation, à l'aide de différents segments de longueur, des risques individuels identifiés dans chaque domaine a été montré dans le diagramme, en utilisant la matrice des risques.

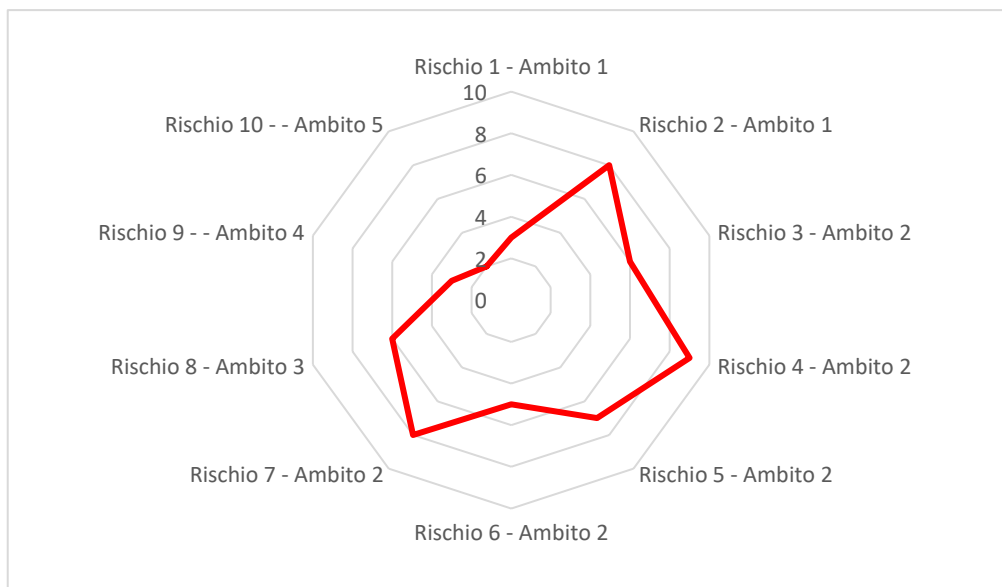
TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



Sur la base du Tableau 11. , pour chaque hypothèse technologique (STS,TTS,PTS), 2 risques dans le domaine macro environnemental, 4 risques dans le domaine macro environnemental , 1 risque respectivement dans le domaine macro social et politique, des interférences internes et des interférences externes accidentelles ont été identifiées. Par conséquent, les dix risques majeurs et les cinq macro-zones de chaque système seront représentés dans le diagramme.

Figure 40. Exemple de diagramme de synthèse pour chaque technologie



Source : notre élaboration à partir e EMSA Guidance on LNG Bunkering

En détail, le diagramme individuel de chaque système permet de comprendre la plus ou moins grande sensibilité du système par rapport à un domaine de macro-risque particulier, mettant ainsi en évidence combien une technologie peut être adaptée de manière préventive à des contextes dans lesquels ces risques peuvent être présents avec une valeur plus ou moins grande que ce qui est généralement évalué dans cette étude.

Le chevauchement, des trois diagrammes, donne une indication claire, par l’empreinte du graphique (ou de la zone circonscrite), de la technologie qui présente un risque global plus élevé et qui présente des macro zones de risque plus critiques que les autres solutions possibles.

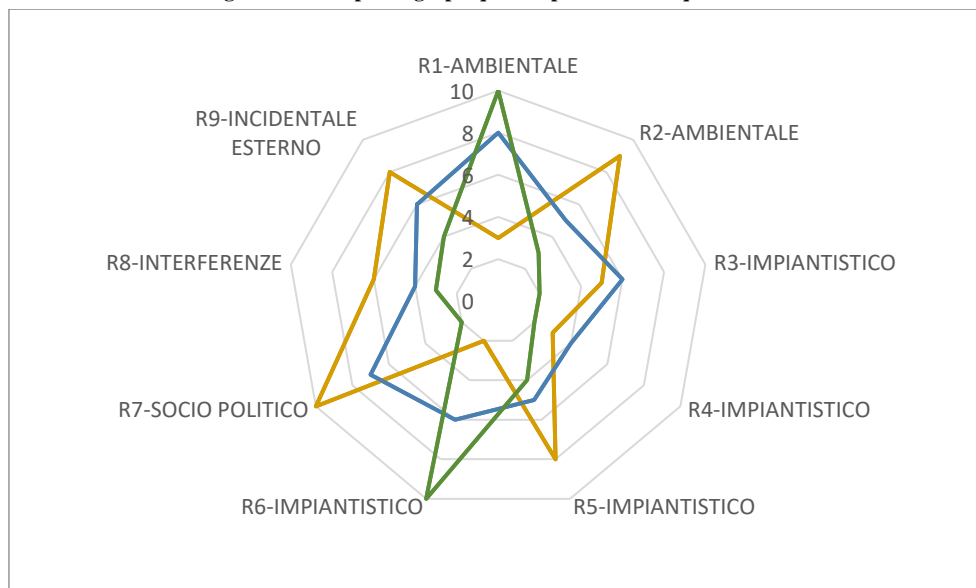
TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet

Comme déjà souligné à plusieurs reprises, il s'agit d'une évaluation qualitative, fournie sur des données bibliographiques et non spécifiques, qui peut sans doute être utile pour cadrer le problème dans l'étude de faisabilité, mais qui doit nécessairement conduire à des évaluations spécifiques et à une analyse du site du projet qu'il est effectivement prévu de réaliser.

Voici un diagramme radar purement illustratif, dans lequel la valeur du risque (de 1 à 5) a été indiquée en ordonnée, tandis qu'en abscisse est indiquée la macro catégorie de risque prise en considération.

Figure 41. Exemple de graphique comparatif des risques évalués



Source : notre élaboration

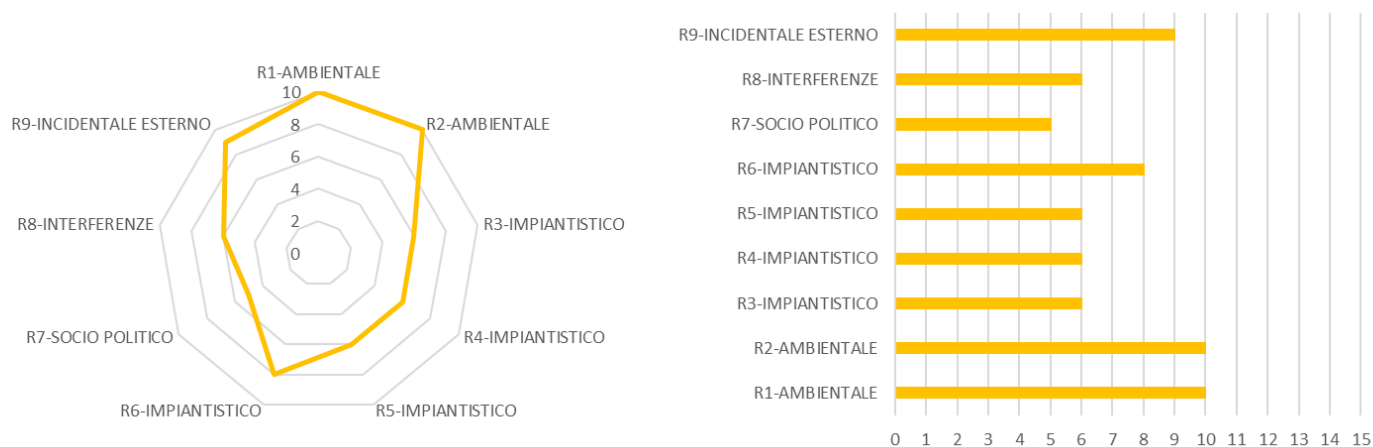
5.1.2.1 Ship to Ship

Tableau 14. Quantification des risques liés aux STS pour chaque macrozone

ID	Cadre du risque	Risque	Frequence	Magnitude	Risque
R1	ENVIRONNEMENTAL	Conditions de mer défavorables	5	2	10
R2	ENVIRONNEMENTAL	Tremblements de terre Raz de marée	2	5	10
R3	USINE	Rupture d'un réservoir cryogénique	2	3	6
R4	USINE	Incendie ou explosion du GNL déversé	3	2	6
R5	USINE	Dysfonctionnement des systèmes d'urgence	2	3	6
R6	USINE	Perte de GNL pendant les phases de chargement/déchargement	2	4	8
R7	SOCIO POLITIQUE	Vulnérabilité aux attaques terroristes	1	5	5
R8	INTERFERENCES	Augmentation du trafic maritime	3	2	6
R9	INCIDENTAL EXTERNE	Erreurs de manoeuvre des autres navires présents	3	3	9

Source : notre élaboration

Figure 42. Diagramme radar se rapportant au soutage Ship to Ship



Source: notre élaboration

TDI RETE-GNL
 Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

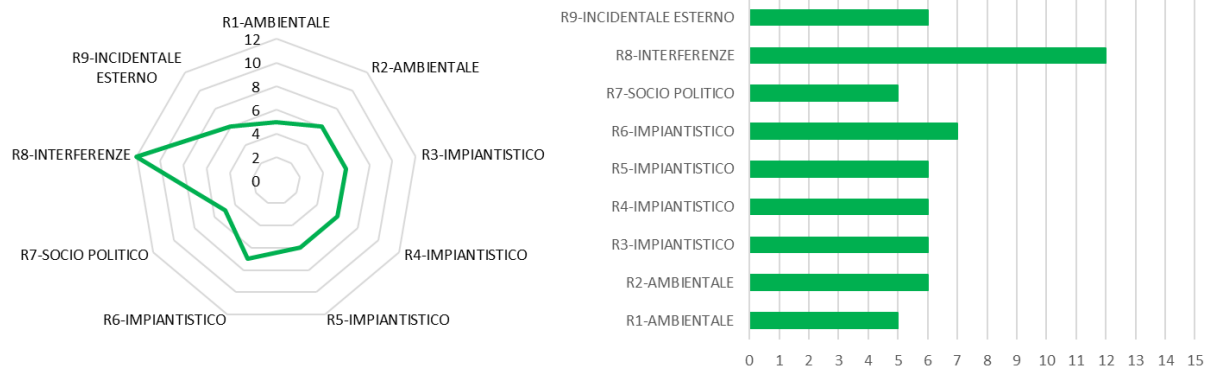
5.1.2.2 Truck to Ship

Tableau 15. Quantification des risques liés aux STT pour chaque macrozone

ID	Cadre du risque	Risque	Fréquence	Magnitude	Risque
R1	ENVIRONNEMENTAL	effet domino	1	5	5
R2	ENVIRONNEMENTAL	Tremblements de terre Raz de marée	2	3	6
R3	USINE	Défaillance du réservoir cryogénique	2	3	6
R4	USINE	déclenchement d'incendie ou explosion de GNL renversé accidentellement.	3	2	6
R5	USINE	Dysfonctionnement des systèmes d'urgence	2	3	6
R6	USINE	Perte de GNL pendant les phases de chargement / déchargement	2	4	8
R7	SOCIO POLITIQUE	Vulnérabilité aux attaques terroristes	1	5	5
R8	INTERFERENCES	Présence d'une activité logistique dans la zone portuaire (Chargement et déchargement de marchandises)	4	3	12
R9	INCIDENTAL EXTERNE	Possible véhicules incontrôlés qui entrent en collision avec l'usine	2	3	6

Source: notre élaboration

Figure 43. Diagramme radar faisant référence au soutage TTS



Source: notre élaboration

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

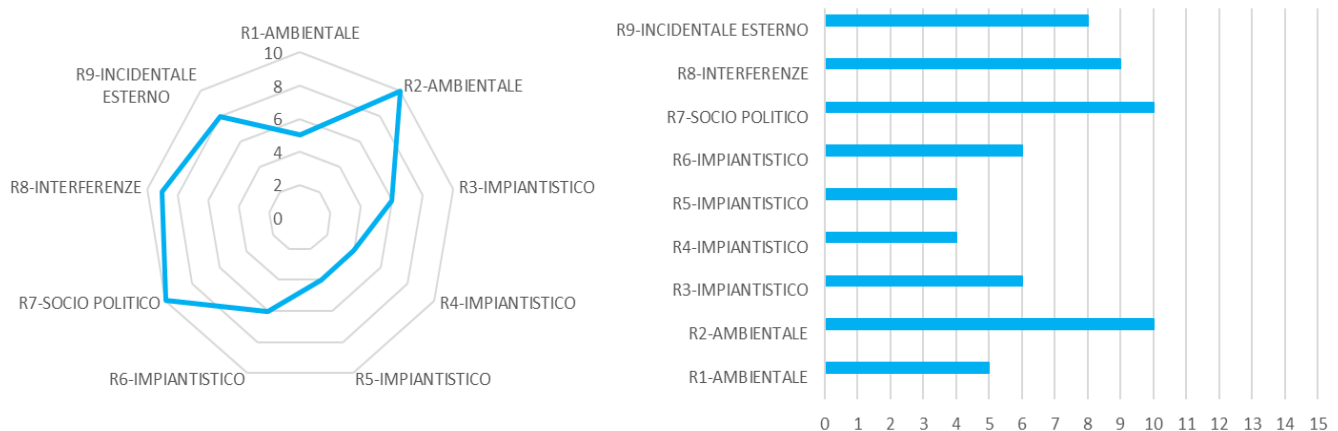
5.1.2.3 Port to ship

Tableau 16. Quantification des risques PTS pour chaque macro-zone

ID	Cadre du risque	Risque	Fréquence	Magnitude	Risque
R1	ENVIRONNEMENTAL	effet domino	1	5	5
R2	ENVIRONNEMENTAL	Tremblements de terre Raz de marée	2	5	10
R3	USINE	Défaillance du réservoir cryogénique	2	3	6
R4	USINE	Incendie ou explosion de GNL renversé accidentellement.	2	2	4
R5	USINE	Dysfonctionnement des systèmes d'urgence	2	2	4
R6	USINE	Perte de GNL pendant les phases de chargement / déchargement	2	3	6
R7	SOCIO POLITIQUE	Vulnérabilité aux attaques terroristes	2	5	10
R8	INTERFERENCES	Collisions avec des structures fixes de moyens de transport dédiés à la logistique	3	3	9
R9	INCIDENTAL EXTERNE	Présence d'entreprises ERIR à proximité des usines	2	4	8

Source: notre élaboration

Figure 44. Diagramme radar faisant référence au soutage PTS



Source: notre élaboration

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

5.1.3 L'acceptabilité du risque

Chaque scénario fortuit identifié est classé selon une paire de valeurs (fréquence, conséquences) et se positionne par conséquent dans l'une des trois régions de la matrice elle-même. En fonction de son positionnement, il est possible de classer le risque comme tolérable, ou de procéder à la définition d'un plan d'amélioration pour réduire le niveau de risque identifié.

La combinaison de la fréquence d'occurrence prévue du scénario et de la gravité des conséquences des scénarios eux-mêmes a ensuite été évaluée au moyen d'une matrice des risques, dans laquelle les trois domaines de risque ont été supposés :

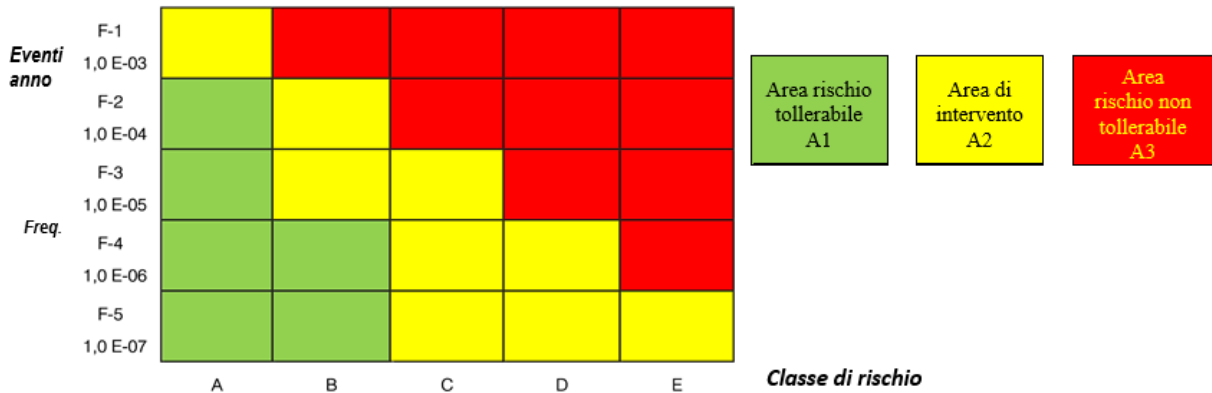
- **A1 zone de risque tolérable** : lorsqu'un scénario est positionné dans cette zone, le risque qui lui est associé est considéré comme déjà suffisamment atténué et donc gérable sans autre intervention.
- **A2 zone d'intervention** : lorsqu'un scénario est positionné dans cette zone, l'intervention avec des mesures de prévention ou d'atténuation selon le concept ALARP/ALARA doit être prévue.
- **A3 zone de risque non tolérable** : lorsqu'un scénario se situe dans cette zone, des mesures de prévention et de protection adéquates doivent toujours être prévues pour l'atténuation des risques et la surveillance du suivi, ainsi que pour la vérification de l'efficacité des mesures correctives, y compris sur des installations similaires.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Figure 46 Matrice d'acceptabilité de risque utilisée

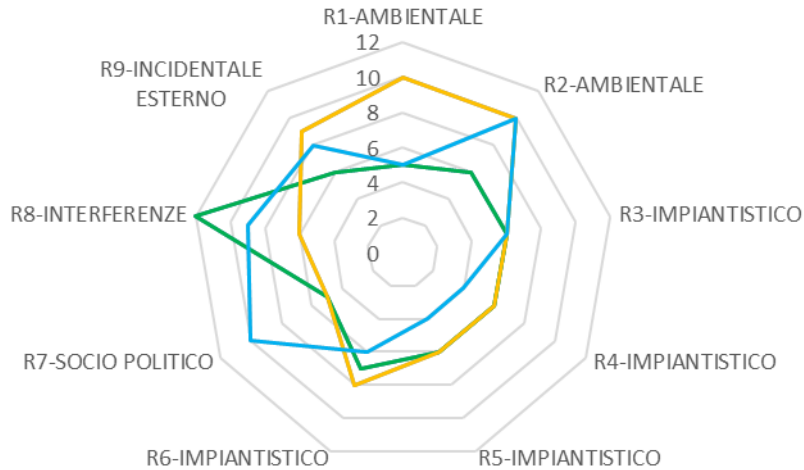


Source : notre élaboration
Tableau 17. Comparaison des risques pour chaque macrozone

ID:RISK	Cadre du risque	SHIP TO SHIP	TRUCK TO SHIP	PORT TO SHIP
R1	ENVIRONNEMENTAL	10	5	5
R2	ENVIRONNEMENTAL	10	6	10
R3	USINE	6	6	6
R4	USINE	6	6	4
R5	USINE	6	6	4
R6	USINE	8	8	6
R7	SOCIO POLITIQUE	5	5	10
R8	INTERFERENCES	6	12	9
R9	INCIDENTAL EXTERNE	9	6	8

Source: notre élaboration

**Figure 45. Diagramme radar se référant au soutage de STP
STS en jaune - TTS en vert -PTS en bleu**



Source: notre élaboration

L'évaluation des risques menée ici de manière qualitative, presque à titre d'illustration, ne peut pas remplacer le processus d'analyse et d'évaluation détaillé qui doit être élaboré dans chaque projet de soutage individuel.

Les indications que l'on peut tirer de la quantification effectuée permettent toutefois de développer un schéma de principe qui, par rapport à toutes les méthodologies possibles décrites, est mieux à même de combiner les outils les plus appropriés pour décrire de manière conservatrice mais réaliste, simplifiée mais précise, les scénarios de fonctionnement des systèmes de soutage

Ce schéma peut être décrit comme suit :

1. Identification des événements fortuits de référence, en relation avec les résultats de l'analyse systématique (HazID) et de l'analyse d'opérabilité (HazOp).

2. Estimation de la fréquence d'occurrence de l'événement accidentel, en utilisant la technique de l'arbre de défaillance et l'utilisation de bases de données, suivie de l'évaluation de la crédibilité de l'événement.
3. Définition des termes sources de l'événement incident, calcul du taux de rejet et évaluation de la dynamique du rejet.
4. Identification des scénarios fortuits et calcul de leur fréquence d'occurrence, en utilisant la technique de l'arbre d'événements, suivi de l'évaluation de la crédibilité du scénario.
5. Évaluation des distances de dommages associées à des scénarios d'incidents crédibles, par l'application de modèles mathématiques et la représentation ultérieure des zones de dommages sur le plan.
6. Évaluation des "effets domino" potentiels de scénarios d'incidents crédibles.
7. Évaluation des conséquences associées aux scénarios environnementaux.
8. Évaluation de l'impact associé aux événements naturels.

À cet égard, il convient de noter que l'application de ces méthodologies est reconnue globalement, mais que la législation italienne en vigueur n'exige pas nécessairement leur utilisation pour le développement de l'analyse de risque conformément au décret législatif 105/2015 (réf. Rapport de sécurité en vertu de l'article 15 du même décret).

La page suivante présente le schéma logique de développement de l'évaluation des risques, dans lequel pour chaque étape les outils d'étude utilisés sont mis en évidence.

Tableau 18. Système d'évaluation des risques à appliquer dans le soutage

N.	Phase	Technique	Documents de base
1	Identification/sélection de l'événement accidentel	<ol style="list-style-type: none"> Analyse d'opérabilité (HAZOP) Méthode d'indexation pour l'identification des zones critiques Analyse historique interne et externe 	<ol style="list-style-type: none"> Schémas de processus, données de conception et de fonctionnement Schémas de processus, données de conception et de fonctionnement Collecte d'informations à partir d'événements historiques au sein de l'usine et de bases de données internationales
2	Fréquence de l'événement accidentel	<ol style="list-style-type: none"> Arbre de défaillances (événement de processus) Libération de la ligne/équipement (événement aléatoire) 	<ol style="list-style-type: none"> Taux de défaillance des systèmes d'instrumentation et de processus Taux d'échec pour les pertes aléatoires
3	Termes sources de l'incident	Définition des conditions d'exploitation (composition, pression et température) régissant le taux de libération de la substance dangereuse	Diagrammes de processus, données sur les installations
4	Fréquence des scénarios d'accident alternatifs	Arbre des événements	Probabilité d'inflammation de la substance dangereuse libérée dans l'atmosphère
5	Conséquences des scénarios d'accident	Modélisation physique des conséquences des scénarios d'accident possibles (incendie, explosion, dispersion toxique)	Conditions météorologiques dans la région, disponibilité de systèmes de détection des substances dangereuses dans l'air, présence de systèmes d'atténuation et de confinement
6	Effet domino (domino interne et domino externe)	<p>Estimation de la propagation possible des effets d'un scénario d'incendie (fréquences et conséquences) par rapport à :</p> <ol style="list-style-type: none"> équipement / matériel / personnel à l'intérieur de l'usine. des installations, des équipements ou du personnel sur des éléments territoriaux voisins à l'extérieur de l'établissement 	<ol style="list-style-type: none"> Disposition des systèmes, analyse des systèmes de protection active et passive contre l'incendie, cartographie des scénarios d'accident et durée des systèmes de protection contre l'incendie Plan de l'établissement avec indication des éléments territoriaux particulièrement vulnérables et/ou sensibles, cartographie des scénarios accidentels et de leur durée
7	Scénarios environnementaux	Estimation des conséquences possibles du rejet de substances écotoxiques	Caractéristiques du sol et du sous-sol

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



N.	Phase	Technique	Documents de base
8	Risques naturels	L'évaluation des risques liés à des événements naturels particuliers (par exemple, un tremblement de terre, une tornade, etc.)	Analyses historiques liées au domaine et bibliographie spécialisée sur le sujet.
9	Présentation du risque	Combinaison de la fréquence et des conséquences de chaque scène fortuite.	Critères d'acceptabilité du risque.

Source: notre élaboration

5.2 LA MISE EN PLACE DE ZONES DE CONTRÔLE

Au-delà des définitions géométriques, qui dépendent comme nous l'avons vu du projet de soutage individuel, il y a d'autres aspects de la mise en œuvre des zones de contrôle dans l'environnement portuaire qui doivent être évalués avec une attention particulière.

Chaque réalité portuaire présente à toutes fins utiles des situations singulières, avec des contraintes opérationnelles différentes et la proximité de zones anthropisées.

Il convient donc, en évaluant l'installation de systèmes de soutage dans les zones de sélection du projet de recherche, de traiter les deux critiques les plus courantes que l'on peut trouver :

- 1) la proximité des voies publiques
- 2) la proximité des activités commerciales et résidentielles
- 3) la présence d'autres navires qui traversent la zone de sécurité

Ces caractéristiques distinguent toutes les zones portuaires présentes dans la haute mer Tyrrhénienne et la mer Ligure, à de très rares exceptions près, et sont le résultat du conditionnement donné au développement urbain par la morphologie du territoire.

Le thème mériterait sans doute une discussion plus approfondie qui rappelle les raisons historiques et culturelles qui pourraient résumer le chemin parcouru jusqu'à nos jours, contexte dans lequel il est évident de trouver la présence de zones portuaires situées à proximité du tissu urbain et des citoyens et, également, la disponibilité de quais et de zones en mer de plus en plus réduites et difficiles à satisfaire les besoins du transport maritime.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



Proximité des axes routiers

Dans les cas où la zone de sécurité est traversée par des routes qui ne peuvent être fermées à la circulation pendant de longues périodes pour des raisons d'ordre public, la solution consiste à créer des carrefours à feux spécifiques.

Les carrefours doivent être situés sur l'infrastructure entourant la zone de sécurité, en un point situé en dehors de la zone de sécurité mais raisonnablement proche de celle-ci, ce qui permet néanmoins la mobilité du flux de trafic.

Les installations de feux de signalisation n'interviendront qu'en cas d'accident, interrompant le passage des véhicules dans la zone de sécurité et assurant ainsi la protection des personnes présentes sur le transport. Le système de contrôle doit nécessairement être intégré au système d'alerte et son fonctionnement doit être assuré dans toutes les conditions de fonctionnement (par exemple, en cas de panne électrique).

Figure 46. Exemples de proximité avec le port de la ville (La Spezia - Gênes - Cagliari - Ajaccio - Savone)



TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet





Source: <https://liguria.bizjournal.it/2016/09/la-spezia-mef-approva-bilancio-2015-dellautorita-portuale/>, <http://www.logisticadigitale.it/> -
 (Autore: Chialastri), <http://www.ilnautilus.it/?p=27833>, <https://www.sardiniapost.it> <http://www.savonauno.it/> (Autore: merlofotografia) -
<https://www.corsicaoggi.com>

Proximité des activités commerciales et résidentielles

Bien que les normes ISO/TS 18683 et ISO 20519 définissent les zones de sécurité comme des zones autour du poste de soutage où seuls le personnel spécialisé et les activités essentielles sont autorisés pendant les activités de soutage, comme dans le cas précédent, la zone de sécurité peut comprendre des installations commerciales et résidentielles.

Dans ce cas, les opérations de ravitaillement et de soutage doivent avoir lieu de préférence en dehors des heures de pointe ou aussi loin que possible des heures de pointe et du trafic maximum.

Cette modalité ne résout cependant pas la situation de manière complémentaire et bien qu'il soit possible d'équiper les structures des bâtiments concernés, dans des cas isolés, de systèmes d'alerte, il

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

est préférable de procéder à des actions d'atténuation qui permettent de ramener l'extension des zones de sûreté dans les périmètres de la zone portuaire.

Présence d'autres navires

Un autre point critique possible lors de la mise en œuvre des zones de contrôle et de sécurité concerne la possibilité que les navires doivent traverser ou opérer dans la zone de sécurité pendant les activités de soutage.

Bien que cette situation doive être abordée dans le cadre d'une évaluation des risques, les figures ci-dessous illustrent quelques situations possibles où un navire (identifié comme numéro 3) se trouve dans la situation de devoir traverser la zone de sécurité pendant des opérations de soutage.

La situation met également en évidence la présence de deux autres navires : un à quai, dans la zone de sécurité et identifié par le n° 4, et un autre à proximité de la zone de sécurité (identifié par le n° 6).

Pour le navire n° 3, en situation "A", le chenal présent ne permet aucune possibilité de déroutement alors qu'en situation "B", le miroir d'eau est suffisamment grand pour obliger le navire à s'écarter de la zone de sécurité établie pour l'opération STS.

Il est clair que le passage à travers la zone de sécurité devrait être inévitable (cas A), la seule solution viable serait dans le système de procédures à mettre en place, c'est-à-dire rendre les limites de la zone de sécurité clairement visibles et faire en sorte que le navire trace le chemin le plus rapide à travers celle-ci sous contact radio étroit et de la manière la plus sûre possible.

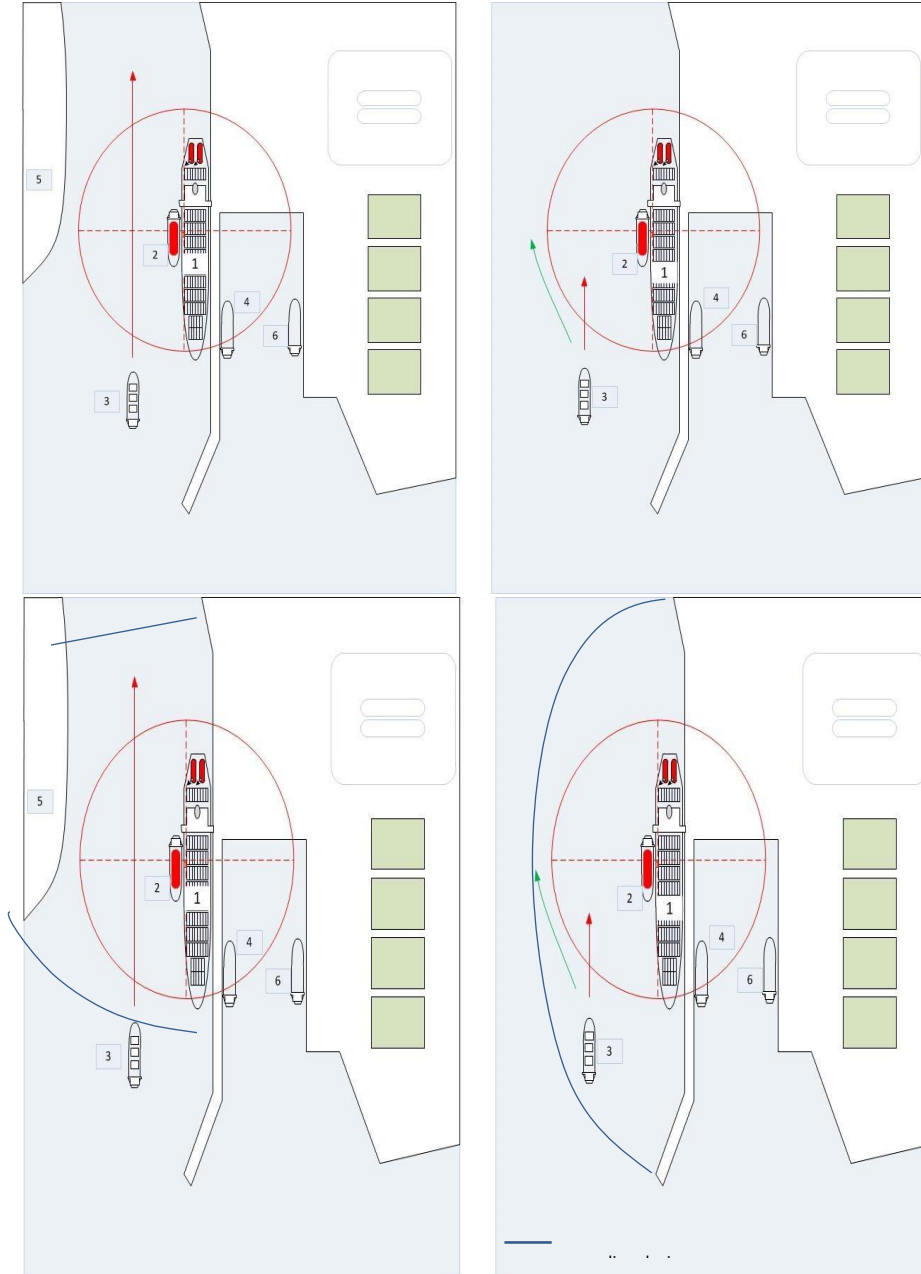
Une alternative serait de créer une zone d'exclusion marine, telle que définie par les lignes directrices SGMF v2 (cas C) en introduisant formellement une plus grande fragmentation des activités et opérations portuaires, mais en permettant formellement d'exclure tout passage dans la zone de sécurité.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Figure 47. Situation de la traversée de la zone de sécurité par un navire - STS



Source : Reproduction à partir de EMSA Guidance on LNG Bunkering

TDI RETE-GNL
 Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet

6 CONCLUSIONS

Le présent document a été élaboré suite à l'attribution, par l'Université de Gênes, du service d'activité de recherche pour l'évaluation des externalités et des impacts environnementaux dans le cadre du projet européen INTERREG ITA-FRA Marittimo 1420 "Technologies et dimensionnement des installations pour le réseau primaire de distribution de GNL dans les ports de la zone transfrontalière (acronyme TDI RETE-GNL)", dont il constitue le Livrable T.2.4.1.

En détail, l'objectif du document est de produire un rapport visant à définir des critères pour l'analyse, l'évaluation et la classification des risques liés aux différentes configurations de soutage de GNL (STS-TTS-PTS-citernes mobiles), ainsi que de fournir d'éventuels indices méthodologiques pour répondre aux spécificités des zones portuaires concernées.

Le stockage et l'utilisation du gaz GNL nécessitent donc des installations et des mesures de gestion qui ne coïncident pas parfaitement avec celles qui caractérisent le stockage du méthane en phase gazeuse et GPL, dont les caractéristiques, y compris celles des installations, sont désormais normalisées et connues des techniciens qui travaillent à l'évaluation et à l'analyse des projets de construction des dépôts concernés.

L'analyse des risques est désormais reconnue comme l'une des étapes fondamentales de la conception d'un système technologique, car elle permet d'identifier les éléments de sécurité à inclure et les procédures avec lesquelles gérer leur fonctionnement. Compte tenu de la complexité, et par conséquent de la connaissance incomplète, des phénomènes en jeu et des paramètres qui influencent leur évolution, il est essentiel de fournir une évaluation adéquate des méthodes associées au processus de quantification du risque d'un système.

Partant du concept de risque, les différents outils d'investigation et modèles mathématiques capables d'analyser et d'évaluer de manière réaliste les performances d'un système, tant dans les conditions opérationnelles que dans la correspondance avec les états incidents, en termes quantitatifs et qualitatifs, ont été abordés.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Bien qu'il soit bien connu que la réalisation d'une analyse des risques pour un système complexe nécessite une large base d'informations de conception de la part de l'analyste, ainsi que la capacité d'approfondir les informations disponibles avec une expertise supplémentaire et des données spécifiques au site, l'objectif principal de ce travail, à savoir fournir une analyse critique des différentes phases de l'analyse des risques pour identifier les principales particularités dans l'application au soutage du GNL, a été atteint.

Ce qui ressort des différents chapitres du rapport et des différentes phases du processus d'analyse des risques est la grande variété d'outils qui, à différents niveaux, peuvent fournir des résultats fiables et fonctionnels au niveau de profondeur et de détail qui est abordé.

Il est nécessaire qu'une installation définisse précisément le système d'un point de vue technique et fonctionnel (*disposition, composants, système de contrôle, procédures d'exploitation, etc.*), le site où le système est situé (*météorologie, démographie, présence d'infrastructures, etc.*), les informations sur les procédures de gestion et de maintenance, les interfaces et les "limites de la batterie" du système.

Que l'évaluation soit menée avec des approches qualitatives ou quantitatives, elle doit pouvoir examiner tous les aspects techniques et fonctionnels du système (*en termes de composants présents et de leurs modes de défaillance, de processus mis en œuvre et d'écarts éventuels, de présence d'événements extérieurs au système susceptibles de provoquer des accidents, de procédures de gestion opérationnelle et/ou de maintenance*) qui, en cas de défaillance, peuvent déclencher des événements graves.

Bien que les conséquences puissent être estimées par des simulations, au moyen de modèles physico-mathématiques appropriés, d'hypothèses prudentes, etc., une fois que toutes les conséquences des différents scénarios d'accident identifiés ont été évaluées, il est essentiel de ramener les termes des phénomènes physiques (surpression, irradiation, concentration de polluants, etc.) aux concepts de dommages réels pour la population, l'environnement, les structures, etc.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet

Ce n'est en fait qu'à ce stade que l'évaluation du risque réel a lieu, en utilisant des matrices de risque permettant de définir les événements les plus pertinents, sur la base d'estimations de la fréquence d'occurrence et de l'intensité des dommages. L'estimation ou le calcul, respectivement le résultat d'une méthode déterministe ou probabiliste, de la valeur du risque permet de comparer le nombre avec des critères d'acceptabilité appropriés qui doivent prendre en compte à la fois les effets sur l'individu et sur la population (risque individuel et risque social).

À la suite de cette analyse détaillée, il a également été possible de procéder à une évaluation des risques de haut niveau dans le contexte du soutage du GNL, en mettant en évidence certains des risques spécifiques et en obtenant des indications, se référant aux catégories de macro-risques et fonction de l'option technologique adoptée, utiles à tous les acteurs impliqués dans les projets d'installation.

Les **zones de contrôle** ont ensuite été définies, sans doute la question la plus pertinente parmi celles relatives au soutage du GNL. De nombreuses garanties en termes de sécurité peuvent être maintenues grâce à la présence de zones de contrôle à la dangerosité croissante, capables d'atténuer par des règles et des procédures les risques qui découlent de rejets de GNL potentiellement dangereux, de dommages potentiels extérieurs au soutage du GNL, de manœuvres opérationnelles incorrectes.

Les **méthodes de classification des zones à proximité et devant les installations** ont donc été contextualisées par rapport aux différentes solutions technologiques, en définissant, conformément aux différentes références industrielles, l'étendue des zones de dommages à respecter, et en soulignant pour chacune d'elles la nécessité de mesures spécifiques en matière d'installation, de gestion opérationnelle et de formation du personnel.

Il a ensuite été souligné que l'évaluation des risques est inévitablement conditionnée par les spécificités de la zone géographique et c'est pourquoi certains des facteurs de typicité de la zone maritime transfrontalière IT-FR du nord de la Méditerranée qui peuvent influencer la mise en œuvre de la méthode ont été brièvement abordés, en se concentrant notamment sur les caractéristiques territoriales de la zone couverte par le projet européen INTERREG ITA-FRA pour l'Italie : Sardaigne,

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



Toscane et Ligurie, en termes de réglementation, de technique, de situation géographique et de conformation orographique.

En conclusion, l'analyse des risques est sans aucun doute un élément de protection prioritaire pour toute la communauté affectée par le projet individuel de soutage de GNL, mais en même temps, c'est un soutien considérable pour parvenir à l'acceptabilité sociale.

Une évaluation des risques, exprimée avec la bonne forme de communication, est fondamentale pour transmettre au public, souvent composé non pas d'initiés mais de personnes sensibles aux questions de sécurité et de protection de l'environnement, l'extrême attention avec laquelle tous les événements négatifs les plus impensables des centrales sont confrontés et gérés dès les phases de conception, de développement et de construction, tout en prévoyant tout type de système, de procédure, d'action qui puisse minimiser à la fois la probabilité d'occurrence et les effets de ces événements désagréables.

TDI RETE-GNL

Produit T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
Contribution du partenaire du projet



7 BIBLIOGRAPHIE

1. *Carpignano A., Il rischio tecnologico, in: Pianificazione del Territorio e Rischio Tecnologico, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Politecnico e Università di Torino, CELID, 2002.*
2. *Kletz T., HAZOP & HAZAN, The Institution of Chemical Engineering, England, 1986.*
3. *Knowlton R.E., Hazard and Operability Studies – the guide word approach, Chemetics International.*
4. *Byongug Jeong, Byung Suk Lee, Peilin Zhou & Seung-man Ha (2017) - Evaluation of safety exclusion zone for LNG bunkering station on LNG-fuelled ships, Journal of Marine Engineering & Technology, 16:3, 121-144, DOI: 10.1080/20464177.2017.1295786*
5. *ISO. 2015. TS 18683: guidelines for systems and installations for supply of LNG as fuel to ships. Geneva: ISO*
6. *Bellezza, M. Binda, S. Contini, G. Spadoni, A GIS Based Software Tool for Risk Assessment and Management in Industrial Areas, ESREL '98 Conference, Trondheim, Norway, 1998.*
7. *Improving Prevention and Mitigation Efforts Related to Accidental Releases of LNG - Jesse Brumbaugh, P.E.†, John Burgess, P.E., Keith Farrell - Smith & Burgess Process Safety Consulting*
8. *EMSA Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities/Administrations*
9. *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, AIChE, 1989.*
10. *ABS. 2014. Bunkering of Liquefied Natural Gas-fuelled Marine Vessels in North America. Houston, TX: ABS*
11. *Messina S., Piccinini N., Cappellini G., Valutazione probabilistica di rischio, 3ASI, 1987.*
12. *Amendola A., Contini S., Ziomas I., Uncertainties in chemical risk assessment: results of a European benchmark exercise, Journal of Hazardous Materials, 29 (1992), 347-363.*

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.3 "Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation environnementale"
 Contribution du partenaire du projet



13. Lauridsen K., Christou M., Amendola A., Markert F., Kozine I., Fiori M., *Assessing the uncertainties in the process of risk analysis of chemical establishment: Part I, European Safety & Reliability International Conference ESREL 2001, Torino, settembre 2001.*
14. *Committee for the Prevention of Disasters, Guidelines for Quantitative Risk Assessment – Purple Book – CPR 18 E, 1999, Sdu Uitgevers, Den Haag.*
15. *E.C. Joint Research Centre – Institute for the Protection and Security of the Citizen, Protezione Civile – Regione Emilia Romagna, DICMA - Università di Bologna, ARIPAR System for area risk analysis and control – Reference Manual – Version 3.1, 2004.*
16. *ARPA Veneto, Ente della Zona Industriale di Porto Marghera, Studio Integrato d’Area di Porto Marghera, Servizio Rischio Industriale e Bonifiche (SRIB), 2005, Venezia.*
17. *Snamprogetti, Confindustria Siracusa, Studio di Sicurezza Integrato di Area – Priolo – Melilli – Augusta, Novembre 2007.*
18. *Terminal GNL nel Porto Canale di Cagliari – ISGAS ENERGIT MULTIUTILITIES S.p.A.- Studio ICARO - Linea guida per l’elaborazione dell’analisi di rischio, nell’ambito della prevenzione dei rischi di incidente rilevante.*
19. *Softec- Autorità Portuale di Livorno - Definizione dei rischi operativi del porto di Livorno per l’identificazione di una rete sensoristica portuale*

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
 Contribution du partenaire du projet



ANNEXE 1




TDI RETE-GNL
Produit T2.4.3 “Lignes directrices sur la méthodologie de l’ACV dans les systèmes d’évaluation environnementale”
Contribution du partenaire du projet



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

Rév	Date JJ/MM/AA	OBJET	REDIGE (nom & visa)	VERIFIE (nom & visa)	APPROUVE (nom & visa)
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

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 événements 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 souleveur
- 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 réglementaires (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.

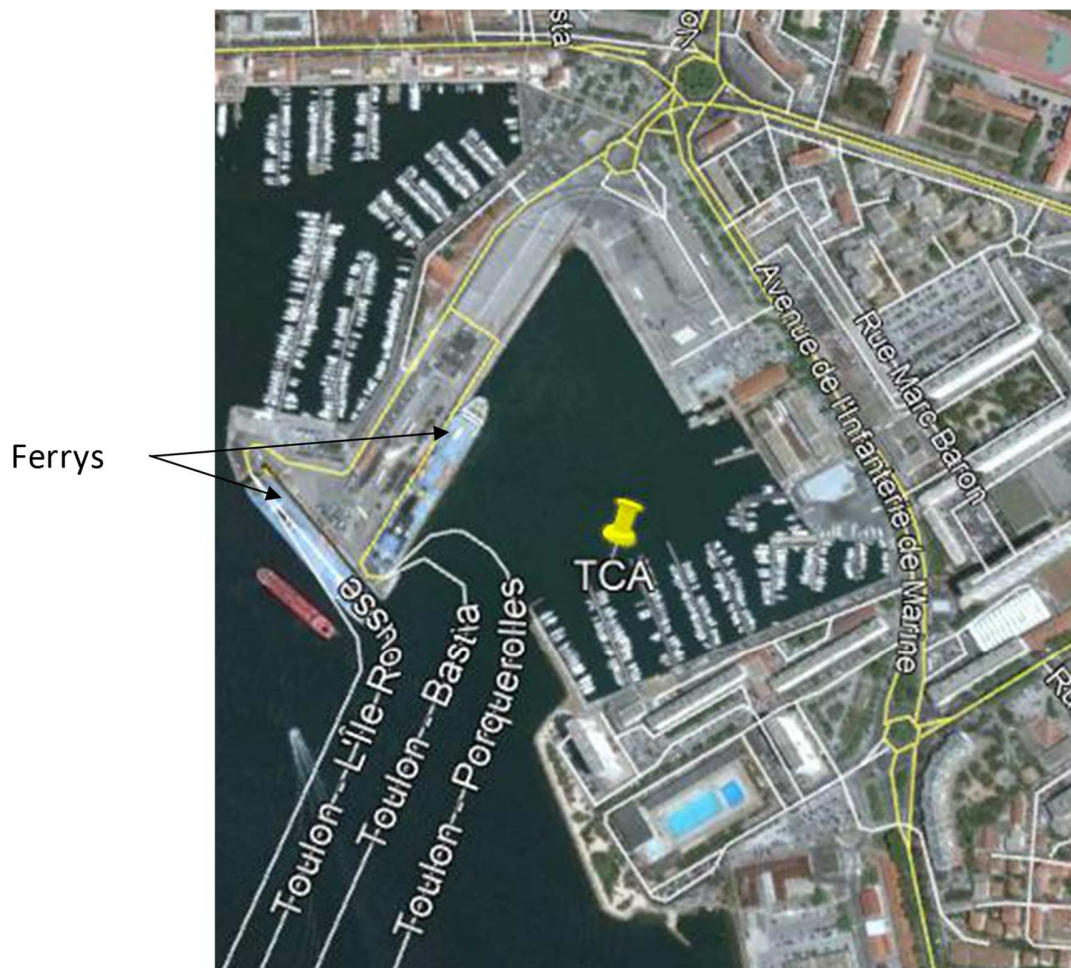


Figure 3 : Le port Toulon Cote d'Azur et son environnement proche

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.

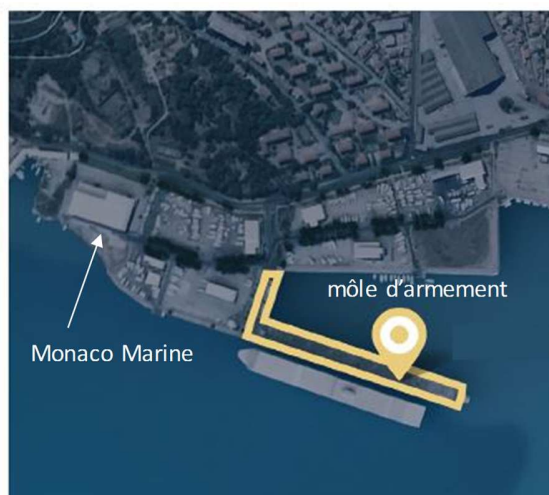


Figure 5 : Localisation approximative du site de Monaco Marine

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.

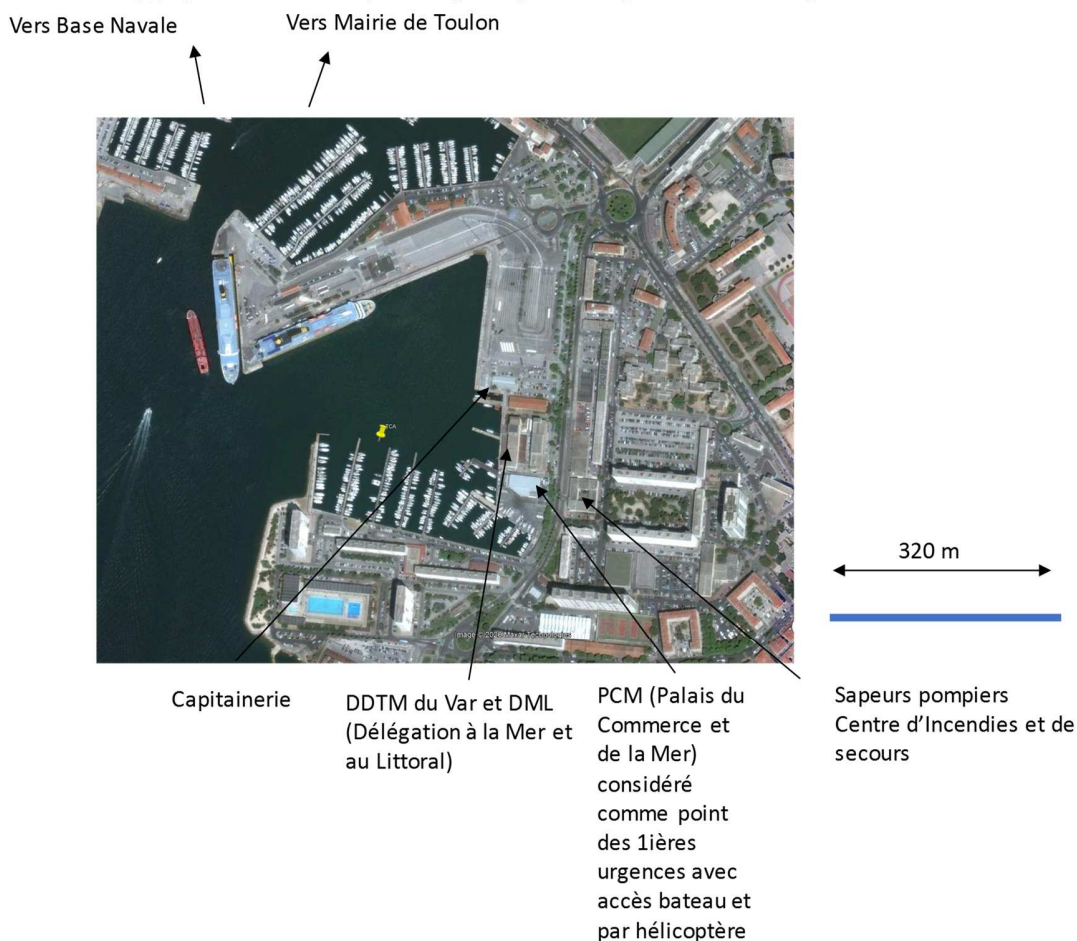


Figure 6 : Enjeux typiques à protéger autour du Terminal TCA

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.

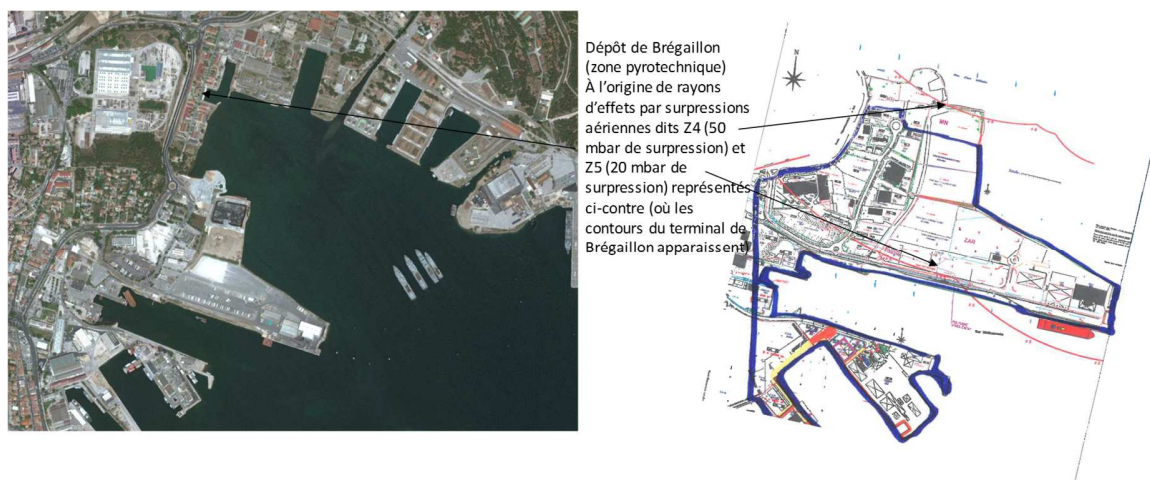


Figure 7 : Terminal de Brégaillon et Dépôt de Bréaillon

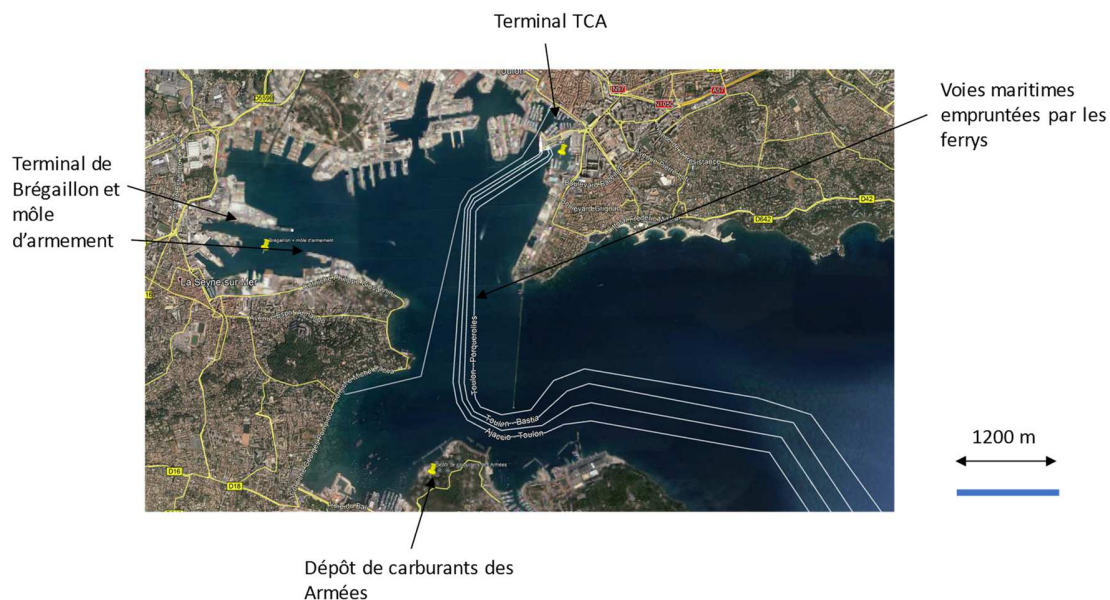


Figure 8 : Dépôt de carburant des armées et voies maritimes des ferrys

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.

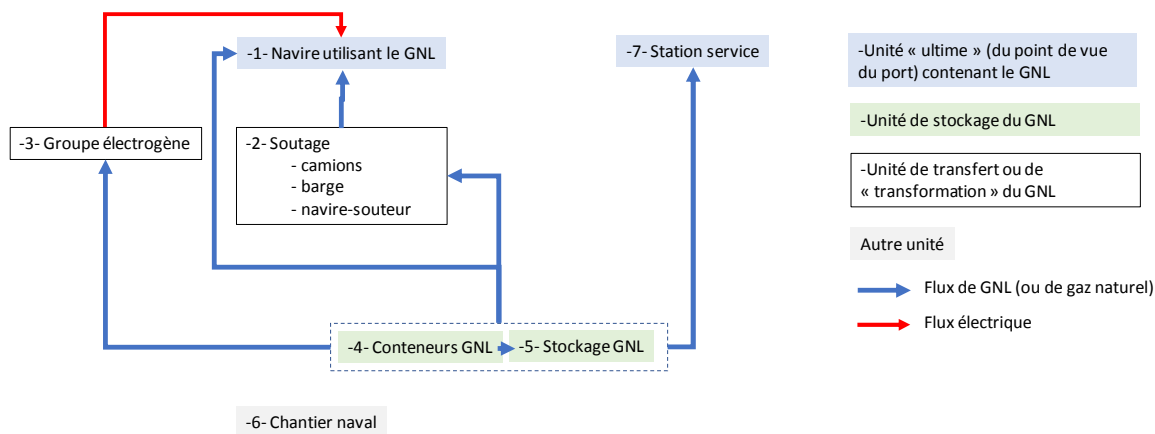


Figure 9 : Installations et opérations à considérer

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.

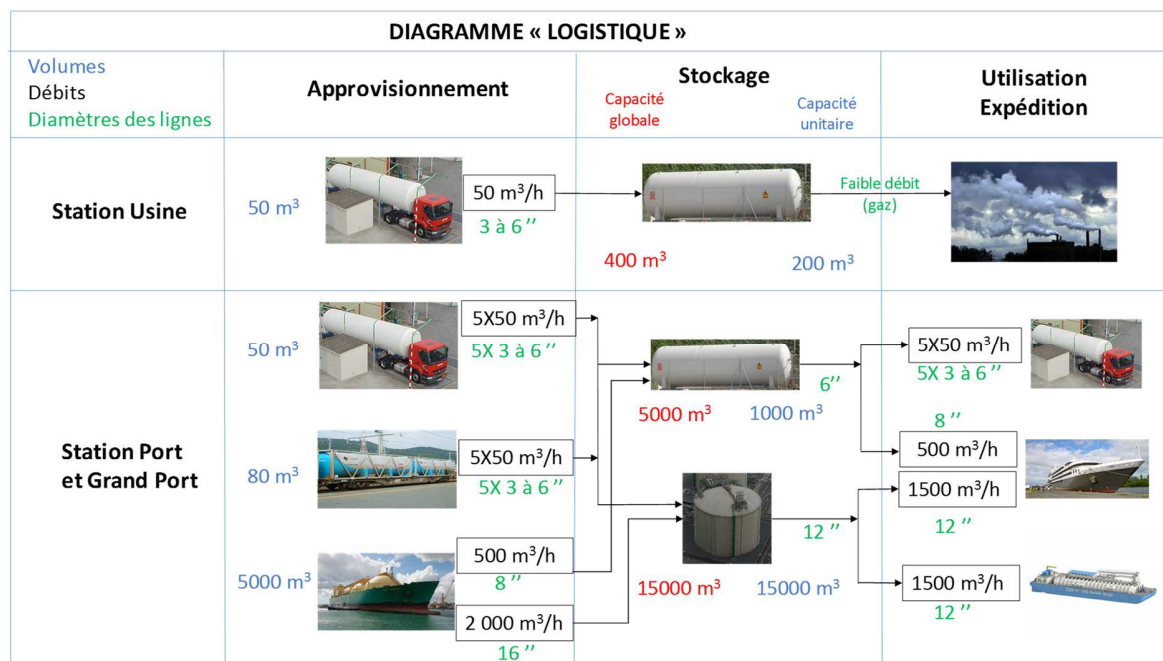


Tableau 2 : Les différentes stations satellites GNL selon la « logistique » à satisfaire

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.

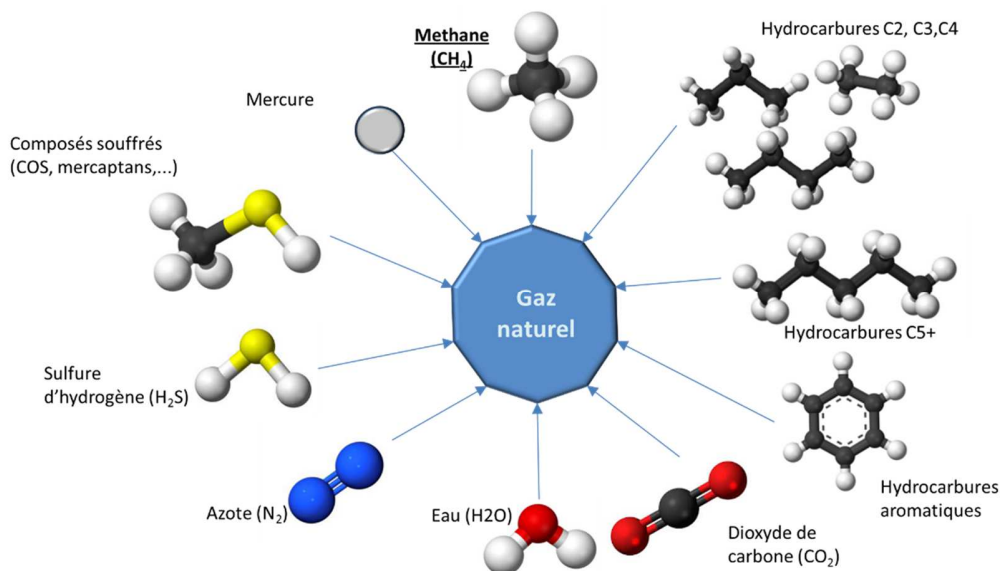


Figure 10 : Composition d'un gaz naturel

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.

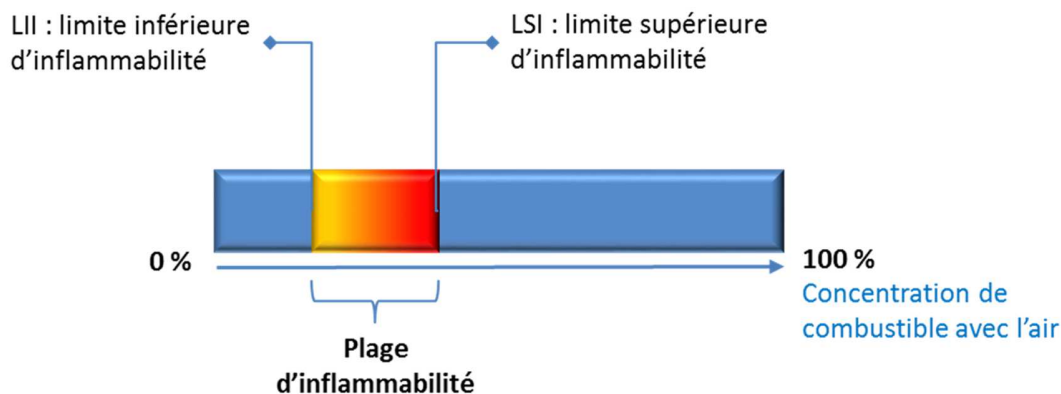


Figure 11: Plage d'inflammabilité

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.

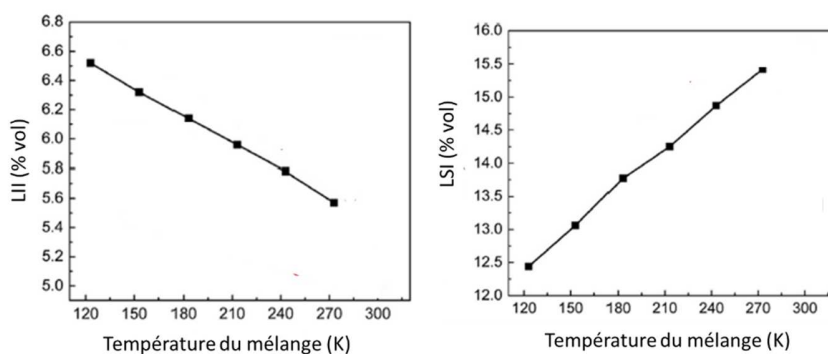


Figure 12: Variation des limites d'inflammabilité aux basses températures

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.

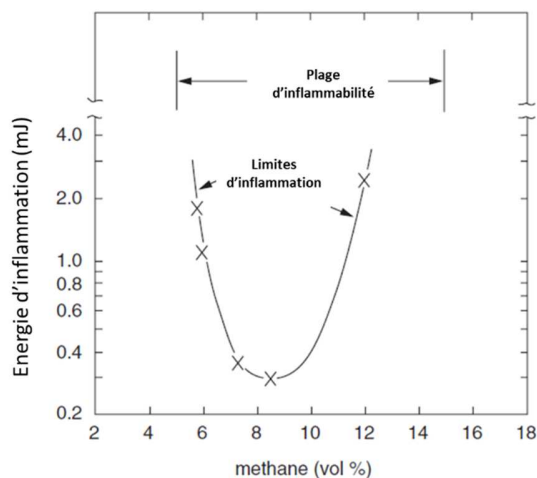


Figure 13: Energie minimale d'inflammation en fonction de la concentration

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.

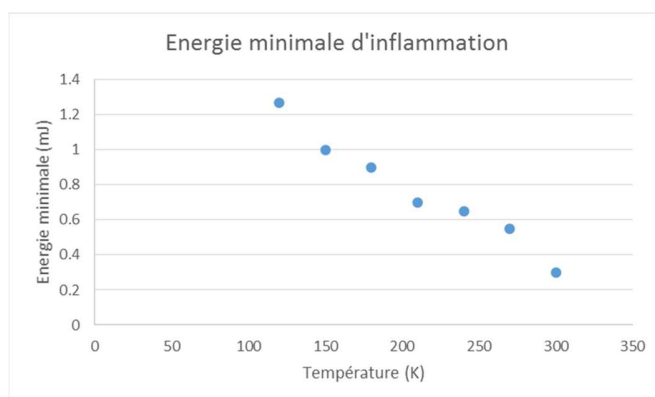


Figure 14: Energie minimale d'inflammation en fonction de la température

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.

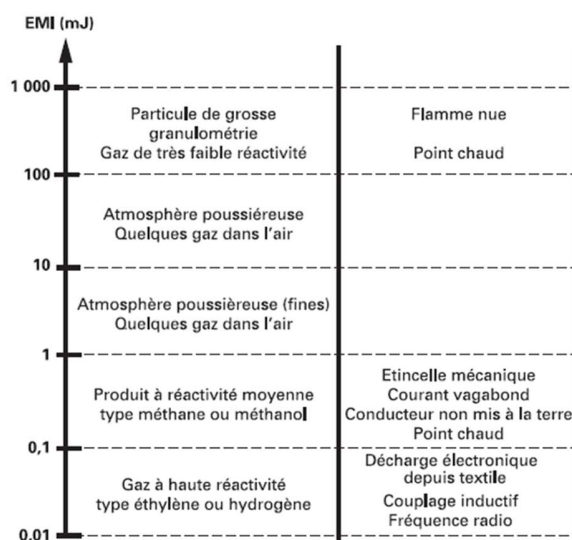


Figure 15: Energie de différentes sources d'inflammation

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 LIÉS 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 gite	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 :

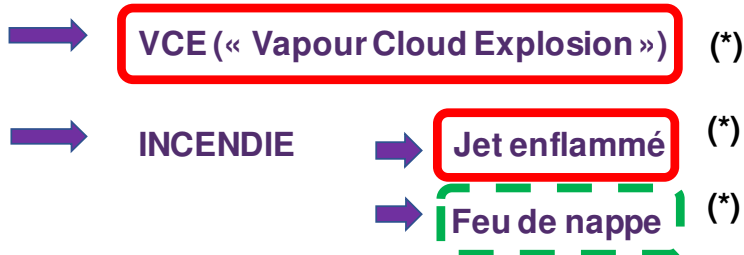
- des fuites ont régulièrement été observées lors des opérations de transfert entre navires et quais (cf. 4.2.1),
- les cas de sur-remplissage (avec comme conséquence des fuites) lors des opérations de réapprovisionnement des unités des stockage ont été observés (cf. 4.2.1 à nouveau),
- des fuites ont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

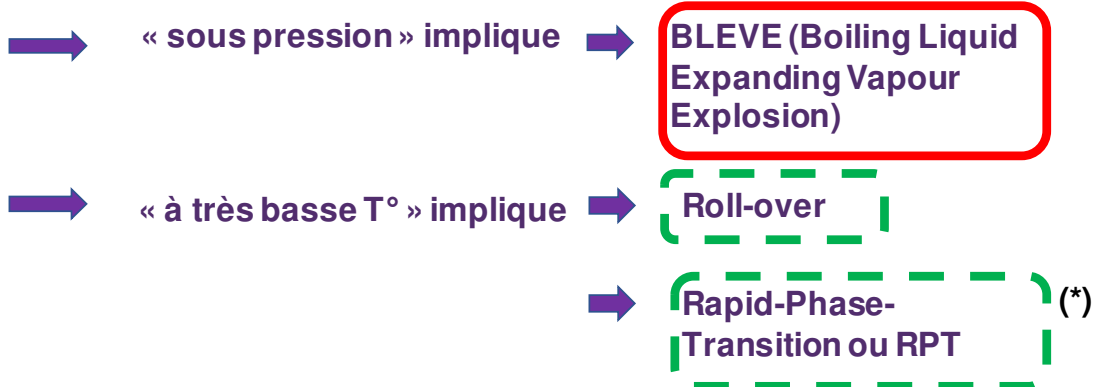
4.5 SYNTHÈSE

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.

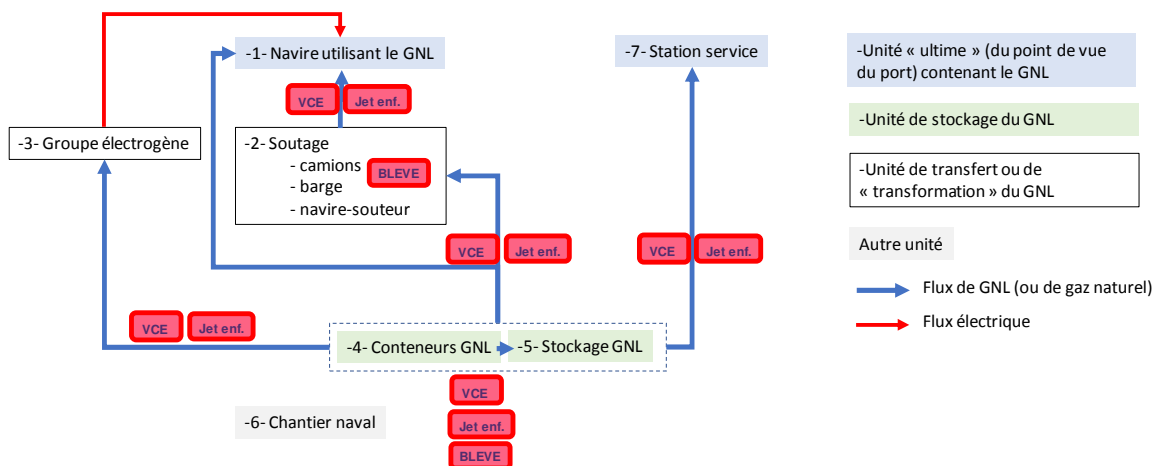


Figure 17 : Phénomènes dangereux replacés dans le contexte

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

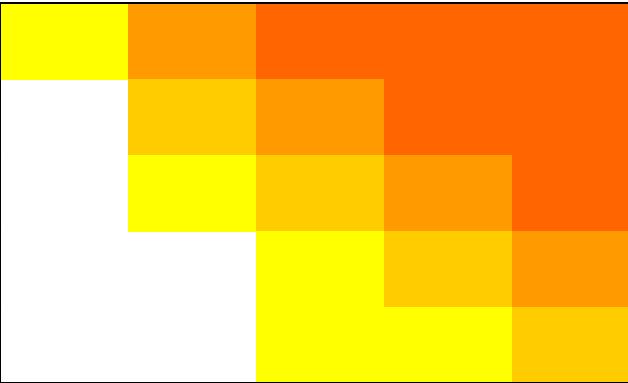
Les risques sont généralement caractérisés selon des évaluations à « 2 dimensions », avec :

- 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

MMR: Mesure de Maîtrise des Risques RA

RA : Risque acceptable

MMR Rang 1
MMR Rang 2
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 entraîné, 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''		« 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.

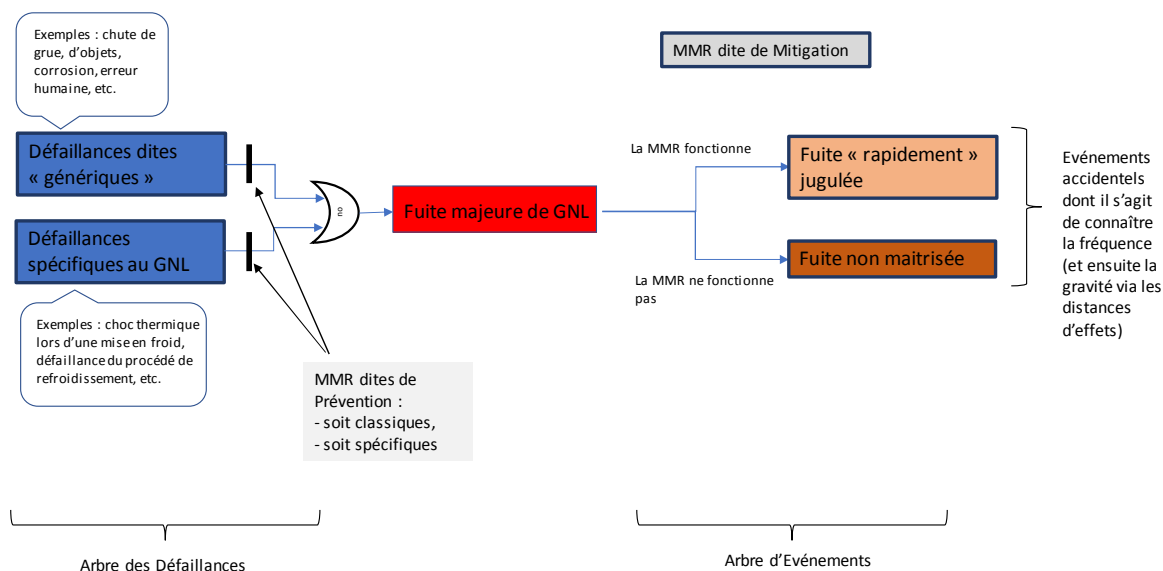


Figure 19 : Approche générale par Nœud-papillon pour la détermination des fréquences de fuites

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.

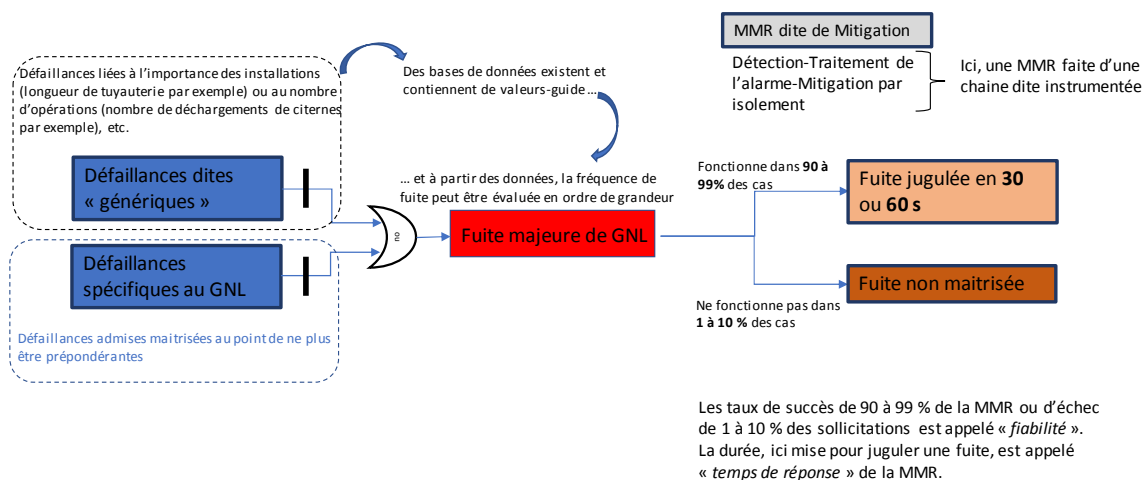


Figure 20 : Approche telle qu'appliquée dans le contexte d'étude

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''		Fuite de 30 s	D
		26	Idem ci-avant mais avec épandage contenu en « pipeway »		Echec	C / D
		27	Idem cas précédents sauf qu'il s'agit ici de canalisation en 16''		Fuite de 60 s	D
					Fuite « longue »	
					Fuite « longue »	
					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.

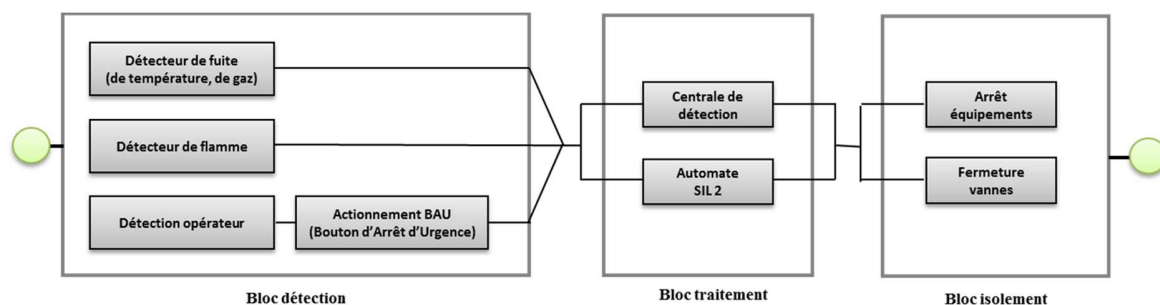


Figure 21: Architecture des chaînes de sécurité ou MMR dites instrumentées

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 éventés 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 vaporiseur à air ambiant. Ce vaporiseur est installé sur un piquage de la ligne de soutirage avec un retour en phase gazeuse du réservoir. Ce vaporiseur comportant des pièces en aluminium vulnérables en cas d'incendie, la ligne de vaporisation doit être équipée de vannes d'isolement commandables à distance.

6.8 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'inflammabilités.

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'inflammabilités
- 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) orientations(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)