



Soutien du programme TEN-T de l'Union européenne

# Plan stratégique LNG pour le Rhin-Main-Danube

*Sous-activité 2.4 Preuve technique et  
évaluation de la sécurité et des risques*

*Livrable 2.4.4  
Étude d'intervention en cas d'urgence et d'incident  
(Havenbedrijf Rotterdam N.V.)*



Ce projet est cofinancé par la Commission  
européenne / DG MOVE/ TEN-T



Projet mis en œuvre par le  
consortium du plan stratégique  
GNL.





## L 2.4.4 Étude d'intervention en cas d'urgence et d'incident

Version : 1.0  
Date : avril 2015  
Statut : final

*Le contenu de cette publication relève entièrement de la responsabilité de son auteur. L'Union européenne ne peut être tenue pour responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette étude.*



**Co-financed by the European Union**  
Trans-European Transport Network (TEN-T)

## Historique du document

Version	Date	Autorisation
Final et approuvé	Décembre 2014	Havenbedrijf Rotterdam N.V.
Final et approuvé par partenaires	Février 2015	Port d'Anvers Germanischer Lloyd SE Port de Mannheim Port de Strasbourg Port de Suisse

## Auteurs contributeurs

Organisation	Contributeur
Falck Risc & Gezamenlijke Brandweer	Dr. Niall Ramsden Roger Roue CEng Brian Mo-Ajok MSc Gert-Jan Langerak Steve Watkins Ronald Peeters BSc

## Notes d'introduction

L'étude d'intervention en cas d'urgence et d'incident a été sous-traitée à un consortium formé par Falck Risc et le Service d'incendie Commune Rotterdam (Gezamenlijke Brandweer) au terme d'une procédure d'appel d'offres. La version finale livrable a été approuvée par les bénéficiaires impliqués et le(s) contractuel(s) en décembre 2014.

## **PREFACE**

Le plan stratégique GNL vise à promouvoir le GNL en tant que carburant et cargaison pour le secteur de la navigation intérieure. Il élabore et applique également les réglementations (de sécurité) nécessaires à l'utilisation et au transport du GNL.

Le plan stratégique GNL est soutenu à hauteur de 40 millions d'euros par une subvention de la Commission européenne, via le programme RTE-T et est mis en œuvre par un consortium de 33 entreprises et organisations des secteurs publics et privés issues de douze états européens membres. Le projet est supervisé et coordonné par Pro Danube Management GmbH et l'Autorité portuaire de Rotterdam.

Le plan stratégique va également piloter et contribuer au déploiement de plusieurs barges d'avitaillement en GNL, de stations d'avitaillement en GNL, d'un porte-conteneurs, de bateaux-citernes et de remorqueurs fonctionnant au GNL. Le porte-conteneurs Eiger Nordwand du groupe Danser et le bateau-citerne fonctionnant au GNL Sirocco de Chemgas navigent déjà.

Le Rhine Port Group, composé de l'Autorité du port de Rotterdam et des ports d'Anvers, de Mannheim, de Strasbourg et de Suisse, a demandé au consortium d'experts, constitué de Falck Risc et le Service d'incendie Commune Rotterdam, d'élaborer des directives et des recommandations pour les organismes d'intervention d'urgence.

Le groupe ciblé est le secteur de la navigation intérieure et les organismes d'intervention en cas d'urgence ou d'incident qui y travaillent. L'étude offre un aperçu des connaissances existantes en matière d'intervention en cas d'urgence et d'incident et présente les directives récemment développées concernant les interventions en cas d'incident avec du GNL dans le couloir du Rhin.

Le présent document est le résultat final de six mois de recherche en équipe.

Nos premiers remerciements s'adressent à l'équipe de gestion de projet du port de Rotterdam pour leur engagement permanent et leur coordination méthodique. Nous tenons également à remercier les contacts à qui nous nous sommes adressés au sein des autorités des ports du groupe Rhine Port Group qui ont pris le temps et fait l'effort de compléter et de nous retourner le questionnaire. Sans leur aide, l'équipe du projet n'aurait jamais pu décrire dans quelle mesure le GNL, le niveau de préparation opérationnel à des scénarios (imprévus) et l'intervention d'urgence dans les ports du couloir du Rhin avaient été mis en place jusqu'à présent.

Au nom du Rhine Port Group, nous vous invitons à lire ce document. Nous sommes certains qu'en le lisant, vous apprendrez de nouvelles connaissances et comprendrez davantage le système d'intervention en cas d'urgence et d'incident avec du GNL dans le couloir du Rhin.

Vous découvrirez notamment :

- l'état actuel du plan d'intervention d'urgence dans le couloir du Rhin,
- les dernières directives développées en cas d'urgence et d'incident et
- le développement d'outils pour les opérateurs et les autorités des ports afin de gérer des scénarios crédibles provoqués par des erreurs humaines ou techniques.

Veillez recevoir mes plus cordiales salutations.

Robbert van der Veen  
*Directeur de Falck RISC*

Jan Waals  
*Directeur de Service d'incendie Commune Rotterdam  
(Gezamenlijke Brandweer)*

Rotterdam, décembre 2014.

---

## Table des matières

<b>1. Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Objectifs.....	2
1.3 Champ d'application.....	2

### **PARTIE 1**

<b>2. Technologie existante .....</b>	<b>6</b>
2.1 Bateau fonctionnant au GNL.....	6
2.2 Petits bateaux-citernes transportant du GNL.....	21
2.3 Avitaillement en GNL.....	28
<b>3. Scénarios existants .....</b>	<b>30</b>
3.1 Dégagements de GNL.....	30
3.2 Scénarios pour le GNL à petite échelle dans le cadre de la navigation intérieure.....	34
3.3 Niveau de préparation : situation dans chaque port.....	46
3.4 Sensibilisations et formations existantes à l'intervention en cas d'urgence .....	48
3.5 Lacunes.....	48
3.6 Matrice .....	49

### **PARTIE 2**

<b>4. Préparation à l'urgence.....</b>	<b>52</b>
4.1 Champ d'application.....	52
4.2 Livrables .....	52
4.3 Programme détaillé .....	52
4.4 Directives de préparation aux incidents.....	56
4.5 Lutte contre l'incendie en présence de GNL .....	61
4.6 Refroidissement .....	64
4.7 Bouclier hydraulique .....	65
4.8 Premiers secours .....	66

<b>5. Directives pour la sensibilisation et la formation aux interventions en cas d'incident impliquant du GNL .....</b>	<b>67</b>
5.1 Introduction.....	67
5.2 Scénarios.....	67
5.3 Modélisation des conséquences .....	70
5.4 Préparation de l'intervention d'urgence .....	79
5.5 Sensibilisation et formation .....	89
5.6 Supplément de base matrice.....	92
5.7 Formation pour les organisations de réponse divers .....	93
5.8 Exercices multidisciplinaires .....	94
<b>6. Recommandations .....</b>	<b>95</b>
6.1 Environs.....	95
6.2 Population .....	95
6.3 Équipement de mesure .....	96
6.4 Capacité suffisante d'eau .....	96
6.5 Outils pour la préparation.....	96

### **PARTIE 3**

<b>7. Conseils et approche stratégique en diffusion des connaissances.....</b>	<b>98</b>
7.1. Introduction.....	98
7.2. Options de dissémination.....	98
7.3. Équipes concernées.....	98

### **ANNEXES :**

<b>1.</b>	<b>Références</b>
<b>2.0</b>	<b>Index des plans d'intervention spécifiques à un scénario en cas d'incident et d'urgence</b>
2.1A	Carte d'urgence de l'étude de cas du SCÉN-1
2.1B	Plan d'intervention en cas d'incident du SCÉN-1
2.2A	Carte d'urgence de l'étude de cas du SCÉN-2
2.2B	Plan d'intervention en cas d'incident du SCÉN-2
2.3A	Carte d'urgence de l'étude de cas du SCÉN-3
2.3B	Plan d'intervention en cas d'incident du SCÉN-3
2.4A	Carte d'urgence de l'étude de cas du SCÉN-4
2.4B	Plan d'intervention en cas d'incident du SCÉN-4
<b>3.</b>	<b>Présentation des intervenants concernés</b>
<b>4.</b>	<b>Présentation des participants au projet</b>

## LISTE DES ABREVIATIONS

ADN	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures
BLEVE	De l'anglais Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, explosion de vapeur en expansion par ébullition d'un liquide
GNV	Gaz naturel pour véhicule (en anglais, CNG, Compressed Natural Gas)
CVCE	Confined Vapour Cloud Explosion, explosion de vapeur en milieu confiné
EPA	Environmental Protection Agency, agence de protection de l'environnement
Code IGC	Recueil international de règles relatives à la construction et à l'équipement des navires transportant des gaz liquéfiés en vrac
OMI	Organisation maritime internationale
LIE	Limite inférieure d'explosivité
GNL	Gaz naturel liquéfié (en anglais, LNG, Liquefied Natural Gas)
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
MDO	Marine Diesel OIL, huile diesel marine
FDS	Fiche de données sécurité
EPI	Équipement de protection individuelle
PPM	Parties par million
UVCE	Unconfined Vapour Cloud Explosion, explosion de vapeur en milieu non confiné
LSE	Limite supérieure d'explosivité
ONU	Organisation des nations unies

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Zones du plan stratégique GNL pour le Rhin/Meuse-Main-Danube
- Figure 2. Présentation des systèmes de propulsion traditionnels et diesel électriques
- Figure 3. Configuration d'un système de propulsion GNL - diesel/électrique
- Figure 4. Bateau-citerne alimenté par GNL/électricité
- Figure 5. Configuration en série du moteur
- Figure 6. Configuration parallèle du moteur
- Figure 7. Modèle d'étude du ferry Tonbo de Eco Marine Power fonctionnant à l'électricité solaire
- Figure 8. Classification des méthaniers par l'OMI
- Figure 9. Citerne de GNL en pont inférieur sur l'Eiger-Norwand.
- Figure 10. Schéma de configuration de la citerne.
- Figure 11. Disposition des composants de base d'un système au GNL
- Figure 12. Citerne de GNL de catégorie C, isolée sous vide, avec boîte froide intégrée.
- Figure 13. Configuration de la boîte froide
- Figure 14. Soupape de gaz sous coffret configurée de manière horizontale et verticale
- Figure 15. Soupape de gaz ouverte
- Figure 16. Disposition typique d'une salle des machines protégée des dangers liés au gaz
- Figure 17. Disposition typique d'une salle des machines protégée par un dispositif d'arrêt d'urgence.
- Figure 18. Trois niveaux des zones dangereuses
- Figure 19. Quelques modèles d'étude de bateau-citerne transportant du GNL
- Figure 20. Exemple de citerne bi-Lobe de stockage de GNL
- Figure 21. Bateau-citerne transportant du GNL conçu par VEKA-Deen
- Figure 22. Modèle final du bateau d'avitaillement en GNL combiné d'Argos
- Figure 23. Modèle typique d'un système de confinement à membrane Mark III de GTT
- Figure 24. Soupape typique de dégagement commandée par régulation
- Figure 25. Disposition typique des pompes de cargaison pour un bateau-citerne à membrane transportant du GNL
- Figure 26. Premier avitaillement en GNL de la barge Eiger-Norwand.
- Figure 27. Conteneur-citerne de carburant GNL
- Figure 28. Système logistique d'un conteneur-citerne de carburant GNL
- Figure 29. Arbre d'évènements pour un dégagement de GNL à une pression quasi atmosphérique
- Figure 30. Arbre d'évènements pour un dégagement de GNL à une pression plus élevée
- Figure 31. Scénarios d'incendie possibles en cas de fuite de GNL dans l'eau
- Figure 32. Aperçu des scénarios possibles
- Figure 33. Arbre d'évènements pour les incidents de navigation
- Figure 34. Dégâts après une collision sur l'Elbe (Allemagne)
- Figure 35. Fissures à froid de la plaque du pont
- Figure 36. Arbre d'évènements pour les composants du système d'alimentation
- Figure 37. Arbre d'évènements pour les incendies dont la source n'est pas le GNL
- Figure 38. Schéma conceptuel de représentation des étapes du projet
- Figure 39. Approche systématique d'identification des éléments de sensibilisation et de formation nécessaires
- Figure 40. Fuite dans l'eau
- Figure 41. Scénarios d'incendie possibles en cas de fuite de GNL dans l'eau
- Figure 42. Ordre du scénario
- Figure 43. Vitesses d'évaporation
- Figure 44. Résumé de la stratégie de lutte contre l'incendie
- Figure 45. Modèle de jet plat servant de bouclier hydraulique
- Figure 46. Bateaux-pompes sur le Rhin
- Figure 47. Structure en sept étapes pour les besoins en sensibilisation et en formation
- Figure 48. Schéma de modélisation du scénario 1 réalisé avec PHAST
- Figure 49. Transfert de camion à bateau
- Figure 50. Schéma de modélisation du scénario 2 réalisé avec PHAST
- Figure 51. Argos, bateau d'avitaillement de GNL (navigation intérieure)
- Figure 52. Photos d'incidents où les conteneurs ont chuté sur le bateau situé en-dessous
- Figure 53. Schéma de modélisation du scénario 3 réalisé avec PHAST
- Figure 54. Bateau Greenstream
- Figure 55. Schéma de modélisation du scénario 4 réalisé avec PHAST, vue latérale
- Figure 56. Schéma de modélisation du scénario 4 réalisé avec PHAST, vue de dessus
- Figure 57. Plan stratégique GNL pour le Rhin - Main - Danube

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Différence de réduction des émissions atmosphériques entre les moteurs GNL, diesel et mixtes
Tableau 2.	Zones séparées les unes des autres par une limite étanche au gaz
Tableau 3.	Débits de fuite représentatifs pour le GNL en cas d'accident nautique impliquant des bateaux transportant du GNL et le réchauffement du GNL
Tableau 5.	Exemples de vitesses de transfert et de diamètres de tuyau
Tableau 6.	Dégagement de GNL suite à la défaillance du bras ou du tuyau de (dé)chargement lors d'un (dé)chargement par camion
Tableau 7.	Taille maximale d'un feu de nappe lors du chargement, en cas d'inflammation directe ou retardée du GNL (pas de confinement, - 160 °C) accidentellement déversé au sol
Tableau 8.	Dégagement de GNL suite à la défaillance du bras ou du tuyau de (dé)chargement lors d'un (dé)chargement par bateau
Tableau 9.	Dégagement de GNL suite à la défaillance du bras ou de la conduite de retour des vapeurs lors d'un (dé)chargement par bateau.
Tableau 10.	Taille maximale du feu de nappe pour un dégagement sur l'eau, en cas d'inflammation directe ou retardée
Tableau 11.	Matrice des scénarios et des effets. Générée par des experts
Tableau 12.	Rapport de l'équivalent liquide/gaz sous pression atmosphérique
Tableau 13.	Vitesse d'évaporation sur l'eau
Tableau 14.	Comparaison des vitesses de combustion des différents carburants
Tableau 15.	Vitesses de combustion du GNL sur l'eau
Tableau 16.	Analyse d'un scénario crédible concernant l'intervention en cas d'incident et d'urgence
Tableau 17.	Analyse de l'intervention en cas d'incident pour un scénario crédible
Tableau 18.	Données météorologiques
Tableau 19.	Données et résultats du scénario 1 avec Phast
Tableau 20.	Données et résultats du scénario 2 avec Phast
Tableau 21.	Données et résultats du scénario 3 avec Phast
Tableau 22.	Données et résultats du scénario 4 avec Phast
Tableau 23.	Éléments de formation
Tableau 24.	Exigences en matière de formation des intervenants en cas d'incident et d'urgence

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 MOTIVATION

L'Autorité du port de Rotterdam (Autorité du port) associée aux ports d'Anvers, de Mannheim, de Strasbourg et de Suisse (Rhine Port Group) a commandé une étude sur l'intervention en cas d'incident et d'urgence liés au GNL sur les voies de navigation intérieures dans le cadre du plan stratégique GNL pour le Rhin-Main-Danube.



Figure 1 Zones du plan stratégique GNL pour le Rhin/Meuse-Main-Danube

Le plan stratégique GNL vise à créer une plate-forme de coopération entre les autorités et les intervenants du secteur afin de faciliter la création d'un cadre réglementaire européen harmonisé pour le GNL en tant que carburant et cargaison pour la navigation intérieure et de promouvoir l'introduction du GNL comme carburant et cargaison pour la navigation intérieure.

Ce plan présente des concepts techniques pour les bateaux neufs et modernisés fonctionnant au GNL et transportant du GNL, ainsi que de nombreux déploiements pilotes de bateaux et de terminaux. Il développe également une stratégie complète, ainsi qu'un programme détaillé pour la mise en œuvre du GNL en conformité avec les actions et objectifs des politiques environnementales/énergétiques/de transport de l'U.E.

Le plan stratégique GNL considère non seulement la navigation intérieure comme un marché pionnier pour le GNL en tant que carburant de transport, mais également comme un moyen de livraison plus économique du GNL, des ports maritimes jusqu'aux clients (carburant et énergie), dans la majorité des zones industrielles implantées le long des voies de navigation intérieures. Ce plan soutient le développement à grande échelle du GNL comme carburant et comme source d'énergie.

Le GNL est considéré comme une opportunité importante pour le secteur du transport par voies de navigation intérieures, mais il ne sera évidemment pas la solution à tous les problèmes structurels et économiques de la navigation fluviale.

Tout le travail sera basé sur une approche européenne réaliste et intégrée. L'une des approches du plan stratégique GNL est que les ports intérieurs situés sur l'axe Rhin-Main-Danube deviennent des centres de distribution vitaux pour le GNL.

Les terminaux intérieurs fonctionneront à la manière de satellites, permettant au GNL d'atteindre d'autres marchés pionniers, tels que le secteur public (transport), celui du transport par poids lourds (bus, ramassage des ordures, logistique urbaine) et le secteur énergétique.

## 1.2 OBJECTIFS

L'objectif de cette étude est d'explorer les connaissances existantes concernant le transport du GNL et l'utilisation des bateaux fonctionnant au GNL sur les voies de navigation, et de définir les scénarios possibles impliquant une fuite de GNL qu'une équipe d'intervention d'urgence est amenée à gérer.

Une intervention en cas d'incident est l'intervention requise par les autorités locales (pompiers, police, ambulance et autorités portuaires/fluviales, par exemple) pour gérer les situations qui ont évolué en dehors du champ de compétence des intervenants initiaux (équipage du bateau, opérateurs, etc.).

Les nouvelles informations obtenues dans le cadre de l'étude seront utilisées pour augmenter la sensibilisation à la gestion de tels incidents, élaborer des recommandations concernant les ressources nécessaires pour une intervention et apporter des directives relatives à la formation nécessaire pour intervenir en cas d'incident.

## 1.3 CHAMP D'APPLICATION

### 1.3.1 GENERAL

L'étude dresse un aperçu global des incidents pouvant survenir lorsque du GNL est présent sur les voies de navigation intérieures et détermine comment y faire face. L'étude se concentre sur les points suivants :

- Développement de scénarios de fuite, émission et aggravation de la situation dans le cadre d'activités impliquant du GNL à petite échelle
- Développement de scénarios d'intervention en cas d'incident impliquant du GNL à petite échelle
- Développement de directives de préparation à un incident
- Développement de directives de sensibilisation et de formation aux interventions en cas d'incident impliquant du GNL
- Diffusion des connaissances et conseils en cas d'urgence

Les intervenants du secteur de la navigation en savent déjà beaucoup sur le GNL, mais ces points sont essentiels pour le transport en vrac, en mer. Cette étude s'est concentrée sur l'aspect local, à petite échelle, c'est-à-dire avec des quantités réduites et les limites de la navigation intérieure.

### 1.3.2 LIVRABLES

L'étude est divisée en 3 parties.

**PARTIE 1 :** *Aperçu des connaissances existantes concernant la sensibilisation, la formation et l'intervention en cas d'incident impliquant du GNL dans le couloir du Rhin.*

Cette partie a été réalisée d'après une méthode d'étude documentaire. Les documents livrables sont les suivants :

- Aperçu des connaissances et des directives existantes concernant le plan d'intervention en cas d'incident à petite échelle impliquant du GNL, dans le couloir du Rhin, pour la navigation intérieure.
- Aperçu des scénarios existants d'émission et d'aggravation à petite échelle pour le GNL en tant que carburant et en tant que cargaison dans le couloir du Rhin, pour la navigation intérieure.
- Scénarios d'intervention en cas d'urgence et d'incident à petite échelle impliquant du GNL dans le couloir du Rhin, pour la navigation intérieure. Les scénarios doivent inclure tous les incidents susceptibles de survenir avec un bateau fonctionnant au GNL (carburant) et un bateau transportant du GNL (cargaison).
- Les incidents et les urgences doivent être présentés dans une matrice avec possibilité de tri par lignes et par colonnes, qui répertorie les types de bateaux fonctionnant au GNL et les types de bateaux transportant du GNL en tant que cargaison.
- Aperçu comprenant une identification des lacunes en matière d'équipement d'intervention nécessaire pour les urgences impliquant du GNL à petite échelle dans le couloir du Rhin, pour la navigation intérieure.

**PARTIE 2 :** *Développement de directives pour la préparation à des incidents et pour la sensibilisation et la formation à intervenir en cas d'incident impliquant du GNL à petite échelle dans la navigation intérieure.*

Les documents livrables sont les suivants :

- Développement de directives pour la préparation à des incidents impliquant du GNL à petite échelle dans la navigation intérieure. Ces directives sont incluses dans une version développée de la matrice de la partie 1.
- Développement de directives pour la sensibilisation et la formation à intervenir en cas d'incident impliquant du GNL à petite échelle dans la navigation intérieure. Si une formation est nécessaire, ces directives décrivent les exigences pour chacun des scénarios.

**PARTIE 3 :** *Conseils et approche stratégique concernant la manière dont les découvertes des parties 1 et 2 doivent être communiquées aux intervenants recherchant ces informations.*

Le document livrable est composé d'une colonne supplémentaire décrivant les diverses options, comme comment publier ou communiquer les détails aux parties concernées.

Ces documents livrables sont combinés dans ce document final : « Directives et recommandations pour les organisations d'intervention d'urgence ».



**PARTIE 1**      **APERÇU DES  
CONNAISSANCES  
EXISTANTES**

**CONCERNANT  
LA SENSIBILISATION,  
LA FORMATION ET  
L'INTERVENTION EN CAS  
D'INCIDENT IMPLIQUANT  
DU GNL**

**DANS LE COULOIR DU RHIN**

## 2 TECHNOLOGIE EXISTANTE

### 2.1 BATEAU FONCTIONNANT AU GNL

#### 2.1.1 GNL EN TANT QUE CARBURANT

##### 2.1.1.1 INTRODUCTION

Le Gaz Naturel Liquéfié (GNL) utilisé pour les systèmes de propulsion sur les bateaux-citernes transportant du GNL est une technologie courante depuis des décennies. Les antécédents en matière de sécurité sont excellents pour le chargement et le déchargement de ces bateaux, ainsi que pour l'utilisation du gaz d'évaporation dans les systèmes à propulsion. Ces dernières années, l'expérience acquise avec cette technologie a gagné du terrain en Norvège où de petits bateaux, comme les ferrys et les bateaux avitailleurs, ont été équipés d'une propulsion au GNL.

Le gaz naturel liquéfié sera également utilisé sous forme de carburant pour les bateaux de navigation intérieure. Conformément aux règles de l'ADN, le bateau-citerne « MTS Argonon » est le premier bateau de navigation intérieure autorisé à utiliser du gaz naturel liquéfié (GNL) sous forme de carburant pour son système de propulsion, à condition que le bateau soit en totale conformité avec les règles de l'ADN, hormis les suivantes :

Le GNL et l'huile diesel marine (MDO) devront être utilisés pour les systèmes de propulsion du bateau. Le point d'éclair du GNL est cependant en-deçà de 55 degrés Celsius, tel que prescrit par les règles de l'ADN. Une identification des dangers (HAZID) a été effectuée par Lloyd's Register pour déterminer le niveau de sécurité du système et adopter les mesures nécessaires pour disposer d'une sécurité équivalente à celle des bateaux fonctionnant au diesel.

##### 2.1.1.2 COMPARAISON DU GNL ET DE LA MDO EN TANT QUE CARBURANT

Le gaz naturel liquéfié est un mélange de divers hydrocarbures avec un pourcentage de méthane très élevé (généralement supérieur à 91 %). Sa composition réelle varie en fonction de la composition du gaz naturel d'origine et de son processus de liquéfaction.

La composition du GNL est susceptible d'évoluer dans le temps (« vieillissement »). Le vieillissement est la tendance des composants les plus légers du mélange GNL à s'évaporer avant les composants les plus lourds. En d'autres termes, le méthane est le premier composant à s'évaporer, laissant la part la plus élevée.

Le GNL utilisé en tant que carburant pour les systèmes de propulsion marins doit être envisagé sérieusement pour deux raisons principales. La première concerne la législation relative aux émissions de pollution atmosphérique et la seconde concerne l'incertitude quant à la disponibilité et au prix des combustibles liquides à l'avenir. Le GNL est relativement différent de la MDO traditionnelle ; ces différences doivent donc être bien comprises lorsqu'il est envisagé pour la propulsion des bateaux :

- Le GNL est stocké à une température extrêmement basse (environ -162 °C).
- Tout contact avec de l'acier au carbone provoque des fissures.
- Tout contact avec la peau provoque de graves brûlures.
- Le GNL est un liquide en constante ébullition.
- Sa stabilité est maintenue en évaporant constamment la cargaison.
- Lors d'un transfert de cargaison, le gaz d'évaporation est généré en trop grande quantité et doit être géré.
- Hautement inflammable.
- Les zones dangereuses doivent être repérées et catégorisées.

- Le GNL possède une densité énergétique équivalente à environ 50 % de celle de la MDO, ce qui nécessite deux fois la capacité d'avitaillement pour atteindre la même autonomie.
- Le GNL est un carburant propre dont l'introduction présente des avantages évidents pour réduire la pollution dans les voies de navigation intérieures. Le tableau 1 (ci-dessous) compare les économies d'émission réalisées avec des systèmes de propulsion à gaz par rapport à des moteurs traditionnels fonctionnant avec de la MDO.

No.	Caractéristiques	Moteur MDO	Moteur GNL	Moteur mixte
1	Efficacité thermique	38 %	50 %	Mode gaz : 47 % Mode diesel : 38 %
2	Emissions de CO <sub>2</sub>	NON	25 - 30 %	Mode gaz : 30% Mode diesel : NON
3	Emissions d'oxyde d'azote	NON	85 %	Mode gaz : 85 % Mode diesel : NON
4	Emissions d'oxyde de soufre	NON	100 %	Mode gaz : 100 % Mode diesel : NON
5	Réduction des émissions de particules	NON	100 %	Mode gaz : 47 % Mode diesel : NON
6	Flexibilité du carburant	NON	NON	OUI

Tableau 1 : différence de réduction des émissions atmosphériques entre les moteurs GNL, diesel et mixtes

### 2.1.1.3 SYSTEME MIXTE

Les bateaux mixtes, également appelés bateaux à bicarburation, possèdent des moteurs polycarburant capable de fonctionner avec deux types de carburant : un moteur à combustion interne avec un carburant, comme le diesel, et un carburant alternatif, comme le gaz naturel pour véhicules (GNV).

Les deux carburants sont stockés dans des citernes séparées et le moteur peut fonctionner avec l'un des carburants ou, dans certains cas, avec les deux simultanément. Les bateaux mixtes peuvent basculer du diesel à l'autre carburant et vice versa, manuellement ou automatiquement.

Le modèle des citernes d'avitaillement en GNL peut être identique aux modèles standard normalement utilisés pour les citernes à cargaison des bateaux-citernes transportant du GNL.

### 2.1.2 TECHNOLOGIE D'UN MOTEUR MIXTE GNL

Le moteur mixte diesel peut fonctionner en « mode gaz » ou en « mode diesel » ou avec les deux modes simultanément.

#### Mode gaz :

Le moteur fonctionne avec une alimentation en carburant de 80-95 % en gaz naturel et de 5-20 % en MDO. Le moteur peut automatiquement et instantanément basculer en fonctionnement au diesel pendant une alerte et/ou une situation d'urgence. Pendant le fonctionnement, il est possible de transférer le moteur en mode diesel quelle que soit la charge demandée.

#### Mode diesel :

Le moteur fonctionne à 100 % en MDO et est utilisé comme un moteur diesel ordinaire. Pendant le fonctionnement, il est possible de transférer le moteur en mode gaz pour une charge en-deçà de 80 % de la puissance. L'injection de la MDO du moteur fonctionne toujours.

### 2.1.3 SYSTEME DE PROPULSION

Les systèmes de propulsion mécanique sont généralement composés d'un moteur actionnant une hélice. Outre les hélices traditionnelles à pas fixe et réglable, il existe de nombreuses variations spécialisées telles que la contre-rotation et les hélices de type buse.

La plupart des bateaux sont équipés d'une hélice simple, mais certains bateaux de navigation intérieure plus gros peuvent disposer de deux hélices complétées d'un propulseur transverse pour manœuvrer dans les ports.

L'hélice est reliée au moteur principal via un arbre d'hélice et, dans les moteurs à grande et moyenne vitesse, d'un réducteur. Certains bateaux modernes disposent d'un groupe motopropulseur carburant/électricité permettant de tourner l'hélice via un moteur électrique alimenté par les générateurs du bateau.

Il existe plusieurs types de systèmes de propulsion de bateau alimentés au carburant :

Propulsion traditionnelle directe par gaz (gaz d'évaporation ou GNL évaporé) ou moteur mixte

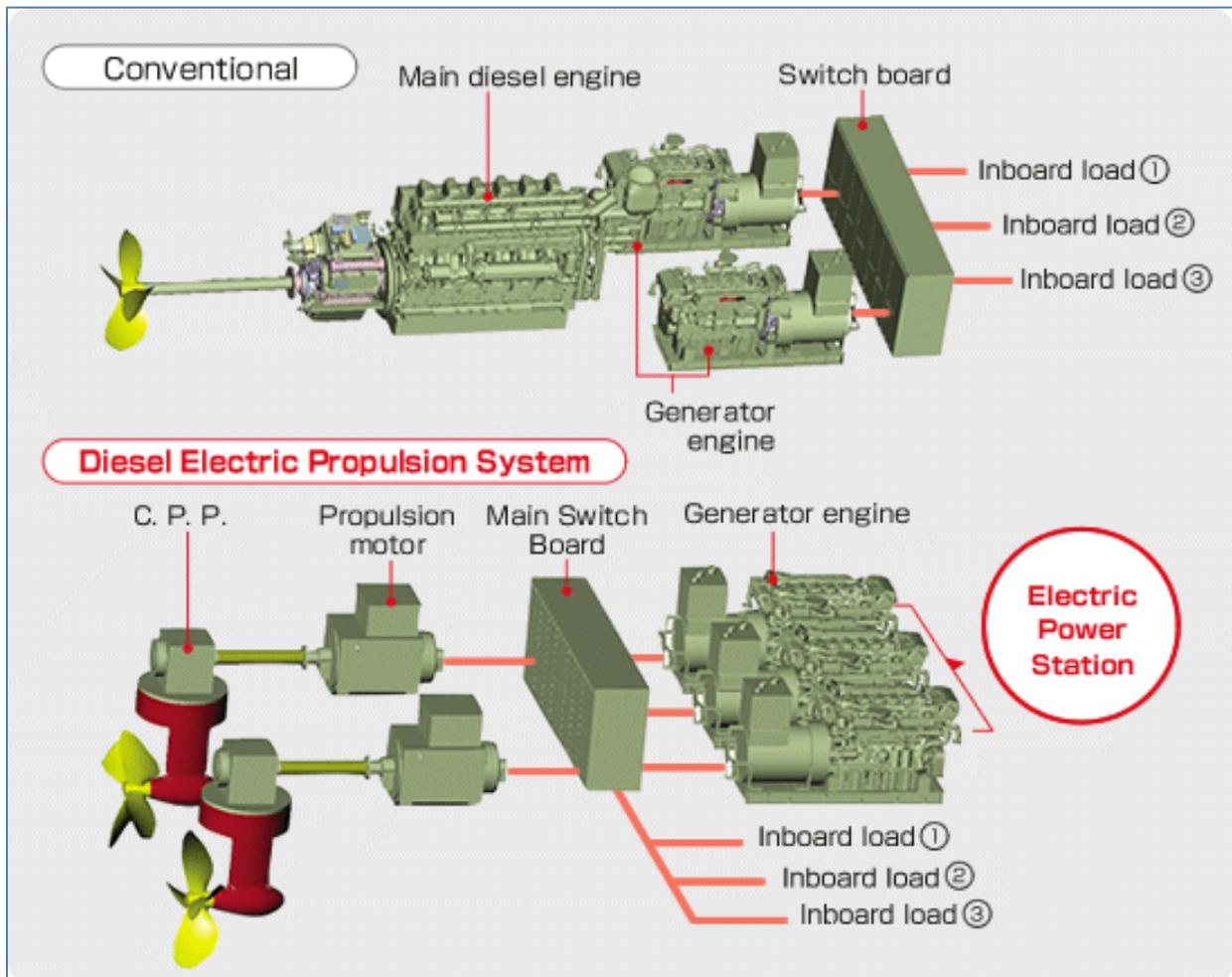


Figure 2 Présentation des systèmes de propulsion traditionnels et diesel électriques

Système de propulsion indirecte à gaz ou mixte/électrique avec un générateur électrique et une propulsion alimentée de manière électrique (hybride).

Trois configurations hybrides sont disponibles (avec de nombreuses variations) : moteur à combustion/électricité, hybride en série et hybride parallèle.

GNL-diesel/électrique

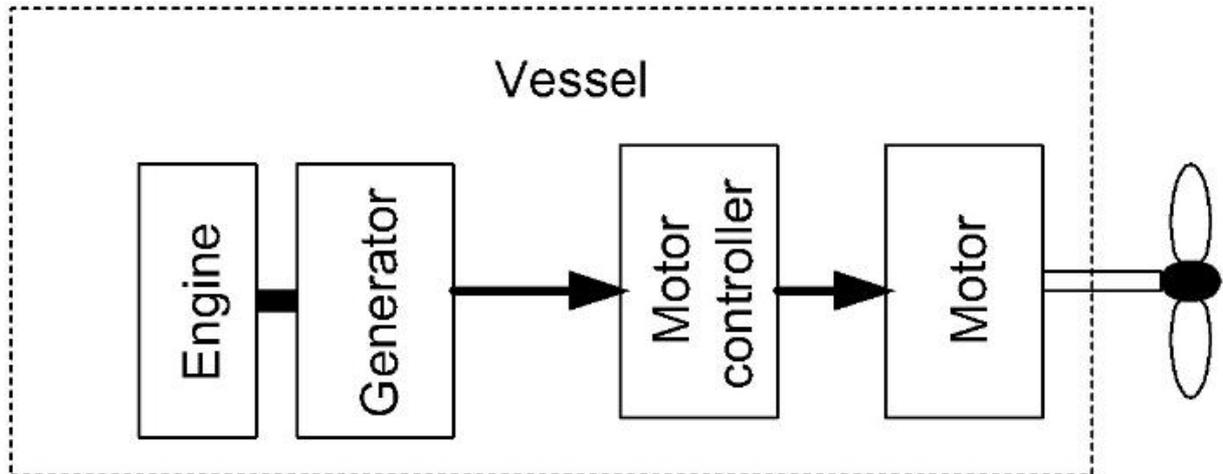


Figure 3 Configuration d'un système de propulsion GNL - diesel/électrique

Le moteur à combustion (gaz, diesel ou mixte) est directement relié à un générateur électrique. À partir de ce point, la puissance du système est transférée de manière électrique vers l'arbre d'hélice via un régulateur et un moteur électrique.

Le système peut posséder plusieurs générateurs et plusieurs moteurs reliés à un bus électrique commun. Cette configuration est utilisée dans les motopropulseurs diesel/électrique, par exemple, et dans le « Greenstream », un bateau de navigation intérieure alimenté au GNL/à l'électricité. Si l'on s'en tient strictement à la définition, il ne s'agit pas d'un hybride, car il ne possède pas de stockage électrique de l'énergie.



Figure 4 Bateau-citerne alimenté par GNL/électricité Source : Shell.

Hybride en série

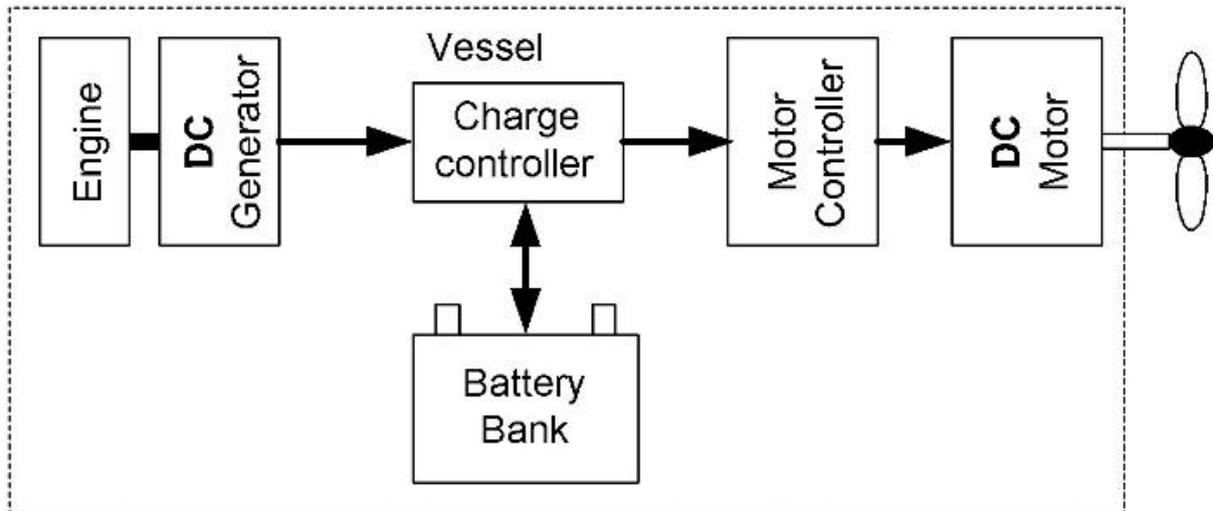


Figure 5 Configuration en série du moteur

L'hybride en série est similaire au moteur GNL-diesel/électrique en cela qu'il rompt le lien mécanique entre le moteur et l'arbre d'hélice. Cependant, un groupe de batteries est également relié au bus d'alimentation électrique commun. Dans ce système, un opérateur peut arrêter le moteur et utiliser l'énergie stockée dans le groupe de batteries.

Avec de grandes batteries, le bateau peut utiliser la propulsion électrique (et/ou alimenter les appareils électriques à bord) pendant de longues périodes sans avoir recours au générateur.

Hybride parallèle

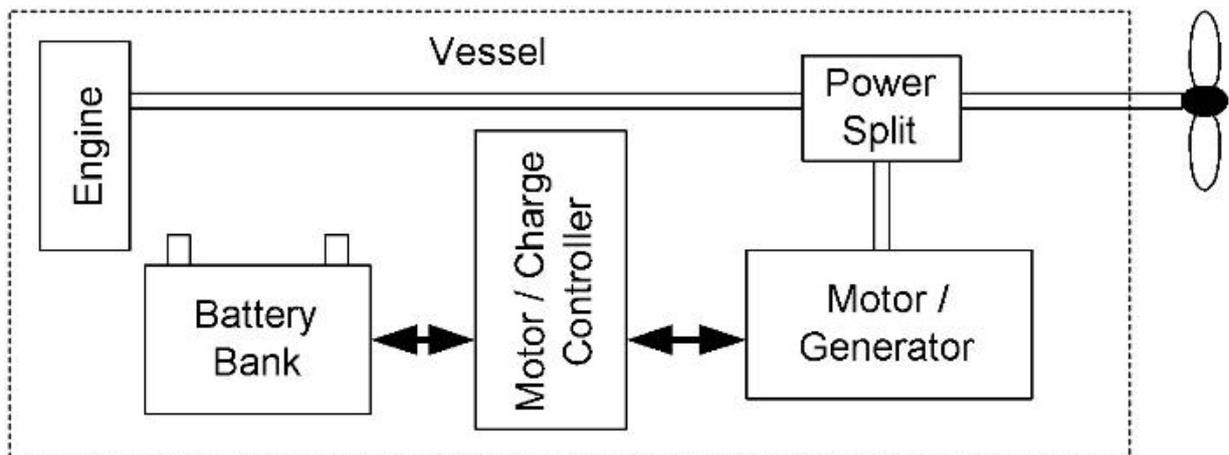


Figure 6 Configuration parallèle du moteur

Un moteur hybride parallèle maintient le lien mécanique entre le moteur et l'arbre d'hélice. Comme son nom l'indique, le moteur électrique agit sur l'arbre d'hélice parallèlement au moteur.

La répartition du couple est un appareil mécanique qui permet de transférer la puissance aux différents points de liaison. L'opérateur peut actionner l'hélice directement à partir du moteur ou du moteur électrique, ou à partir des deux.

L'opérateur peut également déconnecter l'hélice pour laisser le générateur fonctionner de manière autonome. Pendant la régénération, le moteur est déconnecté.



Figure 7 Modèle d'étude du ferry Tonbo de Eco Marine Power fonctionnant à l'électricité solaire

#### 2.1.4 STOCKAGE DU CARBURANT GNL

Le carburant GNL est stocké dans des citernes de carburant GNL indépendantes. Le volume de ces citernes dépend de l'autonomie, de la fonction et du type de bateau concerné. Le volume des citernes de carburant GNL est généralement compris entre 40 et 160 m<sup>3</sup> pour les bateaux de navigation intérieure. Les citernes de carburant GNL sont placées sur le pont ou en-dessous.

Le modèle des citernes de carburant GNL pour un bateau mixte autre qu'un bateau-citerne transportant du gaz adopte les mêmes spécifications standard que les modèles normalement utilisés pour les bateaux-citernes transportant du GNL. Ces systèmes sont présentés dans le schéma ci-dessous, intitulé « Classification des méthaniers par l'OMI ».

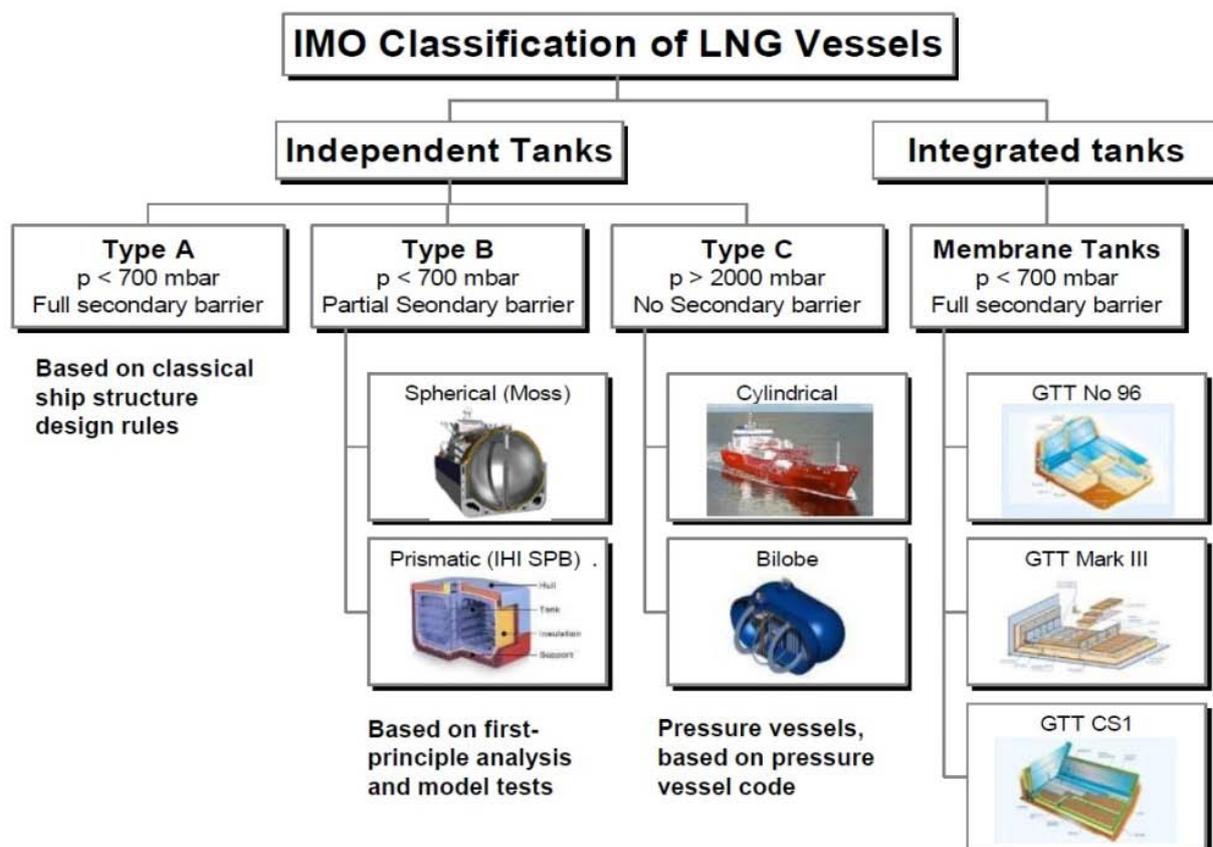


Figure 8 Classification des méthaniers par l'OMI

Conformément aux directives actuelles de l'OMI, les citernes de carburant GNL doivent faire partie de la catégorie « Types indépendants A, B ou C ». Les citernes de carburant GNL sont conçues selon les exigences du type C. Les citernes de cette catégorie présentent plusieurs avantages, notamment les suivants :

- Le code IGC n'impose aucune barrière secondaire pour ce système de confinement.
- Les citernes petites et moyennes peuvent être conçues pour une isolation sous vide, ce qui permet d'économiser des matériaux d'isolation et d'augmenter l'efficacité de l'isolation.
- Installation facile, car la citerne est uniquement soutenue par deux berceaux qui épousent parfaitement sa forme.
- Possibilité de concevoir les citernes pour une forte pression, ce qui représente un avantage pour gérer le gaz d'évaporation et pour le fonctionnement.
- Elles peuvent être installées sur des ponts découverts.

La citerne de stockage du carburant sous pression est de forme cylindrique avec des extrémités plates. Elle est conçue conformément au code IGC de l'OMI, le « Recueil international de règles relatives à la construction et à l'équipement des navires transportant des gaz liquéfiés en vrac », et à la norme EN 13458-2 « Récipients cryogéniques. Récipients fixes isolés sous vide ».

Les citernes sous vide de GNL sont isolées avec de la perlite/sous vide. La citerne est composée d'un récipient intérieur en acier inoxydable, conçu pour la pression interne, et d'un récipient extérieur qui agit comme une seconde barrière. Le récipient extérieur peut être en acier inoxydable ou en acier au carbone.

- Modèle de citerne typique : type C à double paroi
- Capacité : de 40 à 750 m<sup>3</sup>
- Acier inoxydable austénitique ou acier Ni 9 %
- Citerne extérieure : fonction de seconde barrière
- Isolation sous vide/par perlite ou isolation multicouche/sous vide en option
- Accepté dans la catégorie si raccord du tuyau dans le bas
- Raccord de la citerne directement fixé.

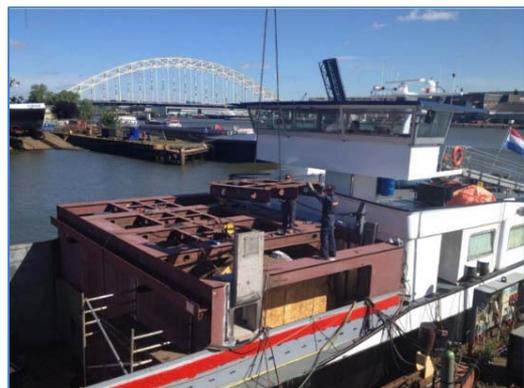
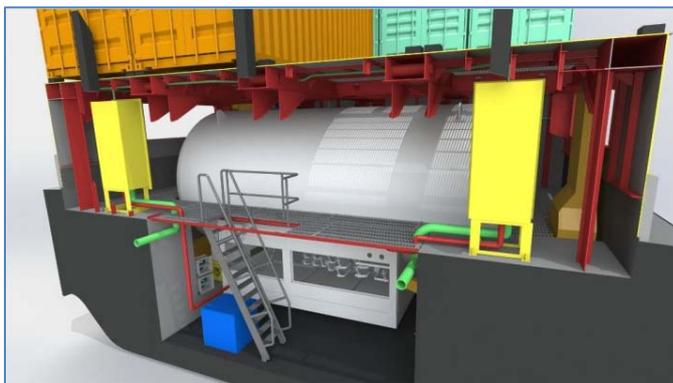


Figure 9 Citerne de GNL en pont inférieur sur l'Eiger-Norwand. Source : Danser.

## 2.1.5 EXIGENCES APPLICABLES AUX CITERNES DE STOCKAGE

### 2.1.5.1 EXIGENCES D'EMPLACEMENT D'UNE CITERNE DE CARBURANT GNL (CATEGORIE C)

D'après le code IGC (document BLG 15/Inf.2) :

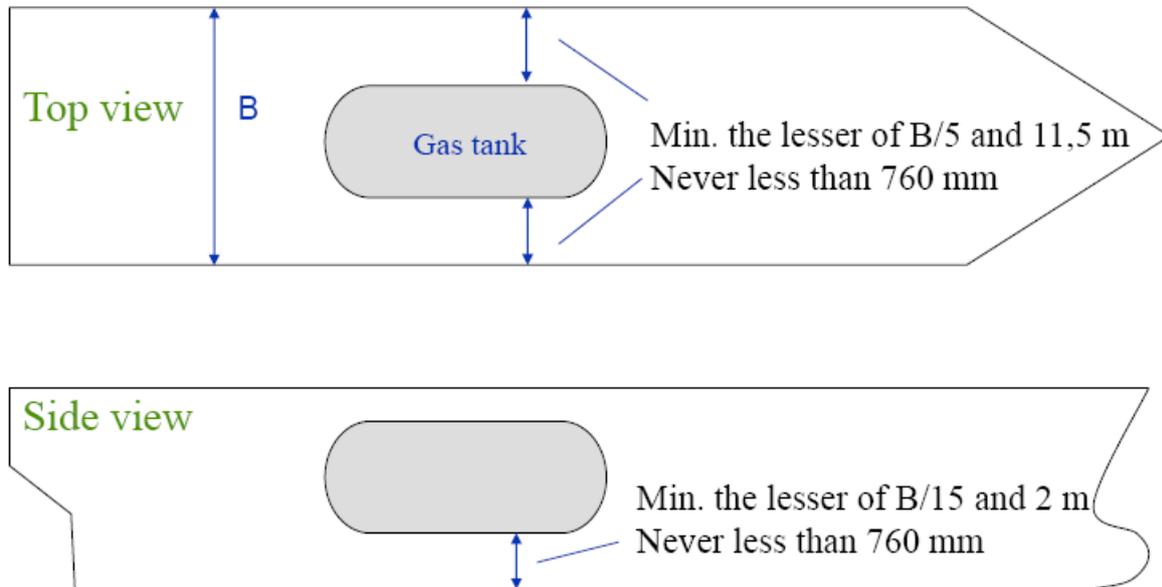


Figure 10 Schéma de configuration de la citerne. Source : DNV GL

### 2.1.5.2 EXIGENCES APPLICABLES AUX CITERNES DE STOCKAGE DE GAZ SITUEES SUR UN PONT DECOUVERT :

Les exigences sont les suivantes :

- Citerne située à une distance de  $B/5$  à partir de la coque latérale.
- Sur les bateaux autres que les bateaux transportant des passagers, les citernes peuvent être situées plus près de la coque. En fonction de leur volume, elles peuvent être placées entre 0,8 et 2,0 m de la coque, mais jamais à moins de 760 mm.
- Gattes en acier inoxydable pour les citernes avec des raccords bas et une isolation thermique de la coque.
- Blindage A-60 vers les zones de vie, les locaux de service, les zones de cargaison, la salle des machines et les stations de commande.

### 2.1.5.3 EXIGENCES APPLICABLES AUX CITERNES DE STOCKAGE DE GAZ SITUEES EN ESPACE CLOS :

Les exigences sont les suivantes :

- Pression de service maximum autorisée pour les citernes de GNL situées dans un espace clos : 10 bars.
- Citernes situées à une distance inférieure à  $B/5$  ou 11,5 m de la coque latérale.
- Citernes situées à une distance inférieure à  $B/15$  ou 2 m du sol.
- Sur les bateaux autres que les bateaux transportant des passagers, les citernes peuvent être situées plus près de la coque. En fonction de leur volume, elles peuvent être placées entre 0,8 et 2,0 m de la coque, mais jamais à moins de 760 mm.

Les systèmes de confinement du carburant nécessitant une deuxième barrière partielle ou totale doivent être protégés de la mer par une double coque.

## 2.1.6 CIRCUIT D'ALIMENTATION EN GNL

### 2.1.6.1 DISPOSITION TYPIQUE DE L'ALIMENTATION EN GNL

Les composants typiques du circuit d'alimentation en GNL d'un bateau de navigation intérieure sont les mêmes que ceux des circuits d'alimentation des navires de haute mer fonctionnant au GNL. Ces composants sont les suivants :

- Raccord d'avitaillement
- Système de confinement du GNL (citerne)
- Systèmes de conditionnement du gaz combustible
- Soupape de gaz principale
- Moteur à combustion alimenté au gaz naturel

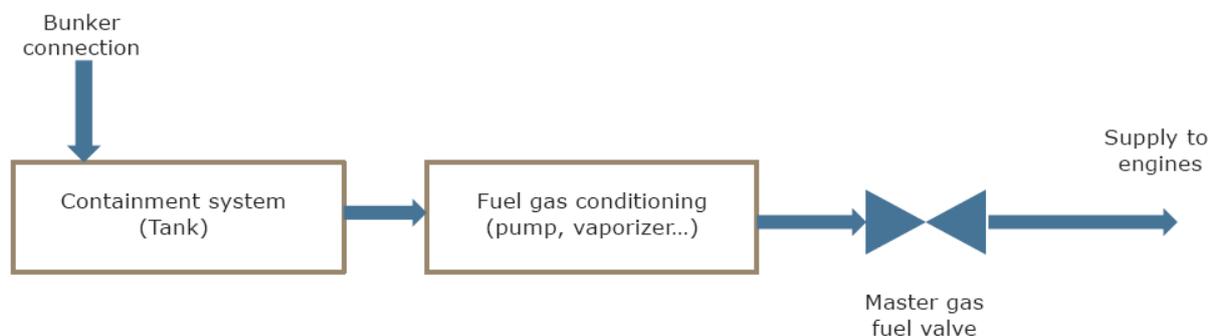


Figure 11 Disposition des composants de base d'un système au GNL



Figure 12 Citerne de GNL de catégorie C, isolée sous vide, avec boîte froide intégrée. Source : Wärtsilä

### 2.1.6.2. BOITE FROIDE DU GNL

Une boîte froide est composée d'un revêtement en acier au carbone, souvent rectangulaire, qui soutient et abrite les échangeurs de chaleur, la tuyauterie et d'autres équipements cryogéniques, et de matériaux d'isolation dans une atmosphère inerte.

Il existe des versions autonomes et des versions intégrées sur la citerne de carburant GNL. La documentation mentionne différents termes décrivant généralement les mêmes éléments d'installation : par exemple, boîte froide, local citerne et châssis de commande mobile.

Pour créer un modèle de « boîte froide » intégrée, une barrière en acier inoxydable est soudée au récipient extérieur de la citerne. La structure contient le châssis de commande mobile et toutes les percées de conduite vers la citerne.

Dans l'hypothèse peu probable d'une fuite de GNL, la boîte froide agit comme une barrière qui empêche les compartiments externes d'être endommagés et qui facilite la ventilation rapide des gaz évaporés.

Le local citerne et le système de ventilation doivent être protégés des incendies avec une classe d'isolation A60/A-0, selon la désignation du niveau de sécurité de la pièce adjacente. Certaines boîtes froides peuvent être mises sous atmosphère inerte à l'aide d'azote.

### 2.1.6.3 UNITE DE MISE EN PRESSION ET EVAPORATEUR DE PRODUIT

La boîte froide (présentée comme local citerne sur l'image) du système GNL contient une unité de mise en pression minimum et un évaporateur de produit.

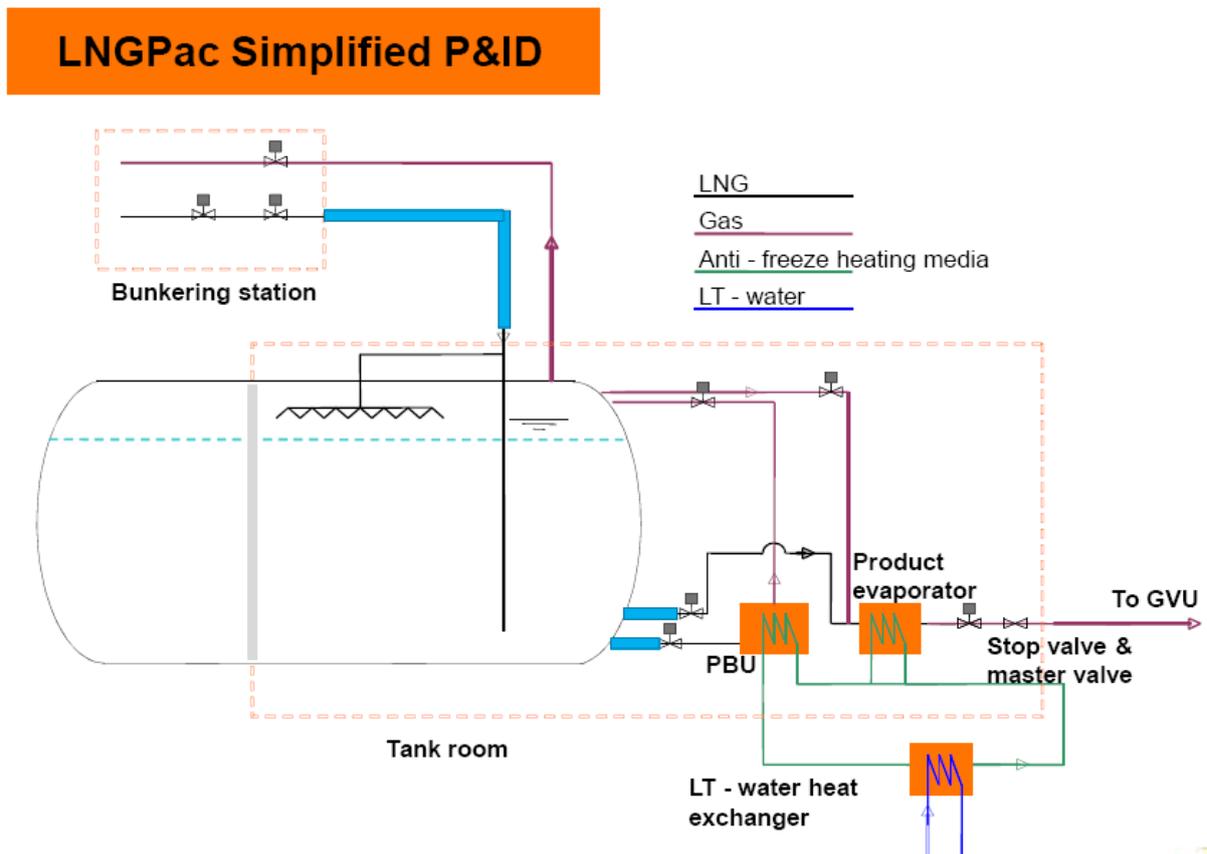


Figure 13 Configuration de la boîte froide

La boîte froide (local citerne) inclut tous les raccords et soupapes entre la citerne, l'unité de mise sous pression et l'évaporateur de produit, ainsi que les évaporateurs eux-mêmes.

L'unité de mise sous pression est composée d'un tuyau isolé, d'un évaporateur, de soupapes, d'un tuyau à simple paroi et de capteurs. La mission de cette unité est de développer la pression dans la citerne une fois que celle-ci est avitaillée en GNL et d'y maintenir la pression requise (environ 5 bars(g)), pendant le fonctionnement normal.

Maintenir la pression correcte dans la citerne permet de veiller à ce que les moteurs mixtes soient capables de fournir la puissance maximale (MCR de 100 %) à tout moment. Le système GNL ne disposant pas de compresseur ou de pompe cryogénique, les exigences de pression d'arrivée du gaz dans le moteur sont atteintes grâce au respect de la pression de stockage dans la citerne de GNL.

Le GNL peut quant à lui circuler vers l'évaporateur de l'unité de mise sous tension grâce à la différence de pression hydrostatique entre le haut et le bas de la citerne, le GNL du bas de la citerne étant envoyé vers l'évaporateur.

Le gaz évaporé est ensuite renvoyé vers le haut de la citerne. La circulation naturelle via l'unité de mise sous tension continue tant que la pression requise dans la citerne est respectée.

Le circuit de l'évaporateur de produit est composé d'un tuyau isolé, d'un évaporateur, de soupapes, d'un tuyau à paroi simple et de capteurs. L'objectif de cet évaporateur est de faire évaporer le GNL en gaz et de le chauffer à une température minimum de 0 °C, conformément aux spécifications du moteur. Le gaz est ensuite envoyé vers la soupape de gaz, devant les moteurs.

L'unité de mise sous tension et l'évaporateur sont tous deux chauffés par un mélange eau/glycol, qui est remis en circulation vers un refroidisseur externe. Le mélange y est chauffé par la chaleur résiduelle du circuit de l'eau de refroidissement du moteur.

---

#### 2.1.6.4 SOUPE DE GAZ

La soupape de gaz est un module situé entre le système de stockage du GNL et le moteur mixte :

- pour réguler la pression de base du gaz et
- pour veiller à la bonne déconnexion du système de gaz et à son passage en mode inerte, le cas échéant.



Figure 14. Soupape de gaz sous coffret configurée de manière horizontale et verticale.



Figure 15. Soupape de gaz ouverte.  
Source : Wärtsilä

## 2.1.7 SECURITE DE LA SALLE DES MACHINES POUR LES BATEAUX FONCTIONNANT AU GNL

### 2.1.7.1 INTRODUCTION

Les directives provisoires de l'OMI acceptent deux concepts de salle des machines : une salle des machines protégée des dangers liés au gaz et une salle des machines protégée par un dispositif d'arrêt d'urgence. (Reportez-vous à la section 2.6 de la résolution de l'OMI MSC.285(86).) Les mêmes configurations peuvent être utilisées dans la navigation intérieure.

Salle des machines protégée des dangers liés au gaz : locaux considérés sans danger lié au gaz, quelles que soient les conditions, normales ou anormales, c'est-à-dire que les locaux sont intrinsèquement à l'abri des gaz.

Salle des machines protégée par un dispositif d'arrêt d'urgence : locaux considérés comme étant non dangereux dans des conditions normales, mais comme potentiellement dangereux dans certaines conditions anormales.

En cas de conditions anormales impliquant des dangers liés au gaz, l'arrêt d'urgence de l'équipement non sûr (sources d'inflammation) et des machines doit être exécuté automatiquement, tandis que d'autres équipements ou machines en service ou en activité pendant ces conditions doivent être certifiés comme sûrs.

### 2.1.7.2 SALLE DES MACHINES PROTEGEE DES DANGERS LIES AU GAZ

Toute la tuyauterie d'alimentation en gaz présente à l'intérieur des limites de la salle des machines doit être confinée dans un coffret étanche au gaz, c'est-à-dire un tuyau ou un conduit à double paroi. Si une fuite dans un tuyau d'alimentation en gaz nécessite l'arrêt du circuit du gaz, une deuxième source d'alimentation indépendante doit être disponible.

L'alternative suivante est acceptée : dans le cas d'installations comptant plusieurs moteurs, des systèmes d'alimentation en gaz indépendants et séparés pour chaque moteur ou groupe de moteurs.

La tuyauterie d'alimentation en gaz qui traverse des espaces clos doit être totalement confinée dans un tuyau ou un conduit à double paroi. Ce double tuyau ou conduit doit satisfaire l'une des exigences suivantes :

- La tuyauterie du gaz doit être composée de tuyaux à double paroi, le gaz étant contenu dans le tuyau intérieur. L'espace entre les deux tuyaux (intérieur et extérieur) doit être pressurisé avec du gaz inerte à une pression supérieure à celle du gaz. Des systèmes d'alarme adaptés doivent être mis en place pour signaler toute baisse de la pression du gaz inerte entre les deux tuyaux.

Ou

- La tuyauterie du gaz doit être installée dans un tuyau ou un conduit ventilé. L'espace entre la tuyauterie du gaz et la paroi du tuyau ou du conduit extérieur doit être équipé d'une ventilation avec contrôle mécanique de la pression disposant d'une capacité d'au moins 30 changements d'air par heure.

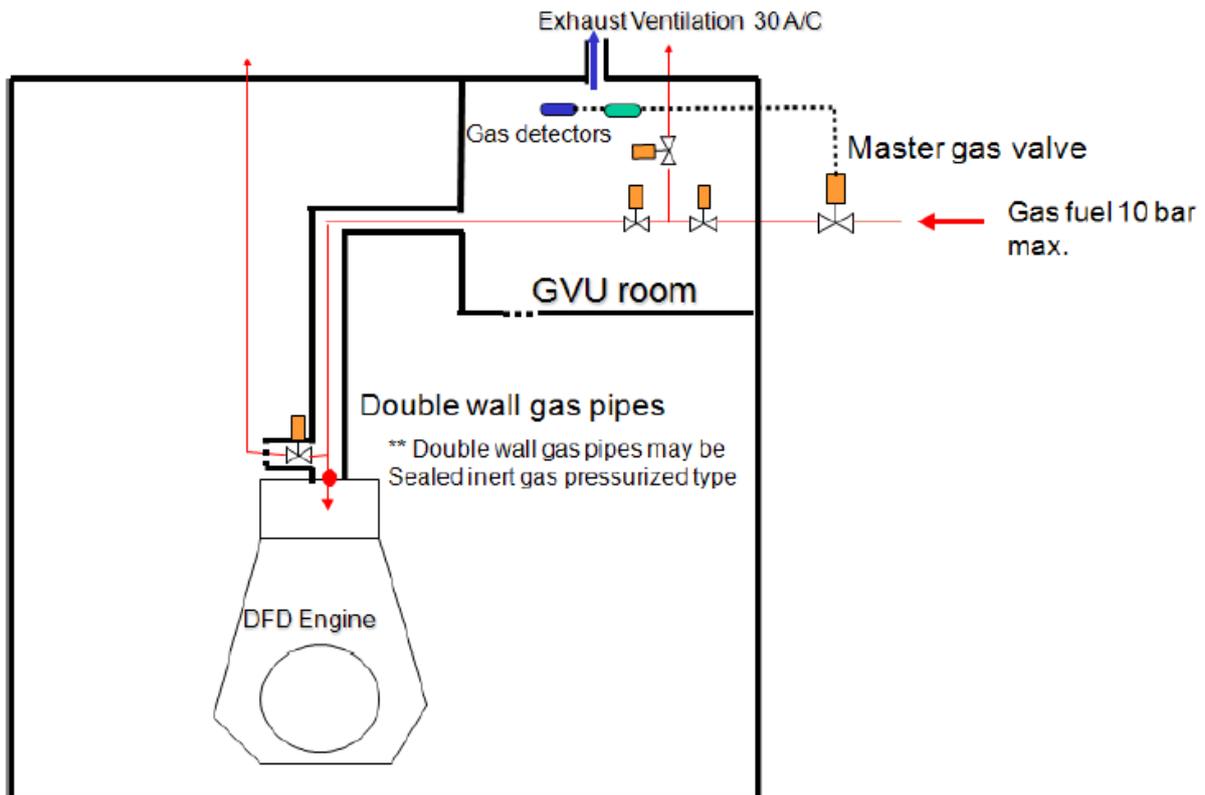


Figure 16 Disposition typique d'une salle des machines protégée des dangers liés au gaz.  
Source : ABS.

### 2.1.7.3 SALLE DES MACHINES PROTEGEE PAR UN DISPOSITIF D'ARRET D'URGENCE

La tuyauterie d'alimentation en gaz est acceptée au sein de la salle des machines sans coffret extérieur d'étanchéité au gaz à condition de remplir les conditions suivantes :

- Les moteurs de propulsion et de génération de la puissance électrique doivent être situés dans au moins deux salles des machines distinctes.
- Les espaces où sont installées la soupape, la citerne et la machinerie pour l'exploitation du gaz doivent uniquement contenir l'équipement strictement nécessaire.
- La pression dans les conduites d'alimentation en gaz dans la salle des machines doit être inférieure à 10 bars(g).
- Un système de détection du gaz doit être installé afin de couper automatiquement l'alimentation en gaz.

La salle des machines protégée par un dispositif d'arrêt d'urgence doit disposer d'une ventilation avec une capacité d'au moins 30 changements d'air par heure. Le système de ventilation doit assurer une bonne circulation de l'air dans tous les espaces et doit notamment veiller à ce que toute formation d'une poche de gaz dans la salle soit détectée.

Une alternative peut être que la salle des machines soit ventilée avec au moins 15 changements d'air par heure dans des conditions de fonctionnement normales. Cette situation est acceptable à condition que le nombre de changements d'air augmente automatiquement à 30 par heure si du gaz est détecté dans la salle des machines.

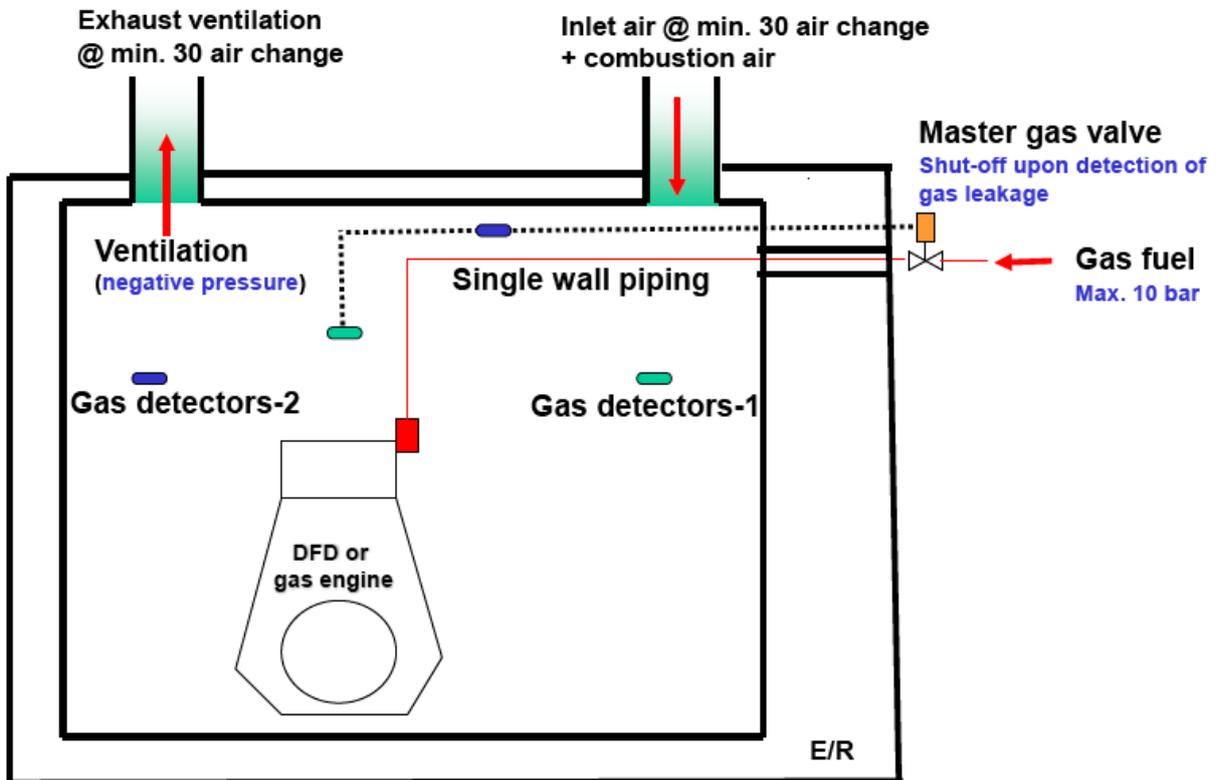


Figure 17 Disposition typique d'une salle des machines protégée par un dispositif d'arrêt d'urgence. Source : ABS.

#### 2.1.8 ZONES DANGEREUSES

Les dangers sont dus à la présence de gaz, de vapeurs ou de brouillards de substances inflammables. La directive européenne 1999/92/CE établit une classification en trois zones (voir le tableau 2), définies de la manière suivante :

##### Zone 0

Zone dans laquelle une atmosphère explosive est présente en permanence ou pendant de longues périodes. L'équipement énergétique doit être équipé d'une double isolation dans cette zone.

##### Zone 1

Zone dans laquelle une atmosphère explosive est susceptible de se développer pendant des conditions de fonctionnement normales. Des moteurs électriques antidéflagrants ou des moteurs avec une protection supplémentaire peuvent être installés dans cette zone (pour les moteurs avec protection supplémentaire, les restrictions standard s'appliquent).

##### Zone 2

Zone dans laquelle une atmosphère explosive est rarement susceptible de se développer ou, si tel est le cas, pendant une courte période. Des moteurs antidéflagrants ou des moteurs avec une protection supplémentaire peuvent être installés dans cette zone, ainsi que des moteurs sans étincelle.

	Avec source de dégagement <sup>1</sup>		Sans source de dégagement	
	Avec ventilation <sup>2</sup>	Sans ventilation	Avec ventilation <sup>2</sup>	Sans ventilation
Zone 0	<p>Zone 1</p> <p>Exemple : chambre de la pompe à cargaison</p> <p>(voir annexe A, clause A.1)</p>	<p>Zone 0</p> <p>Exemple : cofferdam avec brides de tuyau de cargaison</p> <p>(voir annexe A, clause A.4)</p>	<p>Zone 2</p> <p>Exemple : chambre de la pompe de ballast adjacente aux citernes à cargaison</p> <p>(voir annexe A, clause A.7)</p>	<p>Zone 1</p> <p>Exemple : cofferdam, espace vide</p> <p>(voir annexe A, clause A.10)</p>
Zone 1	<p>Zone 2</p> <p>Exemple : chambres avec brides de tuyau de cargaison</p> <p>(voir annexe A, clause A.2)</p>	<p>Zone 1</p> <p>Exemple : chambres avec brides de tuyau de cargaison</p> <p>(voir annexe A, clause A.5)</p>	<p>Zones non dangereuses</p> <p>(voir annexe A, clause A.8)</p>	<p>Zones non dangereuses</p> <p>(voir annexe A, clause A.11)</p>
Zone 2	<p>Zone 2</p> <p>Exemple : chambres avec brides de tuyau de cargaison</p> <p>(voir annexe A, clause A.3)</p>	<p>Zone 1</p> <p>Exemple : chambres avec brides de tuyau de cargaison</p> <p>(voir annexe A, clause A.6)</p>	<p>Zones non dangereuses</p> <p>(voir annexe A, clause A.9)</p>	<p>Zones non dangereuses</p> <p>(voir annexe A, clause A.12)</p>
<p><sup>1</sup>Voici quelques exemples de sources de dégagement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilation et autres ouvertures vers les citernes à cargaison, les citernes à résidus et la tuyauterie de cargaison</li> <li>- Joints des pompes de cargaison, compresseurs de cargaison et équipement d'exploitation</li> <li>- Joints des soupapes et des brides et autres raccords de tuyauterie</li> <li>-</li> </ul> <p><sup>2</sup>Si la classification d'une zone dépend de sa ventilation, les dispositions doivent faire en sorte que les interruptions de ventilation ne se prolongent pas pendant de longues périodes et qu'il n'y ait pas d'accumulation de gaz ou de vapeurs à proximité des différentes sources de dégagement ou à l'endroit où l'équipement électrique est installé.</p>				

Tableau 2 - Zones séparées les unes des autres par une limite étanche au gaz (zones dangereuses conformes à la norme CEI 60092-502-1999)

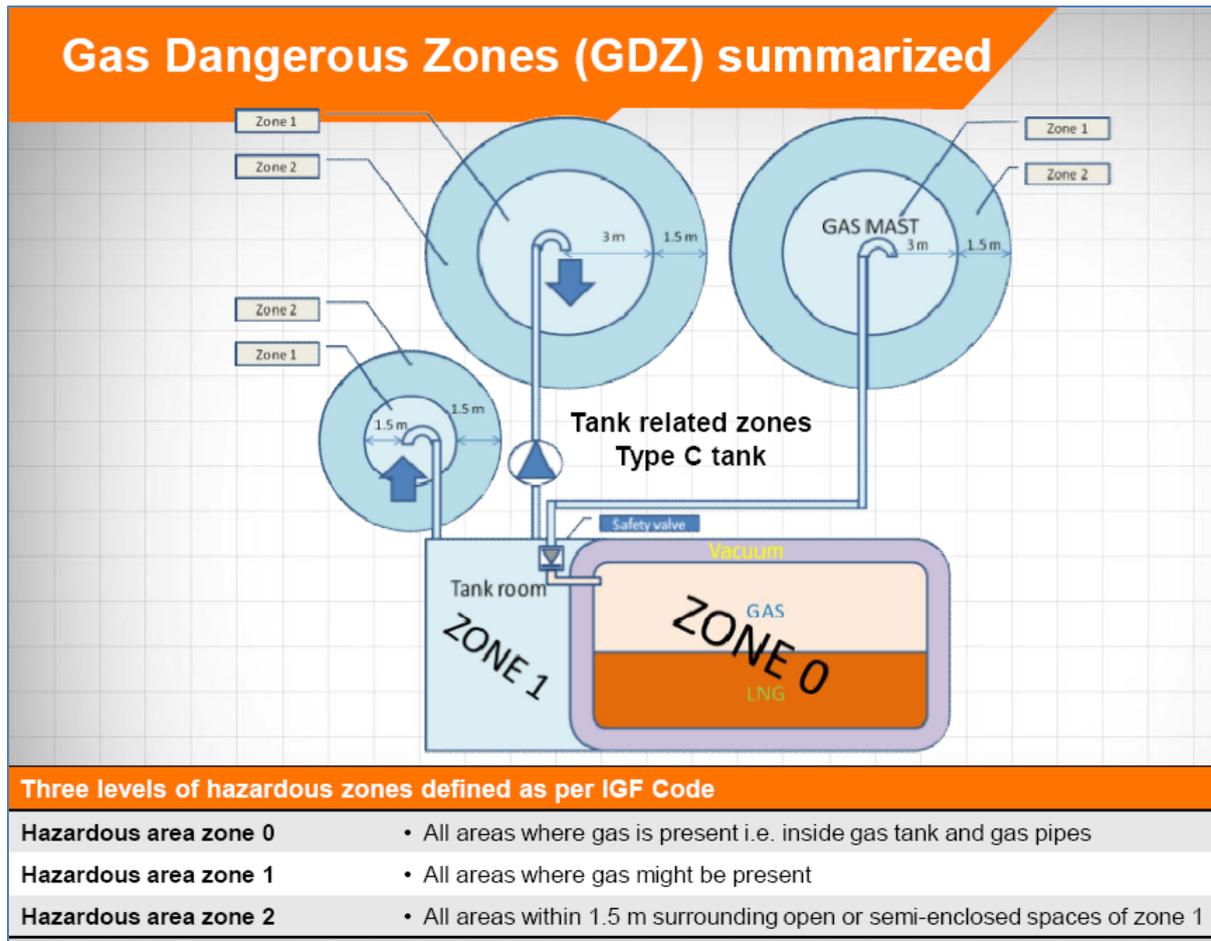


Figure 18 Trois niveaux des zones dangereuses. Source : Wärtsilä.

## 2.2 PETITS BATEAUX-CITERNES TRANSPORTANT DU GNL

### 2.2.1 INTRODUCTION

Bien qu'une infrastructure internationale établie existe pour le GNL, elle n'a jusqu'à présent pas répondu aux exigences de l'avitaillement en GNL.

Il existe un fossé important entre les petites installations de GNL utilisé comme combustible de soute et les terminaux GNL à grande échelle au service de grands bateaux-citernes (140 000 m<sup>3</sup> et plus) dont l'objectif est de fournir des millions de tonnes de gaz naturel aux réseaux de distribution du gaz.

Pour combler ce fossé, il faut des petits bateaux transportant du GNL qui soient suffisamment grands pour s'arrêter aux principaux terminaux afin de charger, mais qui soient assez petits pour servir l'infrastructure d'avitaillement.

Les premiers développements ont été réalisés en 2004 avec le lancement du « Pioneer Knudsen » qui transporte 1 100 m<sup>3</sup>, et se sont ensuite poursuivis avec le « Coral Methane », un bateau-citerne de 7 500 m<sup>3</sup> transportant du GNL/éthylène/GPL, conçu par TGE et en service depuis 2009 pour Anthony Veder Group/NL. Le « Coral Methane » a chargé de nombreuses cargaisons de GNL dans de grands terminaux d'importation européens, comme Zeebrugge. En 2012, le « Coral Energy », un bateau nouvelle génération, a été construit dans les chantiers de la Meyer Werft en Allemagne. Il s'agit d'un bateau-citerne pouvant transporter 15 600 m<sup>3</sup> de GNL. Il appartient au groupe Anthony Veder et dispose d'un système de gestion du gaz conçu par TGE.

Les deux bateaux possèdent un système de propulsion mixte pour contrôler la pression de la citerne et réduire les émissions. La même société a construit le « Coral Anthelia » en 2013/14, un bateau-citerne de 6 500 m<sup>3</sup> transportant du GNL/éthylène/GPL. Ces petits bateaux-citernes transportant du GNL ne sont pas taillés pour les voies de navigation intérieure ; ils sont pourtant considérés comme les précurseurs des bateaux-citernes de transport du GNL pour la navigation intérieure.



Figure 19 Quelques modèles d'étude de bateau-citerne transportant du GNL. Source : VEKA.

---

## 2.2.2 STOCKAGE DU GNL SUR LES BATEAUX-CITERNES DE NAVIGATION INTERIEURE TRANSPORTANT DU GNL

---

### 2.2.2.1 GENERAL

D'après les estimations, tous les types de citernes GNL utilisés dans la catégorie de l'OMI seront réutilisés pour le secteur de la navigation intérieure. La grande différence est la taille ; la taille d'un bateau de navigation intérieure est en effet limitée à la taille des voies navigables intérieures. Le volume (charge) total maximal de GNL envisagé dans un bateau-citerne de navigation intérieure transportant du GNL est de 3 000 m<sup>3</sup>, d'après les développements de bateau-citerne de navigation intérieure transportant du GNL réalisés au cours de l'été 2014.

Sur la base des citernes OMI de type C, les bateaux-citernes GNL de 40 000 m<sup>3</sup> et même plus sont réalisables ; des hypothèses de 10 000 m<sup>3</sup> par cylindre ou de 20 000 m<sup>3</sup> par citerne bi-Lobe ont été étudiées.

Les principaux avantages de ce type de citerne très fiable sont la flexibilité de la gestion de la pression (gaz d'évaporation) et le fait qu'aucune barrière secondaire ne soit requise.

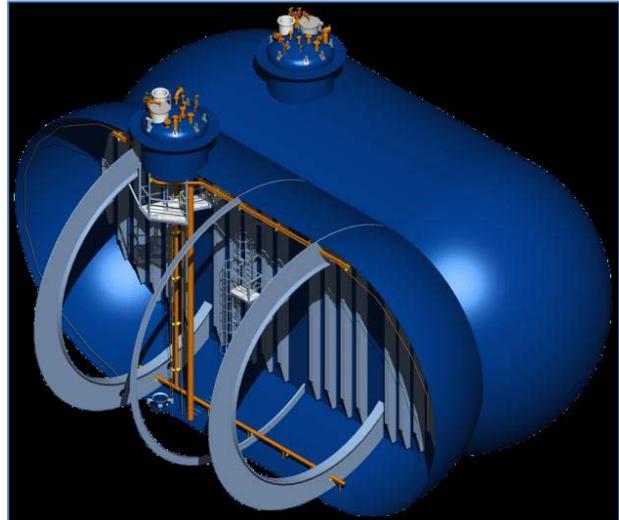


Figure 20 Exemple de citerne bi-Lobe de stockage de GNL

En 2014, il semble que les citernes de type C soient le système le plus populaire choisi pour développer des bateaux-citernes de navigation intérieure transportant du GNL. Par exemple, le modèle ci-dessous de bateau-citerne de navigation intérieure transportant du GNL conçu par Veka-Deen Group possède trois citernes de type C, chacune d'une capacité de 750 m<sup>3</sup>. Un modèle similaire avec trois citernes de 1 000 m<sup>3</sup> chacune est également en cours de conception.



Figure 21 Bateau-citerne transportant du GNL conçu par VEKA-Deen. Source : Veka.

Cependant, le tout récent bateau d'avitaillement en GNL combiné d'Argos utilisera un système de confinement à membrane Mark III de GTT qui lui offrira une capacité de stockage de 1 870 m<sup>3</sup> de GNL dans chaque compartiment, c'est-à-dire plus de la moitié de la capacité d'un modèle d'origine grâce à quatre citernes de type C.

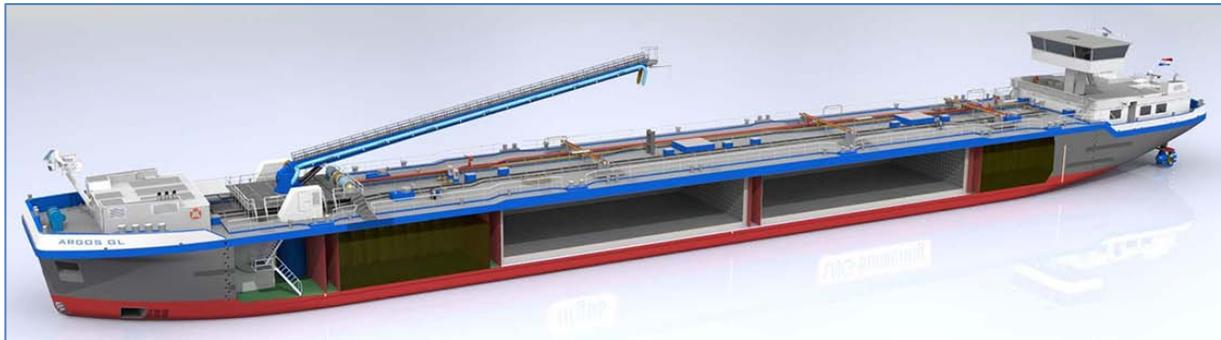


Figure 22 Modèle final du bateau d'avitaillement en GNL combiné d'Argos. Source : Argos.

### 2.2.2.2

### TAILLE MAXIMALE D'UNE CITERNE DE STOCKAGE DE GNL

L'utilisation d'un système de confinement à membrane Mark III de GTT permet de gagner plus d'espace par rapport aux citernes de type C. D'après la taille habituelle d'un bateau-citerne de navigation intérieure (longueur de 110 m, largeur de 11,40 m, tirant d'eau de 3,50 m et capacité de chargement de 3 000 t), le volume maximal de GNL que ce type de bateau-citerne peut transporter peut atteindre plus de 4 000 m<sup>3</sup>.

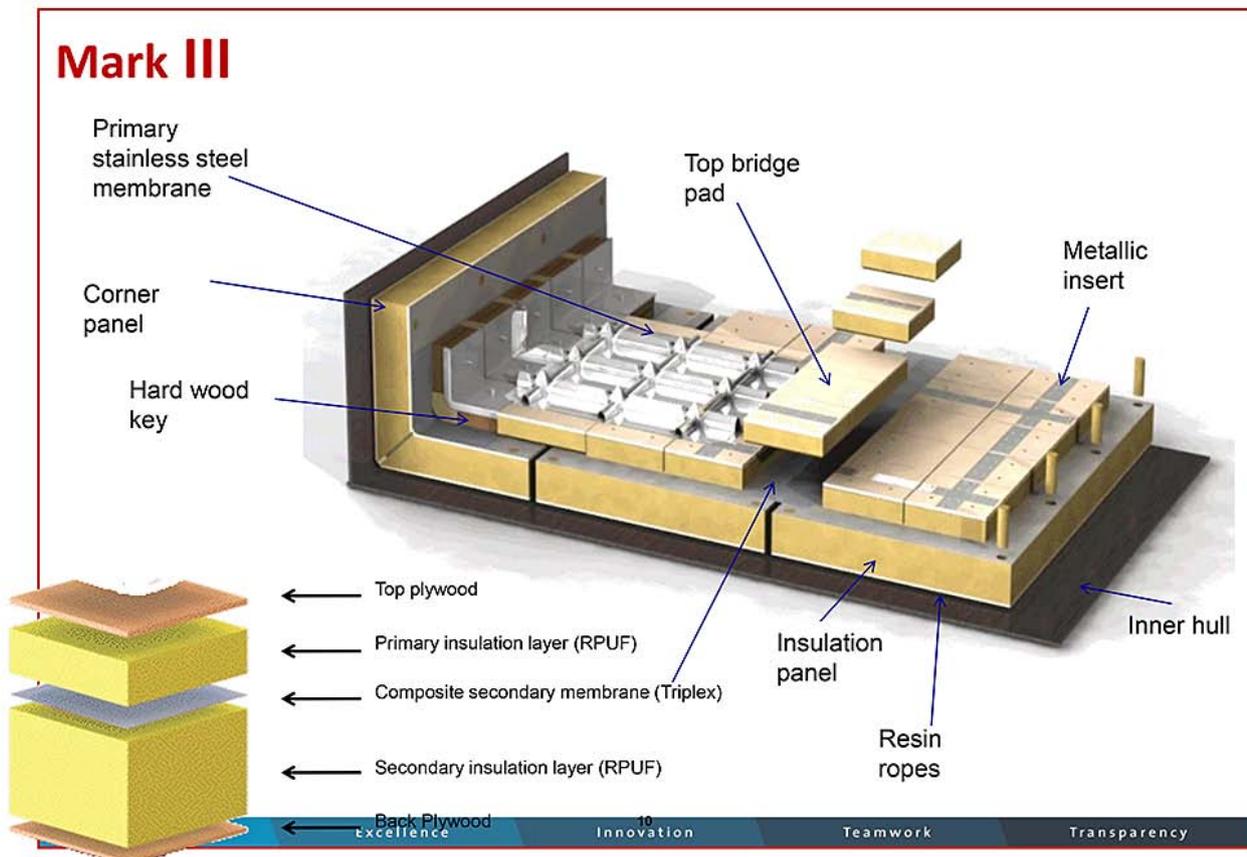


Figure 23 Modèle typique d'un système de confinement à membrane Mark III de GTT. Source : HHP Insight.

### 2.2.3 SYSTEMES EMBARQUES

#### 2.2.3.1 CONDUITES ET SOUPAPES DE CARGAISON

Les bateaux-citernes transportant du gaz sont équipés de collecteurs pour le liquide et la vapeur. Ceux-ci sont reliés à des collecteurs ou des conduites pour le liquide et la vapeur par des embranchements menant à chaque citerne à cargaison. La conduite de chargement de liquide est menée à travers le dôme de la citerne jusqu'au fond de chaque citerne à cargaison afin de pré-refroidir la citerne ; le raccord de vapeur est passé au sommet de chaque citerne à cargaison.

Les conduites à cargaison n'étant pas autorisées en-dessous du niveau du pont sur les bateaux-citernes transportant du gaz, tous les raccords de tuyaux vers des citernes doivent passer par le dôme des citernes à cargaison qui traversent le pont principal.

Les soupapes de dégagement de vapeur sont également montées sur les dômes des citernes ; elles sont reliées au mât de dégazage par un tuyau traversant un collecteur. Les mâts de dégazage sont installés à une hauteur et à des distances sûres des lieux de vie et d'autres zones similaires protégées des dangers liés au gaz, conformément aux spécifications des codes de gaz applicables.

#### 2.2.3.2 SOUPAPES DE CARGAISON

L'isolement des soupapes des citernes à cargaison doit être effectué conformément aux codes de gaz applicables. Lorsque les citernes à cargaison ont un MARVS (Maximum Allowable Relief Valve Setting, tarage maximal admissible des soupapes de dégagement) supérieur à 0,7 barg (citernes de type C selon le code IGC), les raccords pour le liquide et la vapeur situés sur le dôme de la citerne (à l'exception des raccords des soupapes de dégagement) doivent être munis d'un dispositif à double soupape.

Celui-ci doit comprendre une soupape manuelle et une soupape d'isolement commandée à distance, montées en série.

#### 2.2.3.3 SYSTEMES D'ARRÊT D'URGENCE

Des boutons poussoirs électriques ou des soupapes pneumatiques sont disponibles à divers endroits à bord du bateau-citerne. Lorsqu'ils sont utilisés, ces dispositifs ferment les soupapes commandées à distance et arrêtent les pompes de cargaison. Il s'agit d'un mécanisme d'arrêt d'urgence permettant de gérer la cargaison. Ces systèmes d'arrêt d'urgence se déclenchent également automatiquement en cas de perte de la commande électrique ou de l'actionneur de la soupape. Les différentes soupapes de remplissage de la citerne doivent se fermer automatiquement en cas d'activation d'un capteur anti-débordement dans la citerne à laquelle elles sont connectées. Les soupapes d'arrêt d'urgence peuvent être pneumatiques ou hydrauliques, mais dans les deux cas, elles doivent être à sécurité intégrée. En d'autres termes, elles doivent se fermer automatiquement en cas de perte de l'alimentation de la commande.

Il est primordial d'envisager la possibilité d'une surpression générée lorsque le système d'arrêt d'urgence de la citerne est actionné. La situation varie d'un terminal à l'autre et dépend de la vitesse de chargement, de la longueur de la conduite du terminal, de la vitesse de fermeture de la soupape et des caractéristiques de la soupape elle-même. Le phénomène de génération d'une surpression est complexe et ses conséquences peuvent être extrêmes, par exemple, la rupture de tuyaux ou des articulations du bras de chargement.

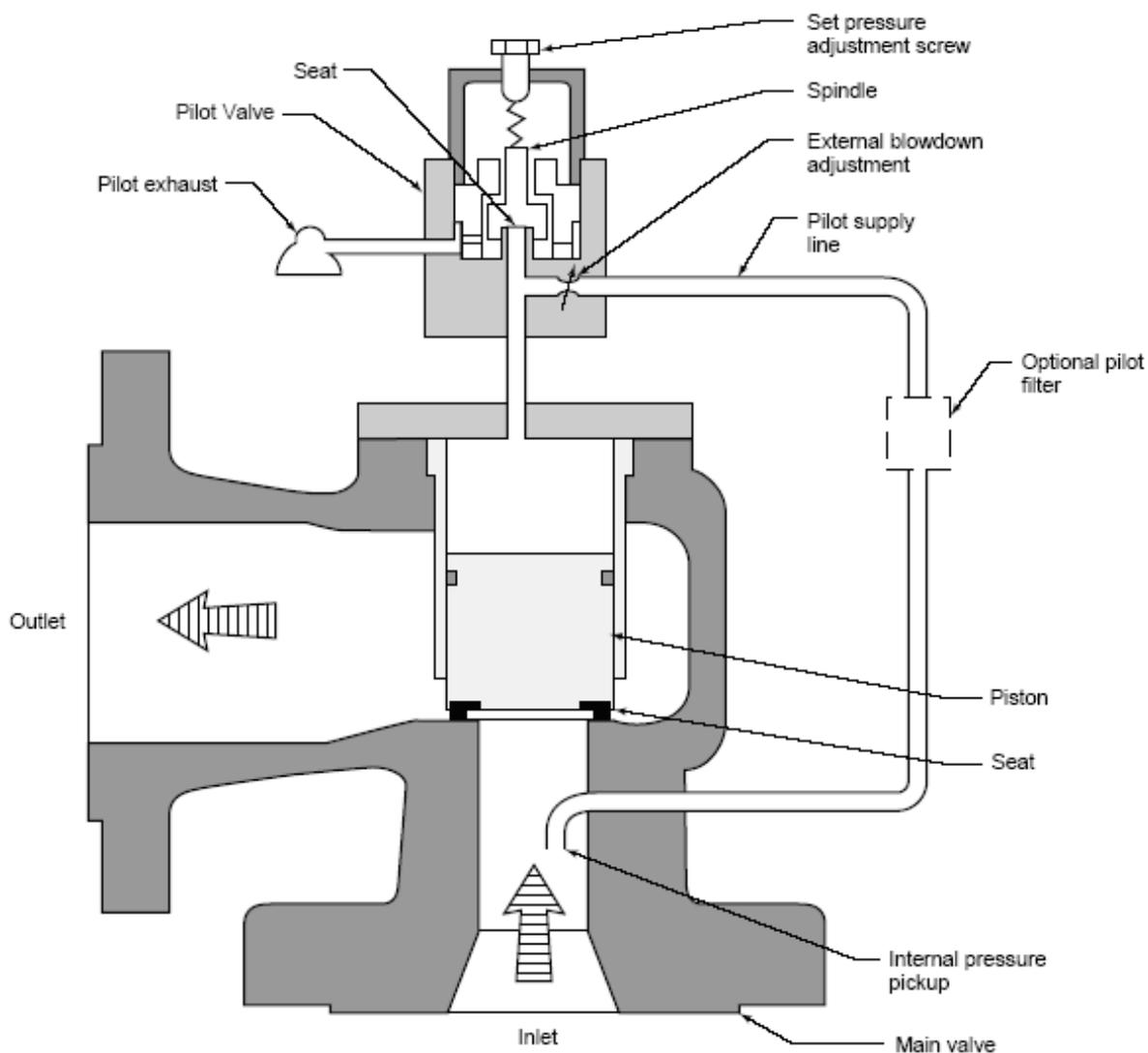
#### 2.2.3.4 SOUPAPES DE DEGAGEMENT POUR CONDUITES ET CITERNES A CARGAISON

La meilleure pratique exige qu'au moins deux soupapes de dégagement de capacité égale soient montées sur les citernes à cargaison, y compris un système permettant d'éviter la fermeture simultanée des deux soupapes.

Ces deux soupapes doivent être ouvertes pendant le fonctionnement. Les types de soupapes normalement installées sont commandés par ressort ou par régulation.

Des soupapes de dégagement commandées par régulation sont présentes sur tous les types de citernes, tandis que les soupapes de dégagement à ressort sont généralement uniquement utilisées sur les citernes pressurisées de type C.

L'utilisation de soupapes de dégagement commandées par régulation sur des citernes totalement réfrigérées assure un fonctionnement précis dans les conditions de faible pression qui y règnent. Leur utilisation sur des citernes de type C permet de régler différents paramètres de dégagement pour une même soupape. Cette fonction est possible en changeant le ressort de commande.



La figure 24 présente une soupape typique de dégagement commandée par régulation.

D'autres types de soupape commandée par régulation sont disponibles pour le réglage de la pression de tarage et de la pression de purge.

### 2.2.3.5 POMPES DE CARGAISON

Les pompes de cargaison installées à bord des bateaux-citernes transportant du GNL sont normalement des modèles centrifuges et peuvent être des pompes de fond ou des pompes immergées. Elles peuvent fonctionner seules ou en parallèle avec une autre pompe. Certains bateaux-citernes totalement pressurisés déchargent la cargaison en pressurant les citernes avec de la vapeur et des pompes de surpression sont installées pour accélérer le transfert de la cargaison.

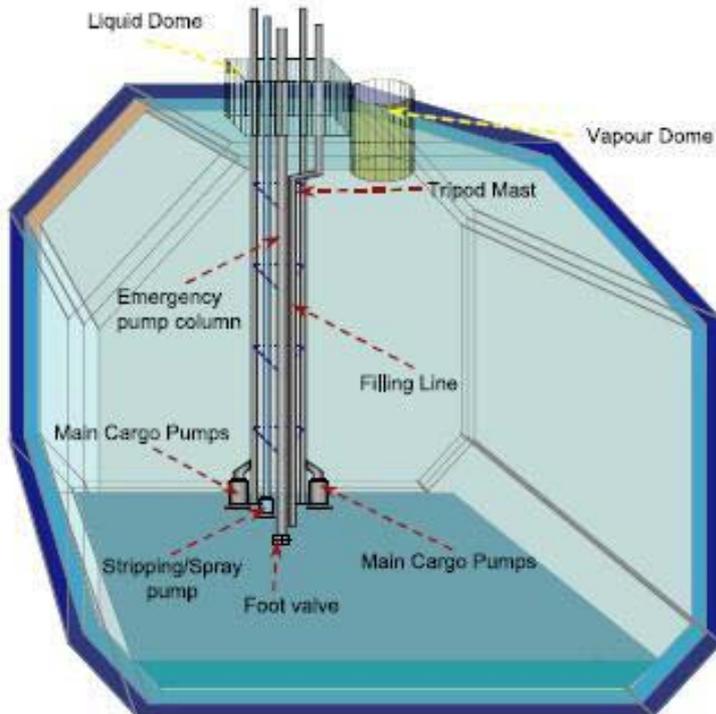


Figure 25 Disposition typique des pompes de cargaison pour un bateau-citerne à membrane transportant du GNL.

### 2.2.3.6 SYSTEMES A GAZ INERTE ET A AZOTE

Les bateaux-citernes transportant du GNL utilisent du gaz inerte pour les applications suivantes :

- Purge générale/assèchement de la citerne de cargaison
- Détection d'une fuite dans les espaces isolés à bord des bateaux transportant du GNL
- Propulsion au GNL ; purge des tuyaux de carburant, etc.

Le système le plus couramment utilisé pour la production d'azote sur les bateaux-citernes est un processus de séparation de l'air. Ce système sépare les composants gazeux de l'air en passant l'air comprimé sur des membranes à fibres creuses.

Celles-ci séparent l'air en deux flux : l'un est essentiellement constitué d'azote, l'autre contient de l'oxygène, du dioxyde de carbone et des traces d'autres gaz. Ce système peut produire de l'azote d'une pureté d'environ 95 à 99,8 pour cent.

## 2.3 AVITAILLEMENT EN GNL

### 2.3.1 DEFINITION DE L'AVITAILLEMENT EN GNL

L'avitaillement en GNL est le transfert à petite échelle de GNL dans des bateaux utilisant le GNL comme carburant dans des moteurs à gaz ou mixtes. L'avitaillement en GNL se déroule dans les ports ou d'autres lieux protégés.

L'avitaillement ne doit pas être considéré dans le même contexte que le transfert commercial de cargaison à grande échelle entre les bateaux-citernes transportant du GNL. Cette opération à plus grande échelle est régie par des normes et des lois distinctes.

### 2.3.2 SCENARIOS D'AVITAILLEMENT EN GNL

#### Camion à bateau :

Micro avitaillement ; l'unité de déchargement est de l'ordre d'un camion-citerne de GNL, c'est-à-dire < 100 m<sup>3</sup> environ.

#### Bateau à bateau :

L'unité de déchargement est de l'ordre d'un bateau ou d'une barge d'avitaillement, c'est-à-dire < 10 000 m<sup>3</sup>.

#### Terminal (conduite) à bateau :

L'avitaillement du terminal satellite sert d'unité de déchargement. Le volume livré est d'environ 100- 10 000 m<sup>3</sup>.

Les transferts de type terminal à bateau et camion à bateau sont les scénarios d'avitaillement les plus répandus jusqu'à présent. Ils sont tous les deux classés en tant qu'avitaillement à terre.

Pour ces transferts, le fournisseur de GNL est relié au récepteur à l'aide d'un tuyau de 5 cm résistant à la cryogénie. Les tuyaux sont pré-rincés avec de l'azote pour retirer l'oxygène et l'humidité. Les tuyaux et les raccords sont ensuite pré-refroidis par le GNL. Le GNL pur est uniquement pompé lorsque le tuyau est suffisamment froid. Pour pouvoir pomper, il faut augmenter la pression de vapeur dans la citerne de GNL ou utiliser la pompe de GNL cryogénique spéciale. La pression de chargement sera d'environ 7 bars.

Les principales étapes de l'avitaillement sont les suivantes :

- Pré-refroidissement initial
- Raccord du tuyau d'avitaillement
- Mise sous atmosphère inerte du système de raccord
- Vérification du fonctionnement des systèmes d'arrêt d'urgence
- Purge du système de raccord
- Remplissage
- Assèchement de la conduite de liquide
- Mise sous atmosphère inerte de la conduite de liquide



Figure 26 Premier avitaillement en GNL de la barge Eiger-Norwand. Source : Danser.

### 2.3.3 CITERNES MOBILES DE CARBURANT GNL

Une autre option est de disposer d'une citerne de carburant GNL remplaçable (adaptée au format d'un conteneur) plutôt qu'une citerne de carburant GNL fixe. La citerne vide est simplement remplacée par une pleine à l'aide d'une grue dans un terminal à conteneurs.

Dans certains autres documents, il est mentionné une « cellule de GNL ». Il s'agit d'une citerne-conteneur ISO de type C avec les mêmes conditions de sécurité que la citerne de carburant recommandée.



Figure 27 Citerne-conteneur de carburant GNL.  
Source : Marine Services LNG.

Le système suivant de gaz combustible GNL conçu par Marine Services LNG est utilisé :

## SYSTÈME DE GAZ COMBUSTIBLE GNL DE MARINE SERVICES LNG

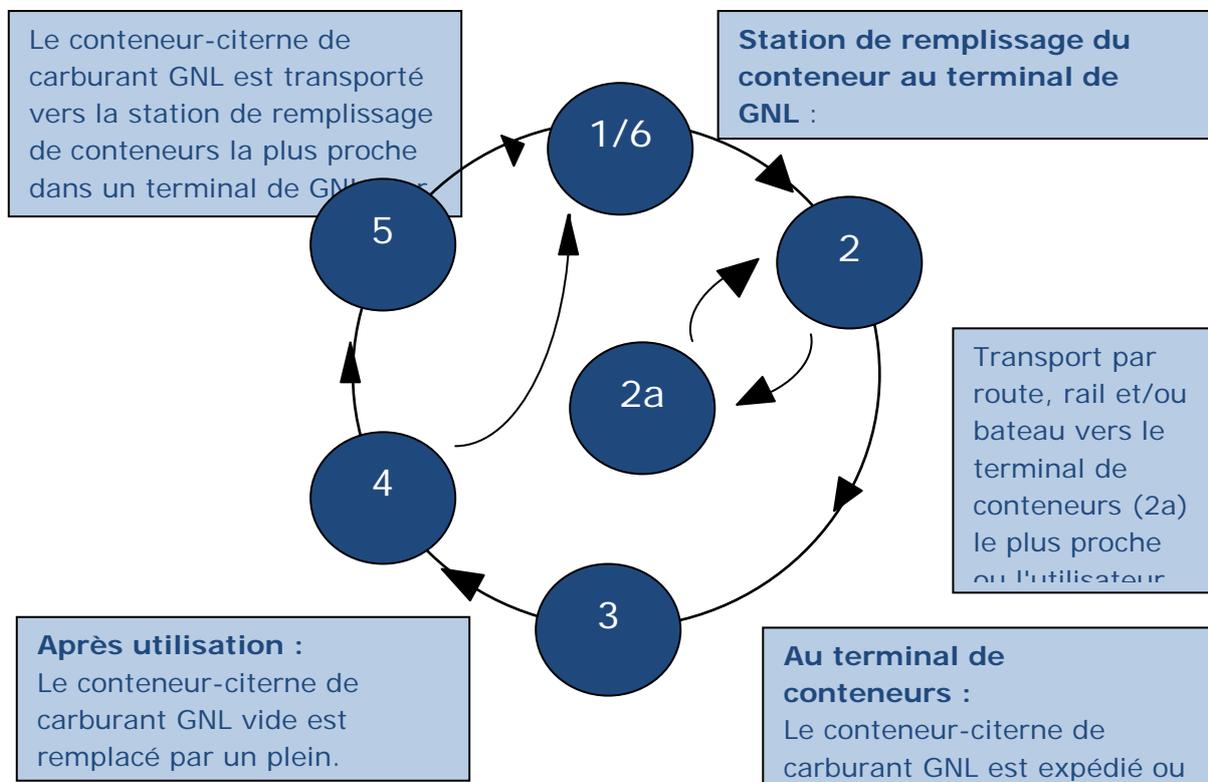


Figure 28 Système logistique d'un conteneur-citerne de carburant GNL

### 3. SCENARIOS EXISTANTS

#### 3.1 DEGAGEMENTS DE GNL

##### 3.1.1 GENERAL

La première chose importante est de comprendre le comportement général du GNL avant qu'il ne soit intégré dans l'environnement de la navigation intérieure.

Plusieurs études ont été menées sur ce sujet par des sources fiables qui ont réalisé des tests et des démonstrations pratiques.

En général, il en ressort deux types de comportement pour l'émergence du GNL : le GNL stocké à la pression atmosphérique et le GNL stocké à une température/pression plus élevée.

La principale différence réside dans le fait que dans le GNL stocké à des pressions plus élevées, un feu en torche risque de se produire et peut provoquer une BLEVE (explosion de vapeur en expansion par ébullition d'un liquide), telle qu'expliquée dans les figures 29 et 30, dans certaines conditions, en cas de défaillance catastrophique du récipient de confinement.

L'arbre d'événements suivant résume les événements possibles qui pourraient survenir en cas de fuite du confinement du GNL stocké à des pressions atmosphériques et plus élevées.

**Event tree for a release of LNG at near-atmospheric pressure**

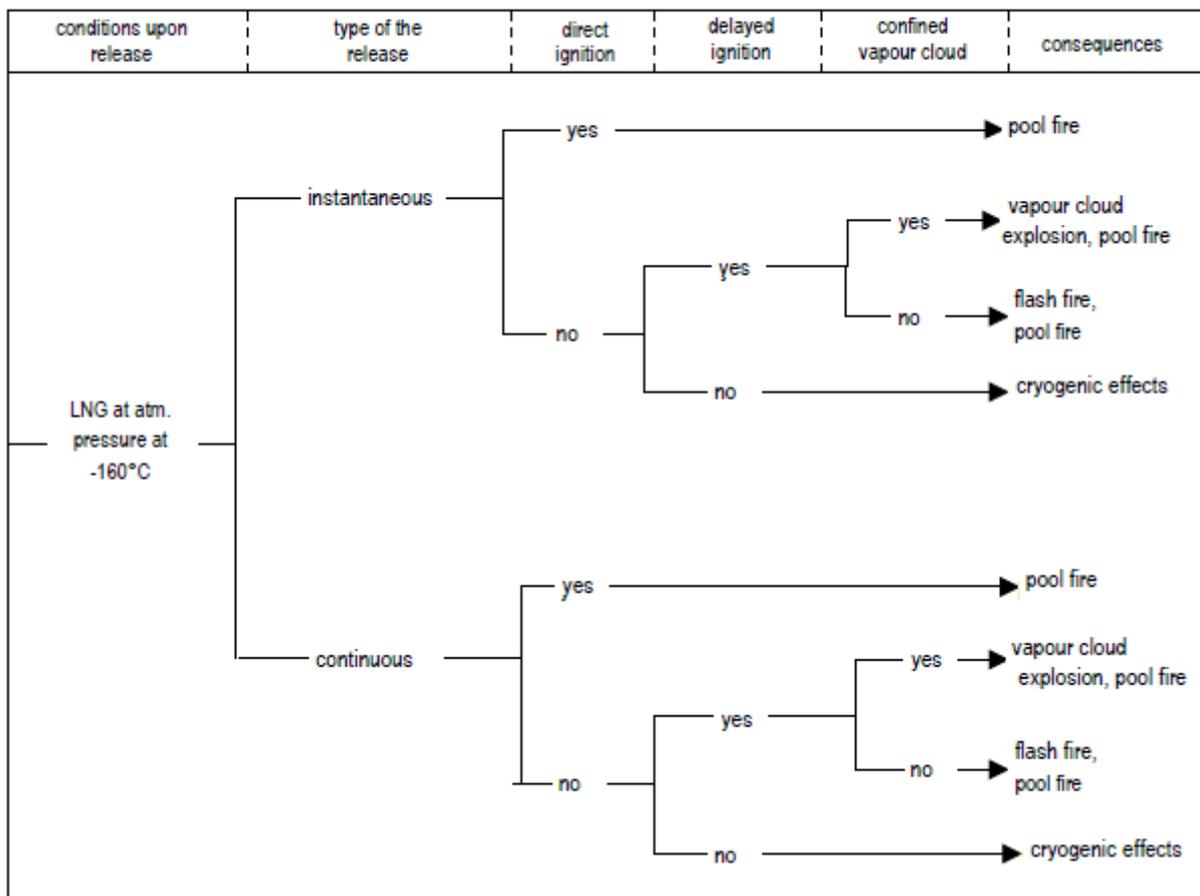


Figure 29 Arbre d'évènements pour un dégagement de GNL à une pression quasi atmosphérique

**Event tree for a release of LNG at increased pressure**

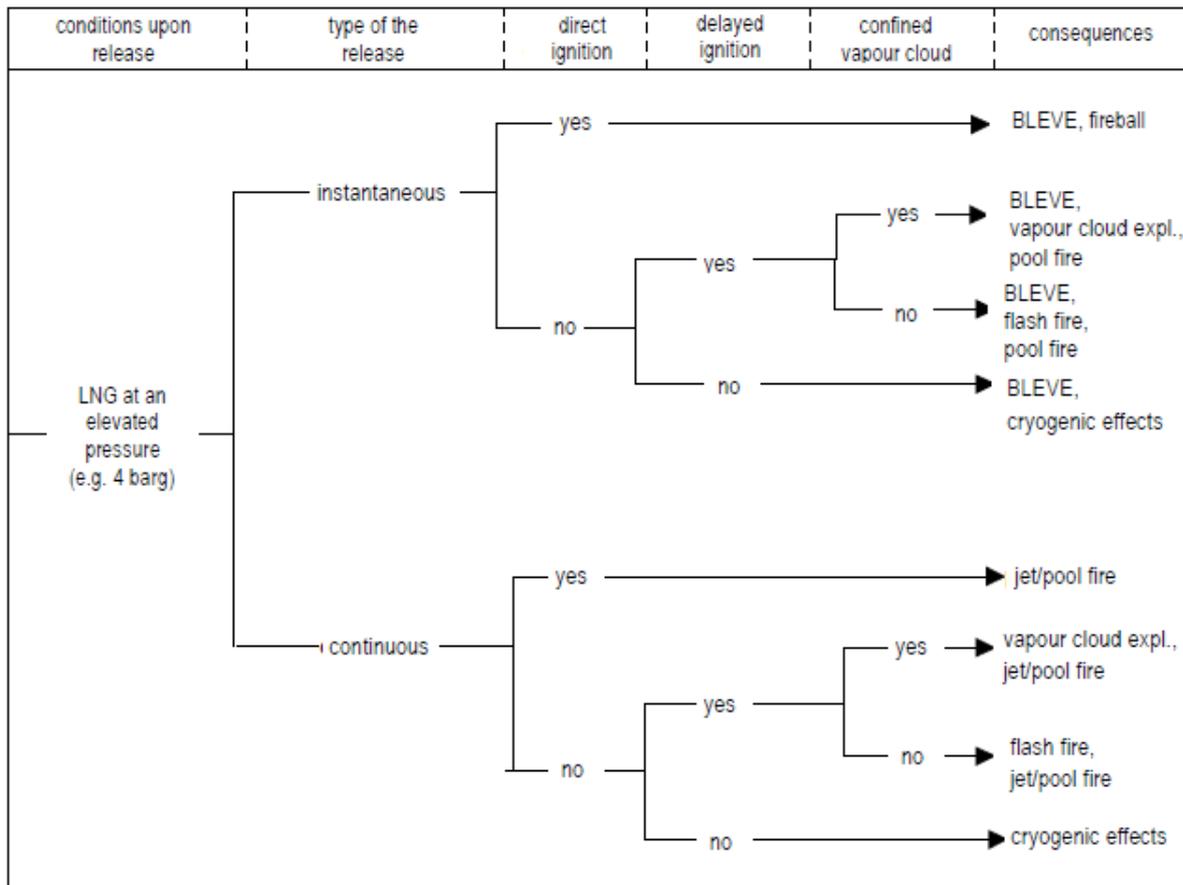


Figure 30 Arbre d'évènements pour un dégagement de GNL à une pression plus élevée

3.1.2 DEGAGEMENT DE VAPEURS

Un dégagement de vapeurs est un évènement pendant lequel un dégagement continu ou instantané de GNL à une pression atmosphérique ou quasi atmosphérique provoque la formation d'une nappe, qui s'évapore dans un premier temps rapidement en raison de l'effet de réchauffement de la terre ou de l'eau.

Un dégagement de vapeurs provenant d'une citerne atmosphérique provoquerait la formation d'une nappe dont la vitesse de dégagement dépendrait de la taille du dégagement. Les citernes avec des pressions ou des températures élevées créeraient un dégagement en deux phases : 17 % représente le dégagement de la pression (aérosol) et le reste forme une nappe.

3.1.3 FEU DE NAPPE

En cas d'inflammation directe des vapeurs de gaz au-dessus de la nappe, le GNL brûle à différentes vitesses en fonction de la situation de la nappe : sur terre ou dans l'eau.

L'intensité thermique est considérablement plus élevée que celle des autres carburants en raison de l'absence de dépôts de suie dans le processus de combustion, notamment à la base de la formation du feu de nappe, ce qui peut permettre au feu de se propager au matériel/équipement adjacent via le rayonnement thermique de la colonne de flamme.

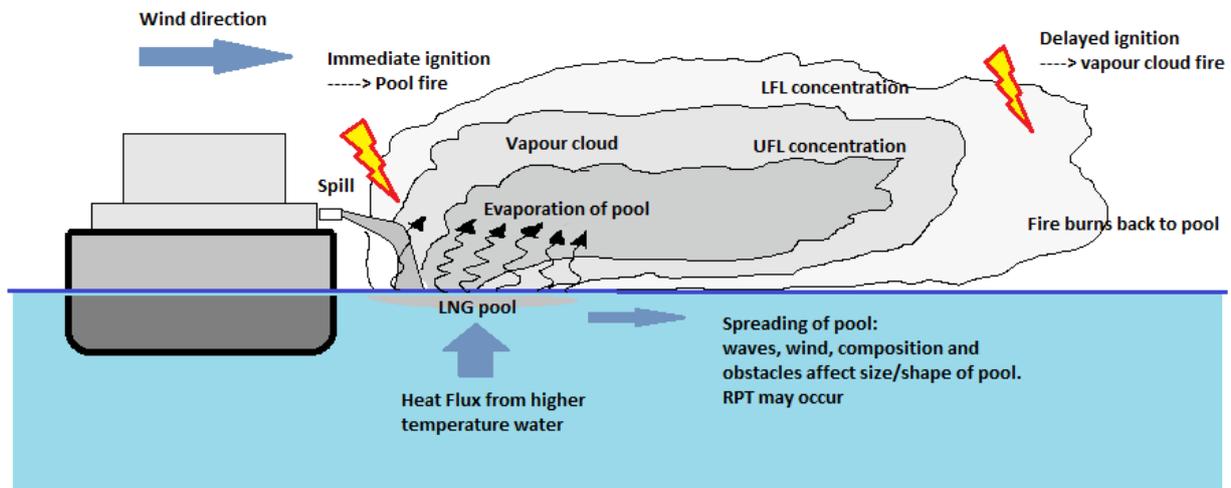


Figure 31 Scénarios d'incendie possibles en cas de fuite de GNL dans l'eau.  
Source : Luketa, Hanlin (2006).

### 3.1.4 INFLAMMATION INSTANTANEE

Une inflammation instantanée se produit lorsque les vapeurs d'un dégagement instantané ou continu dérivent dans la direction du vent vers une source d'inflammation et s'enflamment.

Lorsque la portion du nuage de vapeurs située entre la limite inférieure d'explosivité (LIE) et la limite supérieure d'explosivité (LSE) rencontre une source d'inflammation, les flammes se propagent à travers le nuage à une vitesse relativement lente de 10-12 m/sec, à condition que le nuage de vapeur ne soit pas confiné ou dans un environnement avec de nombreux obstacles (encombré).

Cet évènement est appelé inflammation instantanée, car l'inflammation crée un éclair jusqu'à la source (nappe ou dégagement).

### 3.1.5 FEU EN TORCHE

Un feu en torche survient lorsqu'un dégagement liquide ou un gaz pressurisé forme un nuage de vapeur qui s'enflamme. Si le nuage de vapeurs s'enflamme, les flammes se propagent vers la source, mais un feu en torche est provoqué au niveau du point de dégagement pressurisé. L'intensité thermique est très élevée :  $> 300 \text{ Kw/m}^2$ .

Un feu en torche peut avoir des conséquences dramatiques sur l'équipement, comme les citernes et les tuyaux, si les flammes atteignent des équipements insuffisamment isolés. L'acier non protégé cède rapidement et aggrave davantage la situation.

Les citernes de GNL à pression ne disposant que d'une paroi sont très vulnérables aux feux en torche. L'endommagement du confinement provoquera en effet un soudain dégagement de vapeurs et une boule de feu (BLEVE).

### 3.1.6 EXPLOSION D'UN NUAGE DE VAPEURS

Comme mentionné précédemment, un dégagement de GNL forme rapidement un nuage de vapeurs combustibles. Si l'inflammation n'est pas instantanée et que le nuage est dans un espace clos ou encombré, la propagation des flammes augmente en force à tel point que cela crée une surpression et explose.

### 3.1.7 BLEVE

Une BLEVE (de l'anglais Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, explosion de vapeur en expansion par ébullition d'un liquide) survient lorsqu'une citerne de GNL est gravement endommagée à une pression plus élevée. Cet endommagement est souvent le résultat de la propagation des flammes (feu en torche) ou d'un choc mécanique sur l'élément de confinement de la coque de la citerne. La baisse de pression qui en résulte et l'inflammation de l'énorme dégagement de vapeur provoque une BLEVE, souvent sous forme de boule de feu, et des dommages conséquents à une explosion.

Les citernes avec une pression plus élevée et une seule paroi sont plus susceptibles de créer des BLEVE.

### 3.1.8 TRANSITION DE PHASE RAPIDE

En cas de déversement de GNL dans de l'eau et en plus des accidents décrits ci-dessus, un changement de phase rapide peut également se produire.

Il s'agit d'une explosion physique qui survient suite à la violente ébullition du GNL cryogénique via un contact intense avec de l'eau chaude. Les surpressions causées par un changement de phase rapide restent confinées à proximité immédiate du dégagement. Ce scénario d'accident est bien souvent ignoré dans le cadre de la définition des risques externes pour l'Homme.

Les essais ont révélé que ce phénomène peut se produire lorsque la température de l'eau est élevée (12-17 °C en fonction de l'intensité du mélange) et que la composition du méthane dans le mélange cryogénique est faible. Les récents événements ont démontré qu'une transition de phase rapide peut également survenir si du gaz chaud est introduit dans le tuyau contenant du GNL.

### 3.1.9 AUTRES DANGERS

#### 3.1.9.1 ASPHYXIE

L'asphyxie est une grave déficience de l'apport en oxygène dans le corps provoquée par une respiration anormale. La suffocation est un exemple d'asphyxie. L'asphyxie provoque une hypoxie généralisée qui affecte principalement les tissus et les organes.

Elle peut être causée par de nombreuses circonstances qui se caractérisent toutes par une incapacité de l'individu à inspirer suffisamment d'oxygène, pendant une longue période. L'asphyxie peut mener au coma ou à la mort.

Le méthane est également un asphyxiant et peut remplacer l'oxygène dans un espace clos. Il y a risque d'asphyxie si la concentration en oxygène est réduite en-deçà d'environ 16 %, par remplacement. En effet, la majorité des personnes peuvent supporter une réduction de 21 % à 16 % sans en souffrir. La concentration de méthane à partir de laquelle le risque d'asphyxie devient important est bien plus élevée que la concentration de 5 à 15 % dans un mélange inflammable ou explosif.

Le méthane, ce gaz de dégagement, peut pénétrer à l'intérieur des équipements et exposer l'équipage du bateau à des taux de méthane élevés. Certains bateaux disposent donc de systèmes de récupération spécialement conçus et installés sous le pont principal afin de captiver activement ce gaz et de l'évacuer hors de cette zone.

#### 3.1.9.2 EFFETS CRYOGENIQUES

Les citernes de stockage du GNL sont conçues pour empêcher le GNL d'entrer en contact avec les coques intérieure ou extérieure. Des incidents peuvent cependant être envisagés qui placeraient le GNL en contact avec ces éléments.

Il est possible qu'un dégagement de GNL liquide sur la coque intérieure provoque des températures trop basses pour les zones de la coque qui ne sont pas adaptées à des températures cryogéniques.

Les règles internationales de conception de bateaux exigent que les zones où des fuites de la citerne à cargaison sont susceptibles de se produire soient conçues pour être en contact avec le GNL cryogénique.

Une étude de Lloyds (2001) décrit brièvement 10 fuites de GNL impliquant des bateaux-citernes transportant du GNL, survenus entre 1965 et 1989. Sept de ces dix fuites ont provoqué des fissurations du pont ou des coques de la citerne et certaines ont mis le bateau hors service pendant plusieurs semaines, le temps de réparations urgentes. Étant donné la zone dans laquelle les dommages sont causés (le pont ou la coque de la citerne, par exemple), il est probable que ces fuites proviennent des systèmes de tuyauterie utilisés pendant les transferts de GNL.

Les bateaux modernes doivent également se conformer aux règles actuelles de conception de bateaux. Ils sont conçus avec un acier adapté aux basses températures dans les zones où des fuites de GNL peuvent entrer en contact avec les structures internes ou celles du pont.

### 3.2 SCENARIOS POUR LE GNL A PETITE ECHELLE DANS LE CADRE DE LA NAVIGATION INTERIEURE

#### 3.2.1 INTRODUCTION

Cette étude détaille les scénarios possibles qui pourraient impliquer un dégagement de GNL, avec ou sans incendie consécutif. Elle ne prend pas en compte la probabilité que l'évènement ait lieu. Les conséquences ont été schématisées et catégorisées afin d'unifier une stratégie d'intervention pour chaque conséquence de scénario. La figure 32 ci-dessous identifie les scénarios possibles pouvant mener à une perte du confinement avec des possibilités d'aggravation génériques. Chaque scénario sera analysé plus en détail.

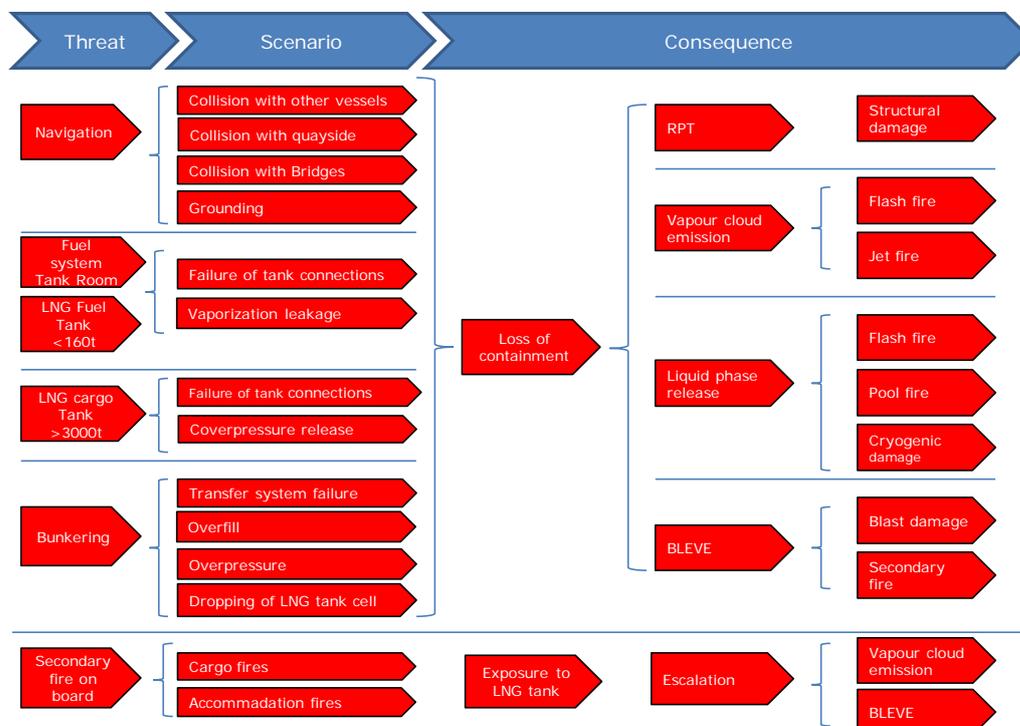


Figure 32 Aperçu des scénarios possibles

### 3.2.2 DANGERS POTENTIELS

Le déversement accidentel ou volontaire d'importantes quantités de GNL provoque les dangers potentiels suivants : rayonnement thermique causé par un incendie dans le nuage de vapeurs (également appelé inflammation instantanée) et feux de nappe.

Les experts du GNL [1] se sont globalement entendus sur les aspects suivants des dangers potentiels d'explosion et d'incendie liés au GNL :

- Les vapeurs des fuites de GNL qui ne se sont pas enflammées n'ont pas besoin de se déplacer loin dans les zones pour trouver une source d'inflammation et s'enflammer jusqu'à la source.
- Une fois que l'inflammation retardée du nuage de vapeurs est survenue, et si le nuage est riche en méthane et non confiné, les vapeurs de GNL brûlent sous la forme d'un incendie dans le nuage de vapeurs.
- Un nuage de vapeurs traversant une zone commerciale ou résidentielle rencontrera très certainement rapidement une source d'inflammation sur son chemin. Cela provoquera alors un incendie dans le nuage de vapeurs qui brûlera jusqu'à la source.
- Le feu du nuage de vapeurs brûlera jusqu'à la source, ce qui créera un feu de nappe à la source si le dégagement est continu et que sa durée est supérieure au temps que le nuage prend pour trouver une source d'inflammation.
- Si le nuage de vapeurs est confiné, cela accélère les flammes et provoque une explosion. La magnitude et les dommages de l'explosion dépendent de plusieurs facteurs, notamment la quantité de vapeurs au-delà de la limite inférieure d'explosivité, la présence d'obstacles et le niveau de confinement, la composition du nuage de vapeurs et la force de la source d'inflammation.
- Si l'inflammation est immédiate, un feu de nappe se déclenche. L'étendue de propagation de la nappe (diamètre) et la hauteur des flammes dépendent de plusieurs facteurs, notamment du débit de GNL, du type de surface polluée (eau ou terre), de sa géométrie et de sa rugosité, de la composition et de la température du dégagement, de la vitesse du vent incident, de la température ambiante et de l'humidité relative ambiante.
- Si la nappe de liquide n'est pas confinée et que la quantité de GNL est importante, l'incendie persistera jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de carburant dans la nappe. Il n'est ni pratique ni même possible d'éteindre de grands feux de nappe de GNL causés par le déversement de grandes quantités de GNL, à moins de pouvoir stopper ce déversement.
- La zone de danger maximale d'un incendie dans un nuage de vapeurs causé par une importante fuite de GNL est généralement estimée en calculant la distance de dispersion sous le vent jusqu'à la limite inférieure d'explosivité (LIE) et la distance de dispersion par vent latéral jusqu'à la moitié de la LIE pour une vitesse de vent faible et des conditions atmosphériques stables. Il est très peu probable que cette zone maximale de risque d'incendie soit appliquée dans une situation où le nuage dérive vers des zones habitées. Comme indiqué dans le point 3 ci-dessus, le nuage rencontre rapidement une source d'inflammation et brûle jusqu'à la source bien avant d'atteindre la zone maximale de risque.
- Seule la population extérieure présente dans les limites d'explosivité du nuage de vapeur est susceptible d'être blessée, car elle est exposée très peu de temps aux flux de rayonnement thermique très élevés de l'incendie du nuage de vapeurs, au contact direct des flammes, aux incendies supplémentaires des vêtements et à l'inhalation de produits de combustion chauds.
- On estime que les personnes présentes à l'intérieur du bateau au moment de l'inflammation instantanée ne seront pas blessées. Cependant, en cas de feu de nappe, ces personnes ne pourront pas s'échapper de la structure en feu sans blessures directement liées à l'impact thermique. Une inflammation instantanée embrase l'équipement embarqué de l'extérieur et coupe les issues de sortie d'urgence.

### 3.2.3 ACCIDENTS DE NAVIGATION

#### 3.2.3.1 INTRODUCTION

Malgré la multitude d'incidents de navigation recensés dans les ports du monde entier (17 sur 80 000 bateaux-citernes transportant du GNL), aucune fuite incontrôlée de confinement du GNL n'a jusqu'à présent été signalée.

Ces incidents de collision peuvent déformer le confinement du GNL et provoquer un dégagement de GNL dans l'environnement, à partir de la citerne de carburant GNL ou de la citerne à cargaison de GNL.

Les incidents dont le risque de perte du confinement est élevé sont les suivants :

- Collision avec d'autres bateaux
- Collision avec une jetée
- Collision avec un pont
- Échouement (accidentel) du bateau

#### 3.2.3.2 COLLISION AVEC D'AUTRES BATEAUX

Les scénarios répertoriés ci-dessous sont associés à une perte du confinement des citernes de carburant GNL et des citernes à cargaison de GNL. Les quantités déversées pour une citerne de carburant seraient de 160 m<sup>3</sup> max. et de 1 000 m<sup>3</sup> max. par compartiment pour une citerne à cargaison (1 870 m<sup>3</sup> pour une citerne à membrane).

L'énergie cinétique et l'emplacement de la citerne influencent la quantité déversée et les conséquences de l'évènement. Un impact à 90° entre deux bateaux est un scénario plausible dans une zone portuaire, tandis que sur une rivière, une collision est davantage susceptible d'impliquer la proue et la poupe d'un bateau, ce qui représente un scénario moins grave. Tel que mentionné précédemment dans ce rapport, si le bateau-citerne et les citernes de carburant du bateau sont conçus conformément aux normes de l'OMI, la citerne doit être située à au moins 780 mm de la coque.

Des études antérieures ont permis de définir trois scénarios de dégagement en cas de collision. Ils peuvent être référencés à partir du rapport Fluxys afin de déterminer les possibilités de conséquences/aggravation. Des brèches dans le confinement ont été définies pour des trous d'un diamètre de 1 000 mm, 150 mm et 75 mm afin d'estimer la vitesse de fuite et la taille du feu de nappe qui en résulte.

Selon l'avis général des constructeurs navals, la capacité maximale d'une citerne en navigation intérieure est d'environ 800 m<sup>3</sup>. Par conséquent, un lien direct peut être établi pour les quantités de dégagement en fonction des diamètres de trous indiqués ci-dessus, grâce au tableau suivant.

Capacité du bateau	Trou (Ø= 75 mm)			Trou (Ø= 150 mm)			Trou (Ø= 1 000 mm)		
	Débit	Durée	Quantité déversée	Débit	Durée	Quantité déversée	Débit	Durée	Quantité déversée
	[kg/s]	[s]	[tonne]	[kg/s]	[s]	[tonne]	[kg/s]	[s]	[tonne]
800 m <sup>3</sup>	48,3	1 800	86,7	193,3	1 032	198,2	8 592	24	213,1

Tableau 3 Débits de fuite représentatifs pour le GNL en cas d'accident nautique impliquant des bateaux transportant du GNL et le réchauffement du GNL (-138 °C, 4 Barg).

Source : Fluxys.

Une collision causant une brèche dans une citerne de GNL risque de provoquer une fuite de liquide dans la séparation entre la citerne et la coque du bateau. S'il s'agit d'une brèche importante, la fuite risque de se déverser directement dans l'eau.

Il est également possible que cette fuite cryogénique endommage la structure du bateau via des fissurations, ce qui aggraverait la situation. Bien que ce scénario soit possible, il existe des modèles et des caractéristiques physiques qui limitent l'aggravation due aux effets cryogéniques (séparation de la citerne, entrée dans l'eau, interaction avec l'autre bateau impliqué, par exemple).

L'emplacement de la brèche peut également influencer les conséquences du dégagement. Une brèche du confinement située au-dessus du niveau de l'eau provoquerait un déversement partiel du contenu de la citerne (69 %).

En effet, le liquide déversé flottant sur l'eau se réchauffera, augmentant ainsi l'évaporation du GNL. La profondeur du carburant dans la nappe non restreinte pourrait être à 100 mm de la fuite et pourrait se disperser sur 1 mm aux extrémités. La dispersion du GNL dans l'eau sera influencée par le vent et les effets du débit de la rivière.

La taille de la nappe va se stabiliser lorsque la sortie du dégagement atteindra les limites extérieures de la vitesse d'évaporation de la nappe. Le diamètre de la nappe de dégagement avant une inflammation retardée a également été estimé et reporté dans le tableau ci-dessous ; le volume le plus adapté étant celui de 800 m<sup>3</sup>.

Type de bateau	800 m <sup>3</sup>
Trou (Ø – 75 mm)	9,2 m
Trou (Ø – 150 mm)	18,3 m
Trou (Ø – 1 000 mm)	115,7 m

Tableau 4 *Calcul des diamètres de feu de nappe pouvant survenir après un dégagement de GNL froid provoqué par un accident de navigation et une inflammation retardée.*

Une brèche du confinement située en-dessous du niveau de l'eau aurait des conséquences différentes. En effet, la fuite serait jugulée par la contre-pression de l'eau contre le GNL. Cependant, contrairement au scénario ci-dessus, 100 % de la cargaison serait perdue.

Il est peu probable que l'eau pénètre dans la citerne, mais la pression de vapeur plus élevée augmenterait davantage, ce qui activerait la soupape de dégagement de sécurité. Un autre problème se pose également : la réaction soudaine avec le GNL dans l'eau (transition de phase rapide) pourrait provoquer des dommages structurels.

Si le dégagement de gaz et la limite inférieure d'explosivité (LIE) atteignent une source d'inflammation, une inflammation instantanée se produit : les extrémités s'enflamment en quelques secondes et la flamme initiale se propage à la nappe principale à environ 10 m/s. La nappe se consume alors.

Les effets de l'environnement immédiat doivent également être pris en compte. Les conséquences possibles d'une inflammation retardée dans des zones encombrées, comme une zone urbaine ou un littoral fortement boisé, risquent de générer une surpression et des dommages consécutifs à une explosion.

De la même manière, de petits dégagements dans des espaces confinés entre la citerne et la coque du bateau peuvent également provoquer l'explosion d'un nuage de vapeurs, s'il y a une augmentation des gaz et une inflammation retardée du gaz.

Le schéma ci-dessous représente les scénarios possibles et leurs conséquences pour les incidents de navigation.

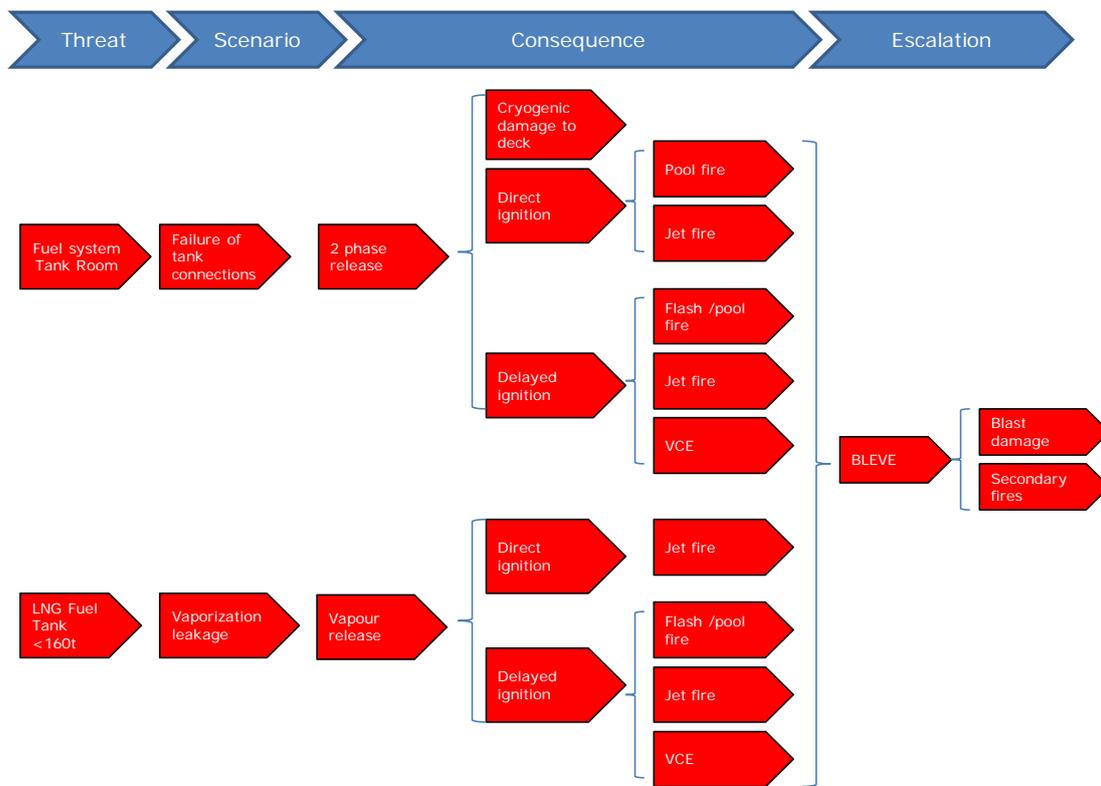


Figure 33 Arbre d'évènements pour les incidents de navigation.

### 3.2.3.3 COLLISION AVEC LE QUAI

Une collision avec le poste d'amarrage lors d'une manœuvre est un incident de navigation probable, mais en raison de la faible vitesse pendant la manœuvre, un dégagement de GNL est peu plausible.

Un incident impliquant un méthanier heurté par un autre bateau au niveau d'un poste d'amarrage, par exemple, serait un scénario plus réaliste.

Ce type d'évènement peut provoquer une perte du confinement, par exemple un dégagement de GNL pendant une opération d'avitaillement ou une brèche directe dans le confinement de la citerne.

### 3.2.3.4 COLLISION AVEC UN PONT

Les citernes de stockage du GNL situées sur le pont ne sont pas protégées des dommages externes. Il est donc réaliste de s'attendre à des dégâts sur ce type de citerne et à une possibilité de dégagement de GNL ou de vapeurs de gaz si le bateau entre en collision avec un pont. En fonction de la pression dans la citerne, un feu en torche, un feu de nappe ou une inflammation instantanée pourrait survenir.



Figure 34 Dégâts après une collision sur l'Elbe (Allemagne).

### 3.2.3.5 ÉCHOUEMENT (ACCIDENTEL)

La plupart des échouements ne sont pas une menace directe pour la sécurité de l'équipage et des résidents. Tout dépend des dégâts causés au niveau du confinement de la cargaison ou au niveau de la citerne de carburant et de la possibilité de fuite d'une matière dangereuse dans l'eau ou dans l'air.

Si le bateau est alimenté au GNL, il y a une citerne de stockage du GNL à bord. Si celle-ci est située sur le pont, elle ne sera pas endommagée lors de l'échouement.

Si la citerne est située sous le pont, il y a un faible risque qu'elle soit endommagée au moment de l'échouement si l'impact sur la coque est supérieur à 0,8 mètres. Si la citerne de carburant GNL est endommagée et fuit, le GNL entre directement en contact avec l'eau et pourrait mener à un changement de phase rapide et au développement d'un nuage gaz/vapeurs à la surface de l'eau. Les dégâts les plus plausibles sont de petites fissures dans l'enveloppe métallique distordue de la citerne de carburant GNL.

Si l'isolation sous vide de la citerne est endommagée et que l'enveloppe métallique intérieure de la citerne est intacte, le GNL va se réchauffer sous l'effet de la température ambiante de l'air ou de l'eau (si la coque fuit). La pression du gaz d'évaporation augmentera et la soupape de sécurité s'ouvrira. Le contenu de la citerne de carburant GNL s'évaporerait via la soupape de dégagement d'urgence située sur la citerne. Cela risque de durer longtemps, tout dépend de la quantité de GNL.

### 3.2.4 INCIDENTS IMPLIQUANT LES INSTALLATIONS DE CARBURANT (BATEAUX ALIMENTES AU GNL)

Les modèles et les précautions de sécurité des citernes de stockage et des systèmes de gestion embarqués du carburant limitent autant que possible les probabilités d'incident. Plusieurs scénarios ont cependant été reconnus possibles et risquent de causer la perte du confinement avec les conséquences connues. Ces scénarios sont les suivants :

- Défaillance des raccords de la citerne
- Défaillance des systèmes de gestion du gaz, comme le vaporiseur dans le local citerne
- Dégagement de vapeurs dans la salle des machines

Les dégagements de liquide dus à une fuite ou à la défaillance d'un raccord de citerne/tuyau peuvent avoir plusieurs conséquences. La première est l'effet cryogénique du liquide qui peut endommager le pont et les éléments structurels si ceux-ci ne sont pas protégés des températures extrêmement basses. La photo ci-dessous représente les plaques du pont endommagées par une fuite de GNL.



Figure 35 Fissures à froid de la plaque du pont. Source : DNV GL.

Les événements génériques et les conséquences d'un dégagement de gaz et de vapeurs peuvent être appliqués dans ce cas, à savoir qu'un dégagement de liquide forme une nappe de combustible sur laquelle une inflammation directe provoquerait un feu de nappe et une inflammation retardée provoquerait une inflammation instantanée ou une explosion du nuage de vapeurs dans une zone confinée.

Les dégagements de pression de la citerne provoqueraient un feu en torche et probablement des feux de nappe. Si les flammes se propagent à la citerne pressurisée, ce qui provoquerait une défaillance catastrophique de la citerne, une BLEVE risque de survenir.

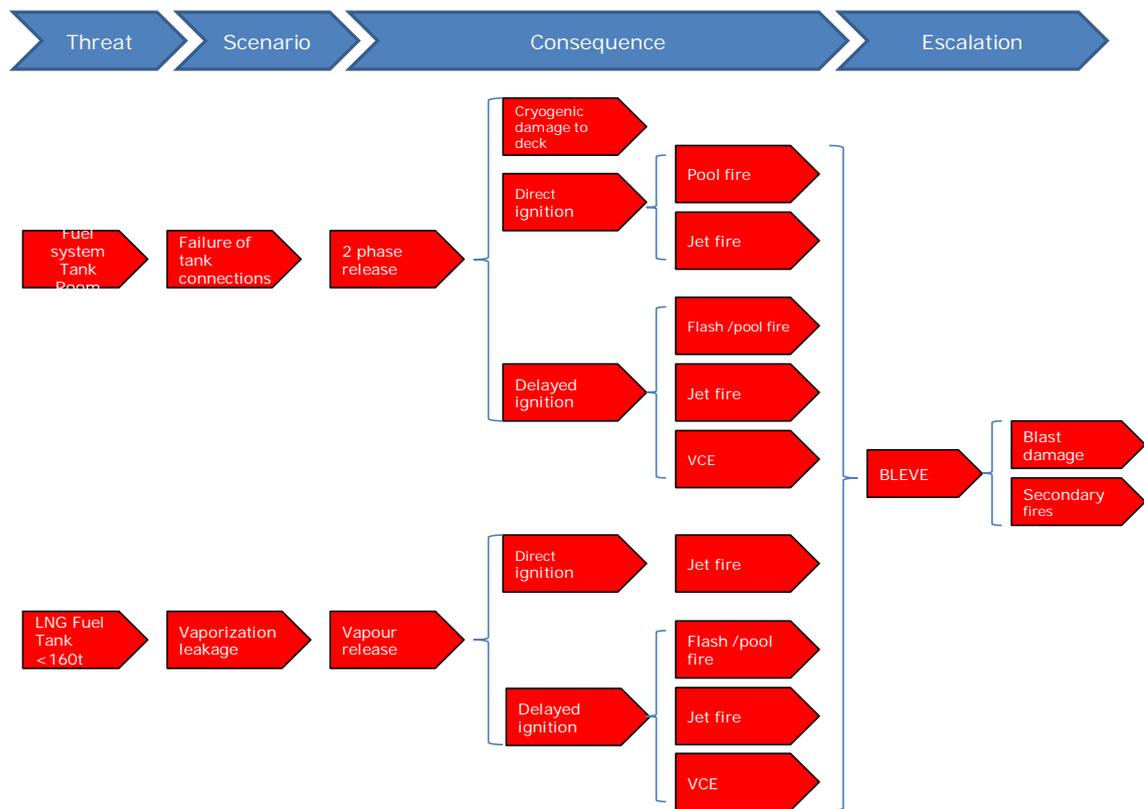


Figure 36 Arbre d'évènements pour les composants du système d'alimentation.

### 3.2.5 SCENARIOS DES INCIDENTS SUR UNE CITERNE A CARGAISON

Les scénarios relatifs au système de confinement d'une citerne à cargaison pour les bateaux d'avitaillement sont similaires à ceux du système des citernes de carburant décrits ci-dessus, sauf que les quantités de dégagement sont supérieures (jusqu'à 1 000 m<sup>3</sup>).

Outre les scénarios de fuite de liquide au niveau de la citerne, il peut également y avoir des situations impliquant le système de gestion de l'ébullition du gaz sur ces citernes. Ces scénarios incluent des dégagements de vapeur dans l'atmosphère à partir des cheminées d'évent si la pression à l'intérieur de la citerne dépasse les limites de fonctionnement. Un scénario crédible pourrait être le suivant : une simple inflammation de la vapeur se dégageant d'un évent, comme un éclair sur la cheminée d'évent du bateau.

### 3.2.6 SCENARIOS RELATIFS AUX ACTIVITES D'AVITAILLEMENT

#### 3.2.6.1 INTRODUCTION

Ce rapport se concentre sur les transferts bateau à bateau et camion à bateau, mais les transferts terminal à bateau peuvent également être possibles. Bien que les quantités de produit transféré varient, les scénarios sont similaires.

Une autre méthode de transfert est également abordée, différente de celle du transfert par tuyaux flexibles. Il s'agit du chargement d'une cellule citerne, un conteneur chargé sur le pont du bateau, qui est ensuite raccordée au système d'alimentation en carburant du bateau.

Les principaux scénarios identifiés sont les suivants :

- Défaillance du système de transfert (tuyau, bras et raccords)
- Débordement de la citerne d'avitaillement
- Mise en surpression de la citerne d'avitaillement
- Chute de la cellule citerne pendant l'opération de chargement

Le tableau ci-dessous présente les quantités et les diamètres des tuyaux requis pour les différentes opérations d'avitaillement.

Type d'avitaillement	Capacité d'avitaillement (récepteur)	Vitesse de transfert	Diamètre du tuyau/bras
Camion à bateau	$\leq 160 \text{ m}^3$	$100 \text{ m}^3/\text{h}$	$\leq 3''$
Bateau à bateau	$\leq 3\,000 \text{ m}^3$	$1\,000 \text{ m}^3/\text{h}$	$\leq 6''$
Terminal à bateau	$\leq 4\,000 \text{ m}^3$	$3\,000 \text{ m}^3/\text{h}$	$\leq 10''$

Tableau 5 Exemples de vitesses de transfert et de diamètres de tuyau.  
Source : Fluxys.

La tuyauterie peut rompre ou fuir en continu pendant l'avitaillement tant que l'arrêt d'urgence automatique/manuel n'est pas activé. La quantité déchargée dépend du diamètre du tuyau. La plus petite quantité concerne un transfert par camion avec un diamètre de tuyau de 3", puis viennent les transferts plus rapides de bateau à bateau ou de terminal à bateau pour lesquels une conduite de retour des vapeurs est utilisée. Les nappes correspondantes ont été estimées dans les tableaux précédents.

### 3.2.6.2 DEGAGEMENTS POUR UN AVITAILLEMENT DE CAMION A BATEAU

Les dégagements suivants peuvent être utilisés dans le cadre d'un avitaillement de camion à bateau :

Type de bras ou de tuyau de (dé)chargement	Conditions : - 160 °C, 5 barg		Conditions : - 138 °C, 9 barg	
	Rupture	Fuite	Rupture	Fuite
3" GNL (50 m <sup>3</sup> /h)	8,9 kg/s	0,56 kg/s	8,0 kg/s	0,72 kg/s
3" GNL (100 m <sup>3</sup> /h)	17,7 kg/s	0,56 kg/s	16,0 kg/s	0,72 kg/s

Tableau 6 Dégagement de GNL suite à la défaillance du bras ou du tuyau de (dé)chargement lors d'un (dé)chargement par camion.  
Source : Fluxys.

Les diamètres de nappe suivants peuvent être utilisés :

Installation	Type de défaillance	Inflammation directe	Inflammation retardée
Bras ou tuyau de 3" (50 m <sup>3</sup> /h)	Rupture	149 m <sup>2</sup> (Ø = 138 m)	1 089 m <sup>2</sup> (Ø = 138 m)
	Fuite	10 m <sup>2</sup> (Ø = 138 m)	34 m <sup>2</sup> (Ø = 138 m)
Bras ou tuyau de 3" (100 m <sup>3</sup> /h)	Rupture	84 m <sup>2</sup> (Ø = 138 m)	542 m <sup>2</sup> (Ø = 138 m)
	Fuite	10 m <sup>2</sup> (Ø = 138 m)	34 m <sup>2</sup> (Ø = 138 m)
Pompe de (dé)chargement	Fuite	10 m <sup>2</sup> (Ø = 138 m)	34 m <sup>2</sup> (Ø = 138 m)

Tableau 7 Taille maximale d'un feu de nappe lors du chargement, en cas d'inflammation directe ou retardée du GNL (pas de confinement, - 160 °C) accidentellement déversé au sol. Source : Fluxys.

### 3.2.6.3 DEGAGEMENTS POUR UN AVITAILLEMENT DE BATEAU/TERMINAL A BATEAU

Les dégagements suivants calculés dans le cadre d'un avitaillement de bateau à bateau ou de terminal à bateau peuvent être utilisés pour le *bras ou le tuyau de déchargement* :

Type de bras ou de tuyau de (dé)chargement	Conditions : - 160 °C, 5 barg		Conditions : - 138 °C, 9 barg	
	Rupture	Fuite	Rupture	Fuite
GNL 4"	35,42 kg/s	1,0 kg/s	32,1 kg/s	1,3 kg/s
GNL 6"	88,55 kg/s	2,3 kg/s	80,2 kg/s	2,9 kg/s
GNL 8"	177,1 kg/s	4,0 kg/s	160,4 kg/s	5,1 kg/s
GNL 10"	265,6 kg/s	6,3 kg/s	240,6 kg/s	8,0 kg/s
GNL 12"	354,2 kg/s	9,0 kg/s	320,8 kg/s	11,5 kg/s
GNL 14"	531,3 kg/s	12,3 kg/s	481,3 kg/s	15,6 kg/s

Tableau 8 Dégagement de GNL suite à la défaillance du bras ou du tuyau de (dé)chargement lors d'un (dé)chargement par bateau. Source : Fluxys.

Les dégagements suivants calculés dans le cadre d'un avitaillement de bateau à bateau ou de terminal à bateau peuvent être utilisés pour le *bras ou la conduite de retour des vapeurs* :

Type de bras ou de tuyau de (dé)chargement	Conditions : - 160 °C, 5 barg		Conditions : - 138 °C, 9 barg	
	Rupture	Fuite	Rupture	Fuite
Retour des vapeurs 4"	0,7 kg/s	0,007 kg/s	4,2 kg/s	0,04 kg/s
Retour des vapeurs 6"	1,3 kg/s	0,01 kg/s	7,5 kg/s	0,08 kg/s
Retour des vapeurs 8"	2,8 kg/s	0,03 kg/s	16,9 kg/s	0,17 kg/s
Retour des vapeurs 10"	3,9 kg/s	0,04 kg/s	23,0 kg/s	0,23 kg/s
Retour des vapeurs 12"	5,0 kg/s	0,05 kg/s	30,1 kg/s	0,30 kg/s
Retour des vapeurs 14"	7,8 kg/s	0,08 kg/s	47,0 kg/s	0,47 kg/s

Tableau 9 Dégagement de GNL suite à la défaillance du bras ou de la conduite de retour des vapeurs lors d'un (dé)chargement par bateau. Source : Fluxys.

Les diamètres de nappe suivants peuvent être utilisés :

Type de bras ou de tuyau de (dé)chargement	Inflammation directe		Inflammation retardée	
	Rupture	Fuite	Rupture	Fuite
GNL 4"	127 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	13,5 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	201 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	5,7 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)
GNL 6"	314 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	8,0 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	507 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	12,6 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)
GNL 8"	629 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	14,5 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	1 012 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	22,9 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)
GNL 10"	940 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	22,1 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	1 514 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	35,3 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)
GNL 12"	1 257 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	32,2 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	2 019 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	51,5 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)
GNL 14"	1 886 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	44,2 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	3 039 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)	69,4 m <sup>2</sup> (Ø = 12,7 m)

Tableau 10 Taille maximale du feu de nappe pour un dégagement sur l'eau, en cas d'inflammation directe ou retardée. Source : Fluxys.

Les quantités ci-dessus sont basées sur l'hypothèse qu'un dispositif d'arrêt d'urgence (automatique ou manuel) soit activé en 120 secondes. Les vitesses de déversement ci-dessus peuvent être appliquées aux scénarios où le bateau, récepteur ou avitailleur, est accidentellement endommagé à l'amarrage et où le raccord rapide ne fonctionne pas. Si le bras ou la tuyauterie flexible fuit, cela crée une nappe qui forme un nuage de vapeurs risquant de s'enflammer directement ou de manière retardée. Les conséquences sont déjà répertoriées dans les précédents arbres d'événements pour les feux de nappe.

Les dommages cryogéniques causés aux plaques du pont du bateau sont également prises en compte, bien qu'une aggravation de la situation à cet endroit soit peu probable.

### 3.2.7 DEBORDEMENT

Les mesures de sécurité anti-débordement doivent supprimer ce scénario, mais il ne peut pas être définitivement écarté. Si une citerne est trop remplie, la pression de vapeur à l'intérieur augmente, ce qui active la soupape de dégagement via la cheminée d'évent située au-dessus du pont.

### 3.2.8 MISE EN SURPRESSION DE LA CITERNE D'AVITAILLEMENT

Pendant l'avitaillement, le débordement provoqué par une vitesse de transfert trop élevée peut également générer un réchauffement du GNL et augmenter la pression à l'intérieur de la citerne jusqu'à ce que la soupape de dégagement s'active. Le dégagement dans l'atmosphère ne doit pas constituer un problème, à moins qu'une source d'inflammation se situe à proximité de l'évent, par exemple s'il est positionné vers les sources d'inflammation sur le bateau d'avitaillement.

### 3.2.9 CELLULE DE CARBURANT GNL

Les conteneurs-citernes de GNL peuvent être chargés sur un bateau à titre d'approvisionnement en carburant pour alimenter les moteurs du bateau ou à titre de cargaison. Pendant le chargement ou le déchargement, il existe toujours un risque que la citerne chute. Les conséquences d'une chute du conteneur sont similaires à celles d'un scénario avec une nappe ou un dégagement de pression, avec ou sans incendie, et si le confinement est gravement endommagé, une BLEVE risque de survenir.

### 3.2.10 INCENDIES SECONDAIRES A BORD N'IMPLIQUANT PAS DE GNL

Un incendie à bord, dans la cargaison (autre que du GNL), dans les zones de vie ou provenant d'autres incidents proches, risque d'affecter le GNL stocké à bord. De manière réaliste, cette situation implique l'exposition de la citerne ou de l'équipement auxiliaire à des températures élevées, ce qui aggraverait la situation initiale avec des dégagements de vapeur et la transformerait en une situation extrême avec une défaillance totale du système de confinement ou une possibilité de BLEVE.

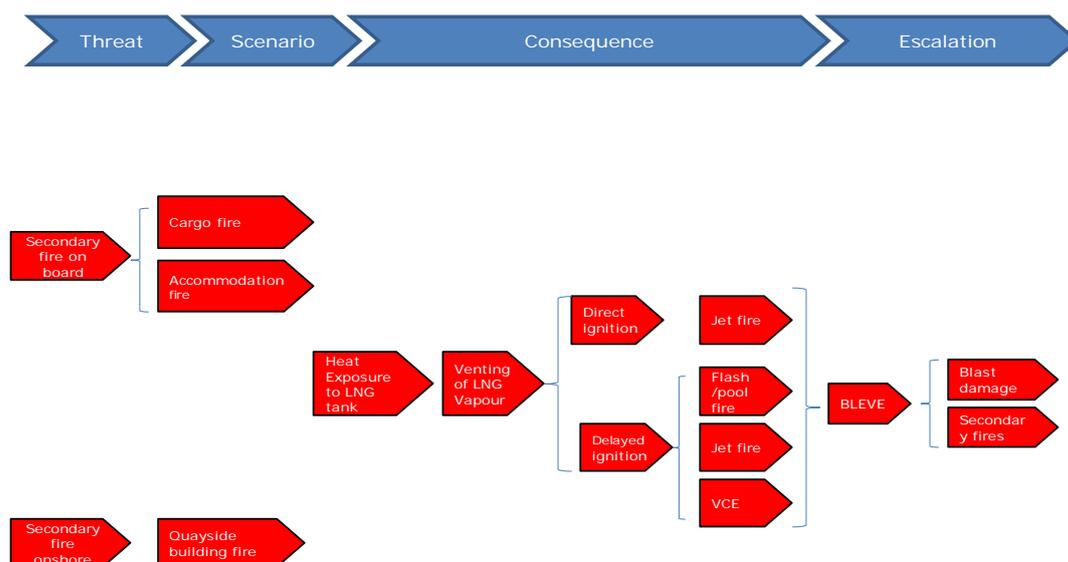


Figure 37 Arbre d'évènements pour les incendies dont la source n'est pas le GNL.

### 3.3 NIVEAU DE PREPARATION : SITUATION DANS CHAQUE PORT

Les ports du Rhin-Main-Danube participant à cette étude ont reçu un questionnaire réalisé par le groupe du projet. Les informations fournies à Falck par ces cinq ports situés dans le couloir du Rhin ont été utilisées pour décrire la manière dont le GNL, le niveau de préparation opérationnelle aux scénarios (imprévus) et l'intervention d'urgence ont été mis en œuvre jusqu'à présent.

Ce chapitre présente les résultats des ports participants, classés par ordre alphabétique.

---

#### 3.3.1 PORT D'ANVERS

Le port d'Anvers a chargé un tiers indépendant d'effectuer une évaluation (étude) des risques afin de connaître l'impact du GNL, pour les objectifs en navigation intérieure, mais également à plus grande échelle (terminaux d'importation avec les navires de mer).

L'étude évaluait les risques liés au GNL dans la zone d'Anvers. Elle a identifié six risques basés sur les pertes de confinement dans les situations suivantes :

- Stockage à petite échelle
- Chargement d'un bateau de navigation intérieure
- Avitaillement
- Collision entre bateaux

Des mesures ont été prises pour réduire les risques identifiés. Elles sont basées sur des études et des expériences, certaines en partie sur le bon sens et les connaissances de la société ou d'un tiers.

Certaines des mesures mises en place peuvent être interprétées comme des directives réglementaires.

Anvers dispose de procédures pour gérer le GNL. La source des informations utilisées pour ces procédures est partiellement basée sur des tiers privés et publics.

Le port a indiqué qu'il n'avait aucune équipe d'urgence adaptée pour intervenir en cas de situation d'urgence. Les intervenants d'urgence disponibles (équipe classique) ne sont pas de taille (ou pas suffisamment) et ne sont pas assez formés pour gérer les scénarios possibles impliquant du GNL. Mais parallèlement, la personne sondée a indiqué que le personnel avait été formé en conséquence pour assurer une intervention d'urgence efficace en cas d'incident classique.

Aucune information n'est disponible concernant des directives relatives aux scénarios et aucun plan d'urgence n'a été développé. Les conditions des scénarios dans les plans d'urgence ne sont pas disponibles. En outre, les installations actuelles des systèmes d'extinction (lutte contre l'incendie, par exemple la poudre sèche ou la mousse) ne satisfont pas aux bonnes pratiques (industrielles) minimum. Les équipements mobiles de lutte contre l'incendie ne sont que partiellement disponibles.

Les équipements complets pour les situations d'arrêt d'urgence ne sont que partiellement disponibles.

Le responsable d'intervention est formé à la gestion de crise. Il dispose de lignes directes avec d'autres autorités compétentes et d'autres agences gouvernementales dans la sphère d'influence du GNL à petite échelle. Enfin, de bonnes relations ont été nouées avec les médias (indépendants) pour informer le public en cas d'urgence liée au GNL.

Les intervenants en lien avec du GNL sont l'EPA (agence de protection environnementale), l'autorité du port et les services de secours et les pompiers. Ces deux derniers services jouent un rôle essentiel.

### 3.3.2. PORT DE MANNHEIM

La zone de Mannheim n'a pas utilisé d'étude pour se préparer aux accidents liés au GNL. Le port a partiellement créé quelques procédures pour gérer les scénarios impliquant du GNL.

Ses équipes d'urgence ont été partiellement formées de manière adéquate pour intervenir en cas d'urgence. Cette équipe est d'une taille en partie adaptée et assez peu formée pour gérer des situations d'urgence impliquant du GNL.

Il n'existe aucune information quant à des directives de scénario.

Les systèmes d'extinction actuels (poudre sèche et mousse), ainsi que les capacités et les propriétés disponibles satisfont aux bonnes pratiques (industrielles) minimum.

L'EPA joue un rôle primordial dans la réglementation des aspects du GNL.

En comparaison, l'autorité du port et les pompiers ont peu d'influence dans le domaine du GNL.

Cependant, aucune partie ne joue un rôle essentiel dans la gestion des incidents liés au GNL.

Le responsable d'intervention est formé à la gestion de crise, pour intervenir sur des incidents classiques. Il dispose de contacts directs avec d'autres agences gouvernementales.

### 3.3.3. PORT DE ROTTERDAM

Comme Anvers, Rotterdam a demandé à un tiers indépendant de réaliser une étude des risques afin de connaître l'impact du GNL, pour les objectifs en navigation intérieure, mais également à plus grande échelle.

L'étude évaluait les risques liés au GNL : plusieurs risques ont été identifiés, comme le chargement par camion ou rail, les stations-service pour véhicule et le GNL à plus grande échelle.

Des mesures ont été prises pour réduire les risques identifiés. Elles sont basées sur des études et des expériences.

Le personnel dispose également de directives de scénario basiques pour les terminaux et les bateaux, mais celles-ci sont basées sur la gestion de petits incidents, comme des incendies dans le poste de pilotage ou dans la salle des machines. Il n'existe cependant aucune directive concernant ce que l'équipage doit faire si un incident ne peut pas être maîtrisé.

Certaines des mesures mises en place peuvent être considérées comme des directives réglementaires. Les procédures actuelles ne sont pas adaptées à des situations d'urgence. Les informations utilisées pour ces procédures sont issues de la collaboration entre des tiers privés et publics.

En cas d'urgence, le port a indiqué qu'il dispose d'une/d'équipe(s) d'urgence partiellement adaptée(s) pour intervenir (à Rotterdam, l'intervention est organisée par un partenariat public-privé). L'équipe d'urgence disponible (classique) est de taille partiellement appropriée et n'est formée qu'en partie pour faire face à des scénarios probables impliquant du GNL.

Il existe des informations concernant des directives relatives aux scénarios et quelques plans d'urgence ont été développés. Néanmoins, les installations actuelles de poudre sèche pour lutter contre l'incendie ne satisfont pas aux bonnes pratiques (industrielles) minimum. D'autre part, les équipements mobiles de lutte contre l'incendie sont totalement disponibles.

Les situations d'arrêt d'urgence complet des équipements sont disponibles.

Le responsable d'intervention est formé à la gestion de crise. Il dispose de lignes directes avec d'autres autorités compétentes et d'autres agences gouvernementales dans la sphère d'influence du GNL à petite échelle. Rotterdam entretient également de bonnes relations avec les médias (indépendants) pour informer le public en cas d'urgence liée au GNL.

Les intervenants en lien avec du GNL sont l'EPA, l'autorité du port, les services de secours et les pompiers (intégrés dans un service nommé « Safety Region »). Les deux derniers acteurs jouent un rôle important. Remarque : les pompiers (département responsable de la mise en œuvre de l'intervention) n'étaient pas impliqués dans la préparation.

---

#### 3.3.4. PORT DE STRASBOURG

Le port a indiqué qu'aucune évaluation des risques relative aux accidents impliquant du GNL n'avait été réalisée et qu'aucun plan d'urgence ou d'évènement imprévu n'était disponible si un LOC devait survenir.

---

#### 3.3.5. PORT DE SUISSE (BALE)

La situation est similaire à celle du port de Strasbourg.

### 3.4 SENSIBILISATIONS ET FORMATIONS EXISTANTES A L'INTERVENTION EN CAS D'URGENCE

Aucun programme normalisé de sensibilisation et de formation à l'intervention en cas d'incident impliquant du GNL dans la navigation intérieure n'est actuellement disponible.

Néanmoins, la sensibilisation et la formation spécialisées à l'organisation de l'intervention d'urgence sont déjà développées et opérationnelles dans quelques instituts de formation.

Ceux-ci utilisent leurs propres programmes de formation et de sensibilisation au GNL. Les méthodes et objectifs d'apprentissage varient d'un établissement à l'autre.

### 3.5 LACUNES

Suite à cette étude documentaire (partie 1 de ce document), les lacunes suivantes ont été identifiées :

#### Préparation

- Il n'existe actuellement aucune préparation spécifique validée et réalisée sur mesure pour les incidents impliquant du GNL à petite échelle dans la navigation intérieure.

#### Personnes

- Il n'existe actuellement aucun programme de sensibilisation et de formation spécifique validé et réalisé sur mesure concernant l'intervention en cas d'incident impliquant du GNL dans la navigation intérieure.

#### Équipement

- Il n'existe actuellement aucun équipement d'intervention spécifique validé en cas d'incident impliquant du GNL à petite échelle dans la navigation intérieure.

Il convient de souligner ici que ces lacunes identifiées concernent les organismes professionnels d'intervention d'urgence, comme les pompiers, la police, les services médicaux et les autorités du port et de la rivière. Ces lacunes ne concernent pas l'équipage du bateau, les officiers de pont, les ingénieurs ou le personnel à terre.

3.6 MATRICE

Suite à cette étude documentaire relative aux connaissances existantes disponibles concernant l'intervention en cas d'incident impliquant du GNL, la matrice suivante a pu être générée.

Explications préalables :

- Lignes : 5 types de méthanières (sur la base de la technologie existante)
- Colonnes : 11 catégories d'évènements (pouvant survenir dans le couloir du Rhin)
- Cellules : 7 effets différents (A à G) comme résultat possible (et point de départ pour la partie 2)

Incidents et urgences				Événements :											
				1. Collision avec un autre bateau	2. Collision avec le quai	3. Collision avec un pont	4. Échouement (accidentel)	5. Défaillance des raccords de la citerne	6. Fuite de la vaporisation	7. Dégagement de la surpression	8. Défaillance du système de transfert	9. Débordement	10. Chute de la cellule de la citerne de GNL	11. Incendie secondaire (ex. : incendie de la cargaison)	
Types :	Bateaux fonctionnant au GNL	Citerne(s) de carburant sur le pont	Fixe			B,C D,E		B,C E	B,C	C	B,C D,E			F,G	
			Mobile			B,C D,E		B,C E	B,C	C	B,C		B,C D,E F,G	F,G	
			Citerne(s) de carburant sous le pont				A	B,C D,E	B,C	C	B,C D,E				
			Citerne(s) de type C				A	B,C D,E	B,C	C	B,C D,E				
			Citernes à membrane	A,B C,D E	B		A	B,C D,E	B,C	C	B,C D,E				

Tableau 11 Matrice des scénarios et des effets (d'après les avis d'experts).

Explication des effets :

- A. Changement de phase rapide – Dommages structurels
- B. Émission d'un nuage de vapeurs – Inflammation instantanée
- C. Émission d'un nuage de vapeurs – Feu en torche
- D. Dégagement de liquide – Feu de nappe
- E. Dégagement de liquide – Dommages cryogéniques
- F. BLEVE – Dommages dus à une explosion
- G. BLEVE – Réactions en chaînes/ (autres) incendies secondaire(s)

Cette matrice sera la base de la prochaine phase de l'étude documentaire : le développement de directives pour la préparation à des incidents impliquant du GNL à petite échelle dans la navigation intérieure. Cette phase se concentrera sur la crédibilité des événements et la représentation des effets pour chaque type de bateau.



**PARTIE 2**      **DEVELOPPEMENT DE  
DIRECTIVES POUR LA  
PREPARATION A DES  
INCIDENTS ET POUR LA  
SENSIBILISATION ET LA  
FORMATION A INTERVENIR  
EN CAS D'INCIDENT  
IMPLIQUANT DU GNL A  
PETITE ECHELLE DANS LA  
NAVIGATION INTERIEURE**

## 4 PREPARATION A L'URGENCE

### 4.1 CHAMP D'APPLICATION

Cette seconde phase de l'étude se concentre sur la transmission de conseils et de directives à tous les participants ayant besoin d'informations sur des points nécessitant d'être améliorés sur le terrain.

### 4.2 LIVRABLES

Cette partie 2 inclut un complément à la matrice de la première partie, avec des conseils et des recommandations pour les lacunes identifiées et les éléments décrits dans cette première matrice.

Cette partie traite également des thèmes suivants :

- Développement de directives pour la préparation à des incidents impliquant du GNL à petite échelle dans la navigation intérieure. Ces directives sont incluses sous forme de complément à la matrice de la partie 1.
- Développement de directives pour la sensibilisation et la formation à intervenir en cas d'incident impliquant du GNL à petite échelle dans la navigation intérieure.

Si une formation est nécessaire, ces directives décrivent les exigences pour chacun des scénarios.

### 4.3 PROGRAMME DETAILLE

#### 4.3.1 THEMES PRINCIPAUX

Dans la partie 2, les deux principaux thèmes abordés sont la préparation aux incidents, ainsi que la sensibilisation et la formation. Le point de départ est la matrice de base représentée dans la section 3.6.

#### 4.3.2 SITUATION

La préparation aux incidents est basée sur des scénarios d'incident crédibles et permet d'identifier les éléments de sensibilisation et de formation nécessaires pour cet objectif (approche basée sur les conséquences).

### 4.3.3 SCHEMA CONCEPTUEL

Le schéma conceptuel suivant est utilisé par l'équipe du projet pour représenter les étapes suivies (numéros 1 à 4) et pour organiser les sous-thèmes de recherche et les mots-clés associés.

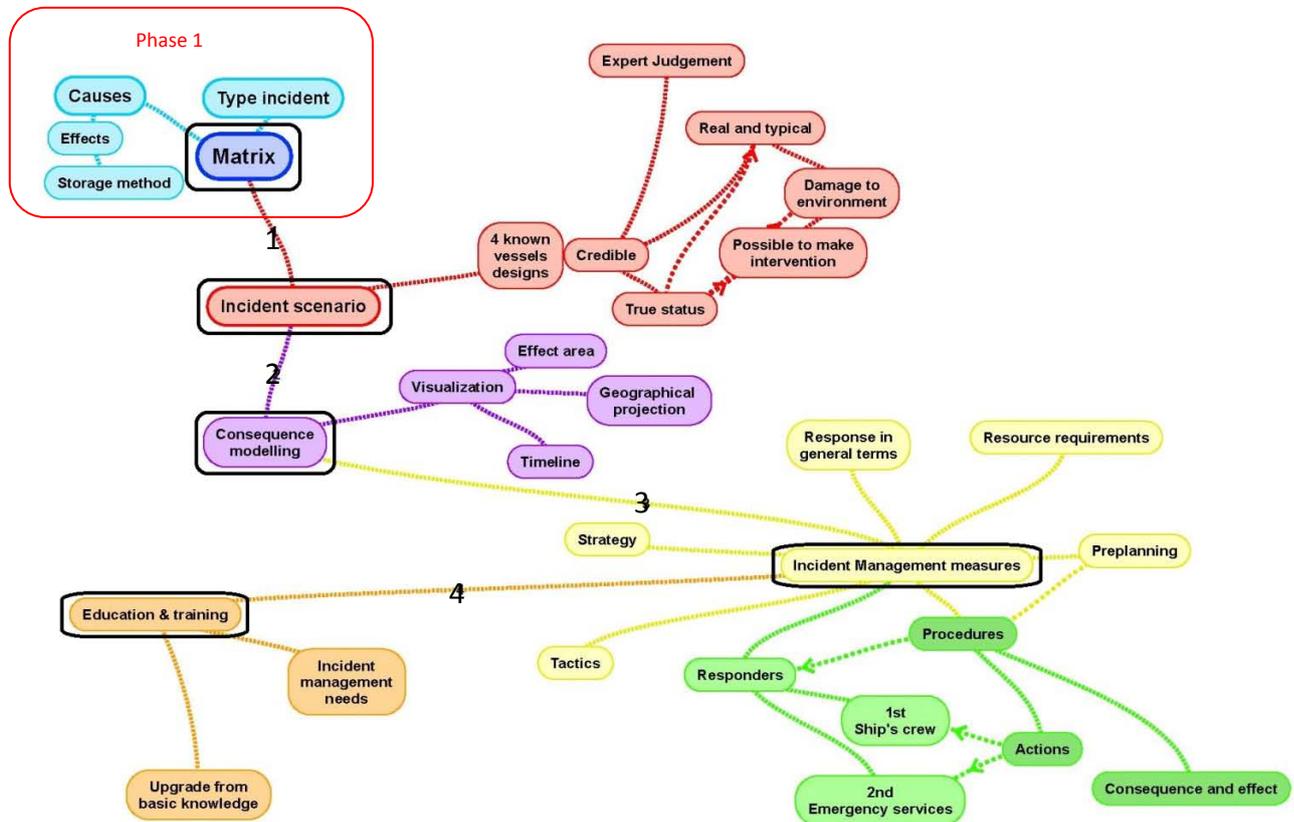


Figure 38 Schéma conceptuel de représentation des étapes du projet.

#### 4.3.3.1 SOUS-THEMES

Dans ce projet, les sous-thèmes suivants ont été étudiés, analysés et davantage développés, dans l'ordre chronologique.

##### 1. Descriptions technologiques

**TECHNOLOGIE** : elle est basée sur la méthode d'étude documentaire des éléments existants suivants :

- La technologie de système des méthaniers
- Les mesures de sécurité préventive fournies
- Les caractéristiques géographiques du couloir du Rhin

(Voir partie 1.)

2. Scénarios de fuite, émission et aggravation importantes

**SIMPLIFIER** : l'aperçu des scénarios de fuite, émission et aggravation importantes est le résultat d'une analyse et d'une simplification des connaissances existantes disponibles (voir partie 1).

3. Scénarios crédibles d'intervention en cas d'urgence et d'incident

**FILTRE** : Tous les scénarios de fuite, émission et aggravation importantes sont filtrés en répondant aux trois questions suivantes (cette approche est dérivée de la méthodologie de la directive Seveso) :

1. Le scénario est-il réaliste et typique ?
2. Le scénario peut-il causer des dommages conséquents aux biens ou aux personnes situé(e)s à proximité ?
3. L'intégration d'un scénario va-t-elle générer des effets évidents afin d'empêcher l'aggravation de la situation ?

Seuls les scénarios dont la réponse aux trois questions est positive sont sélectionnés (sur avis d'experts) comme scénarios crédibles d'intervention en cas d'urgence et d'incident. Les effets et l'intensité de la source sont des paramètres importants.

Des scénarios catastrophiques improbables (tels qu'un accident d'avion sur un bateau) ou des scénarios dont la probabilité d'émergence est quasi-nulle ne sont pas pris en compte.

4. Modélisation des conséquences

**DÉCRIRE** : les scénarios crédibles sélectionnés sont triés dans l'ordre inverse, par type (technologie et conséquence).

Un scénario représentatif par type (crédible pour la préparation) est décrit et représenté par un schéma de dispersion/incendie. Quatre schémas de scénario sont développés.

5. Préparation de l'intervention d'urgence

Sur la base de ces schémas de dispersion/incendie, quatre plans d'intervention d'urgence spécifiques à un scénario sont développés. Les éléments suivants sont indiqués pour chaque plan :

- Stratégie d'intervention en cas d'incident
- Grandes lignes des actions/tâches que les intervenants devront effectuer
- L'infrastructure à déployer (ressources/équipement d'intervention d'urgence)
- Réflexion quant à un commandement unifié

6. Sensibilisation et formation

**IDENTIFIER** : Les éléments de formation au GNL nécessaires sont identifiés sur la base des principales tâches à effectuer pour une intervention en cas d'incident (premiers et seconds intervenants).

Ces éléments de formation visent à inculquer des compétences professionnelles aux organismes d'intervention d'urgence situés le long du couloir du Rhin en traitant des incidents susceptibles de survenir avec du GNL dans le cadre de la navigation intérieure et en expliquant comment y faire face.

4.3.3.2 DIAGRAMME

Le travail effectué dans les étapes peut également être représenté dans le diagramme suivant. Les couleurs des cellules sont cohérentes avec celles du schéma conceptuel précédent.

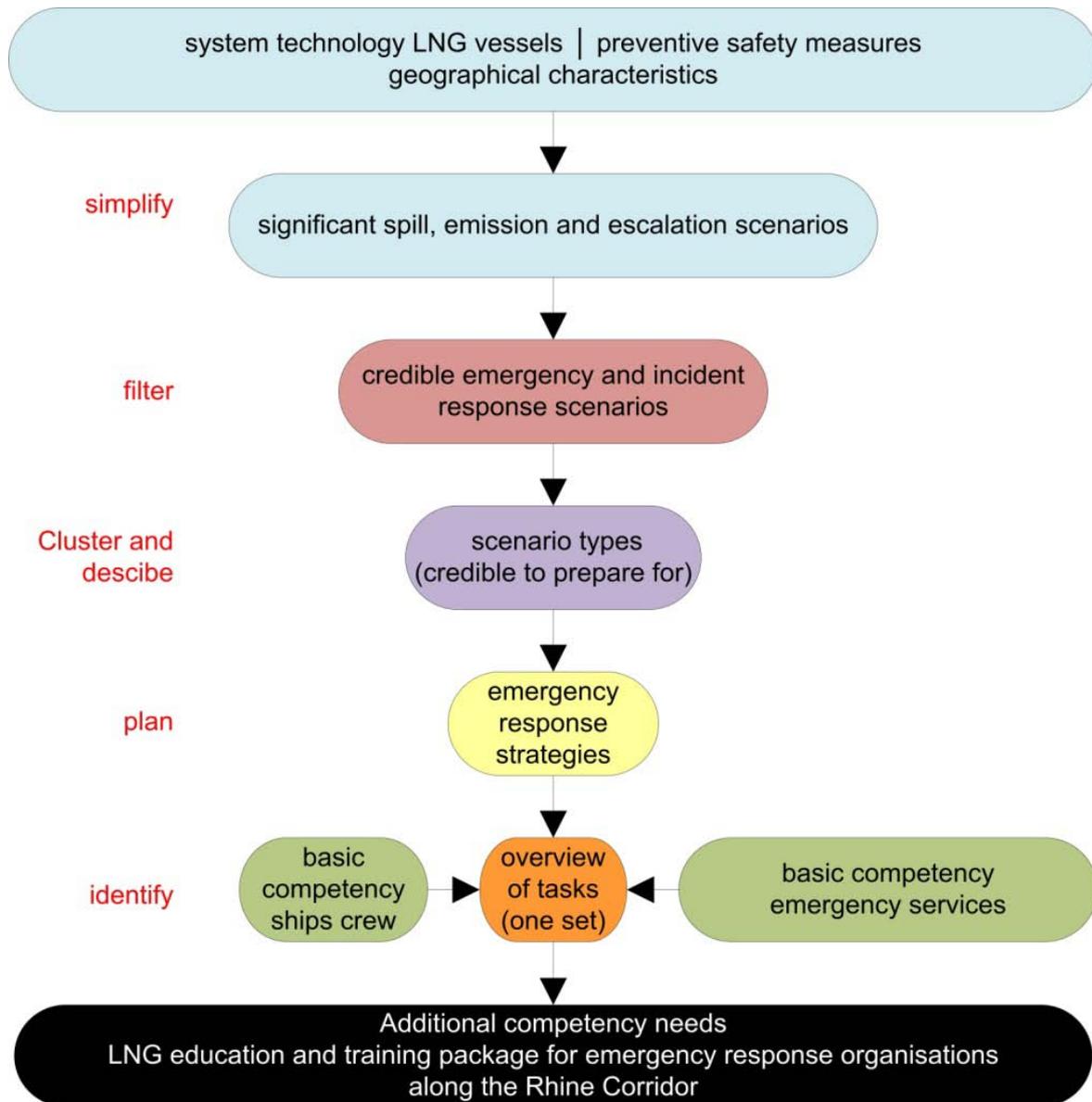


Figure 39 Approche systématique d'identification des éléments de sensibilisation et de formation nécessaires.

## 4.4 DIRECTIVES DE PREPARATION AUX INCIDENTS

### 4.4.1 INTRODUCTION

Dans le cadre de la préparation aux incidents impliquant du GNL, des décisions devront être prises aux différents niveaux de l'organisation d'intervention d'urgence afin de gérer efficacement l'incident. La gestion de l'intervention d'urgence est un élément essentiel de la préparation à l'intervention d'urgence. Nous distinguons trois niveaux de prise de décision dans le cadre de l'intervention d'urgence :

- La prise de décision stratégique
- La prise de décision tactique
- La prise de décision technique

La forme de la gestion des incidents ne sera pas davantage détaillée dans ce document, car cela n'entre pas dans le champ d'application de ce projet. Pour que les personnes responsables puissent prendre une décision en toute connaissance de cause, nous suggérons plusieurs solutions pour prendre en charge ce processus. Seules les stratégies, tactiques et techniques spécifiques relatives aux incidents impliquant du GNL sur une voie de navigation intérieure seront traitées. On estime que les services d'urgence disposent des connaissances générales concernant les incidents de navigation impliquant des matières dangereuses dans les voies de navigation intérieures.

### 4.4.2 CONNAISSANCES ET COMPRÉHENSION DES INCIDENTS IMPLIQUANT DU GNL DANS LES VOIES DE NAVIGATION INTÉRIEURES

Les stratégies décrivent comment faire face à des incidents, dont les effets pourraient s'appliquer à un ou plusieurs scénarios d'incident :

- Nuage de vapeurs de GNL
- Nappe de GNL
- Changement de phase rapide
- Incendie (feu de nappe/feu en torche/BLEVE, confinés ou non)

Pour gérer les fuites de GNL dans l'eau, les services d'intervention d'urgence ont besoin d'informations générales pour prendre la meilleure décision possible.

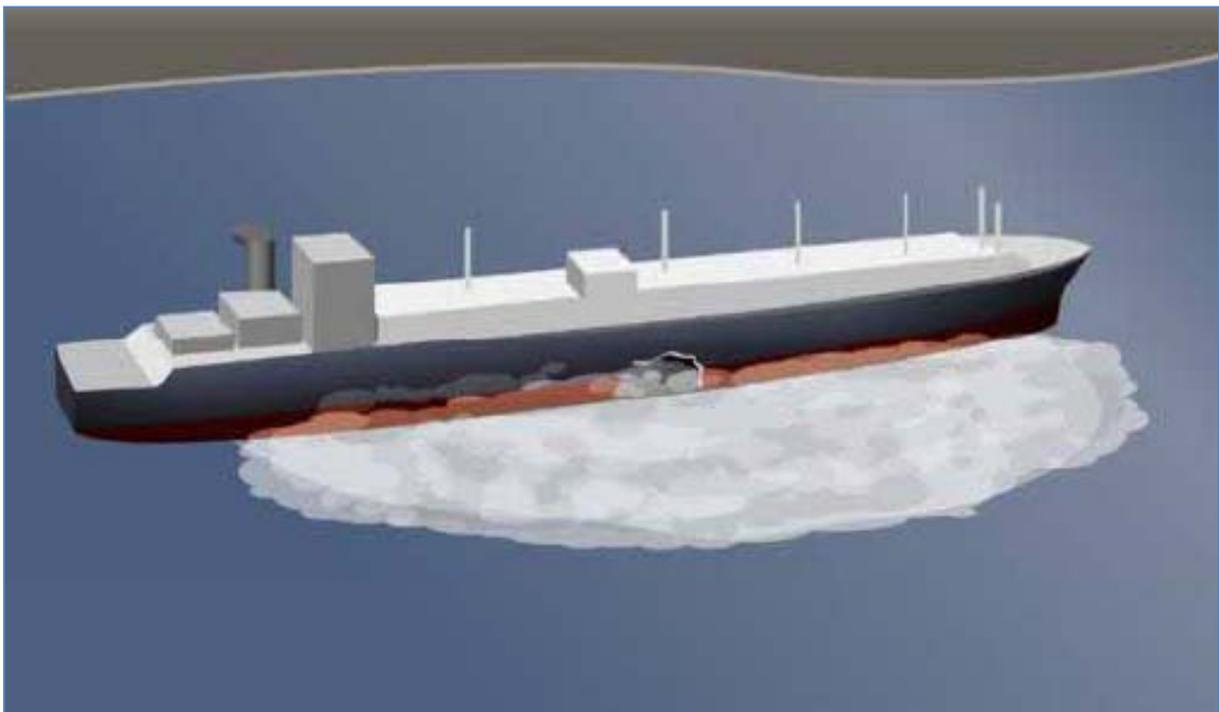


Figure 40 Fuite dans l'eau [2]

La durée de fuite du liquide, la vitesse de dégagement, la vitesse de propagation et la vitesse de vaporisation sont des facteurs importants pour estimer la distance de sécurité à respecter autour de la dispersion de la vapeur (explosive) et du rayonnement à partir des feux de nappe.

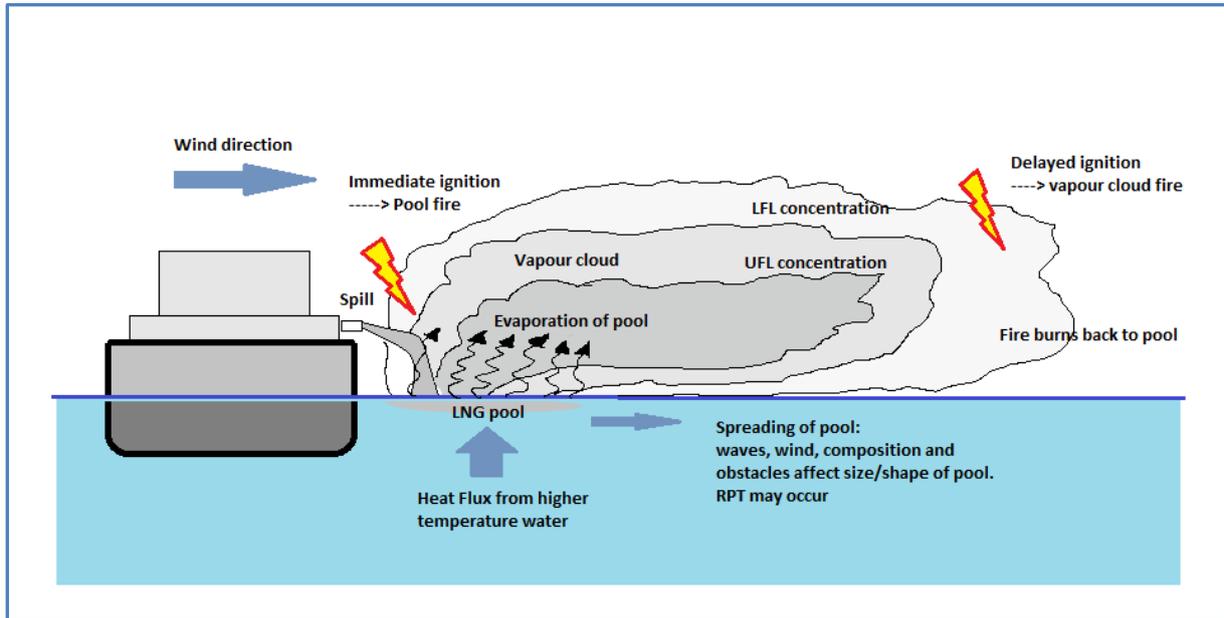


Figure 41 Scénarios d'incendie possibles en cas de fuite de GNL dans l'eau [2].

Il est également utile de comprendre la dynamique des événements liés au temps qui surviennent les uns après les autres sur le lieu de l'accident :

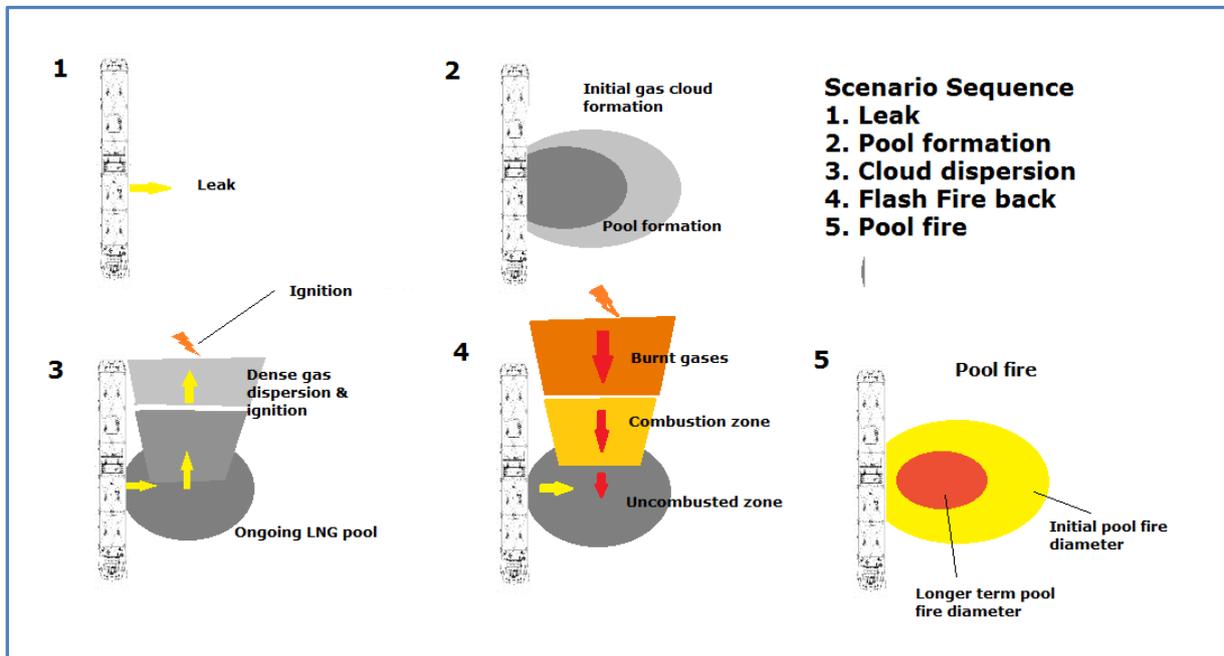


Figure 42 Ordre du scénario [4].

4.4.3 PROPAGATION DU GNL

Le GNL est un liquide contenant au moins 82 % de méthane. La teneur en méthane est cependant souvent d'environ 91 % (référence), voire plus. Le point d'ébullition du GNL est à environ - 162 °C sous une pression atmosphérique normale (1bar).

Si le liquide (- 162 °C) se dégage pendant l'incident impliquant du GNL, la vitesse de propagation (équivalent liquide/gaz) dépend de la température ambiante.

Équivalent liquide (au point d'ébullition)/gaz sous pression atmosphérique (1 bar)	
Température ambiante (en °C)	Équivalent (mole/mole)
0	589
15	621
25	643

Tableau 12 Rapport de l'équivalent liquide/gaz sous pression atmosphérique

4.4.4 ÉVAPORATION DU GNL

4.4.4.1 PARAMETRES DE LA VITESSE D'EVAPORATION

L'évaporation du GNL varie fortement en fonction des facteurs suivants :

- Intensité des turbulences
- Épaisseur de la couche de liquide
- Température de l'eau et de l'air
- Vitesse du vent

Tous ces paramètres provoquent des vitesses différentes d'évaporation du GNL. Les essais sur le terrain sont représentés sur le graphique suivant.

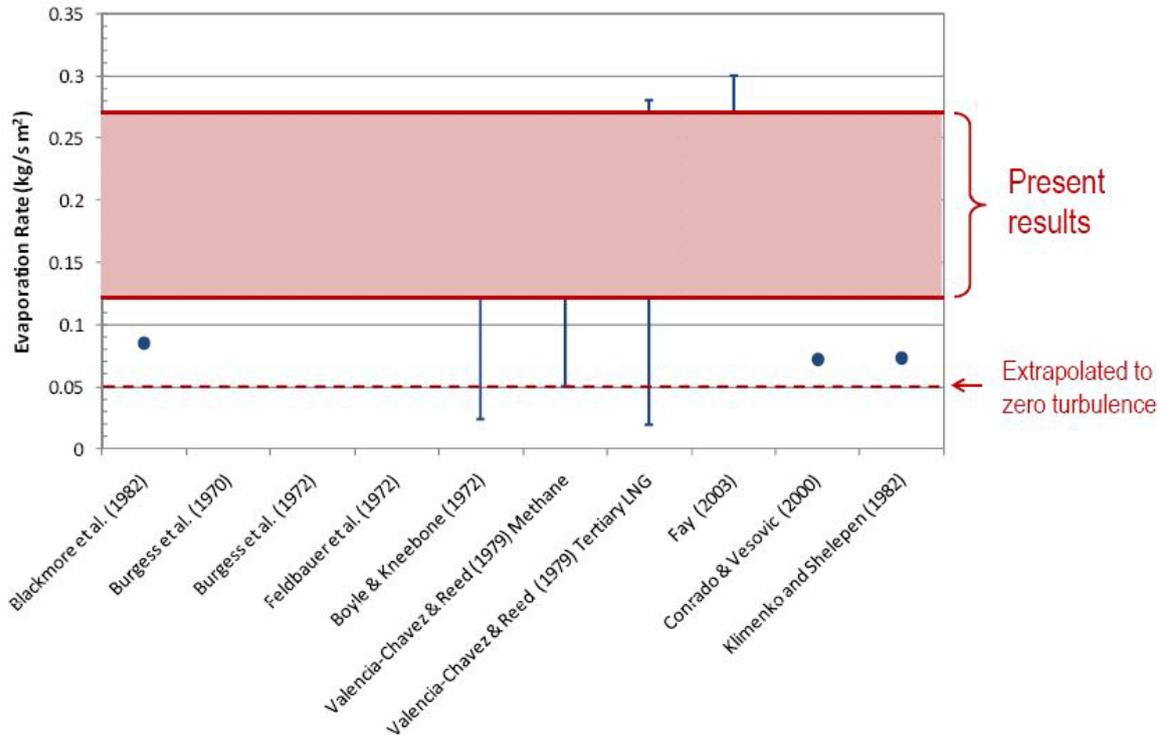


Figure 43 Vitesses d'évaporation [2].

4.4.4.2 VITESSES D'EVAPORATION POUR L'INTERVENTION D'URGENCE

Basées sur une étude des essais sur le terrain [5] pour les vitesses d'évaporation et sur la situation de la navigation intérieure (eaux peu profondes), les vitesses d'évaporation et de régression suivantes pour les fuites de GNL dans l'eau ont été validées.

Vitesse d'évaporation du GNL* (nappe de GNL sur l'eau)	Densité kg/m <sup>3</sup>	Vitesse d'évaporation*		Vitesse de régression* mm/minute
		kg/m <sup>2</sup> /s	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /min	
GNL	430-470	0,16	15	20

Tableau 13 Vitesse d'évaporation sur l'eau

\*) Toutes les valeurs sont arrondies, ainsi que la moyenne des résultats de plusieurs essais sur le terrain et les temps d'évaporation.

4.4.4.3 CONTROLE DU NUAGE DE VAPEURS DE GNL PAR VAPORISATION D'EAU

Une fuite de GNL est interprétée comme un dégagement de liquide avec une température comprise entre - 170 °C et - 107 °C. La vitesse de dégagement est proportionnelle à la pression de vapeur et à la taille (diamètre) du trou.

Lorsque le GNL se déverse dans de l'eau, la vitesse de vaporisation est d'environ 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/min. Il s'agit d'une valeur approximative.

La vitesse d'évaporation du GNL dans l'eau est d'environ :  
15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/min

Dans un premier temps, la vapeur du GNL à froid est plus lourde que l'air et peut former un nuage visible d'eau condensée lorsque l'humidité est > 55 %.

Les limites visuelles du nuage condensé sur un plan horizontal sont estimées à environ 100 % de la LIE du méthane. La longueur du nuage de gaz dépend de facteurs tels que la température, le sens du vent et la vitesse de vaporisation du GNL.

Les limites d'explosivité d'un nuage de gaz peuvent être définies à l'aide d'un appareil de détection du gaz adapté. Ce type d'appareil spécifique au gaz est obligatoire, car tous les équipements standard ne fournissent pas des valeurs précises rapidement.

La propagation du nuage de vapeur de GNL sur l'eau est souvent limité par des digues et/ou est influencé par les caractéristiques géographiques/structurelles. En fonction de la hauteur des digues et de la vitesse du dégagement, le GNL peut s'écouler et se propager davantage, au-delà des limites des voies de navigation intérieures.

Dans d'autres circonstances, le nuage de vapeur de GNL peut être contenu par les hautes berges de la rivière, les constructions et les flancs des montagnes ; cet effet provoque la « canalisation » du nuage. Dans ces situations, les programmes informatiques de modélisation sont inefficaces pour déterminer la propagation du nuage.

La migration du nuage de vapeur de GNL est influencée par :

- Le réchauffement de la vapeur à froid du GNL. Le méthane devient alors plus léger que l'air et s'élève dans l'atmosphère. Ce processus peut être accéléré en pulvérisant de l'eau à l'aide d'un canon ou en utilisant un rideau d'eau. NB : le gaz méthane n'est pas soluble dans l'eau.

- L'utilisation d'un rideau d'eau, grâce auquel un petit nuage de vapeur à froid peut être maîtrisé ou contenu.
- Au niveau du sol, les concentrations de gaz/vapeur peuvent être réduites de 18 % à 65 % maximum environ lorsque l'eau pulvérisée est correctement appliquée.

Pour une pulvérisation standard orientée vers le bas, une réduction de 65 % de la fraction de masse du méthane est constatée lorsque la vitesse du vent est faible (1 m/s), mais que l'évaporation est élevée.

Lorsque la vitesse du vent est de 4 m/s, la diminution est de seulement 18 % et la température la plus élevée du nuage au niveau de la couche est de 2 °C pour la vitesse de vent la plus faible.

**Réduction de 18 à 65 % de la zone impactée  
en cas d'application d'eau pulvérisée**

Il ne faut en aucun cas laisser un nuage de vapeur se déplacer dans un environnement confiné, dans un bateau ou un bâtiment, car l'inflammation de ce nuage créerait une explosion de vapeur en milieu confiné (CVCE) et des incendies secondaires consécutifs.

Ce phénomène est également connu sous le nom de formation d'une poche de gaz. Les mesures de prévention suivantes peuvent être utilisées pour éviter toute blessure corporelle aux personnes.

- Si le nuage de vapeur/gaz menace le bateau ou les bâtiments adjacents, la priorité majeure est de vider la zone de danger de tous les bateaux et d'évacuer les personnes présentes.
- Les résidents ou les personnes travaillant dans les bâtiments situés le long de la voie de navigation doivent être évacués. Nous recommandons également fortement de demander à ce que les systèmes de ventilation soient arrêtés dans la zone à risque.
- Toute source d'inflammation doit être isolée ou supprimée.

---

#### 4.4.4.4 CONTROLE DE LA DISPERSION DE LA VAPEUR AVEC DE LA MOUSSE

Le phénomène de dispersion de la vapeur hors de la nappe de GNL contenue peut être empêché en appliquant une mousse d'extinction à haut foisonnement sur la surface de la nappe de GNL. Cette tactique peut uniquement être envisagée sur une nappe de GNL contenue. Cependant, en appliquant correctement la mousse, la concentration de la vapeur au-dessus de la nappe peut être réduite jusqu'à 50 % [6].

Remarque : au début, l'application de la mousse peut avoir un effet négatif sur les efforts de contrôle de la vapeur de GNL en raison de la vaporisation globale au début de l'application de la mousse. Il s'agit du résultat d'une réduction rapide initiale de la température de la vapeur, suivie d'une vaporisation excessive.

Par conséquent, il est essentiel de bien veiller à ne pas laisser d'eau douce dans le GNL avant de débiter l'application de la mousse.

**La mousse à foisonnement est efficace pour réduire la concentration de méthane dans le sens du vent, ce qui permet de diminuer la LIE et de réduire de moitié les distances de la LIE.**

Les expériences précédentes ont également identifié que la profondeur minimum efficace pour la mousse est de 0,64 m.

Pour bien appliquer la mousse à haut foisonnement, respecter les paramètres suivants :

- Émulseur à haut foisonnement pour les liquides cryogéniques
- Appareil de production de mousse avec taux de foisonnement de 500:1
- Vitesse d'application de la mousse de 10 l//m<sup>2</sup>/min. (consulter le fournisseur de mousse pour connaître la vitesse d'application de la mousse pour le GNL)

Les dégagements de GNL liquide à bord du bateau peuvent gravement affecter l'intégrité de la structure du bateau en raison des caractéristiques du GNL cryogénique.

Pour protéger la structure, l'eau est souvent déchargée, créant un film d'eau sur les éléments qui peut entrer en contact avec le dégagement de GNL liquide. En général, le GNL flotte sur l'eau ; lors d'une petite fuite, le dégagement est donc éliminé par-dessus bord, mais également rapidement évaporé.

#### 4.4.4.5 CONTROLE DU CHANGEMENT DE PHASE RAPIDE

En fonction des quantités, le déversement de GNL liquide dans l'eau peut générer un changement de phase rapide. Ce phénomène peut également se produire si de l'eau est introduite dans la nappe de GNL. Il doit être évité autant que possible.

La pulvérisation mesurée d'eau par des professionnels formés peut être envisagée comme une tactique acceptable pour accélérer la vaporisation du GNL liquide. Cette technique est appelée l'agitation.

### 4.5 LUTTE CONTRE L'INCENDIE EN PRESENCE DE GNL

Si un nuage de vapeur de GNL à l'air libre est soumis à une inflammation retardée, cela ne produira pas une explosion de vapeur en milieu non confiné (UVCE).

Le mélange de vapeurs ne va pas exploser mais va brûler régulièrement le long du front de flamme jusqu'à la source du dégagement.

En fonction de la source du dégagement (feu de nappe, feu en torche ou dégagement en deux phases), la conséquence sera un incendie.

Cependant, si un dégagement de GNL s'enflamme dans un espace confiné, cela peut facilement générer une CVCE.

#### 4.5.1 DUREE DE COMBUSTION

Pour prévoir la durée de combustion d'un incendie de GNL, les paramètres suivants sont nécessaires :

- Le volume de GNL en mètres cubes ou le poids en kilogrammes
- La surface de l'incendie en mètres carrés
- Feu de nappe contenu ou non contenu

Le tableau suivant compare les vitesses de combustion du GNL et d'autres carburants bien connus.

Comparaison des vitesses de combustion de plusieurs carburants (incendie contenu sur un bateau ou sur terre).

	Vitesse de combustion		Densité kg/m <sup>3</sup>	Calorie MJ/kg	Rayonnement KW/m <sup>2</sup>
	mm/minute	kg/m <sup>2</sup> /s			
GNL*	14	0,11	430-470	50,2	220
GPL	13	0,13	585	43,4	140
Essence	5	0,055	740	-	-
Kérosène	3	0,06	790	-	-
Fioul	2	0,05	900	-	-

Tableau 14 Comparaison des vitesses de combustion des différents carburants

\*) Moyenne de plusieurs essais sur le terrain

Il existe d'autres vitesses de combustion applicables pour les feux de nappe non confinés sur l'eau, qui diffèrent des vitesses indiquées dans le tableau ci-dessus pour les situations confinées sur terre.

Dans le tableau ci-dessous, les valeurs sont extrapolées à partir des rapports Sandia (2004 [7] et 2008 [8]) et du rapport « Large LNG Fire Thermal Radiation – Modelling Issues & Hazard Criteria Revisited » de Phani K. Raj [9].

	Vitesse de combustion		Densité kg/m <sup>3</sup>	Calorie MJ/kg	Rayonnement KW/m <sup>2</sup>
	mm/minute	kg/m <sup>2</sup> /s			
GNL (D=< 100 m)	18	0,135	430-470	50,2	220
GNL (grande nappe)	21	0,15	430-470	50,2	280

Tableau 15 Vitesses de combustion du GNL sur l'eau

\*) Toutes les valeurs sont des moyennes de plusieurs essais sur le terrain.

#### 4.5.2 LUTTE CONTRE L'INCENDIE EN PRESENCE D'UNE NAPPE DE GNL NON CONFINÉE

Il n'est pas possible d'éteindre un feu de nappe de GNL. Les équipes d'intervention d'urgence doivent donc être déployées de manière défensive pour contrôler les effets de l'incident, en respectant les priorités suivantes :

- Empêcher l'aggravation de la situation
- Contenir l'incendie
- Contrôler l'incendie

Le flux de chaleur qui se dégage de la nappe de GNL située sur l'eau atteindra son intensité maximale, par exemple, après le déchargement de la citerne de GNL avec une inflammation retardée.

La nappe sera très étendue mais la durée de combustion sera très courte. Dans ce cas, les systèmes fixes de protection contre l'incendie et le revêtement passif résistant à la chaleur, qui font partie des spécifications intégrales de conception, permettent d'empêcher l'aggravation de la situation.

L'incendie initial se sera probablement déjà consumé avant l'arrivée des premiers intervenants.

S'il brûle toujours, le rayonnement thermique élevé empêchera les intervenants d'urgence d'approcher du bateau de manière à ce que les canons de leur bateau-pompe puissent atteindre l'incendie et être efficaces. Il ne faut pas écarter le risque d'une BLEVE si les autres citernes GNL exposées ne sont pas suffisamment refroidies.

Pour les feux de nappe de GNL moins importants, les services d'intervention d'urgence doivent se concentrer sur le refroidissement des citernes de GNL restantes et sur la structure du bateau. Le refroidissement doit être appliqué selon une approche en amont, par exemple, avec un bateau-pompe dont les canons à eau sont dirigés vers la longueur du bateau.

Bien qu'il ne soit pas possible d'empêcher l'eau pulvérisée de tomber dans la nappe, il ne faut pas orienter le jet d'eau directement sur la nappe de GNL.

4.5.3 LUTTE CONTRE L'INCENDIE EN PRESENCE D'UNE NAPPE DE GNL CONFINÉE

Un feu de nappe de GNL confiné survient lorsque le produit ne peut pas s'écouler et qu'il est contenu (par exemple, avec une digue de protection, pour les petits incendies d'une surface < 10 m<sup>2</sup>). La poudre chimique sèche de classe BC doit être envisagée pour éteindre activement l'incendie. Pour les incendies dont la surface est supérieure à 10 m<sup>2</sup>, il faut envisager une stratégie défensive.

Il n'est pas possible d'éteindre un feu de nappe de GNL avec de la mousse, malgré que la mousse à haut foisonnement puisse réduire l'intensité de l'incendie et le rayonnement thermique, mais elle nécessite une « recharge » régulière pour y parvenir. Remarque : au début de l'application de la mousse, l'intensité de l'incendie augmente avant de réduire visiblement. Nous recommandons d'utiliser une mousse avec un taux de foisonnement de 500:1 et une vitesse d'application de 10 l/m<sup>2</sup>/min.

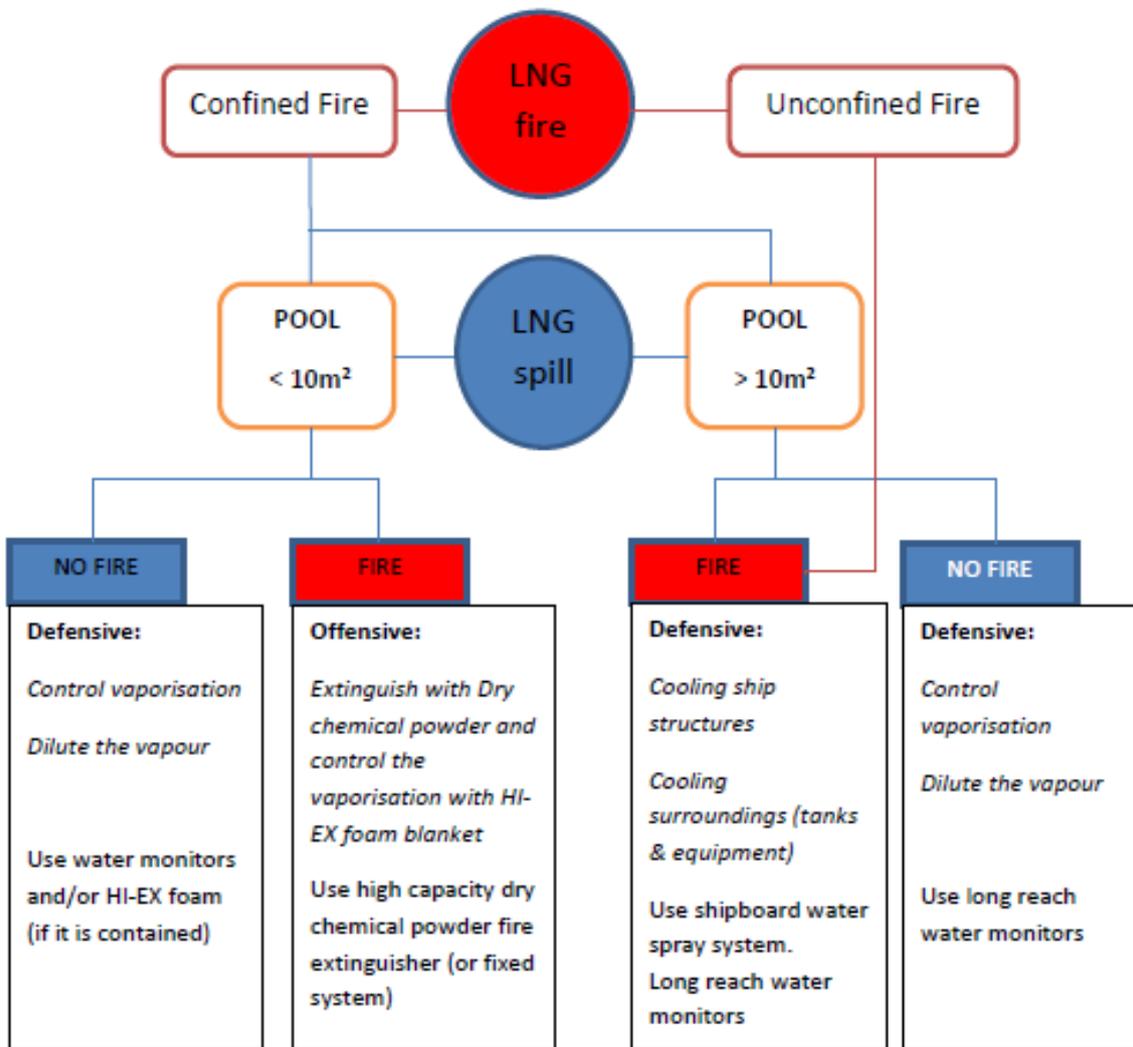


Figure 44 Résumé de la stratégie de lutte contre l'incendie

#### 4.5.4 LUTTE CONTRE L'INCENDIE EN PRESENCE D'UN FEU EN TORCHE

En cas d'incendie lié au gaz, il existe deux priorités :

- Arrêter le flux de GNL (gaz) via l'arrêt d'urgence.
- Veiller à ce que toutes les autres citernes, la tuyauterie et la structure du bateau soit refroidies avec les systèmes de pulvérisation d'eau (quel que soit le type d'incendie : incendie sous pression, feu en torche ou feu de nappe).

Il est recommandé d'utiliser une caméra à imagerie thermique pour vérifier que les effets du refroidissement sont efficaces. Une stratégie de refroidissement adaptée est nécessaire.

#### 4.5.5 BLEVE

Une explosion de vapeur en expansion par ébullition d'un liquide (BLEVE) est une explosion causée par la rupture d'un récipient contenant un liquide pressurisé au-delà de son point d'ébullition sous pression atmosphérique.

Une BLEVE sur une citerne à membrane de type A ou B est quasi impossible, mais ne doit pas être écartée pour une citerne de type C. Une BLEVE ne devrait pas se développer pendant une exposition à court terme à un événement pour une citerne de type C si le matériau d'isolation n'est pas endommagé et si l'isolation sous vide reste intacte.

Une isolation endommagée associée à des températures extrêmes peut entraîner une défaillance des coques de la citerne et provoquer une BLEVE. Par conséquent, la priorité est de refroidir les autres citernes de GNL afin d'empêcher l'aggravation de la situation et le risque d'une BLEVE.

### 4.6 REFROIDISSEMENT

#### 4.6.1 STRATEGIE

Le recours à une stratégie défensive est préférable pour les incidents industriels et est également applicable aux incidents maritimes.

Si la première action de la lutte contre l'incendie échoue, le risque d'aggravation de la situation est très élevé en raison de la présence de grandes quantités de carburant dans les citernes et la tuyauterie. Les risques augmentent si les éléments ci-dessus sont exposés à la chaleur d'un incendie. Par conséquent, dans la majorité de cas, la première action est de refroidir les citernes, la tuyauterie, l'équipement et la structure du bateau, avant d'envisager l'extinction de l'incendie.

**Dans certaines situations, l'incendie ne peut pas être éteint. La meilleure solution est alors de le laisser se consumer. Le GNL est un produit qu'il faut laisser se consumer dans des conditions contrôlées. Pendant la combustion contrôlée, les zones proches doivent être refroidies.**

#### 4.6.2 CAPACITES

Pour connaître la quantité d'eau nécessaire au refroidissement, la directive IP-19 (Energy Institute, anciennement Institute of Petroleum) « Model code of safe practice: Fire precautions at refineries and bulk storage terminals » peut être utilisée. Conformément à ce code, au moins 10 l/m<sup>2</sup>/min d'eau de refroidissement doivent être utilisés pour protéger la coque du bateau des flammes.

Dans la norme 46CFR154 (Safety standards for self-propelled vessels carrying bulk liquefied gases), les critères de conception des systèmes de pulvérisation de l'eau sont documentés :

1. 10 l/m<sup>2</sup>/min. sur chaque surface horizontale
2. 4 l/m<sup>2</sup>/min. contre la surface verticale, y compris l'eau déchargée

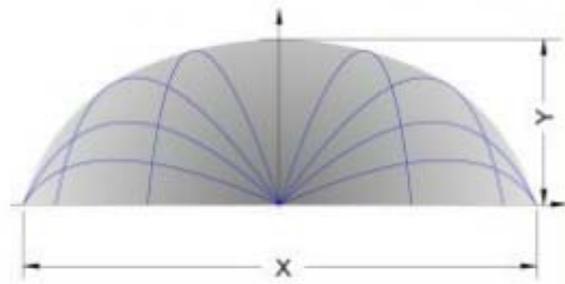


Figure 45 *Modèle de jet plat servant de bouclier hydraulique*

En pratique, les canons à capacité nominale et/ou les boucliers hydrauliques, ainsi que leur pression de fonctionnement optimal déterminent la projection et la hauteur des rideaux d'eau.

## 4.7 BOUCLIER HYDRAULIQUE

### 4.7.1 CONTROLE DE L'EXPOSITION A LA CHALEUR ET DU NUAGE GAZ/VAPEUR

Les bateaux-pompes suivants, en service dans le couloir du Rhin, sont équipés de canons à eau d'une capacité et d'une portée suffisantes afin de contrôler l'exposition à la chaleur et la réduction des concentrations de gaz/vapeur.



Figure 46 *Bateaux-pompes sur le Rhin*

#### 4.7.2 CAPACITES DES BATEAUX-POMPES

Il existe différents types de bateaux-pompes :

Bateau-pompe 1 : capacité de 2 400 m<sup>3</sup> d'eau par heure

Bateau-pompe ½ : capacité de 1 200 m<sup>3</sup> d'eau par heure

Bateau-pompe : capacité de 500 m<sup>3</sup> d'eau par heure

### 4.8 PREMIERS SECOURS

#### 4.8.1 EXPOSITION

Les gaz liquéfiés cryogéniques sont condensés par refroidissement sous forme liquide sous pression atmosphérique. Le GNL est refroidi à environ - 162 °C.

En cas de fuite du confinement, la température ambiante autour des citernes de GNL sur les bateaux provoque l'évaporation du liquide cryogénique sous forme de gaz au moment où il quitte la citerne.

Un litre de gaz liquéfié cryogénique génère une quantité considérable de gaz (environ 600 fois son volume).

Les zones où sont installées les citernes doivent être équipées d'une ventilation adéquate capable d'évacuer la quantité de gaz générée, au minimum. La ventilation doit empêcher toute modification importante de la concentration en oxygène de l'air. Si de grandes quantités sont dégagées, suite à une collision par exemple, les intervenants ne doivent pas considérer la ventilation comme une mesure suffisante, car la probabilité d'une défaillance du système est élevée.

Le GNL n'est pas toxique, mais il remplace l'oxygène présent dans l'atmosphère s'il est dégagé. Les personnes présentes risquent alors l'asphyxie si la concentration en oxygène chute en-deçà de 15 %.

Les personnes exposées au GNL risquent également l'hypothermie et des gelures. Si elles inhalent un gaz cryogénique, leurs voies respiratoires risquent de geler, y compris leurs poumons.

Des nuages de GNL (dispersion) peuvent se former si le gaz cryogénique froid est mélangé à de l'air chaud, car l'humidité de l'air se condense lorsqu'elle est refroidie. En cas de fuite importante de GNL refroidi (méthane), la formation de ces nuages de condensation risque de réduire la visibilité. Une attention particulière doit être portée au fait que même à l'extérieur de ces nuages, il faut s'attendre à une modification significative de la composition de l'atmosphère.

#### 4.8.2 ACTIONS

##### **Toujours contrôler les points suivants : Voies respiratoires - Respiration - Circulation - Trouble - Exposition**

Lorsque les premiers et les seconds intervenants équipés des EPI adéquats secourent les victimes exposées, ils doivent garder les consignes suivantes à l'esprit :

- Déplacer les victimes exposées dans un lieu chaud (environ 22 °C), mais ne pas appliquer de chaleur directe.
- Retirer doucement (ne pas tirer) tous les vêtements pouvant entraver la circulation du sang vers les zones touchées (blessées).
- Nettoyer les zones cutanées affectées avec beaucoup d'eau tiède.
- Continuer à refroidir les zones touchées jusqu'à ce que la douleur diminue.



Si nécessaire, protéger les blessures avec d'épais bandages stériles secs. Attention : ne pas trop serrer les bandages au risque de bloquer la circulation du sang. Éviter de faire bouger la peau affectée.

## 5. DIRECTIVES POUR LA SENSIBILISATION ET LA FORMATION AUX INTERVENTIONS EN CAS D'INCIDENT IMPLIQUANT DU GNL

### 5.1 INTRODUCTION

La préparation aux incidents et la planification des interventions de secours sont basées sur des scénarios d'incidents crédibles et mènent à l'identification des éléments de sensibilisation et de formation nécessaires dans ce but.

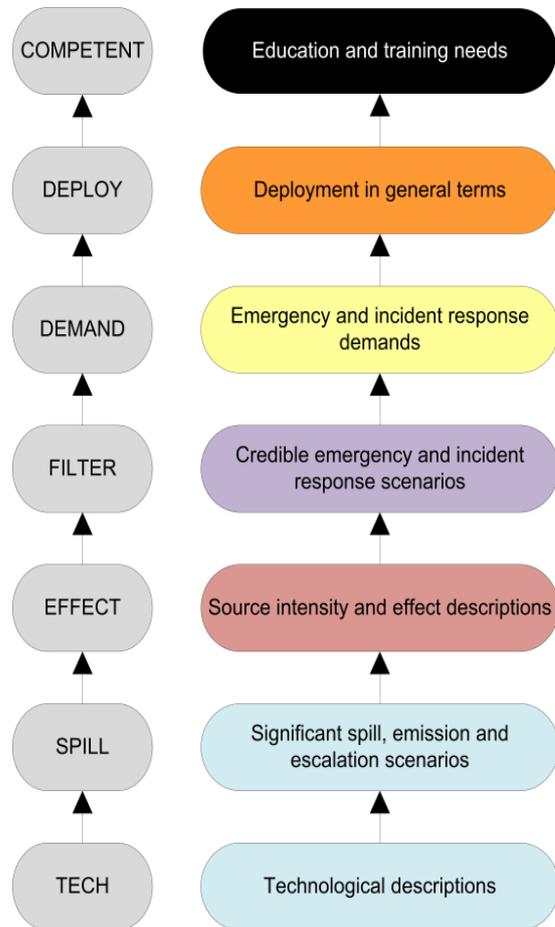
Ce tracé principal suit une structure en sept étapes - comme illustré Figure 47 - et commence par des descriptions technologiques et se termine par l'objectif final des besoins de sensibilisation et de formation.

Il est important de se rendre compte que ces besoins de sensibilisation et de formation de tous intervenants en matière d'incident et d'urgence concernent des compétences professionnelles complémentaires (spécifiques au GNL).

On suppose que les compétences professionnelles élémentaires (non spécifiques au GNL) de tous intervenants en matière d'incident et d'urgence sont déjà acquises et préservées.

Bien que les compétences professionnelles de base sont susceptibles de varier selon les régions s'étendant le long du couloir du Rhin à cause des conditions locales, il est possible d'utiliser largement des profils complémentaires de compétences concernant spécifiquement le GNL.

Figure 47 Structure en sept stades pour les besoins de sensibilisation et de formation.



### 5.2 SCENARIOS

#### 5.2.1 SCENARIOS DE DEVERSEMENT, EMISSION ET AGGRAVATION IMPORTANTS

Les types désignés de confinement (navires), les causes et les effets dans la 1ère partie (voir matrice de base) ont donné, par avis d'experts, dans l'important déversement ci-dessous, les références de scénario d'émission et d'aggravation suivantes :

Type de système de confinement		Cause	Effet	scénario réf.
1. Bateaux fonctionnant au GNL	1. Citerne(s) de carburant sur le pont	3. collision avec un pont	B. Feu instantané (flash)	1.1.3.B
			C. Feu en torche	1.1.3.C
			D. Feu en nappe	1.1.3.D
			E. Dommages cryogéniques	1.1.3.E
		5. défaillance des raccords de la citerne	B. Feu flash	1.1.5.B
			C. Feu en torche	1.1.5.C
E. Dommages cryogéniques	1.1.5.E			

Type de système de confinement		Cause	Effet	scénario réf.
1. Bateaux fonctionnant au GNL	1. Citerne(s) de carburant sur le pont	6. fuite par vaporisation	B. Feu flash C. Feu en torche	1.1.6.B 1.1.6.C
		7. dégagement de la surpression	C. Feu en torche	1.1.7.C
		8. défaillance du système de transfert	B. Feu flash	1.1.8.B
			C. Feu en torche	1.1.8.C
			D. Feu en nappe	1.1.8.D
	11. Incendie secondaire (ex. : incendie de la cargaison)	F. Dommages par explosion	1.1.11.F	
		G. Effet domino	1.1.11.G	
	2. Citerne(s) de carburant sous le pont	1. collision avec un autre bateau	A. Dommages structurels	1.2.1.A
			B. Feu flash	1.2.1.B
			C. Feu en torche	1.2.1.C
			D. Feu en nappe	1.2.1.D
			E. Dommages cryogéniques	1.2.1.E
		4. échouement (accidentel)	A. Dommages structurels	1.2.4.A
		5. défaillance des raccords de la citerne	B. Feu flash	1.2.5.B
			C. Feu en torche	1.2.5.C
			D. Feu en nappe	1.2.5.D
		6. fuite par vaporisation	B. Feu flash	1.2.6.B
			C. Feu en torche	1.2.6.C
		7. dégagement de la surpression	C. Feu en torche	1.2.7.C
		8. défaillance du système de transfert	B. Feu flash	1.2.8.B
C. Feu en torche			1.2.8.C	
D. Feu en nappe			1.2.8.D	
2. Bateau-citerne transportant du GNL/Bateau avitailleur	1. Citerne(s) de type C	1. collision avec un autre bateau	A. Dommages structurels	2.1.1.A
			B. Feu flash	2.1.1.B
			C. Feu en torche	2.1.1.C
			D. Feu en nappe	2.1.1.D
			E. Dommages cryogéniques	2.1.1.E
		4. échouement (accidentel)	A. Dommages structurels	2.1.4.A
		5. défaillance des raccords de la citerne	B. Feu flash	2.1.5.B
			C. Feu en torche	2.1.5.C
			D. Feu en nappe	2.1.5.D
		6. fuite par vaporisation	B. Feu flash	2.1.6.B
	C. Feu en torche		2.1.6.C	
	7. dégagement de la surpression	C. Feu en torche	2.1.6.C	
	8. défaillance du système de transfert	B. Feu flash	2.1.8.B	
		C. Feu en torche	2.1.8.C	
		D. Feu en nappe	2.1.8.D	
E. Dommages cryogéniques		2.1.8.E		
2. Citerne(s) à membrane	Collision avec un autre bateau	A. Dommages structurels	2.2.1.A	
		B. Feu flash	2.2.1.B	
		C. Feu en torche	2.2.1.C	
		D. Feu en nappe	2.2.1.D	
		E. Dommages cryogéniques	2.2.1.E	
	2. collision avec le quai	B. Feu flash	2.2.2.B	
	4. échouement (accidentel)	A. Dommages structurels	2.2.4.A	

Type de système de confinement		Cause	Effet	scénario réf.
2. Bateau-citerne transportant du GNL/Bateau avitailleur	2. Citerne(s) à membrane	5. défaillance des raccords de la citerne	B. Feu flash	2.2.5.B
			C. Feu en torche	2.2.5.C
			D. Feu en nappe	2.2.5.D
			E. Dommages cryogéniques	2.2.5.E
		6. fuite de la vaporisation	B. Feu flash	2.2.6.B
			C. Feu en torche	2.2.6.C
		7. dégagement de la surpression	C. Feu en torche	2.2.7.C
		8. défaillance du système de transfert	B. Feu flash	2.2.8.B
			C. Feu en torche	2.2.8.C
			D. Feu en nappe	2.2.8.D
			E. Dommages cryogéniques	2.2.8.E

Tableau 16 Analyse de scénarios crédibles concernant l'intervention en cas d'incident et d'urgence

Ces scénarios (réf. 1.1.3.B à 2.2.8.E) sont introduits dans l'étape suivante : "analyse de crédibilité concernant l'intervention en cas d'incident et d'urgence".

### 5.2.2 SCENARIOS CREDIBLES D'INTERVENTION EN CAS D'INCIDENT ET D'URGENCE

Les scénarios de déversement, émission et aggravation importants (réf. 1.1.3.B à 2.2.8.E) sont filtrés quant à la crédibilité pour intervention en cas d'incident et d'urgence, en répondant aux trois questions suivantes :

1. Le scénario est-il réaliste et typique?
2. Le scénario peut-il causer des dommages conséquents aux biens ou aux personnes situé(e)s à proximité ?
3. L'intégration d'un scénario va-t-elle générer des effets évidents afin d'empêcher l'aggravation de la situation ?

Seuls les scénarios dont la réponse aux trois questions est positive sont sélectionnés (sur avis d'experts) comme scénarios crédibles d'intervention en cas d'incident et d'urgence.

Les effets et l'intensité de la source sont des paramètres importants. Les scénarios catastrophiques improbables (tels qu'un accident d'avion sur un bateau) ou des scénarios dont la probabilité d'émergence est quasi-nulle ne sont pas pris en compte.

Cette analyse de crédibilité par avis d'experts a donné un choix de 4 types de scénarios crédibles d'intervention en cas d'incident et d'urgence.

Scénarios de déversement, émission et aggravation :	critères de filtrage <sup>1)</sup>			Scénarios crédibles pour intervention d'urgence	Triés par type de scénario à intervention d'urgence <sup>2)</sup>
	1	2	3		
1.1.3.D	Oui	Oui	Oui	Oui	SCEN-1 (IWT-LNG-SSERP-1)
1.1.11.G	Oui	Oui	Oui	Oui	SCEN-4 (IWT-LNG-SSERP-4)
1.2.8.E	Oui	Oui	Oui	Oui	SCEN-2 (IWT-LNG-SSERP-2)
1.2.5.D	Oui	Oui	Oui	Oui	SCEN-3 (IWT-LNG-SSERP-3)

Tableau 17 Analyse de scénario crédible d'intervention pour incident

- 1) Les critères filtrés pour une intervention en cas d'incident et d'urgence sont :
1. *Le scénario est-il réaliste et typique ?*
  2. *Le scénario peut-il causer des dommages conséquents aux biens ou aux personnes situé(e)s à proximité ?*
  3. *L'intégration d'un scénario va-t-elle générer des effets évidents afin d'empêcher l'aggravation de la situation ?*
- 2) Les types de scénarios filtrés et triés pour intervention en cas d'incident et d'urgence sont :
- SCEN-1: *Un bateau citerne pour voies intérieures, mû par GNL, avec **citerne de carburant GNL sur le pont**, collision avec un pont, rupture des tuyauteries, dégagement continu de GNL, dispersion d'un nuage de vapeur, **pas d'allumage du GNL**, aggravation avec concentrations prolongées de gaz/vapeur, élimination directe de toutes sources d'allumage et écrans d'eau requis.*
- SCEN-2: *Avitaillement de camion citerne au navire, **citerne de carburant GNL sous le pont**, rupture du flexible, dégagement limité de GNL, déversement non confiné à la surface de l'eau, RPT, endommagement cryogénique du navire, **pas d'allumage du GNL**.*
- SCEN-3: *Bateau pétrolier/avitailleur de GNL sur voies intérieures, **citernes de charge de GNL**, chute de container du navire avitaillé sur le navire d'avitaillement, dégagement court et continu de GNL, déversement non confiné à la surface de l'eau, RPT, **allumage de GNL à retardement**.*
- SCEN-4: *Bateau-citerne pour voies intérieures, mû par GNL, avec **citerne de carburant GNL sur le pont**, collision avec un autre navire, allumage direct de la cargaison (essence), exposition thermique des citernes de carburant LNG, aggravation par exposition prolongée, refroidissement requis dans les 15 minutes*

Ces scénarios SCEN-1, SCEN-2, SCEN-3 et SCEN-4 sont introduits pour l'étape suivante : "modélisation des conséquences"

## 5.3 MODELISATION DES CONSEQUENCES

### 5.3.1 NECESSITE

Avant de mettre au point les stratégies d'intervention cas d'urgence, il est nécessaire d'acquérir une bonne compréhension pour chaque scénario spécifique, des niveaux thermiques, de vapeur et de gaz, et de leurs effets.

### 5.3.2 AVANTAGES

Lorsqu'on utilise la modélisation des conséquences avec le logiciel Phast DNV, des indications visuelles des niveaux potentiels thermiques et de concentration de gaz autour des scénarios SCEN-1, SCEN-2, SCEN-3 et SCEN-4 sont fournies.

### 5.3.3 INTRODUCTION DE DONNEES METEOROLOGIQUES

Données	Entrée
Température de l'air ambiant	15 °C
Humidité relative	60 %
Vitesse du vent	9 m/s

Tableau 18 Données météorologiques

### 5.3.4 PRINCIPES GENERAUX POUR L'ETENDUE DES CONTOURS THERMIQUES ET LIMITES DE DISPERSION DU NUAGE

#### 5.3.4.1 EFFETS SUR LES PERSONNES - FEUX

- Les personnes exposées à un feu en torche ou à des zones de traînées de flammes dans le cas de feux en nappes sont supposées succomber ;
- Les personnes exposées à  $> 32 \text{ kW/m}^2$  sont supposées succomber ;
- Les personnes exposées à  $< 12 \text{ kW/m}^2$  mais  $> 6,3 \text{ kW/m}^2$  sont supposées subir des brûlures immédiates au 3ème degré;
- Les personnes exposées à  $< 6,3 \text{ kW/m}^2$  sont supposées subir rapidement des brûlures au second degré, et au 3ème degré en quelques minutes ;
- Les intervenants des services de secours peuvent être en mesure d'accéder à la zone de  $6,3 \text{ kW/m}^2$  pour effectuer une intervention manuelle, mais uniquement s'ils sont équipés d'une protection PPE complète pour la lutte contre l'incendie ("Bunker Gear") et uniquement pendant des périodes inférieures à 1 minute.

#### 5.3.4.2 LES EFFETS SUR LES STRUCTURES - INCENDIES

Il est supposé que les conséquences du feu sur les structures sans protection sont les suivantes :

- Les structures légères peuvent subir une défaillance en 5 minutes si elles sont exposées à des incendies avec flux de chaleur élevés. Les flux de chaleur élevés sont compris dans la gamme de  $200 \text{ kW/m}^2$  à  $300 \text{ kW/m}^2$ ;
- Les grandes structures lourdes peuvent subir une défaillance en 10 minutes si elles sont exposées à des flux de chaleur moins élevés. Les flux de chaleur moins élevés sont inférieurs à  $200 \text{ kW/m}^2$ ;
- Défaillance de tout équipement ou structure si situé dans une enveloppe de  $100 \text{ kW/m}^2$  pendant 30 minutes ;
- Les structures exposées à des niveaux de flux de chaleur plus bas pendant une longue période de temps ont tendance à s'effondrer. Un flux de chaleur de  $25 \text{ kW/m}^2$  pendant une durée d'exposition de 30 minutes ou davantage est susceptible de causer un important affaiblissement et entraîner l'effondrement de la structure.

### 5.3.5 SCÉN-1

#### Scénario crédible d'intervention en cas d'urgence et d'incident

Bateau à cargaison fonctionnant au GNL (navigation intérieure), citerne de carburant GNL sur le pont, collision avec un pont, défaillance de la tuyauterie, dégagement continu de GNL, dispersion du nuage de vapeur, pas d'inflammation du GNL, aggravation de la situation avec des concentrations prolongées de gaz/vapeur, suppression directe de toute source d'inflammation et bouclier hydraulique requis.

Étude de cas

**Argonon**, méthanier de navigation intérieure.

Données

Le bateau alimenté par GNL possède une citerne de carburant GNL fixe située sur le pont (à double paroi, de type C), avec une capacité de 40 m<sup>3</sup>.



Le scénario suppose une collision avec un pont, ce qui provoque la défaillance de la tuyauterie et un dégagement de vapeur qui ne s'enflamme pas. Les critères utilisés dans le scénario sont répertoriés ci-dessous.

Données	Valeurs
Taille de la citerne	40 m <sup>3</sup>
Dégagement	Continu
Vitesse de dégagement	48,3 kg/s
Durée de la fuite	360 s
Température du GNL	-138 °C
Pression de la citerne de GNL	4 barg

Concentrations présentant un intérêt	Distance pour vent arrière
25 000 PPM (50 % de la LIE)	203 m
50 000 PPM (LIE)	136 m
150 000 PPM (LSE)	34 m

Tableau 19 Données et résultats du scénario 1 avec Phast

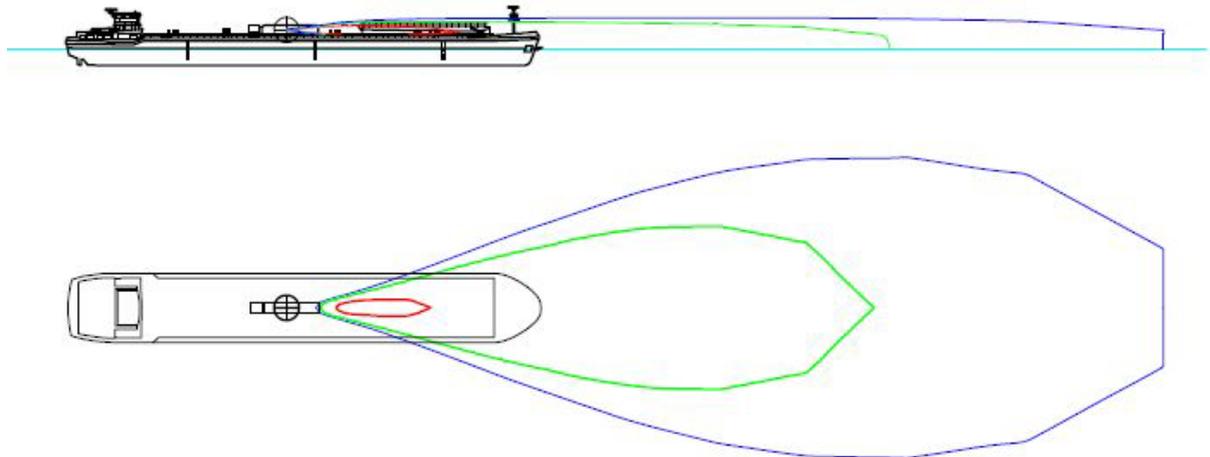


Figure 48 Schéma de modélisation du scénario 1 réalisé avec Phast

Les calculs montrent qu'avec ce scénario, seule une petite partie du bateau se trouverait dans la LSE. Mais si le bateau se trouve en vent arrière, il se situerait alors principalement dans la LIE. Voir l'annexe 2.1A pour en savoir plus.

5.3.6

SCÉN-2

Scénario crédible d'intervention en cas d'urgence et d'incident

Bateau à cargaison fonctionnant au GNL (navigation intérieure), citerne de carburant GNL sous le pont, avitaillement de camion à bateau, rupture du tuyau de transfert du GNL, défaillance du bouton d'arrêt d'urgence sur le camion, dégagement continu limité, fuite non confinée dans l'eau, changement de phase rapide, dégâts cryogéniques sur la structure du bateau.

Étude de cas

L'avitaillement d'un bateau par un camion-citerne est un scénario réaliste, comme toute opération de transfert. Dans cette situation, le mouvement du bateau peut provoquer la rupture de la tuyauterie. La quantité de GNL déversée dépend de l'efficacité des dispositifs d'arrêt d'urgence et de l'attention portée par les opérateurs à l'avitaillement.



Figure 49 Transfert de camion à bateau

Données

Le bateau possède une citerne de carburant GNL fixe (à double paroi, de type C) située sous le pont, avec une capacité de 50 m<sup>3</sup>. Le scénario suppose que plusieurs barrières ont rompu pendant l'avitaillement du camion au bateau. Le tuyau du camion a rompu et du GNL se déverse dans l'eau, contre la structure du bateau.

Les critères utilisés dans le scénario sont répertoriés ci-dessous.

Données	Valeurs
Taille de la citerne	50 m <sup>3</sup>
Diamètre du tuyau	75 mm ø
Dégagement	Continu
Vitesse de dégagement	3 000 kg/heure
Durée de la fuite	60 s
Température du GNL	-162 °C
Pression de la citerne de GNL	150 mbarg

Concentrations présentant un intérêt	Distance pour vent arrière
25 000 PPM (50 % de la LIE)	71,25 m
50 000 PPM (LIE)	47,98 m
150 000 PPM (LSE)	22,78 m

Tableau 20 Données et résultats du scénario 2 avec Phast

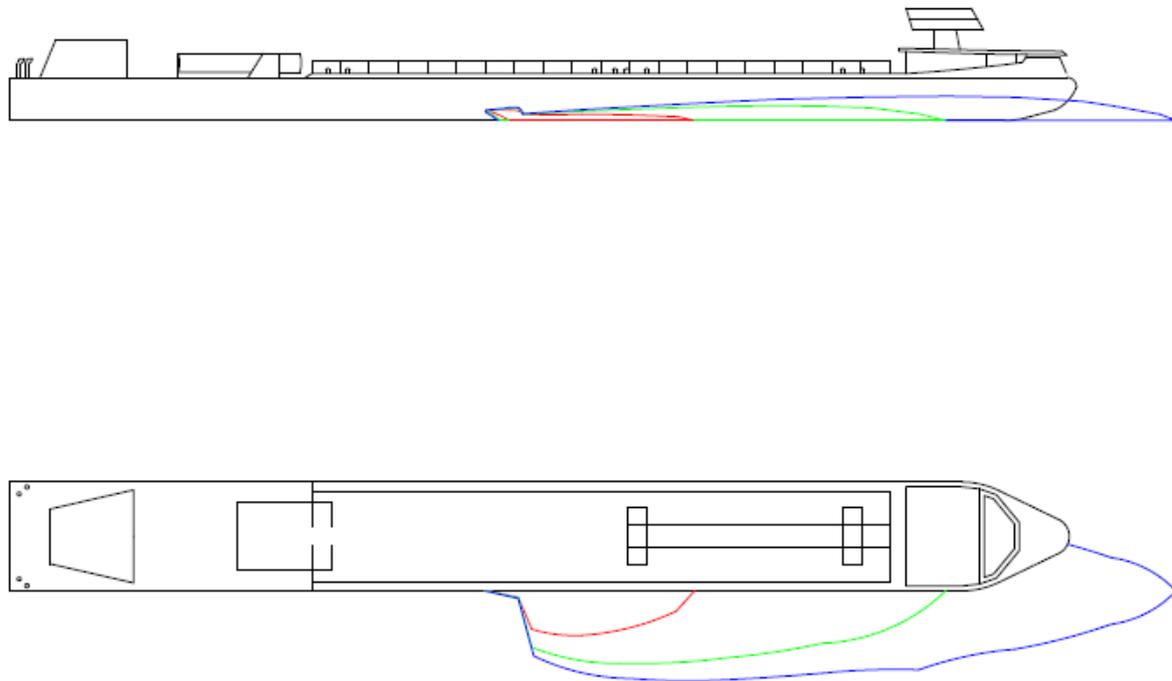


Figure 50 Schéma de modélisation du scénario 2 réalisé avec Phast

Les calculs montrent qu'avec ce scénario, seule une petite partie du bateau se trouverait dans la LSE. Mais si le bateau se trouve en vent arrière, la LIE se développerait alors le long de la ligne de flottaison sur la majorité du bateau. Voir l'annexe 2-2A pour en savoir plus.

---

### 5.3.7 SCÉN-3

#### Scénario crédible d'intervention en cas d'urgence et d'incident

Bateau d'avitaillement/Bateau-citerne en GNL (navigation intérieure), citernes à cargaison de GNL, chute d'un conteneur du bateau avitaillé sur le bateau d'avitaillement, dégagement continu et court de GNL, fuite non confinée sur l'eau, changement de phase rapide, GNL avec inflammation retardée.

#### Étude de cas

Le futur avitaillement des navires de mer réalisé en même temps que le chargement avec des conteneurs présente un risque supérieur de rupture de la tuyauterie de transfert causée par la chute d'amarres ou de conteneurs.

Il est relativement fréquent que des conteneurs tombent par-dessus bord. L'étude de cas concerne le bateau d'avitaillement Argos qui transfère du GNL sur un porte-conteneurs au moment où l'incident se produit.



Figure 51 Argos, bateau d'avitaillement de GNL (navigation intérieure).



Figure 52 Photos d'incidents où les conteneurs ont chuté sur le bateau situé en-dessous.

### Données

Le transfert de GNL (bateau à bateau) a débuté depuis quelques minutes avec un débit de GNL de 0,18 m<sup>3</sup> par seconde (actuellement, les débits de GNL pour l'avitaillement de bateau à bateau sont de 1 000 à 10 000 m<sup>3</sup> par heure). Un conteneur stocké sur le porte-conteneur chute 30 mètres plus bas sur le méthanier amarré à ses côtés (voir les bateaux ci-dessus).

La tuyauterie du pont est rompue (il est également possible que le bras de chargement soit endommagé). Le bateau dispose d'une soupape anti-débordement, mais celle-ci ne fonctionne pas à cause de l'impact. Il faut 90 secondes à l'équipage pour arrêter le processus manuellement. Près de 16 m<sup>3</sup> de GNL se déversent du pont dans l'eau, de l'autre côté du bateau. Les vapeurs s'enflamment au bout de six minutes.

Les critères utilisés dans le scénario sont répertoriés ci-dessous.

Données	Valeurs
Taille de la citerne	300 m <sup>3</sup>
Diamètre du tuyau	150 mm ø
Dégagement	Continu
Vitesse de dégagement	kg/s
Durée de la fuite	90 s
Temps d'inflammation	360 s
Quantité déversée	16m <sup>3</sup>
Température du GNL	-160 °C

Flux thermique	Distance pour vent arrière
6,3 KW/m <sup>2</sup>	2,5 m pour une élévation de 0,25 m
12,5 KW/m <sup>2</sup>	2,29 m pour une élévation de 0,52 m
32 KW/m <sup>2</sup>	Non calculée, cela signifie qu'elle est contenue au sein des flammes du feu de nappe

Tableau 21 Données et résultats du scénario 3 avec Phast

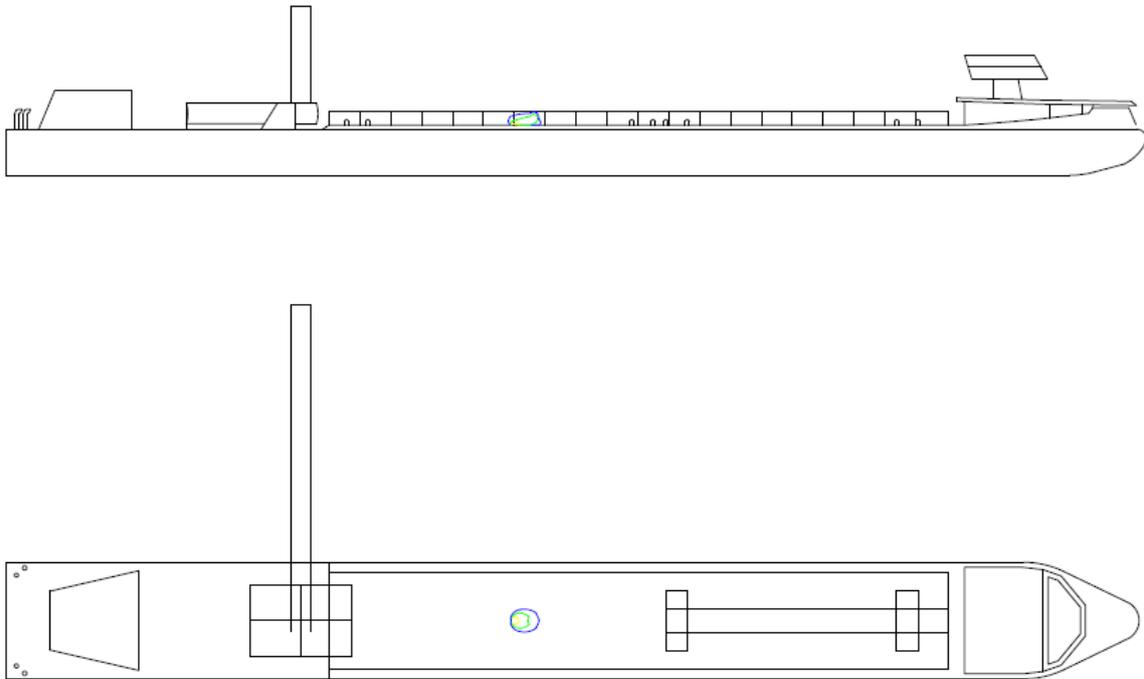


Figure 53 Schéma de modélisation du scénario 3 réalisé avec Phast

Le flux thermique calculé à partir du feu de nappe de 16 m<sup>3</sup> qui s'est formé est limité au pont et s'écoule dans l'eau. Le flux de 32 kw/m<sup>2</sup> est compris dans la zone des flammes ; l'incendie peut cependant se propager aux équipements du pont. Voir l'annexe 2.3A pour en savoir plus.

#### 5.3.8 SCÉN-4

##### Scénario crédible d'intervention en cas d'urgence et d'incident

Bateau à cargaison fonctionnant au GNL (navigation intérieure), citerne de carburant GNL sur le pont, collision avec un autre bateau, inflammation directe de la cargaison (essence), exposition thermique des citernes de carburant GNL, aggravation avec exposition prolongée, refroidissement nécessaire pendant 15 minutes.

##### Étude de cas

**Greenstream**, méthanier de navigation intérieure.



Données

Le bateau-citerne Greenstream est un bateau à cargaison fonctionnant au GNL. Il possède 6 citernes (d'environ 500 m<sup>3</sup> chacune) qui contiennent des produits comme de l'huile minérale ou des produits chimiques.

Figure 54 Bateau Greenstream

Le scénario suppose une collision avec un autre bateau, ce qui a provoqué un trou dans une citerne. Une nappe se forme alors sur l'eau avec un feu de nappe à inflammation retardée.

Les critères utilisés dans le scénario sont répertoriés ci-dessous.

Données	Valeurs
Taille de la citerne	500m <sup>3</sup>
Diamètre du tuyau	1 000 mm ø
Dégagement	Continu
Vitesse de dégagement	8,592 kg/s
Durée de la fuite	42 s
Diamètre de la nappe	160,68 m

Flux thermique	Distance pour vent arrière
6,3 KW/m <sup>2</sup>	204 m
12,5 KW/m <sup>2</sup>	107 m
32 KW/m <sup>2</sup>	N/A

Tableau 22 Données et résultats du scénario 4 avec Phast

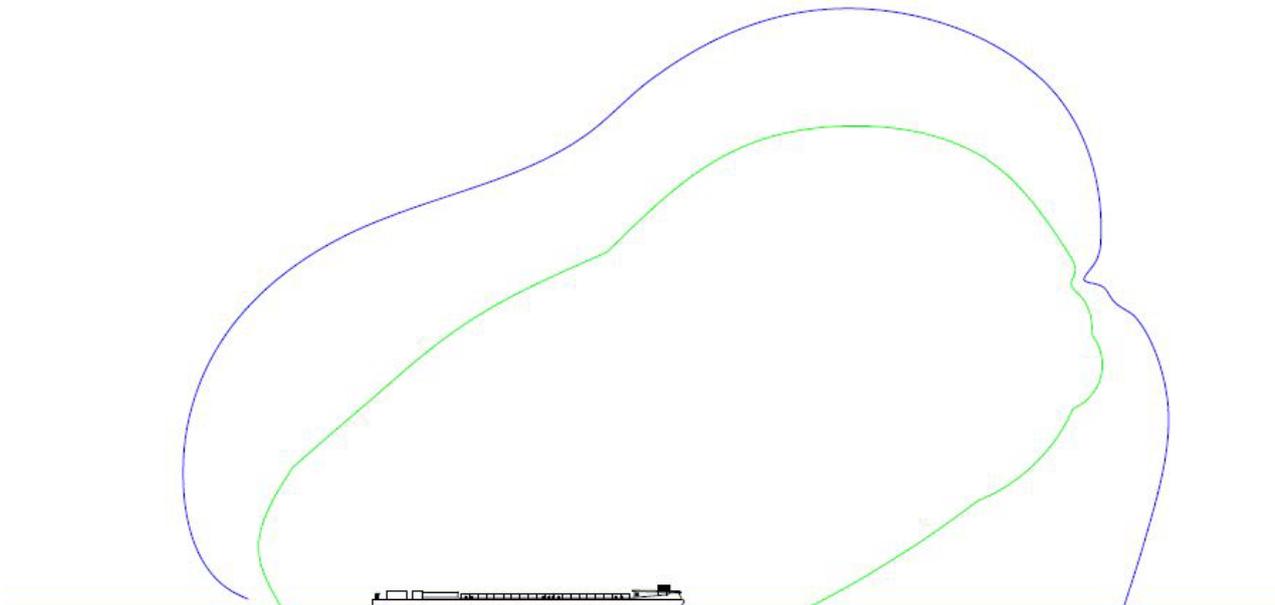


Figure 55 Schéma de modélisation du scénario 4 réalisé avec Phast, vue latérale

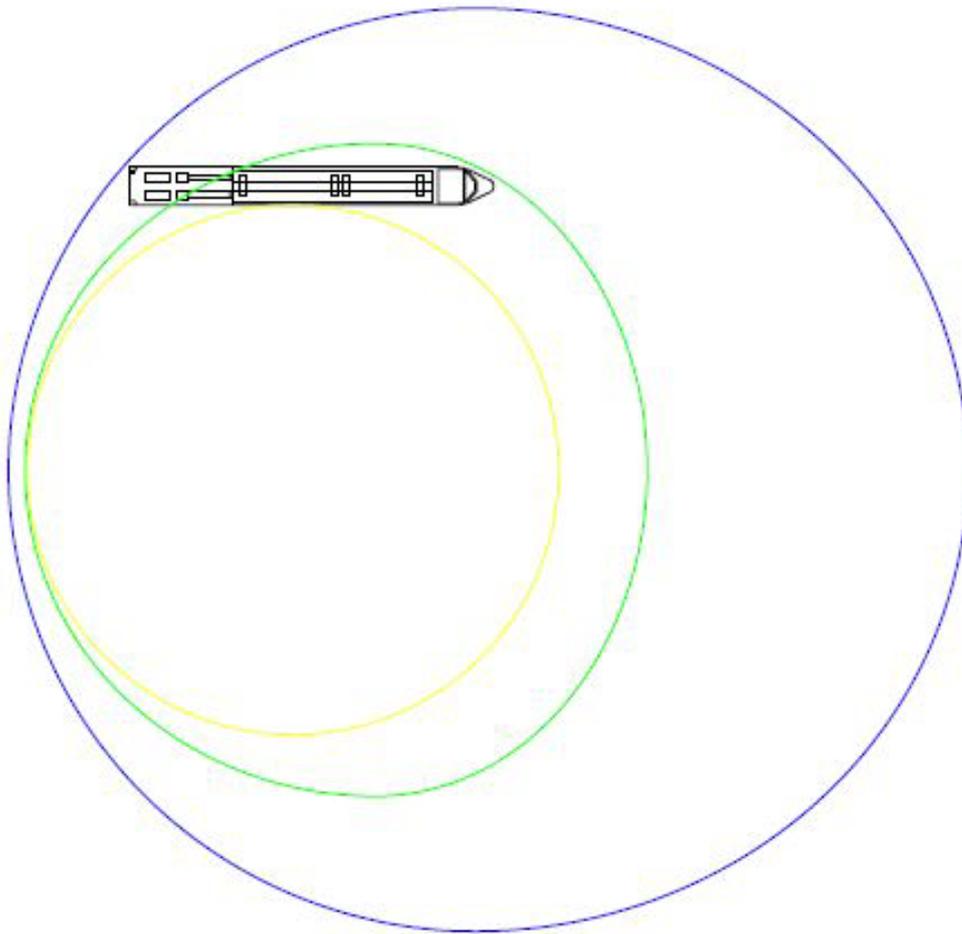


Figure 56 Schéma de modélisation du scénario 4 réalisé avec Phast, vue de dessus

Les calculs montrent qu'avec ce scénario, la majorité du bateau serait situé dans la zone de flux de  $12,5 \text{ KW/m}^2$ . Les citernes de carburant GNL sont donc un souci majeur.

Les limites de la zone de flux de  $32 \text{ KW/m}^2$  n'ont pas été calculées dans cette situation. Cela signifie normalement que ce niveau de rayonnement thermique serait contenu avec les flammes de l'incendie.

Voir l'annexe 2.4A pour en savoir plus.

*Ces nouvelles connaissances spécifiques à un scénario et relatives aux effets et niveaux des gaz, de la chaleur et de la vapeur, vont servir de données de base pour l'étape suivante : préparation de l'intervention d'urgence.*

## 5.4 PREPARATION DE L'INTERVENTION D'URGENCE

### 5.4.1 PRE-REQUIS

Avant de pouvoir identifier les éléments nécessaires à la sensibilisation et à la formation, il faut préparer une intervention d'urgence spécifique à un scénario.

### 5.4.2 AVANTAGES

Le développement de plans d'intervention d'urgence spécifiques à un scénario permet de faire apparaître des actions d'intervention d'urgence. Toutes les actions spécifiques à un scénario sont des données de base pour les besoins complémentaires en sensibilisation et en formation des intervenants en cas d'urgence et d'incident.

### 5.4.3 SCÉN-1

Scénario d'intervention en cas d'urgence et d'incident envisagé : Bateau à cargaison fonctionnant au GNL (navigation intérieure), citerne de carburant GNL sur le pont, collision avec un pont, défaillance de la tuyauterie, dégagement continu de GNL, dispersion du nuage de vapeur, pas d'inflammation du GNL, aggravation de la situation avec des concentrations prolongées de gaz/vapeur, suppression directe de toute source d'inflammation et bouclier hydraulique requis.

#### 5.4.3.1 STRATEGIE

- Vérifier s'il y a dégagement de GNL.
- Informer les services d'urgence.
- Isoler la source de dégagement du GNL, si l'action est sûre et réalisable.
- Éviter de pénétrer dans la zone à risque des gaz.
- Placer le bateau sur le rivage, si possible.
- Évacuer les personnes et l'équipage à bord.
- Démarrer les pompes à incendie à bord.
- Pulvériser de l'eau sous forme de rideau d'eau afin de minimiser la migration du gaz.
- Évaluer dès que possible la propagation du nuage de gaz et les zones risquant d'être touchées.
- Identifier dès que possible les sources potentielles d'inflammation et les supprimer ou les minimiser.
- Prévoir un lieu de rendez-vous pour rencontrer les nouveaux groupes d'intervention d'urgence externes dans un point de contrôle avancé.
- Supprimer toutes les sources d'inflammation dans la zone affectée.
- Restreindre ou stopper la navigation fluviale afin d'empêcher les bateaux de dériver dans la zone à risque.
- Utiliser un équipement portable de contrôle du gaz afin de surveiller la propagation du nuage de gaz.
- Laisser les pompiers locaux évaluer les conditions de l'incident pour assurer la sécurité.
- Contribuer au contrôle de la pulvérisation de l'eau.
- Contrôler en permanence les conditions météorologiques et celles du vent.
- Les intervenants doivent se maintenir à une distance de sécurité jusqu'à ce que la zone soit déclarée sûre.

#### 5.4.3.2 PREMIERS INTERVENANTS (EQUIPAGE DU BATEAU)

##### Actions

- Vérifier s'il y a dégagement de GNL.
- Informer les services d'urgence.

- Essayer d'isoler la fuite (activer l'arrêt d'urgence).
- Arrêter la ventilation du bateau pour empêcher le gaz d'être entraîné à l'intérieur du bateau.
- Démarrer la pompe à incendie et les systèmes de protection hydrauliques (si installés).
- Envisager de placer le bateau sur le rivage, dans un endroit sûr (si possible).
- Évacuer toutes les personnes ne devant pas se trouver dans la zone (passagers et équipage).
- Se préparer à accueillir les services d'urgence.

#### Équipement/Ressources

- Système(s) de détection et/ou observation visuelle
- Commandes de pompe à incendie
- Système de pulvérisation d'eau
- Dispositifs d'arrêts d'urgence
- Système de ventilation
- Alimentation de secours

#### Informations/Commentaires

Il faut supprimer toutes les sources d'inflammation à bord. Si des rideaux d'eau sont installés, leur activation peut aider à empêcher la migration du gaz au-dessus d'une passerelle de navigation.

Si la fuite ne peut pas être stoppée, toutes les personnes doivent être évacuées dans un lieu sûr, situé à l'opposé de la direction du vent. Il est préférable de procéder à l'évacuation sur le rivage. Cependant, si la fuite est importante, il faut éviter de déplacer le bateau dans un lieu fortement peuplé ou avec de nombreuses sources d'inflammation.

Le bateau doit être déplacé seulement si l'opération est sûre :

- La salle des machines et la passerelle sont en amont de la fuite.
- Il n'y a absolument aucun risque de collision (pont) avec le bateau.
- Une alimentation de secours est disponible pour la propulsion (après l'arrêt d'urgence).
- Les systèmes de vaporisation d'eau sont activés.

Les pompiers doivent être informés que toutes les actions répertoriées ici ont été effectuées jusqu'à ce point.

---

### 5.4.3.3 SECONDS INTERVENANTS (SERVICES D'URGENCE ET AUTORITES DU PORT/DE LA RIVIERE)

#### Actions

- Approcher en amont de l'incident.
- Entrer en contact avec le capitaine du bateau/le responsable de l'autorité du port.
- Évaluer la propagation du nuage de gaz.
- Supprimer les sources d'inflammation sur le trajet du nuage de gaz.
- Configurer la pulvérisation d'eau de manière à disperser le nuage de gaz.
- Utiliser un bateau-pompe pour configurer la pulvérisation d'eau afin de réduire/disperser le nuage de gaz.
- Contrôler la propagation du nuage de gaz avec un équipement de détection du gaz. Suivre le nuage de gaz visuellement avec une caméra à imagerie thermique.
- Évaluer en continu les conditions de l'incident pour assurer la sécurité et le contrôle de la pulvérisation d'eau. Informer si d'autres directives d'évacuation sont nécessaires.
- Se préparer à un incendie.
- Suivi : veiller à ce qu'aucune poche de gaz ne se soit formée dans tous les bâtiments et les espaces clos à proximité de la zone du nuage de vapeur.
- Boucler la zone de l'incident et évacuer la zone à proximité du trajet du nuage de gaz.
- Restreindre ou contrôler le trafic fluvial autour de la zone de l'incident.

#### Équipement/Ressources

- Point de contrôle avancé situé en amont de l'incident
- Camions/pompes à incendie prêts

- Canons à eau mobiles
- Rideaux d'eau mobiles
- Détecteurs de gaz
- Caméra à imagerie thermique (haute résolution)
- Bateau de sauvetage
- Bateau-pompe avec canon(s) à eau
- Tous les intervenants doivent disposer d'un EPI adapté pour éviter tout risque de brûlure en cas d'inflammation.

#### Informations/Commentaires

La direction du vent et les conditions météorologiques sont des facteurs importants pour projeter le nuage de vapeur sur la zone géographique locale et pour établir des priorités. Pour les dégagements de GNL, les équipements de vaporisation d'eau et/ou les canons portables peuvent être utilisés pour contenir, bloquer ou diriger le gaz libéré et l'empêcher d'atteindre une source d'inflammation.

Si la migration du gaz se dirige avec un vent arrière vers une zone qui ne contient manifestement pas de source d'inflammation, cela peut être l'occasion de configurer les rideaux d'eau dans le sens contraire du vent si des sources d'inflammation sont présentes dans cette direction. Remarque : il ne faut jamais se baser sur l'idée que le sens et la vitesse du vent sont constants.

La migration du nuage de gaz peut être influencée par la zone environnante. Si des berges hautes et des bâtiments sont présents sur les bords de la rivière, il faut en tenir compte, car cela peut canaliser la formation du nuage de gaz. Les nuages de gaz peuvent être dirigés à l'écart des zones sensibles. Cependant, le réchauffement du nuage de gaz avec l'eau pulvérisée favorise la dispersion sécurisée du gaz dans l'atmosphère.

Le terme formation de poche de gaz signifie que la vapeur de GNL à froid s'évapore sous forme de gaz dans des zones encombrées sans ventilation. Cela peut représenter une source d'explosion.

---

#### 5.4.3.4 REFLEXION QUANT A UN COMMANDEMENT UNIFIE

- Informations météorologiques
- Analyse de la zone environnante et considérations environnementales
- Communication
- Sauvetage
- Trafic fluvial sur les voies de navigation intérieures

---

#### 5.4.3.5 DANGERS POTENTIELS ET AUTRES PROBLEMES

Il est toujours prudent de supposer qu'un nuage de gaz peut s'enflammer à tout moment.

Après une évaluation initiale adaptée des risques encourus, toute intervention doit envisager la configuration de rideaux d'eau ou de la pulvérisation pour réduire le nuage, afin de le maintenir en place ou de disperser le gaz en-deçà de sa LIE.

L'utilisation des flux de pulvérisation d'eau pour aider à disperser les gaz à la source du dégagement ou à proximité est uniquement réalisable si le dégagement n'est pas très grand. Dans la majorité des cas, un tel déploiement nécessite la prise en charge par des équipes de gestion de la tuyauterie qui utilisent des rideaux d'eau pour protéger les équipes de déploiement.

Tout contact entre le GNL cryogénique et la peau provoque des brûlures. Les vêtements de protection peuvent également être endommagés s'ils sont en contact avec du GNL.

Si un nuage de gaz non confiné s'enflamme, le gaz peut brûler jusqu'à la source, ce qui créerait un feu en torche. L'accumulation de gaz dans un environnement confiné ou encombré risque probablement de provoquer une CVCE s'il s'enflamme, ce qui causerait des dommages liés à l'explosion et des incendies secondaires.

Il ne faut pas écarter l'hypothèse d'une BLEVE en cas de propagation directe des flammes sur des citernes ou une tuyauterie non protégée(s)/endommagée(s).

Voir l'annexe 2.1B pour en savoir plus.

---

#### 5.4.4 SCÉN-2

Bateau à cargaison fonctionnant au GNL (navigation intérieure), citerne de carburant GNL sous le pont, avitaillement de camion à bateau, rupture du tuyau de transfert du GNL, défaillance du bouton d'arrêt d'urgence sur le camion, dégagement continu limité, fuite non confinée dans l'eau, changement de phase rapide, dégâts cryogéniques sur la structure du bateau

---

##### 5.4.4.1 STRATEGIE

- Vérifier s'il y a dégagement de GNL.
- Activer l'arrêt d'urgence.
- Prévenir les autorités.
- Éviter de pénétrer dans la zone à risque des gaz.
- Évacuer le personnel de la zone touchée.
- Empêcher l'inflammation des vapeurs.
- Stopper le déplacement du bateau dans la zone.
- Contrôler en permanence les conditions météorologiques et celles du vent.

---

##### 5.4.4.2 PREMIERS INTERVENANTS (EQUIPAGE DU BATEAU)

###### Actions

- Vérifier s'il y a dégagement de GNL.
- Activer l'arrêt d'urgence sur le système de transfert du GNL.
- Arrêter les systèmes de ventilation.
- Informer les services d'urgence.
- Évaluer le risque d'inflammation du nuage de vapeur.
- Évacuer le bateau avant que le nuage de vapeur n'atteigne la passerelle/les zones de vie.
- Aller voir les autorités et leur fournir toutes les données techniques pertinents concernant le GNL et le bateau.
- En cas d'incendie : quitter le bateau.

###### Équipement/Ressources

- Système(s) de détection et/ou observation visuelle
- Dispositifs d'arrêts d'urgence
- Systèmes de ventilation
- Alimentation de secours
- Équipement de sauvetage

###### Informations/Commentaires

La direction du vent et les conditions météorologiques sont des facteurs importants pour projeter le nuage de vapeur sur la zone géographique locale et pour établir des priorités.

Il est nécessaire d'évaluer le risque d'inflammation du nuage de vapeur et de quitter immédiatement le bateau si le nuage parvient à atteindre l'un des éléments suivants :

- D'autres bateaux
- Le trafic/un axe routier
- Une autre source d'inflammation

Si la sécurité est menacée, les personnes présentes à bord du bateau doivent le quitter vers l'amont. Dès que toutes les personnes sont sauvées, la priorité est d'informer les intervenants à propos de l'incident.

#### 5.4.4.3 SECONDS INTERVENANTS (SERVICES D'URGENCE ET AUTORITES DU PORT/DE LA RIVIERE)

##### Actions

- Sauver l'équipage du bateau si nécessaire/possible.
- Recourir à une stratégie défensive.
- Contribuer au rideau/bouclier d'eau ou pulvériser de l'eau pour disperser le nuage de vapeur.
- Rechercher des dommages liés au produit cryogénique afin d'évaluer l'intégrité du bateau.
- Contrôler le trafic fluvial autour de la zone de l'incident.

##### Équipement/Ressources

- Camions/pompes à incendie prêts
- Canons à eau mobiles
- Rideaux d'eau mobiles
- Détecteurs de gaz
- Caméra à imagerie thermique (haute résolution)
- Bateau de sauvetage
- Bateau-pompe avec canon(s) à eau
- Tous les intervenants doivent disposer d'un EPI adapté pour éviter tout risque de brûlure en cas d'inflammation.

##### Informations/Commentaires

Utiliser la vaporisation d'eau ou des boucliers hydrauliques pour disperser le nuage de vapeur. Contacter l'opérateur pour déterminer les quantités de GNL ; vérifier les actions et les conclusions de l'opérateur. Ne pas oublier que la cargaison est inflammable et donc dangereuse. Empêcher l'eau utilisée pour éteindre l'incendie de pénétrer dans la nappe de GNL, ce qui augmenterait l'évaporation.

#### 5.4.4.4 REFLEXION QUANT A UN COMMANDEMENT UNIFIE

- Informations météorologiques
- Analyse de la zone environnante et considérations environnementales
- Communication
- Intégrité du bateau
- Trafic fluvial sur les voies de navigation intérieures

#### 5.4.4.5 DANGERS POTENTIELS ET AUTRES PROBLEMES

Pour les dégagements de GNL, pulvériser de l'eau sur la nappe va dans un premier temps augmenter la vitesse d'évaporation.

Voir l'annexe 2.2B pour en savoir plus.

#### 5.4.5 SCÉN-3

Bateau d'avitaillement/Bateau-citerne en GNL (navigation intérieure), citernes à cargaison de GNL, chute d'un conteneur du bateau avitaillé sur le bateau d'avitaillement, dégagement continu et court de GNL, fuite non confinée sur l'eau, changement de phase rapide, GNL avec inflammation retardée.

#### 5.4.5.1 STRATEGIE

##### Au début :

- Vérifier s'il y a dégagement de GNL.
- Activer l'arrêt d'urgence.
- Prévenir les autorités.
- Éviter de pénétrer dans le nuage de gaz.
- Empêcher l'inflammation.
- Déplacer le bateau en amont, sur le rivage, pour les opérations de sauvetage/évacuation.

##### Après inflammation retardée :

- Recourir au scénario de départ.
- Éteindre avec de la poudre chimique sèche.
- Refroidir la structure du bateau.
- Empêcher les incendies secondaires (à proximité immédiate).
- Protéger la cargaison (conteneurs).
- Stopper le trafic fluvial dans la zone immédiate.
- Évacuer les occupants en raison du rayonnement thermique (en cas de proximité, contribuer au contrôle de la pulvérisation d'eau).
- Contrôler en permanence les conditions météorologiques et celles du vent.

#### 5.4.5.2 PREMIERS INTERVENANTS (EQUIPAGE DU BATEAU)

##### Actions

- Vérifier s'il y a dégagement de GNL au niveau des bateaux suite à l'impact de la chute du conteneur sur le pont.
- Activer l'arrêt d'urgence sur le système de GNL.
- Informer les services d'urgence.
- Activer les systèmes de pulvérisation d'eau si disponibles/possible.
- Arrêter les systèmes de ventilation.
- Évaluer le risque d'inflammation du nuage de vapeur s'il atteint les lieux de vie.
- Aller voir les autorités et leur fournir toutes les données techniques pertinents concernant le GNL et le bateau.
- Essayer d'éteindre l'incendie avec de la poudre chimique sèche.
- En cas d'aggravation de la situation, quitter le bateau.

##### Équipement/Ressources

- Système(s) de détection et/ou observation visuelle
- Commandes de pompe à incendie
- Système de pulvérisation d'eau
- Dispositifs d'arrêts d'urgence
- Système de ventilation
- Alimentation de secours
- Système d'ancrage d'urgence
- Équipement de sauvetage
- Poudre chimique sèche

##### Informations/Commentaires

- La direction du vent et les conditions météorologiques sont des facteurs importants pour projeter le nuage de vapeur sur la zone géographique locale et pour établir des priorités.
- Il est nécessaire d'évaluer le risque d'inflammation du nuage de vapeur et de quitter immédiatement le bateau si le nuage peut visiblement atteindre l'un des éléments suivants :
  - Zone habitée et/ou industrielle
  - D'autres bateaux
  - Le trafic/un axe routier
  - Une autre source d'inflammation

- Si la sécurité est menacée, les personnes présentes à bord du bateau doivent le quitter vers l'amont.
- Si le bateau ne peut pas être ancré, il doit être échoué !
- Évacuation :
  - Contre le vent
  - Du côté opposé à celui de l'impact
  - Attention aux phases de transition rapides possibles.
- Dès que toutes les personnes sont en sécurité, la priorité est d'informer les intervenants sur l'incident.

---

#### 5.4.5.3 SECONDS INTERVENANTS (SERVICES D'URGENCE ET AUTORITES DU PORT/DE LA RIVIERE)

##### Actions

- Sauver l'équipage du bateau si nécessaire/possible.
- Si l'incendie brûle toujours à l'arrivée des secours, l'éteindre avec de la poudre chimique sèche.
- Préparer un bateau-pompe pour refroidir la structure du bateau (ou le faire depuis le rivage).
- Déployer le refroidissement par pulvérisation d'eau pour les autres citernes de carburant, de cargaison et de produits dangereux affectées par la chaleur de l'incendie.
- Commencer à préparer l'opération de sauvetage pour les victimes.
- Contrôler le trafic fluvial autour de la zone de l'incident.

##### Équipement/Ressources

- Poudre chimique sèche
- Camions/pompes à incendie prêts
- Canons à eau mobiles
- Rideaux d'eau mobiles
- Détecteurs de gaz
- Caméra à imagerie thermique (haute résolution)
- Bateau de sauvetage
- Bateau-pompe avec canon(s) à eau
- Tous les intervenants doivent disposer d'un EPI adapté pour éviter tout risque de brûlure en cas d'inflammation.

##### Informations/Commentaires

- Plusieurs éléments présents dans la zone affectée peuvent provoquer des incendies secondaires.
- En raison de la propagation relativement faible de l'incendie, il est probable qu'une stratégie offensive soit adaptée et puisse donc être envisagée.
- Utiliser la pulvérisation d'eau ou les boucliers hydrauliques pour protéger les victimes du rayonnement thermique.
- Contacter le capitaine pour connaître les quantités de GNL, la pression, les actions qu'il a effectuées jusqu'à présent et les conclusions qu'il en a tirées.
- Une attention particulière doit être portée à la cargaison inflammable et dangereuse.
- Éviter de laisser l'eau utilisée pour lutter contre l'incendie pénétrer dans la nappe de GNL afin de ne pas développer davantage la taille de l'incendie.
- En présence de GNL, la lutte contre l'incendie est uniquement possible avec une poudre chimique sèche de classe BC.

#### 5.4.5.4 REFLEXION QUANT A UN COMMANDEMENT UNIFIE

- Il ne faut jamais se baser sur l'idée que le sens et la vitesse du vent ou que le courant de la rivière sont constants.
- Les dégâts cryogéniques causés sur la structure du bateau risquent de compromettre son intégrité.
- La combustion du méthane froid est relativement moins polluante pour l'environnement qu'une dispersion qui ne s'est pas enflammée. La formation de la nappe dépend des conditions météorologiques.

#### 5.4.5.5 DANGERS POTENTIELS ET AUTRES PROBLEMES

- Bien que le scénario implique seulement une petite fuite, tous les efforts visent à empêcher la situation de s'aggraver.
- En cas de dégagement de GNL, pulvériser de l'eau sur la nappe va dans un premier temps accélérer la vitesse d'évaporation et l'incendie du GNL.

Voir l'annexe 2.3B pour en savoir plus.

#### 5.4.6 SCÉN-4

Scénario d'intervention en cas d'urgence et d'incident envisagé : Bateau à cargaison fonctionnant au GNL (navigation intérieure) (ex : Greenstream), citerne de carburant GNL sur le pont, collision avec un autre bateau, inflammation directe de la cargaison (essence), exposition thermique des citernes de carburant GNL, aggravation avec exposition prolongée, refroidissement nécessaire pendant 15 minutes.

#### 5.4.6.1 STRATEGIE

- Vérifier s'il y a dégagement d'essence.
- Informer les services d'urgence.
- Isoler la source de dégagement d'essence, si l'action est sûre et réalisable.
- Éviter de pénétrer dans la zone à risque.
- Placer le bateau sur le rivage, si possible.
- Évacuer les personnes et l'équipage à bord.
- Démarrer les pompes à incendie à bord.
- Utiliser un système d'extincteurs automatiques déluge pour refroidir les citernes de carburant GNL et les zones pouvant être affectées.
- Prévoir un lieu de rendez-vous pour rencontrer les nouveaux groupes d'intervention d'urgence externes dans un point de contrôle avancé.
- Restreindre ou stopper la navigation fluviale afin d'empêcher les bateaux de dériver dans la zone à risque.
- Laisser les pompiers locaux évaluer les conditions de l'incident pour assurer la sécurité.
- Utiliser de la mousse pour éteindre le feu de nappe.
- Contribuer au contrôle de la pulvérisation d'eau pour refroidir l'environnement immédiat.
- Contrôler en permanence les conditions météorologiques et celles du vent.
- Les intervenants doivent se maintenir à une distance de sécurité jusqu'à ce que la zone soit déclarée sûre.

#### 5.4.6.2 PREMIERS INTERVENANTS (EQUIPAGE DU BATEAU)

##### Actions

- Vérifier s'il y a dégagement d'essence.
- Informer les services d'urgence.
- Essayer d'isoler la fuite.
- Démarrer la pompe à incendie et les systèmes de protection hydrauliques (si installés).
- Envisager de placer le bateau sur le rivage, dans un endroit sûr (si possible).
- Évacuer toutes les personnes ne devant pas se trouver dans la zone (passagers et équipage).
- Se préparer à accueillir les services d'urgence.

##### Équipement/Ressources

- Installation des pompes à incendie et des systèmes de protection hydrauliques.

##### Informations/Commentaires

- Si la fuite ne peut pas être stoppée, toutes les personnes doivent être évacuées dans un lieu sûr en amont. Il est préférable de procéder à l'évacuation sur le rivage. Cependant, si la fuite est importante, il faut éviter de laisser le bateau dans des zones fortement peuplées.
- Les pompiers doivent être informés que toutes les actions répertoriées ont été effectuées jusqu'à ce point.

#### 5.4.6.3 SECONDS INTERVENANTS (SERVICES D'URGENCE ET AUTORITES DU PORT/DE LA RIVIERE)

##### Actions

- Approcher en amont de l'incident.
- Entrer en contact avec le capitaine du bateau.
- Préparer la pulvérisation de l'eau pour refroidir les citernes de carburant GNL.
- Préparer la mousse pour éteindre le feu de nappe.
- Évaluer en continu les conditions de l'incident pour assurer la sécurité et le contrôle de la pulvérisation d'eau. Informer si d'autres directives d'évacuation sont nécessaires.
- Se préparer à un incendie.
- Boucler la zone de l'incident et évacuer la zone à proximité du trajet du nuage.
- Restreindre ou contrôler le trafic fluvial autour de la zone de l'incident.
- Préparer la mousse/pulvérisation d'eau sur le bateau-pompe afin d'éteindre l'incendie et de refroidir l'environnement immédiat.

##### Équipement/Ressources

- Point de contrôle avancé situé en amont de l'incident

#### 5.4.6.4 REFLEXION QUANT A UN COMMANDEMENT UNIFIE

- Informations météorologiques
- Analyse de la zone environnante et considérations environnementales
- Communication
- Sauvetage
- Trafic fluvial sur les voies de navigation intérieures

#### 5.4.3.5 DANGERS POTENTIELS DE L'INCIDENT ET AUTRES PROBLEMES

Après une évaluation initiale adaptée des risques encourus, toute intervention doit envisager l'extinction à l'aide de mousse et l'utilisation de rideaux d'eau ou la pulvérisation d'eau pour refroidir l'environnement immédiat/les citernes de carburant GNL.

Il ne faut pas écarter l'hypothèse d'une BLEVE en cas de propagation directe des flammes sur des citernes ou une tuyauterie non protégée(s)/endommagée(s).

Attention : si le bateau dérive, l'incident se déplace également.

Voir l'annexe 2.4B pour en savoir plus.

*Ces nouvelles connaissances spécifiques à un scénario et relatives à la stratégie, aux actions, à l'équipement et aux ressources, ainsi que la réflexion quant à un commandement unifié vont servir de données de base pour l'étape finale : sensibilisation et formation complémentaires pour les intervenants en cas d'incident et d'urgence.*

## 5.5 SENSIBILISATION ET FORMATION

### 5.5.1 DÉMARCATIION

Dans la planification des interventions d'urgence (propres au scenario) nous distinguons les rôles de 1er et 2e intervenants.

1er intervenants : L'équipage du bateau (comme le personnel en pontée, machiniste, barreur, batelier, capitaine)

2e intervenants : les services d'urgence (comme les sapeurs-pompiers, la police et les services médicaux, le port et la rivière autorités)

Intervention d'urgence initiale pour un déversement, émission et / ou de la libération ne peut être effectuée par L'équipage du bateau au cours des premières minutes de l'événement jusqu'à l'instant où les 2e intervenants arrivent et prennent le relais de l'incident.

Incident réponse ne doit être effectuée par 2e intervenants avec des compétences professionnelles supplémentaires dans ce but précis (l'intervention en cas d'incident impliquant du GNL dans le cadre de la navigation intérieure dans le couloir du Rhin).

Dans la structure de dégradation du travail du plan stratégique GNL Rhin/Main/Danube, le développement de la sensibilisation et de la formation d'un équipage de navire (en situation d'urgence : 1er intervenant) se trouve sous la colonne d'activité 4 : Cadre Réglementaire & Plan stratégique, Sous-activité 2 : exigences d'éducation et de formation (comme illustré sur la droite par le cercle rouge). Livrable 4.2 : Conditions de sensibilisation et formation.

Le développement de la sensibilisation et de la formation des services d'urgence se trouve sous la colonne d'activité 2 : Technologies et concepts opérationnels, sous-activité 4 : Preuves techniques & évaluation de la sécurité et des risques (entouré à droite par un cercle jaune). Livrable 2.4 : Étude d'intervention en cas d'urgence et d'incident.

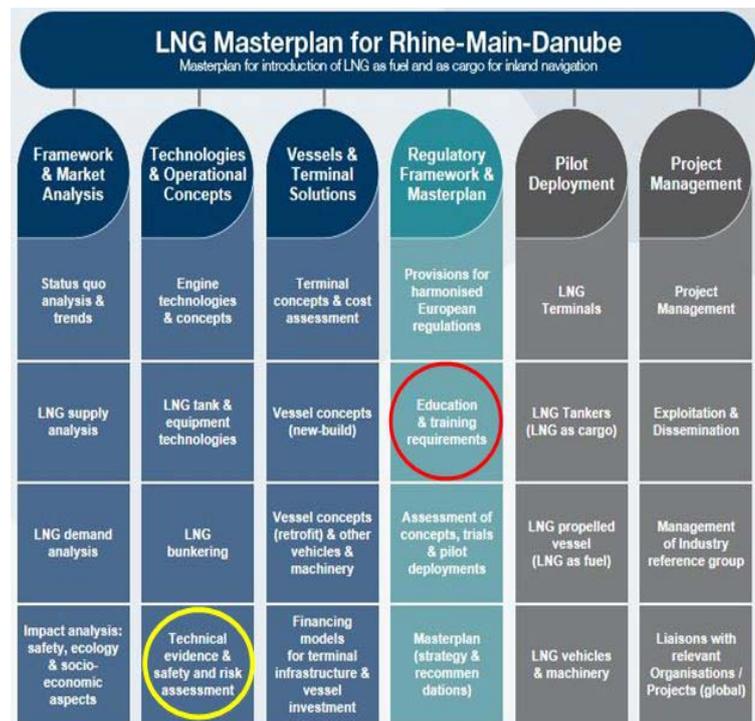


Figure 57 Plan stratégique GNL Rhin/Main/Danube.

Par conséquent, le développement de la sensibilisation et de la formation d'un équipage (Livrable 4.2) ne fait pas partie de ce projet (Livrable 2.4). Le paragraphe 3.5 'Sensibilisation et formation' est dédié uniquement aux services d'urgence.

### 5.5.2 STRUCTURE

Un programme élémentaire de sensibilisation et de formation aide les membres à atteindre les objectifs de formation.

Pour utiliser efficacement le temps et garantir une formation correcte, les trois phases de connaissance, compréhension et compétence doivent être intégrées.

#### Phase 1 - Connaissance

Assimilation d'informations, de faits, de descriptions ou de compétences au cours d'une formation théorique afin d'améliorer la connaissance du sujet.

#### Phase 2 Compréhension

Understanding requires developing meaningful relationships between different types of knowledge and skills, and taking the basic knowledge and applying it to different situations and settings. La compréhension représente un niveau plus approfondi que la connaissance.

#### Phase 3 Compétence

Application pratique des connaissances : comment faire quelque chose et capacité à mettre en œuvre et en pratique cet "ensemble de compétences".

La cours initial de sensibilisation et de formation comporte 10 points ayant trait à la préparation (phases 1 et 2) et à l'intervention (phase 3) des organismes d'intervention d'urgence.

### 5.5.3 ÉLÉMENTS

Les éléments de formation ci-dessous visent à inculquer des compétences professionnelles aux organismes d'intervention d'urgence situés le long du couloir du Rhin en traitant des incidents susceptibles de survenir avec du GNL dans le cadre de la navigation intérieure et en expliquant comment y faire face.

Élément de base	Objet	Sujet			
			Connaissance	Compréhension	Compétence
01	Propriétés et comportement du GNL	Origine et production du GNL.		X	
		Méthodes et caractéristiques des différents supports de stockage contenant du méthane.	X		
		Différences des propriétés physiques et noms : gaz d'évaporation, gaz naturel pour véhicules, gaz d'évaporation, LCNG, GNL et GPL.	X		
		Différences d'étiquetage et de réglementation pour le transport, numéros UN, OMI et ADN.	X		
		Différences de valeur du GPL et du méthane.		X	
		Lecture et interprétation d'une carte chimique ou d'une fiche technique de sécurité pour le GNL.			
	Effets de la température sur le comportement et les propriétés des gaz.		X		
02	Description et dangers du GNL.	Sécurité intrinsèque et explosions.		X	
		Effets cryogéniques sur la peau, les vêtements et la matière.		X	
		Changement de phase du GNL.	X		
		Phénomène et conséquences d'un changement de phase rapide.	X	X	
		Reconnaissance des dangers par perception visuelle.	X		

02	Description et dangers du GNL.	Dangers des nuages de vapeur et mise en œuvre des modèles de dispersion.	X		
		Phénomène et conséquences d'une BLEVE (explosion de vapeur en expansion par ébullition d'un liquide).	X		
		Détection des dangers au moyen d'outils de détection des gaz et de matériel de mesure de la température.	X		X
		Rayonnement de chaleur d'un incendie au GNL. - Codes des cercles de rayonnement de chaleur. - Effets du rayonnement de chaleur.	X	X X	
03	Navires de navigation intérieure transportant du GNL ; conception et techniques de sécurité	Reconnaissance des réservoirs de stockage, des tuyauteries et des installations des navires, y compris : - Circuit de carburant GNL et schéma. - Système d'avitaillement GNL. - Réservoirs de stockage du GNL. - Types de citernes de cargaison GNL	X	X X X	X
		Reconnaissance des différents types d'isolation cryogénique et dangers d'une isolation endommagée.		X	
		Sécurité de la salle des machines.	X		
		ADN et réglementation de navigation intérieure pour le GNL.	X		
		Norme EN-1473 : installation et équipement pour le gaz naturel liquéfié, conception des installations à terre.		X	
		Coupleurs motorisés de libération d'urgence (PERC);		X	
		Systèmes d'arrêt d'urgence (ESD).		X	
		04	Manutention du GNL et procédures	Connaissance de la production et des opérations de manutention impliquant le GNL : - Transport - Avitaillement	X
Opérations de manutention du GNL : - Camion à bateau - Bateau à bateau - Navire vers la terre et terre vers le navire				X	
Connaissance du transport de GNL : - Bateaux fonctionnant au GNL - Bateaux-citernes de transport du GNL	X				X
05	Opérations pouvant entraîner un nuage de vapeur inflammable	Torches (liquide et deux phases)		X	
		Formation de nappe : - sinistre catastrophique du navire - Propagation d'une torche liquide		X	
		Vaporisation émanant de l'intérieur du confinement : - Basculement - Pénétration d'eau		X	
		Changements de phase rapides		X	
		Propagation d'une nappe		X	
		Vaporisation en nappe		X	
06	Contrôle d'un nuage de vapeur	Comportements d'un nuage de vapeur	X		
		Effets géographiques d'un nuage de vapeur		X	
		Fonctionnement et effets de : - l'eau sur des vapeurs de GNL - l'utilisation d'écrans et de rideaux d'eau - l'utilisation d'appareils de surveillance de l'eau - Mousse HI-Ex	X		X X X X

07	Contrôle et lutte contre l'incendie	Contrôle d'un feu de nappe GNL avec de la mousse à foisonnement	X		X
		Contrôle d'un feu en torche	X		X
		Extincteurs portables à poudre sèche	X		X
		Doses à appliquer	X		
		Effet de retour		X	
		Risque de reprise		X	
08	Mesure de la température d'un nuage gazeux	Notions de base sur la mesure des gaz : - Ex-Ox-Tox	X		X
		Relation pression de vapeur/ température		X	
		Utilisation de caméras d'imagerie thermique : - détection de chaleur	X	X	X
		- détection de zones froides - détection de nuage de vapeur		X	X
09	Stratégies de lutte contre l'incendie	Arrêt des émanations de gaz : - ESD - Manuel	X	X	
		Vaporisation d'eau : - Protéger les pompiers et les personnes participant au secours des personnels immobilisés. - Refroidir les surfaces exposées à la chaleur. - Éviter le rayonnement de chaleur à travers les cloisons en acier par exemple.	X	X	X
		Application de poudre chimique sèche : - Type de poudre - Calcul de la dose minimale - Techniques de balayage - Éviter le contact direct	X	X	X
			X	X	X
10	Gestion des incidents GNL	Limites d'exposition des résidents et services d'intervention d'urgence		X	X
		Environnement marin et intervention d'urgence		X	
		Incidents et paramètres déterminants	X		X
		Développement d'une stratégie pour les incidents : - Dégagement de GNL dû à une panne technique sur un navire - Incendie de gaz GNL à bord - Dégagement de GNL à la surface de l'eau - Incendie d'une nappe de GNL - Navire GNL coulé	X	X	X
		Moyens, fonctionnalités et possibilités supplémentaires : - Bateau-pompe - Navire de secours rapide - Spécialiste de la navigation marine/intérieure (GNL) - Spécialiste du sauvetage en navigation marine/intérieure - Chimiste spécialisé en navigation marine/intérieure	X	X	X
			X		
			X		

Tableau 23 des éléments de formation

## 5.6 SUPPLÉMENT DE BASE MATRICE

La sensibilisation et la formation aux interventions en cas d'incident GNL mineur à appliquer en navigation intérieure complète la matrice de base (voir paragraphe 3.6). Pour chaque scénario significatif, la sensibilisation et la formation sont nécessaires.

## 5.7 FORMATION POUR LES ORGANISATIONS DE RÉPONSE DIVERS

Il est clair qu'une meilleure prise de conscience des urgences et des incidents GNL est indispensable pour tous les intervenants, qu'il s'agisse de l'équipage d'un bateau, de la brigade des pompiers, des autorités portuaires ou des services médicaux. Les éléments mentionnés au paragraphe 3.5.3 peuvent s'utiliser pour décrire les connaissances, la compréhension et les compétences que chaque intervenant doit acquérir afin d'intervenir efficacement et en sécurité. Par exemple, l'équipage d'un bateau qui comprend déjà le stockage du GNL à bord mais ne peut-être pas les propriétés du GNL, ne comprendra peut-être pas les conséquences de petites fuites ou n'aura pas les compétences nécessaires pour faire face à cette urgence.

Le tableau ci-dessous indique le type de formation indispensable par classe d'intervenant et niveau d'intervention dans une classe : opérationnel, tactique ou stratégique.

Niveau	Classe d'intervention	Éléments de connaissance *	Éléments de compréhension *	Compétences indispensables *	Estimation Durée de la formation
1er intervenants +	Opérateurs de terminal	1, 2, 9	2, 9	9	1 jour
	Chauffeurs de camions citernes	1, 2, 9	2, 9	9	
	Équipage de bateau	1, 2, 9	2, 9	9	
2e intervenants ±	Pompiers opérationnels	1-9	1-9	1-9	2 jours
	Personnel d'intervention portuaire et de navigation intérieure	1-9	1-9	3, 5, 6, 9,	1 jour
	Services médicaux	1	2		½ journée
	Fonctions de commandement tactique	1-10	1-10	10	2 jours
	Fonctions de commandement stratégique	1-10	1-10	10	2 jours

Tableau 24 Les exigences de formation pour la formation d'urgence et de réponse aux incidents

\* Les éléments 1-10 font référence au Tableau 5.5.3.

+1er intervenants: La formation devrait inclure 50% sensibilisation théorique et puis 50% de formation pratique procedural concernant la réponse d'urgence au GNL de presse.

± 2e intervenants: Ils devraient avoir une formation de sensibilisation de produits qui comprend des techniques opérationnelles pour maîtriser les incidents de GNL et la formation de scénario où les techniques peuvent être appliquées. Les fonctions de commandement tactique et stratégique peuvent être simulées avec n'importe quelle formation sur ordinateur en réalité virtuelle et/ou dans un bureau.

## 5.8 EXERCICES MULTIDISCIPLINAIRES

Lorsque les organismes d'intervention ont reçu la formation supplémentaire adaptée à l'amélioration de leurs connaissances, de leur compréhension et de leurs compétences, les diverses agences doivent associer leurs rôles dans un exercice multidisciplinaire afin de déterminer le niveau de coordination et la compatibilité entre les services de gestion d'un incident.

L'exécution d'un exercice au cours de la première année est recommandée, puis tous les 3 ans.

## 6. RECOMMANDATIONS

Plusieurs conditions sont essentielles pour parfaire la préparation opérationnelle. Les recommandations suivantes sont faites aux participants dans le cadre du corridor du Rhin.

### 6.1 ENVIRONS

Les zones géographiques le long du Rhin-Main-Danube ont localement des altitudes différentes.

Les Pays-Bas (Rotterdam 3,4 mètres au-dessus Vertical System de référence européen, Arnhem 15,4m) et des parties de la Belgique (Anvers 7,5m, Gent 8m) sont principalement les zones plates, presque uniquement plaines entourant le delta, tandis que l'Allemagne (Coblence 64m, Mannheim 112m, 302m de Nuremberg), France (Strasbourg 132m), la Suisse (260m) et la Roumanie (Constanta 25m) ont un cadre principalement de collines.

Dans ces régions, constructions (ponts, digues, barrages) peuvent affecter une perte de confinement (dégagement de GNL).

Il est important pour toutes les autorités portuaires de faire un inventaire sur les hotspots dans les régions dont ils sont responsables en cas d'urgence.

Il est ensuite nécessaire d'évaluer les risques d'accumulation de GNL froid dans ces zones.

Outre les constructions mentionnées ci-dessus, les autorités devraient étudier les obstacles naturels comme les collines et les forêts (rangée d'arbres) qui peuvent contenir du GNL dispersé. Les égouts et les drains à proximité du fleuve doivent également être pris en compte.

Les autorités doivent répertorier les objets à proximité du(des) rivière(s) qui peuvent être affectés par un dégagement de GNL (non) enflammé, en particulier les objets vulnérables (hôpitaux, hôtels, écoles) et les constructions vitales (ex. infrastructures vitales) le long du corridor, mais également les zones locales dangereuses qui peuvent entraîner l'aggravation des incidents.

### 6.2 POPULATION

Parties publiques et commerciales doivent avoir la capacité de faire face aux scénarios décrits dans le présent rapport. Le partage des connaissances et des compétences renforce les mesures pour faire face à ces types d'incidents. Une organisation et une coordination préalables avec tous les intervenants locaux en cas d'urgence, à terre et sur les voies d'eau sont recommandées de façon à gérer les incidents professionnellement et efficacement.



### 6.3 EQUIPEMENT DE MESURE

L'évaluation précise de l'étendue d'un incident est essentielle pour l'établissement de plans tactiques et stratégiques. Les autorités doivent être capables de détecter des dégagements de vapeur avec des détecteurs de gaz compatibles afin d'assurer l'évaluation avec des informations précises.



Il est recommandé que les autorités d'intervention soient équipées de matériel de détection des dégagements de vapeur de GNL et qu'elles disposent du personnel compétent pour son utilisation et l'interprétation des mesures.

### 6.4 CAPACITE SUFFISANTE D'EAU

En raison de l'impact des scénarios ont montré, il est important que les autorités le long du corridor du Rhin ont pompes suffisantes disponibles sur le rivage (par camions de pompiers) et sur l'eau (par le feu bateaux) pour minimiser les effets de l'escalade.

Pratiquement, la quantité d'eau (capacité) des appareils de surveillance et des boucliers hydrauliques et leur pression maximale d'utilisation déterminent la plage de surveillance de la hauteur des rideaux d'eau.



### 6.5 OUTILS POUR LA PRÉPARATION

Toutes les autorités responsables de la préparation opérationnelle doivent organiser le déploiement des scénarios dans leurs régions en utilisant les évaluations des niveaux de chaleur et d'explosion comme modèle et les projeter sur les activités à terre dans le cadre du projet Rhin-Main-Danube.

Ce modèle permet d'analyser rapidement les points sensibles dans les ports et les mesures à prendre par les autorités compétentes en partenariat avec les acteurs privés dans la chaîne des incidents GNL mineurs (et de moyenne importance).

**PARTIE 3**      **CONSEILS ET APPROCHE  
STRATÉGIQUE**

**COMMENT COMMUNIQUER  
LES CONCLUSIONS AUX  
PARTICIPANTS**

**AYANT BESOIN DE CES  
INFORMATIONS**

## 7 CONSEILS ET APPROCHE STRATÉGIQUE EN DIFFUSION DES CONNAISSANCES

### 7.1. INTRODUCTION

#### 7.1.1 PORTÉE

Finalement, il existe une troisième partie dans laquelle l'équipe du projet fournit des conseils et une approche stratégique sur la façon de communiquer les conclusions des parties 1 et 2 aux participants.

#### 7.1.2 LIVRABLES

Ce document sur une page comporte une colonne décrivant les options de dissémination, les équipes concernées et les coordonnées pour la gestion d'incidents GNL mineurs le long du Rhin.

### 7.2. OPTIONS DE DISSÉMINATION

La diffusion de ce 'guide intervention en cas d'urgence et d'incident' aux acteurs nationaux et internationaux est un objectif important de la sous-activité 2.4 (et 6.2. "Exploitation et dissémination") ainsi que pour le Consortium du plan stratégique GNL.

Les prochains événements GNL représentent de bonnes opportunités de promotion pour les bénéficiaires du projet à propos des aspects les plus importants de ce projet de recherche (SuAc 2.4). Les objectifs doivent être :

- une bonne réception des présentations effectuées
- des publics portant un grand intérêt aux activités du projet
- une meilleure connaissance du projet et du GNL en tant que carburant en général.

Falck peut contribuer avec ses actualités en ligne, des communiqués de presse, des feuillets et des brochures, la mise en place d'un réseau SharePoint pour les membres inscrits, l'organisation d'événements internes et externes, ainsi que sa participation active à de nombreux événements :

- Mise en place d'archives photo et vidéo en ligne
- Production de matériel promotionnel
- Mise à jour permanente du site web Falck GNL
- Publication de bulletins et de feuillets d'information
- Préparation et diffusion de communiqués de presse
- Supervision d'articles de presse
- Compte Twitter Falck LNG

Il y a beaucoup à faire dans le domaine de la promotion, mais l'essentiel, actuellement, est que les personnes qui ont besoin de ces connaissances se mobilisent et puissent profiter d'instructions de mise à niveau et de formation pratique sur le GNL.

### 7.3. EQUIPES CONCERNEES

La chaîne d'approvisionnement en GNL le long du corridor du Rhin se compose de :

- Ports maritimes et ports fluviaux
- Autorités portuaires
- Opérations sur barges
- Fournisseurs de technologies et d'énergie
- Autorités d'intervention d'urgence

Tous les partenaires au sein du Consortium européen du plan stratégique GNL Rhin-Main-Danube. Plus particulièrement, les membres du Groupe de référence industriel et le Groupe consultatif. Voir en Annexe 3 les personnes à contacter dans le groupe portuaire du Rhin.

## Liste des annexes

<i>Ref.</i>	<i>Sub.</i>	<i>Définition</i>
<b>1</b>		<b>Références</b>
<b>2</b>	<b>0</b>	<b>Index des plans d'intervention spécifiques à un scénario en cas d'incident et d'urgence</b>
	1A	Carte d'urgence de l'étude de cas du SCÉN-1
	1B	Plan d'intervention en cas d'incident du SCÉN-1
	2A	Carte d'urgence de l'étude de cas du SCÉN-2
	2B	Plan d'intervention en cas d'incident du SCÉN-2
	3A	Carte d'urgence de l'étude de cas du SCÉN-3
	3B	Plan d'intervention en cas d'incident du SCÉN-3
	4A	Carte d'urgence de l'étude de cas du SCÉN-4
4B	Plan d'intervention en cas d'incident du SCÉN-4	
<b>3</b>		<b>Présentation des intervenants concernés</b>
<b>4</b>		<b>Présentation des participants au projet</b>

---

## ANNEXE 1 | REFERENCES

- [1] Melhem, Ozog, Kaleikar (2006). Comprendre les dangers des incendies avec le GNL. Livre Blanc ioMosaic.
- [2] Luketa, Hanlin (2006). Passage en revue des déversements de GNL à grande échelle : Expériences et modélisation. Journal des matériaux dangereux 2006, 20 mai;132 (2-3):119-40.
- [3] Fluxys (2012). Analyse de chaîne : Approvisionnement des ports flamands en GNL en tant que carburant maritime.
- [4] Pitblado, DNV Houston (2006). DNV 'GNL comparaison des approches pour prises de décisions. Journal des matériaux dangereux. 2006, 17 mars;130 (1-2):148-54.
- [5] ABS Consulting (2004). Méthodes d'évaluation des conséquences dans les accidents concernant des fuites de transporteurs de gaz naturel liquide. Tableau 2.1
- [6] Gean Woong Yun (2010). Lutte contre la dispersion de la vapeur et du feu en nappe de gaz naturel liquide (LNG) au moyen de la mousse en expansion.
- [7] Sandia (2004). Conseils sur l'analyse de risques et les implications pour la sécurité d'une grande nappe de gaz naturel liquide (GNL) répandue sur l'eau.
- [8] Sandia (2008). Analyse de dysfonctionnement et sécurité des déversements répandus sur l'eau par de grands transporteurs de gaz naturel liquide
- [9] Phani K. Raj (2005). Rayonnement thermique provenant d'un grand incendie de GNL - Ré-examen des problèmes de modélisation et des critères de danger.
- [10] Sandia(2011). Recommandations sur la prévision des distances de danger thermique des grands feux en nappes de gaz naturel liquide sur l'eau pour les modèles à flamme solide.

## ANNEXE 2

PLANS D'URGENCE SPECIFIQUES SELON SCENARIO (SSERPs)INDEX

REF.	ERP	NAVIRE	SCENARIO (TYPE)	SCENARIO (EVENEMENT)	ECHELLE (LOC)
SCEN-1	IWT-LNG-SSERP-1	Bateau-citerne pour voies intérieures, propulsion GNL Réservoir de carburant GNL de 40m3 sur le pont	GNL Nuage de vapeur	<i>Collision avec un pont, rupture des tuyauteries, émission continue de GNL, dispersion d'un nuage de vapeur, pas d'allumage</i>	<b>Durée</b> moyenne de déversement : 360 secondes Débit de libération : 48,3 kg/sec.
SCEN-2	IWT-LNG-SSERP-2	Bateau-citerne propulsé par GNL, voies intérieures, Réservoir de 50m3 de carburant GNL au-dessous du pont	GNL Nuage de vapeur	<i>Ravitaillement du navire par camion citerne, réservoir de carburant LNG au-dessous du pont, rupture des flexibles, émission limitée de GNL, déversement libre répandu à la surface de l'eau, RPT, dommages cryogéniques du navire, pas d'allumage du GNL</i>	<b>Basse</b> durée de déversement : 60 secondes Débit de libération : 3 000 kg/heure (0,83 kg/sec.)
SCEN-3	IWT-LNG-SSERP-3	bateau pétrolier GNL pour voies intérieures, navire de charge GNL de 2x 1870 m3	GNL feu en nappe de carburant	<i>Pétrolier/ravitailleur de GNL pour voies intérieures, réservoirs de charge GNL, chutes de containers du navire ravitaillé sur le ravitailleur, courte émission continue de GNL, déversement libre répandu sur l'eau, RPT, allumage retardé du GNL.</i>	<b>Durée</b> moyenne de déversement : 90 secondes Masse libérée : 16m <sup>3</sup> Surface de nappe : 0,75 m <sup>2</sup> Temps d'allumage : 360 sec



Falck



GB

REF.	ERP	NAVIRE	SCENARIO (TYPE)	SCENARIO (EVENEMENT)	ECHELLE (LOC)
SCEN-4	IWT-LNG-SSERP-4	Bateau-citerne propulsé au GNL, pour voies intérieures, 2xréservoirs de carburant GNL de 40m <sup>3</sup> 6x réservoirs de charge (essence) de 500m <sup>3</sup> chacun	Incendie secondaire d'hydrocarbures (incendie de charge autre que GNL)	<i>Collision avec un autre navire, <b>allumage direct</b> (charge), incendie secondaire ( charge d'essence), exposition à la chaleur des réservoirs de carburant GNL, escalade avec exposition prolongée, <b>refroidissement exigé dans les 15 minutes.</b></i>	<b>Grande</b> moyenne de déversement : 42 secondes Diamètre de la nappe : 160,7 mètres Refroidissement dans les : 15 minutes

## ABREVIATION

## SIGNIFICATION

DM (Directeur des Services)	Directeur des Services des voies navigables intérieures
(SS)ERP	Plan d'intervention d'Urgence (Spécifique au Scénario)
ESD	Arrêt d'urgence
FCP	Point de Contrôle Avancé
FRS	Services de sauvetage et de lutte contre l'incendie
LFL	Limite inférieure d'inflammabilité
GNL	Gaz naturel liquide
NG	Gaz naturel (vapeur)
LPM	Litres par minute
RPT	Phase de Transition Rapide



**ANNEXE 2.1A**



**ANNEXE 2.1B**

**STRATEGIE**

Confirmer l'événement d'émission de GNL - Avertir les services de secours - Isoler la source d'émission de GNL si c'est possible, sûr et pratique de le faire - Eviter de pénétrer dans la zone de danger de gaz - Si possible accoster - Evacuer les personnes à bord ainsi que l'équipage - Démarrer les pompes à incendie à bord - Pulvériser de l'eau sous forme de rideaux/écrans d'eau qui puissent réduire à un minimum la migration du gaz - Evaluer le plus tôt possible l'étendue du "nuage" de gaz et des zones qui peuvent être affectées - Identifier le plus tôt possible les sources potentielles d'allumage et les possibilités d'élimination/minimisation - Prendre les dispositions pour rencontrer les groupes FCP arrivant pour la réaction externe - Eliminer les sources d'allumage dans la zone affectée - Réduire ou arrêter la navigation pour éviter que des navires ne viennent se perdre dans la zone dangereuse - Utilisation d'un équipement portable de surveillance du gaz pour surveiller l'étendue du nuage de gaz - Les autorités locales de lutte contre l'incendie évaluent les conditions de l'accident en vue d'assurer la sécurité - Support de contrôle de la pulvérisation d'eau - Surveillance continue des conditions météorologiques et du vent - Tenue des intervenants à distance de sécurité jusqu'à ce que la zone soit déclarée sûre.

PREMIERS INTERVENANTS	ACTIONS	EQUIPEMENT / RESSOURCES	INFORMATIONS/COMMENTAIRES
<p>équipage</p>	<p>Confirmer le dégagement de GNL Avertir les services de secours Essayer d'isoler la fuite (activer ESD) Arrêter la ventilation du navire pour éviter que du gaz ne soit aspiré dedans Démarrer la pompe à incendie et les systèmes de protection par l'eau (s'ils existent) Examiner l'éventualité d'accoster le navire en un lieu sûr (si possible) Evacuer toutes les personnes non essentielles (passagers et membres de l'équipage) Se préparer à recevoir les services de secours</p>	<p>Système(s) de détection et/ou d'observation visuelle Commandes des pompes à incendie Système de pulvérisation d'eau Systèmes ESD Système de ventilation Puissance de secours</p>	<p>Eliminer toutes sources d'allumage à bord. Si des rideaux d'eau sont montés, l'actionnement de ces derniers peut contribuer à protéger contre la migration du gaz au-dessus de la passerelle de navigation. S'il n'est pas possible de stopper la fuite, évacuer toutes les personnes en un point sûr en amont face au vent. L'évacuation sur la rive est préférable, cependant si la fuite est importante, éviter de mettre le navire dans des zones de haute densité de population ou qui comportent de fortes possibilités de sources d'allumage. Ne repositionner le navire que lorsqu'il est prudent de le faire ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• salle des machines et passerelle en amont de la fuite, face au vent</li> <li>• navire à 100% à l'abri de l'élément de collision (passerelle de navigation)</li> <li>• puissance de secours disponible pour la propulsion (après ESD)</li> <li>• systèmes de pulvérisation d'eau activés.</li> </ul> <p>Informez le Chef des Pompiers de la Localité que toutes les actions énumérées ont été effectuées jusqu'à ce point.</p>
SECONDS INTERVENANTS	ACTIONS	EQUIPEMENT / RESSOURCES	INFORMATIONS/COMMENTAIRES
<p>Service des Pompiers de la localité</p>	<p>S'approcher en amont de l'accident, contre le vent Etablir le contact avec le capitaine du navire/les autorités portuaires Evaluer l'étendue du nuage de gaz Eliminer les sources d'allumage sur le chemin de migration du gaz Installer le système de pulvérisation d'eau pour disperser le nuage de gaz Bateau-pompe pour créer une pulvérisation d'eau afin de diminuer / disperser le nuage de gaz Surveiller l'étendue du nuage de gaz au moyen de l'équipement de détection de gaz. Dépister visuellement le nuage de gaz avec une caméra à imagerie thermique. Evaluer en continu les conditions de l'accident aux fins de la sécurité et fournir le support de commande de la pulvérisation d'eau. Indiquer toutes exigences supplémentaires d'évacuation nécessaires. Préparation à l'incendie Mesures de suivi : Contrôle de la possibilité de "poches de gaz" dans tous les espaces de construction et clos, dans la zone du nuage de vapeur Etablir un cordon de sécurité autour de la zone de l'accident et évacuer la zone avoisinant le chemin du nuage de gaz Limiter ou stopper la navigation autour de la zone de l'accident</p>	<p>Le point de commande avancée doit être situé en amont de l'accident, contre le vent Les camions de pompiers/pompes à incendie sont prêts. Moniteurs d'eau mobiles. Ecrans d'eau mobiles. Détecteurs de gaz Caméra d'imagerie thermique (haute résolution) Bateau de sauvetage. Bateau-pompe avec moniteurs d'eau. Tous les intervenants ont l'équipement de protection individuelle nécessaire (PPE) pour éviter les brûlures en cas d'allumage</p>	<p>La direction du vent et les conditions météo sont importantes pour la projection du nuage de vapeur à la situation géographique locale et les priorités de prise de décisions. Pour les dégagements de GNL on peut utiliser des contrôleurs portables de la pulvérisation d'eau pour retenir, faire barrière ou diriger le gaz libéré et empêcher que celui-ci n'atteigne une source d'allumage Quand la migration du gaz dans le vent se dirige vers une zone qui de toute évidence n'a pas de source d'allumage, on peut saisir l'occasion d'établir des écrans d'eau ou rideaux en amont dans le vent si des sources d'allumage sont présentes dans cette direction. NB : On ne doit jamais supposer que la direction et la vitesse du vent seront constantes La migration du nuage de gaz peut être influencée par la zone avoisinante. Il faut tenir compte du fait que de hautes berges de rivière et des bâtiments peuvent canaliser la formation d'un nuage de gaz Le nuage de gaz peut être chassé des zones sensibles, mais cependant le réchauffement du nuage de gaz par la pulvérisation d'eau conduit le gaz à se disperser dans l'atmosphère en toute sécurité</p>
<p>Rivière / Port Autorités</p>			<p>La formation de "poches de gaz" signifie que la vapeur de GNL froide s'évapore sous forme de gaz dans une zone encombrée sans ventilation. Ce peut être une source d'explosion.</p>

**DANGERS POTENTIELS DE L'INCIDENT ET AUTRES PROBLEMES**

Il est toujours prudent de supposer qu'un nuage de gaz peut s'allumer à tout moment.

Dans toute intervention, après avoir dûment évalué les risques initiaux et persistents, il convient de créer des rideaux ou la pulvérisation d'eau pour réduire le nuage, le retenir en place, ou encore le disperser jusqu'à sa LFL (Limite inférieure d'inflammabilité).

L'utilisation de courants de pulvérisation d'eau pour faciliter la dispersion du gaz à ou près de la source de dégagement ne peut être pratique que si le dégagement n'est pas d'une échelle ou envergure importante. Dans la plupart des cas un tel déploiement nécessitera les secours d'équipes d'utilisation de lances à incendie créant des rideaux d'eau pour protéger les équipes de déploiement.

Le contact avec le GNL cryogénique peut occasionner des brûlures. Les vêtements de protection peuvent aussi être compromis lorsqu'ils entrent en contact avec le GNL.

L'allumage d'un nuage de gaz non confiné peut entraîner la rétro-combustion du gaz jusqu'à la source, entraînant un retour de flamme. L'accumulation de gaz dans un environnement confiné ou encombré peut entraîner une CVCE (explosion de nuage de gaz confiné) en cas d'allumage, ayant pour résultat d'importants dommages par explosion et des foyers d'incendie secondaires.

La possibilité d'un BLEVE chaud ne doit pas être éliminée s'il y a contact direct de la flamme sur des réservoirs ou tuyauteries non protégés/endommagés. .

**Considérations pour une commande unifiée**

Informations météo

Analyse de la zone avoisinante et considérations environnementales

Communications

Sauvetage

Navigation sur les voies maritimes intérieures



## **ANNEXE 2.2A**



**ANNEXE 2.2B**

**STRATEGIE**

**Initiale :**

Confirmer l'évènement d'échappement de GNL - Activer ESD - Alarmer les autorités - Eviter de pénétrer dans la zone de danger du gaz - Eviter l'allumage des vapeurs - Evacuer le personnel de la zone affectée - Stopper le trafic de navires - Surveiller continuellement les conditions météo/du vent

PREMIERS INTERVENANTS	ACTIONS	EQUIPEMENT / RESSOURCES	INFORMATIONS / COMMENTAIRES
Equipage du navire  Confirmer le dégagement de GNL après la collision Activer l'ESD au système de GNL Avertir les services de secours Actionner les systèmes de pulvérisation d'eau si possible/disponibles Arrêter les systèmes de ventilation Evaluer le risque d'allumage du nuage de vapeur Evacuer le navire avant que le nuage de vapeur n'atteigne la passerelle / les aménagements. Contacter les autorités et fournir toutes les données techniques du GNL et les données sur le navire.		Système(s) de détection et/ou observation visuelle Systèmes ESD Système de ventilation Puissance de secours Equipement de sauvetage	Les conditions météo et la direction du vent sont importantes pour la projection du nuage de vapeur en un lieu géographique donné et pour les priorités de prise de décisions. Evaluation du risque d'allumage au niveau du nuage de vapeur, et abandon immédiat du navire quand le nuage de vapeur visible est susceptible d'atteindre : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une zone habitée et/ou industrielle</li> <li>• Un autre/d'autres navires</li> <li>• Une zone de trafic : une voie rapide</li> <li>• D'autres sources d'allumage.</li> </ul> Si la situation n'est pas sûre : abandonner le navire contre le vent.  Evacuation : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contre le vent ou en vent de travers.</li> <li>• Etre conscient des RPT possibles</li> </ul> En priorité, informer les intervenants de l'incident quand tous sont en sécurité.
SECONDS INTERVENANTS	ACTIONS (après allumage du nuage de vapeur)	EQUIPEMENT / RESSOURCES	INFORMATIONS / COMMENTAIRES
Services locaux de lutte contre l'incendie  Sauvetage de l'équipage du navire si nécessaire/possible Utiliser la stratégie de dispersion du gaz depuis le rivage. Lancer un navire de lutte contre l'incendie pour la dispersion du nuage de gaz. (ou agir depuis le rivage)  Commencer à préparer l'opération de sauvetage pour les victimes. Vérifier quels sont les dommages structurels résultant d'un dégagement cryogénique  Propriétaire  Maîtriser le trafic maritime autour de la zone de l'incident.  Autorités du Port/de la rivière		La pompe à incendie/les camions sont prêts. Moniteurs d'eau mobiles. Ecrans d'eau mobiles. Détecteurs de gaz. Caméra à imagerie thermique (haute résolution) Bateau de sauvetage Bateau de lutte contre l'incendie avec moniteur(s) d'eau. Tous les intervenants sont dotés d'un équipement de protection individuelle (PPE) approprié pour éviter les brûlures en cas d'allumage.	Utiliser la pulvérisation d'eau ou des écrans d'eau pour disperser le nuage de gaz Contacter l'opérateur pour déterminer les quantités de GNL, entreprendre les actions nécessaires et étudier les résultats. Etre conscient des sources d'allumage possibles Etre conscient de l'inflammabilité et de la dangerosité de la cargaison. Eviter la pénétration d'eau de lutte contre l'incendie dans la nappe de GNL, afin d'éviter toute évaporation supplémentaire.

**IWT-LNG-SSERP-2B**  
**PLAN D'INTERVENTION D'URGENCE**  
**POUR :**

**RUPTURE DU FLEXIBLE DE TRANSFERT DE RAVITAILLEMENT  
(TTS), DEVERSEMENT NON CONFINÉ SUR L'EAU,  
FORMATION DE NUAGE DE VAPEUR, PAS D'ALLUMAGE**

Doc :  
Approuvé :  
Rév. : 2

**PAGE 2**  
**DE 2**

**DANGERS POTENTIELS DE L'INCIDENT ET AUTRES PROBLÈMES**

Pour les dégagements de GNL l'application d'eau 'pluie' sur la nappe peut entraîner initialement un taux d'évaporation plus élevé et l'allumage du GNL.

**Considérations de commande unifiée**

Informations météorologiques  
Analyse de la zone avoisinante et considérations météo  
Communications  
Sauvetage - dommages cryogéniques subis par le navire  
Trafic de navigation sur les voies navigables intérieures



**ANNEXE 2.3A**



**ANNEXE 2.3B**

**STRATEGIE**

**Initiale :**

Confirmer l'événement de dégagement de GNL - activer l'ESD - Alarmer les autorités - Eviter d'entrer dans le nuage de gaz - Eviter l'allumage - Se déplacer contre le vent du côté de la rive pour la sécurité de l'opération de sauvetage/évacuation

**Après un allumage à retardement**

Utiliser le scénario de démarrage : Eteindre avec de la poudre chimique sèche - Refroidir la structure du navire - Eviter les foyers secondaires (avoisnants) - Protéger la cargaison - Stopper la circulation de navires dans la zone immédiate - Evacuer les occupants pour protéger contre le rayonnement de chaleur (si à proximité - support de commande de pulvérisation d'eau) - Surveillance constante des conditions météo/de la direction du vent

PREMIERS INTERVENANTS	ACTIONS	EQUIPEMENT / RESSOURCES	INFORMATIONS / COMMENTAIRES
Equipage du navire	Confirmer le dégagement de GNL après la collision Activer l'ESD au système de GNL Avertir les services de secours Actionner les systèmes de pulvérisation d'eau si possible/disponibles Arrêter les systèmes de ventilation Evaluer le risque d'allumage du nuage de vapeur Contacter les autorités et fournir toutes les données techniques sur le GNL et les données sur le navire. Essayer d'éteindre l'incendie avec de la poudre chimique sèche Si aggravation, abandonner le navire	Système(s) de détection et/ou observation visuelle Commandes des pompes à incendie Système de pulvérisation d'eau Systèmes ESD Système de ventilation Puissance de secours Système d'ancrage de secours Equipement de sauvetage Poudre chimique sèche	Il est important de connaître les conditions météo et la direction du vent pour la projection du nuage de vapeur au lieu géographique donné et pour définir les priorités de prise de décisions. Evaluer le risque d'allumage au niveau du nuage de vapeur, et abandonner immédiatement du navire quand le nuage de vapeur visible peut atteindre : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une zone habitée et/ou industrielle</li> <li>• Un autre ou d'autres navires</li> <li>• Une zone de trafic : une voie rapide</li> <li>• D'autres sources d'allumage.</li> </ul> Si la situation n'est pas sûre : abandonner le navire contre le vent. Si l'ancrage n'est pas possible, échouer le navire ! Evacuation : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contre le vent ou en vent de travers</li> <li>• Opérer du côté opposé à l'impact de collision</li> <li>• Etre conscient des RPT possibles</li> </ul> En priorité, informer les intervenants de l'incident quand tout le monde est en sécurité.
SECONDS INTERVENANTS	ACTIONS (après allumage du nuage de vapeur)	EQUIPEMENT / RESSOURCES	INFORMATIONS / COMMENTAIRES
Services locaux de lutte contre l'incendie  Propriétaire  Autorités du Port/de la rivière	Sauvetage de l'équipage du navire si nécessaire/possible Si le feu brûle encore à l'arrivée sur les lieux, éteindre avec de la poudre chimique sèche. Lancer un bateau-pompe pour refroidir la structure du navire (ou opérer depuis le rivage) Déployer un refroidissement par pulvérisation d'eau pour les autres réservoirs de carburant, la cargaison et les marchandises dangereuses pouvant être affectées par la chaleur de l'incendie.  Commencer à préparer l'opération de sauvetage pour les victimes.  Maîtriser le trafic maritime autour de la zone de l'incident.	Poudre chimique sèche La pompe à incendie/les camions sont prêts. Moniteurs d'eau mobiles. Ecrans d'eau mobiles. Détecteurs de gaz. Caméra à imagerie thermique (haute résolution) Bateau de sauvetage Bateau-pompe avec moniteur(s) d'eau. Tous les intervenants sont dotés d'un équipement de protection individuelle (PPE) approprié pour éviter les brûlures en cas d'allumage.	Utiliser une pulvérisation d'eau ou des boucliers hydro shields pour protéger les victimes contre le rayonnement thermique. Contacter le capitaine pour déterminer les quantités de GNL, la pression et les actions entreprises et étudier les résultats. Etre conscient de l'inflammabilité et de la dangerosité de la cargaison. Eviter la pénétration d'eau de lutte contre l'incendie dans la nappe de GNL, afin d'éviter tout développement de l'incendie. Il est nécessaire d'envisager une stratégie défensive dans les sphères d'influence suivantes : refroidissement des parties cruciales affectées par la source, IP-19 (INSTITUT DU PETROLE - code modèle de pratique de sécurité dans le secteur du pétrole) conseille : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Protéger la coque du navire contre les flammes par l'utilisation d'au moins 10 LPM/min pour refroidir</li> <li>2. Protéger la coque du navire contre la chaleur (10 kW/m²), il convient d'utiliser 2 LPM/min d'eau pour refroidir</li> </ol> La lutte contre un incendie de GNL n'est possible qu'au moyen de poudre chimique sèche de classe BC.

<p><b>IWT-LNG-SERP-3</b> <b>PLAN D'INTERVENTION D'URGENCE</b> <b>POUR :</b></p>	<p><b>NAVIRES RAVITAILLEURS LE LONG DE PORTE-CONTAINERS</b> <b>MARITIMES</b> <b>RUPTURE DE BRAS DE TRANSFERT DE CONTAINER,</b> <b>DEGAGEMENT DE GNL, ALLUMAGE RETARDE</b></p>	<p>Doc : Approuvé : Rév. : 2</p>	<p><b>PAGE 2</b> <b>DE 2</b></p>
<p><b>DANGERS POTENTIELS DE L'INCIDENT ET AUTRES PROBLEMES</b></p>			
<p>Bien qu'il s'agisse d'un scénario d'incendie à faible déversement, tous les efforts doivent être faits pour éviter toute escalade. Pour les dégagements de GNL l'application d'eau 'en pluie' sur la nappe peut entraîner initialement un taux d'évaporation plus élevé et l'allumage du GNL.</p>			
<p><b>Considérations de commande unifiée</b></p>			
<p>Informations météorologiques Analyse de la zone avoisinante et considérations météo Communications Sauvetage Trafic de Navigation sur les voies maritimes intérieures</p>			

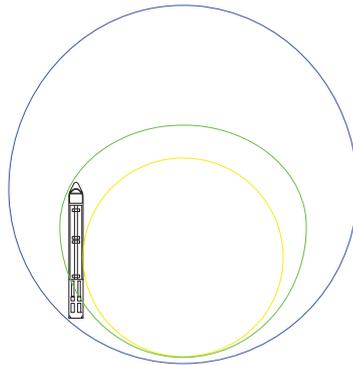
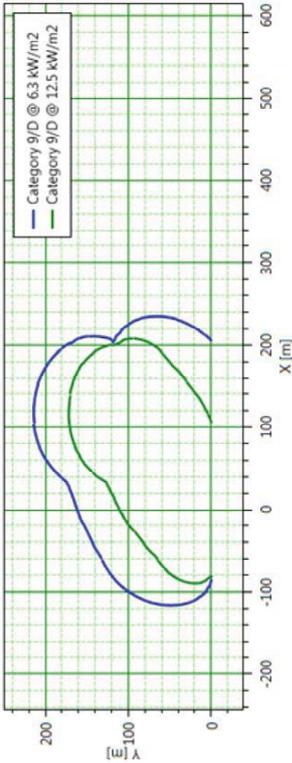


## **ANNEXE 2.4A**



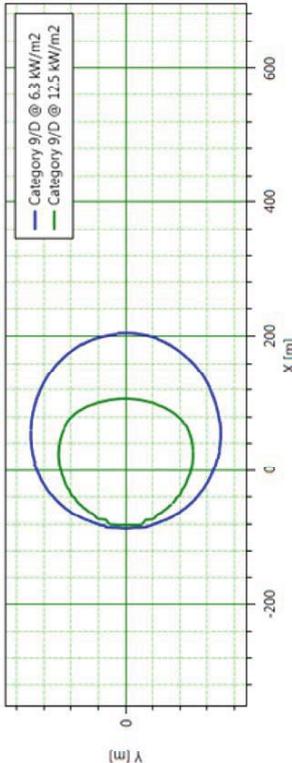
### Standalone Pool Fire Radiation on a Plane

Pool fire Side View



### Standalone Pool Fire Radiation on a Plane

Pool fire Footprint



**SHIP INFORMATION**  
 LENGTH: 110 M  
 WIDTH: 11.45 M  
 PRODUCT STORED: GASOLINE  
 STORAGE CAPACITY: 6 x 500 m<sup>3</sup> STORAGE TANKS

**EXTENT OF HEAT CONTOURS DOWNWIND FROM POOL CENTER:**

32.0 kW/M2: N/A  
 12.5 kW/M2: 107 M  
 6.3 kW/M2: 204 M

**EXTENT OF HEAT CONTOURS UPWIND FROM POOL CENTER:**

32.0 kW/M2: N/A  
 12.5 kW/M2: 81 M  
 6.3 kW/M2: 86 M

**EXTENT OF HEAT CONTOURS CROSSWIND FROM POOL CENTER:**

32.0 kW/M2: N/A  
 12.5 kW/M2: 99 M  
 6.3 kW/M2: 140 M

**CONSEQUENCE MODELING PARAMETERS DATA:**

SOURCE DIAMETER: 1000 MM    AMBIENT TEMPERATURE: 15 DEG C  
 RELEASE RATE: 8592 KG/SEC    RELATIVE HUMIDITY: 60%  
 SPILL DURATION: 42 SEC    WIND SPEED: 9 M/S  
 POOL DIAMETER: 160.68 M

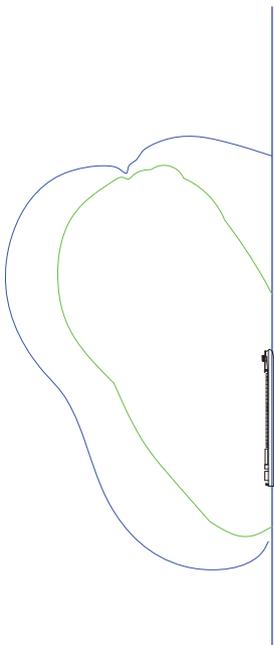
REV#	DATE	DESCRIPTION	BY	CHK	APP.
1	10/11/14	DRAFT FOR APPROVAL	RP		
0	17/10/14	ISSUED FOR COMMENT	JC		SK

CLIENT NAME: RHINE PORT GROUP

FALCK RPI PROJECT NO: P1336

DRAWING NO: P1336-FR-04

DESCRIPTION: GASOLINE POOL FIRE – UNCONFINED SPILL ON WATER FROM A RELEASE FROM THE GREENSTREAM VESSEL



±32kW/M2  
 PERSONNEL  
 FATALITY ZONE  
 EQUIPMENT/ESCALATION  
 RAPID ESCALATION LIKELY WITHOUT RAPID COOLING  
 <10 MINS.

<12.5kW/M2  
 PERSONNEL  
 IMMEDIATE 3RD DEGREE BURNS.  
 EQUIPMENT/ESCALATION  
 ESCALATION WITH PROLONGED EXPOSURE, COOLING  
 REQUIRED <15MINS.

<6.3kW/M2  
 PERSONNEL  
 IMMEDIATE 3RD DEGREE BURNS.  
 EQUIPMENT/ESCALATION  
 ESCALATION WITH PROLONGED EXPOSURE, COOLING  
 REQUIRED <15MINS.



**ANNEXE 2.4B**





---

**PORT D'ANVERS**

Entrepotkaal 1  
2000 Anvers  
Belgique

***Contacter les personnes :***

Mr. Pieter Vandermeeren  
Directeur Technique et de l'Environnement, Port d'Anvers  
Téléphone : +32 (3) 229 65 64

---

**PORT DE MANNHEIM**

Staatliche Rhein-Neckar-Hafengesellschaft Mannheim mbH  
Rheinvorlandstraße 5  
68159 Mannheim  
ALLEMAGNE

***Contacter les personnes :***

Mr. Michael Dietrich  
Directeur du Département Technique à Hafén Mannheim  
Téléphone : +49 (0) 621 292 21 53

---

**PORT DE ROTTERDAM**

World Port Center (WPC)  
Wilhelminakade 909  
3072 AP Rotterdam  
Pays-Bas

***Contacter les personnes :***

Mr. Cees Boon  
Coordinateur de secteur Département de Police du Harbourmaster  
Téléphone : +31 (0) 10-252 10 10

---

**PORT DE STRASBOURG**

25 rue de la Nuée bleue  
CS 80407 – F-67002 Strasbourg cedex  
FRANCE

***Contacter les personnes :***

Mme Aurore Mourette  
Direction du développement  
Chef de projet développement durable  
Téléphone : +33 (0)3 88 21 74 25

---

**PORT DE SUISSE (Bâle)**

Schweizerische Rheinhäfen  
Hochbergerstrasse 160  
CH-4019 Bâle  
SUISSE

***Contacter les personnes :***

Mr. Dieter Saha  
Abteilungsleiter Projekte, Schifffahrt und Hafénbetrieb  
Téléphone : +41 (0)61 639 95 94

---

**Service d'incendie Commune Rotterdam (Gezamenlijke Brandweer)**

Laan van Nieuw Blankenburg 10  
3181 DA Rozenburg  
Pays-Bas

***Contacter les personnes :***

Mr. B.P. Mo-Ajok  
Conseiller en politique  
Tél. : +31 (0)88 511 00 13

---

**Falck Risc**

Beerweg 101  
(Port no. 7033)  
3199 LM Maasvlakte – Rotterdam  
Pays-Bas

***Contacter les personnes :***

Mr. S. Watkins  
Spécialiste de la formation d'incendie  
Téléphone : +31 (0) 181 376 666

<b>Membres de l'équipe du projet</b>	
Mr. B.P. Mo-Ajok	Service d'incendie Commune Rotterdam / GB (NL)
Mr. S. Watkins	Falck (NL)
Mr. G.J. Langerak	Falck (NL)
Dr. N. Ramsden	Falck (UK)
Mr. R. Roue	Alkane Marine Consultancy (UK)
Mr. R. Peeters	Falck (NL)

<b>Membres du groupe d'examen</b>	
Mr. M. Bakker	Capitaine du bateau-pompe & coordinateur du Service Incendie pour les navires anti-incendie, Région de sécurité South Gelderland (NL)
Mr. D. Van Gent	Directeur de l'Unité d'Intervention d'urgence, Port de Rotterdam (NL)
Mr. M. Meijer	Coordinateur des conseillers en chimie, EPA Rotterdam-Rijnmond (NL)
Mr. M. van den Berg	Officier de marchandises dangereuses, LIOGS Rotterdam (NL)
Mr. L. Labree	Chef des Pompiers, Service d'incendie Commune Rotterdam Rotterdam / GB (NL)
Ms. I. Van de Woude	Conseiller en politique d'évaluation des risques, Région de sécurité Rotterdam-Rijnmond (NL)
Ms. K. Capello	Chef du Service Médical Région de sécurité de Rotterdam-Rijnmond (NL)
Mr. J. van Houwenhove	Consultant, Cryo Advise (BE)

<b>Comité de Pilotage</b>	
Mr. R. Van der Veen	Falck (NL)
Ms. S. v.d. Pol – V.d. Hurk	Falck (NL)



