

## Rapport activité T2.3

### Rapport T2.3.2 Identification des spécifications relatives à un terminal GNL et identification des caractéristiques techniques et d'ingénierie du site de stockage

L'étude suivante a été élaborée dans le cadre du projet SIGNAL - Stratégies transfrontalières pour la valorisation du Gaz naturel liquéfié, co-financé par le Programme INTERREG Maritime Italie-France 2014-2020.

Informations sur le document	
<b>Code produit</b>	T2.3.2
<b>Titre produit</b>	Identification des spécifications relatives à un terminal GNL et identification des caractéristiques techniques et d'ingénierie du site de stockage
<b>Code Activité</b>	T2.3
<b>Titre Activité</b>	Emplacement et analyse de faisabilité des installations de stockage et de ravitaillement de GNL au sein des ports
<b>Code Composante</b>	T2
<b>Titre Composante</b>	Plan de localisation des sites de stockage de GNL dans les ports commerciaux
<b>Sujet responsable de la rédaction du document</b>	M. Ivano Toni
<b>Version</b>	01
<b>Date</b>	06/07/2020

Version	Date	Rédacteur(s)	Description des modifications
01	06/07/2020	Ivano Toni	



Le présent document est distribué sous la Licence Creative Commons Attribution - Partage dans les mêmes conditions 4.0 International ([CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/))



Table des matières

<b>Liste des images</b> .....	<b>5</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>6</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>ZONES FONCTIONNELLES</b> .....	<b>8</b>
<b>Zone arrivée navire</b> .....	<b>9</b>
<b>Zone de stockage</b> .....	<b>10</b>
<b>Zone de transport routier</b> .....	<b>11</b>
<b>Zone de gestion du BOG</b> .....	<b>12</b>
<b>Zone de contrôle et systèmes auxiliaires</b> .....	<b>13</b>
<b>DIMENSIONNEMENT</b> .....	<b>16</b>
<b>Postes d’amarrage côté mer</b> .....	<b>17</b>
<b>Dépôt</b> .....	<b>19</b>
<b>Transport routier</b> .....	<b>20</b>
<b>INFRASTRUCTURES ACCESSOIRES</b> .....	<b>21</b>
<b>CARACTERISTIQUES DES ZONES</b> .....	<b>23</b>
<b>ANALYSES SUPPLEMENTAIRES</b> .....	<b>25</b>
<b>Étude d’impact du trafic</b> .....	<b>25</b>
<b>Interactions avec l’environnement</b> .....	<b>26</b>
<b>Déclassement et démantèlement</b> .....	<b>26</b>
<b>CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ET D’INGENIERIE DU SITE</b> .....	<b>27</b>
<b>Bibliographie et sitographie</b> .....	<b>29</b>

## Liste des images

Figure 1 Zone de transport routier

12

Figure 2 Fonctions

16

## Liste des tableaux

Tableau 1 Caractéristiques.....	18
Tableau 2 Caractéristiques techniques .....	28

## Abstract

Le présent rapport vise à préparer des lignes directrices pour définir les caractéristiques techniques et d'ingénierie pour un site de stockage de GNL et la création d'un dépôt de GNL en milieu portuaire.

L'objectif est :

1. d'identifier toutes les composantes techniques et fonctionnelles présentes dans un dépôt portuaire de GNL afin de définir les exigences minimales des infrastructures internes au terminal GNL et externes de liaison par la mer et par la terre.
2. d'identifier les paramètres à prendre en compte pour un dimensionnement correct de l'infrastructure
3. d'identifier une surface minimale pour l'installation d'un dépôt côtier de GNL
4. de définir les zones fonctionnelles à réaliser pour la création d'un dépôt côtier de GNL
5. de définir les caractéristiques de la surface du site
6. de définir les caractéristiques du GNL

Le rapport est donc construit en suivant les points décrits précédemment et s'achèvera par un tableau récapitulatif de conclusion pour définir tous les points d'intérêt identifiés dans le texte.

# Zones fonctionnelles

Parmi les facteurs à prendre en compte pour la bonne conception, le bon emplacement - dimensionnement d'un terminal GNL, nous pouvons prendre en considération les éléments suivants : accessibilité et taille des navires-citernes ; existence à proximité du terminal d'un réseau de distribution du GNL ; coût et caractéristique du terrain ; disponibilité des infrastructures publiques telles que les routes, les réseaux d'électricité, d'eau et d'égouts ; disponibilité de l'énergie ; système logistique pour la gestion des produits de la chaîne d'approvisionnement et des déchets.

Une fois la bonne zone identifiée, qui peut également tenir compte des disponibilités des surfaces, il convient de définir les fonctions à intégrer dans le terminal GNL et de prévoir les différentes zones, les connexions infrastructurelles entre elles et toutes les zones accessoires nécessaires pour une bonne utilisation des services.

Les terminaux de regazéification reçoivent le GNL transporté à l'état liquide par les méthaniers, le stockent, le gazéifient et le pressurisent pour ensuite l'injecter dans le réseau de transport et/ou de distribution des gazoducs.

Un dépôt côtier de GNL n'est pas caractérisé par la seule présence de réservoirs cryogéniques pour le stockage du GNL mais contient des zones fonctionnelles spécifiques nécessaires pour la gestion et l'opérabilité des différentes phases de travail.

En termes généraux, les terminaux GNL sont conçus pour assurer un espacement adéquat entre les différentes sections physiques du terminal.

Les dimensions dépendent principalement du nombre et de la taille des réservoirs de stockage et des distances de sécurité à maintenir entre eux et entre les réservoirs et les autres infrastructures du terminal.

Les principales unités d'un terminal sont listées ci-après :

- Zone de réception (quai et déchargement de méthaniers) ;
- Réservoirs de réception et de stockage temporaire de GNL ;
- Unité de regazéification (vaporisation) : en cas de dépôt côtier, cette composante ne peut être présente ;
- Section de récupération du boil-off gas (BOG) ;
- Correction gaz final : en cas de dépôt côtier, cette composante ne peut être présente ;
- Systèmes auxiliaires et de service ;
- Système de contrôle et de sécurité ;
- Ouvrages de génie civil et infrastructures accessoires

Le dépôt côtier sera donc conceptuellement divisé en zones fonctionnelles, décrites ci-dessous :



- Zone d'accostage et de transfert du GNL : elle comprendra les infrastructures et les dispositifs pour la mise à quai de méthaniers et barges et tous les dispositifs et équipements nécessaires pour le transfert et la mesure du GNL et du BOG (boil-off gas) durant le déchargement des méthaniers et le chargement des barges ;
- Zone de dépôt du GNL : elle comprendra les réservoirs et tous les dispositifs accessoires et auxiliaires nécessaires à leur gestion. De plus, elle comprendra une salle de contrôle pour la supervision et la gestion de l'installation ;
- Zone de chargement des camions-citernes : elle comprendra les baies de chargement/refroidissement pour les camions-citernes, les systèmes de mesure de la charge et tous les systèmes auxiliaires pour assurer le fonctionnement et la gestion ;
- Zone de gestion du BOG : elle comprendra les MCI pour la génération de l'énergie électrique afin de couvrir l'autoconsommation de l'installation, l'installation de liquéfaction basée sur le cycle de Stirling inversé pour la reliquéfaction du BOG et la torche d'urgence.

L'installation sera surveillée par une salle de contrôle spéciale au sein de la zone de dépôt du GNL, qui comprendra les principaux systèmes de surveillance et de contrôle.

Un poste de contrôle est prévu sur la plateforme opérationnelle pour le contrôle visuel des opérations de transfert de GNL.

## Zone arrivée navire

La section de réception pour les terminaux GNL on-shore est constituée d'une jetée avec une zone d'accostage pour les méthaniers, les bras de déchargement et la ligne de transfert du GNL vers les réservoirs de stockage. La zone située devant le quai doit permettre aux méthaniers de manœuvrer et de s'amarrer facilement et en toute sécurité. La jetée doit être dotée de systèmes d'ancrage en sécurité du bateau (il faut donc prévoir, par exemple, un système d'amarrage à dégagement rapide) et un système d'appui du bateau.

Le méthanier transfère le GNL vers les réservoirs de stockage à l'aide de pompes cryogéniques, de bras mécaniques de déchargement et d'une ligne de transfert.

Les opérations de déchargement provoquent des vapeurs (boil-off) qui peuvent être intégralement récupérées grâce à un système dédié exclusivement au retour des vapeurs vers le méthanier.

La conception des bras de déchargement du GNL et les problématiques relatives à l'interface terre-bateau sont décrites plus en détail dans les normes NF EN 1474 et NF EN 1532. Cette dernière norme spécifie les exigences minimales de conception et de gestion afin de transférer le GNL du bateau vers la terre. Elle spécifie les exigences à respecter pour un transfert en toute sécurité à partir des terminaux de réception et d'expédition.

Ainsi, elle prend en considération les connexions entre le navire et le terminal, tous les aspects liés à la sécurité des opérations de transfert et toutes les autres opérations effectuées lorsque le navire est amarré à la jetée.

Parmi les systèmes de sécurité utilisés durant le déchargement, il convient de citer les systèmes de détection de gaz et d'incendie, les systèmes radar ou tout autre dispositif de signalisation pour alerter l'équipage en cas de trafic ou de danger près de la coque.

Les différentes zones sont donc conçues en tenant compte de tous les aspects techniques de connexion entre le bateau et les réservoirs, y compris la gestion du BOG, et ne doivent pas non plus présenter le manque d'infrastructures typique d'un quai portuaire. En effet, elles doivent garantir tous les aspects de l'amarrage des bateaux, tels que les taquets, des fonds marins appropriés, un quai intègre et des pare-battages efficaces.

## Zone de stockage

La zone de stockage, et notamment les réservoirs, doit être conçue de manière à résister à la température du gaz naturel liquéfié et à protéger le contenu contre tout évènement accidentel externe (exemple : incendie, tremblement de terre, explosion, impact, etc.).

Les terminaux existants ou prévus ont des caractéristiques particulières fortement liées aux caractéristiques du site. Une description sommaire regroupant dans les grandes lignes les types de réservoirs en fonction de leurs macro-caractéristiques est ajoutée ci-après.

Pour les types de réservoirs présents dans les terminaux GNL, il est possible de se référer à la norme NF EN 1473.

Voici les types de réservoirs les plus communs :

- réservoir à « simple intégrité » à double paroi. La paroi interne est en acier à 9 % de nickel, tandis que la paroi externe est en acier au carbone ;
- réservoir à « double intégrité ». Le réservoir interne est en acier à 9 % de nickel, et le réservoir externe est généralement conçu en béton armé *ad hoc* à partir de béton cryogénique, en général, la paroi est située à 6 mètres ou moins du premier réservoir. De plus, la paroi en béton armé protège le réservoir contre les accidents extérieurs ;

- le réservoir à « intégrité totale » est doté d'une enceinte interne en acier à 9 % de nickel et d'une enceinte externe auto-porteuse en acier au carbone. Cette dernière peut être conçue pour résister aux attaques de missiles et aux objets volants.

Il convient de préciser que chacun de ces trois macro-types de réservoirs peut être situé dans un bassin de confinement généralement conçu en béton armé.

La phase la plus délicate de la gestion du stockage est le suivi du liquide à l'intérieur du réservoir, où le GNL constitue un système dynamique tant lors du ravitaillement (au cours duquel on ajoute le GNL provenant des méthaniers au GNL déjà présent dans le réservoir) que lors du prélèvement du GNL depuis le réservoir pour le transférer vers les systèmes de distribution.

Il convient de noter que le GNL déchargé des bateaux peut avoir une température et/ou une densité différente de celui déjà présent dans le réservoir. Les variations de pression qui peuvent être constatées dans les réservoirs de stockage durant les soutirages et la vitesse de soutirage sont réglées de manière à récupérer, au moyen de systèmes appropriés, le gaz qui est généré.

## **Zone de transport routier**

C'est dans cette zone que sont menées les activités relatives à la gestion des véhicules, au ravitaillement et au routage des véhicules pour le transport routier du GNL.

Les véhicules destinés au transfert routier du GNL ont une capacité d'environ 40-50 m<sup>3</sup> de GNL et le temps de chargement du réservoir de GNL peut varier sensiblement en fonction de l'équipement utilisé (entre 30 et 60 minutes).

Pour le bon fonctionnement des zones de chargement des véhicules cryogéniques, il existe des réservoirs et des pompes conçus uniquement pour le ravitaillement de ces véhicules en fonctionnement alterné.

La zone de transport routier est caractérisée par une série de baies de chargement (2-4) reliées à des réservoirs spécifiques et mises en réseau avec la zone de gestion du BOG.

En règle générale, cette fonction est caractérisée par les éléments technologiques suivants :

- 1 système de régulation du débit de chargement du GNL liquide
- 1 système de gestion des vapeurs de retour (BOG)
- 2 systèmes de mesure (1 ligne liquide et 1 ligne retour phase gaz fiscal)

- 1 station de chargement constituée de deux bras de chargement, un pour le GNL liquide et un pour la récupération des vapeurs BOG, tous deux dotés d'une vanne d'urgence
- 1 système de pesée fiscale pour la comptabilisation du GNL.

La zone de chargement des véhicules de transport routier peut comprendre les quais de ravitaillement des véhicules et également des zones de stationnement et des parcours de connexion au réseau routier local. Le schéma suivant met en évidence le parcours fonctionnel pour la réalisation d'une zone de chargement des véhicules en toute sécurité.

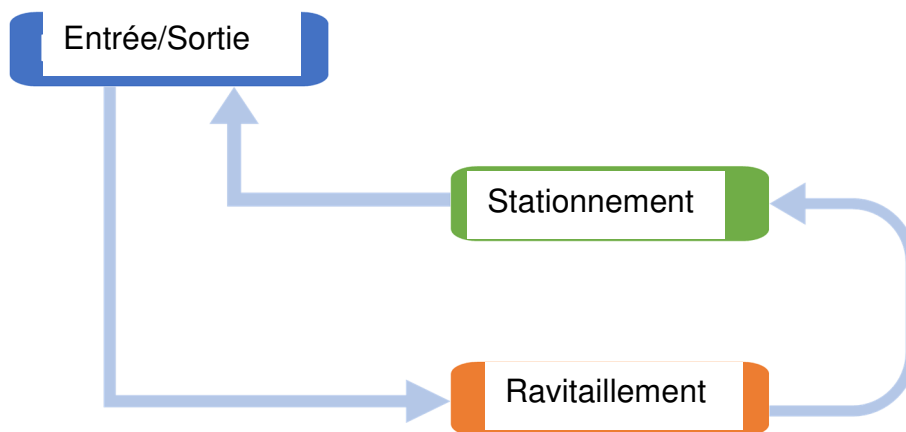


Figure 1 Zone de transport routier

Le réseau routier pour les véhicules routiers à ravitailler doit être différent de du réseau routier utilisé par les opérateurs pour contrôler les machines et pour leurs activités opérationnelles quotidiennes habituelles.

## Zone de gestion du BOG

Afin d'éviter les émissions de gaz naturel, qui se forment aussi bien en cas d'urgence que lors du fonctionnement normal de l'installation et de la récupération pendant le transfert du produit du navire au réservoir, il existe des solutions techniques impliquant un système de récupération du boil-off gas (BOG).

Durant les opérations de déchargement des bateaux, le niveau des réservoirs augmente, ce qui entraîne une réduction du volume disponible pour les vapeurs ; en parallèle, le niveau dans les réservoirs du méthanier diminue et entraîne une augmentation du volume disponible pour la vapeur et la réduction de la pression dans les réservoirs du bateau.

Afin d'éviter une réduction excessive de la pression, une partie des vapeurs disponibles dans les réservoirs à terre est transférée vers le bateau, par simple différence de pression. La vapeur de retour est refroidie afin de garantir que la température de la vapeur entrant dans le bateau, principalement au début des opérations de déchargement, n'excède pas les niveaux acceptables prévus (environ -130° C) en évitant l'introduction de quantités excessives de chaleur à l'intérieur des réservoirs du navire. Le liquide excédentaire sera extrait du flux de vapeur dans le séparateur à quai, qui accueillera également les drains des conduites et des équipements dans la même zone.

Normalement, l'excès de BOG dans les réservoirs est géré des manières suivantes :

- le renvoi d'une partie des vapeurs générées vers le méthanier ;
- le système d'alimentation des générateurs électriques de l'installation ;
- le système de reliquéfaction du BOG au moyen d'une unité Stirling à cycle inversé ;
- Procédures d'accumulation de vapeur par les fluctuations de pression de l'installation et les cycles de refroidissement par pulvérisation (gestion positive de la pression dans la chaîne de transfert du GNL méthanier / réservoirs / camions-citernes ou barges ; recirculation et pulvérisation du GNL dans les cuves pour la reliquéfaction du BOG).

Durant le fonctionnement normal du terminal, en l'absence d'opérations de chargement/déchargement de bateaux et/ou camions-citernes, lorsque la quantité de BOG générée est inférieure à la capacité de traitement des systèmes installés, l'exclusion sélective d'un certain nombre d'unités Stirling est généralement envisagée afin d'adapter les quantités de BOG retirées aux besoins opérationnels réels de l'installation, en garantissant dans tous les cas l'alimentation électrique des systèmes de production d'électricité.

## Zone de contrôle et systèmes auxiliaires

Pour une gestion optimale du site, le terminal doit être doté d'une zone destinée au contrôle des installations et des systèmes de sécurité.

De plus, le terminal doit également être doté des infrastructures et installations permettant le fonctionnement des composantes principales. Les systèmes auxiliaires nécessaires à l'exercice de l'installation comprennent, entre autres :

- système de collecte des drains de GNL
- unité pour la mesure fiscale du GNL en réseau et du GNL déchargé par les méthaniers
- système de distribution du gaz combustible
- unité de distribution de l'énergie électrique
- système de contrôle et supervision du processus
- système de gestion des urgences
- système de détection de fuites de produit et/ou d'incendie
- système de combustion d'une torche

La combustion de la torche est nécessaire pour l'élimination du GNL, bien que la législation ne l'impose pas. En effet, il est possible d'éliminer dans l'atmosphère, au moyen d'une cheminée de décharge, l'excès de boil-off gas. La législation ne préfère pas une solution à une autre et impose simplement que les installations de GNL soient conçues en fonction du principe de l'utilisation non continue de la torche ou de la mise en atmosphère non continue des vapeurs.

En définitive :

- les torches sont caractérisées par la combustion totale des vapeurs de boil-off gas destinées à être éliminées avec production de fumées de combustion et émission de chaleur concentrée : il est donc nécessaire de vérifier que le rayonnement thermique produit par la torche est convenablement minimisé au niveau des récepteurs sensibles ;
- les événements sont caractérisés par la dispersion des vapeurs de boil-off gas dans l'atmosphère sans combustion : il est donc nécessaire de vérifier que les mélanges inflammables de vapeurs de boil-off gas ne peuvent atteindre aucune source d'inflammation.

On considère généralement qu'il est plus sûr de concentrer la combustion des vapeurs de boil-off gas irrécupérables dans une torche à une hauteur et une distance suffisantes des récepteurs sensibles potentiels pour éviter les effets néfastes plutôt que de libérer un nuage de vapeur potentiellement dangereux dans l'atmosphère.

Cette pratique (combustion préférée à la dispersion dans l'atmosphère) serait non seulement plus sûre, mais également plus acceptable du point de vue environnemental dans la mesure où le méthane (composante principale du gaz naturel) a un PRG (Potentiel de réchauffement global) 21 fois plus élevé que celui du dioxyde de carbone.

Malgré les avantages incontestables énumérés ci-dessus de l'utilisation de torches par rapport aux cheminées de décharge, l'emplacement d'une torche dans la zone de l'installation est rendu difficile par la nécessité de maintenir des distances de sécurité adéquates à la fois par rapport aux installations et aux zones extérieures à l'installation par rapport au rayonnement thermique maximal autorisé.

La possibilité de placer une cheminée de décharge à une hauteur appropriée, compte tenu du fait que les vapeurs de boil-off gas sont plus légères que l'air et que les régimes anémométriques typiques tendent à éloigner ces vapeurs des sources possibles d'inflammation, suggère que la solution de la cheminée de décharge est préférable et garantit des conditions de sécurité similaires.

Notamment, la cheminée de décharge a été placée à une distance appropriée des installations afin d'éviter que l'éventuelle inflammation des vapeurs de boil-off gas (peu probable) sortantes ne cause de rayonnement thermique excessif vers les installations.

En outre, dans la phase d'ingénierie détaillée, il sera possible d'évaluer l'application, actuellement en phase de développement, d'une « cheminée intelligente », c'est-à-dire une cheminée qui est normalement froide, mais qui en cas d'urgence peut faire office de torche.

# Dimensionnement

Le dimensionnement des infrastructures du dépôt côtier de GNL est réalisé grâce à l'utilisation de paramètres d'entrée, tels que le nombre de véhicules à ravitailler en carburant dans une année, le nombre de ravitaillements par bateau annuels prévus, le bateau du projet.

Cela permet d'évaluer la dimension des dépôts côtiers de GNL et toute la composante relative au transport routier (zone d'attente des véhicules, réseau routier interne et externe, zone de ravitaillement des véhicules) ou au trafic maritime (dimensionnement des quais).

Il n'est toutefois pas possible d'utiliser une formule liant la quantité de GNL à stocker et la surface nécessaire pour tout le terminal dans la mesure où il existe des fonctionnalités et des infrastructures accessoires qui peuvent faire varier les zones nécessaires.

En effet, la présence d'un vaporisateur modifie sensiblement la surface totale, tout comme la quantité de baies de chargement des véhicules routiers. En outre, la forme de la zone peut conduire à une répartition différente avec une plus grande utilisation des espaces intérieurs pour la répartition de diverses activités internes.

Le schéma suivant représente les principales fonctions et flux internes de personnel et de matières premières :

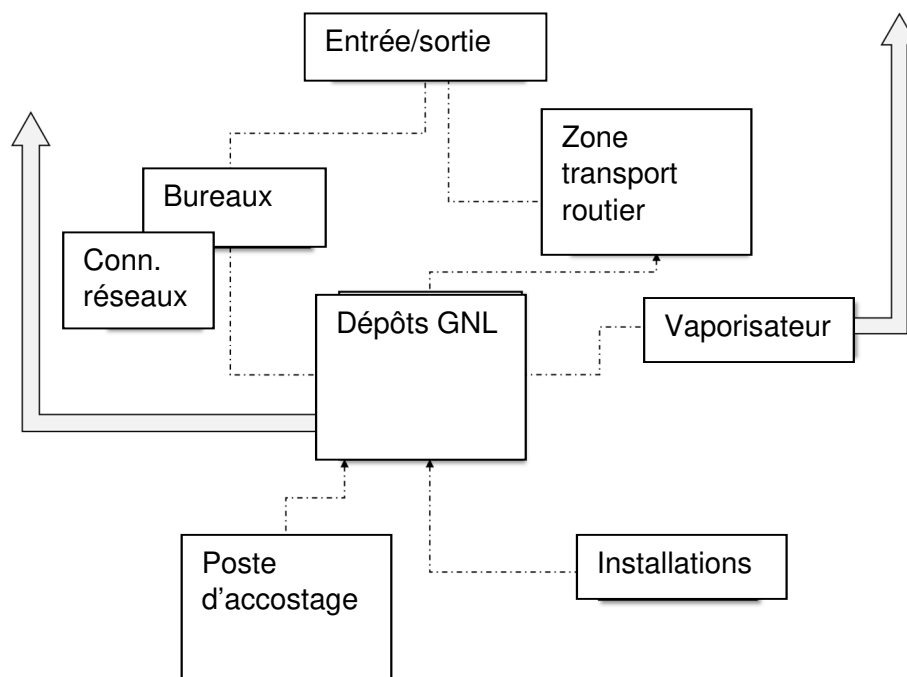


Figure 2 Fonctions



Les tracés se terminant par des flèches mettent en évidence les flux de GNL où le point de départ de tout le mouvement à l'intérieur du terminal est le « Poste d'amarrage ». En revanche, les tracés sans flèches représentent les flux de véhicules ou de personnes. Les flèches de plus grande taille représentent d'éventuelles connexions du gaz, sous forme liquide ou gazeuse, à la zone locale ou vers d'autres pôles industriels.

## Postes d'amarrage côté mer

Le dimensionnement des postes d'amarrage dépend, bien sûr, des surfaces à disposition de la zone identifiée. Toutefois, la dimension de référence des bateaux en transit dans le port analysé est également un aspect important à prendre en compte.

Le paramètre peut être dimensionné en tenant compte des méthaniers/navires-citernes en transit dans le port examiné, tant en ce qui concerne les données relatives à la dimension physique du bateau (longueur, largeur, tirant d'eau) qu'en ce qui concerne la quantité de GNL transportable depuis un bateau de cette taille.

Le transport du GNL par la mer est effectué dans des méthaniers, dont la capacité de chargement est généralement située entre 40 000 et 140 000 m<sup>3</sup> de GNL, soit 18 000 à 63 000 t. Il s'agit d'embarcations à double coque, qui font probablement partie des bateaux marchands les plus sophistiqués actuellement en service (coûtant jusqu'à deux fois plus cher que les pétroliers de taille similaire).

Les réservoirs de stockage de GNL sont situés dans la coque interne qui est responsable de la résistance structurelle secondaire aux chocs. La coque externe, en revanche, est responsable de la résistance structurelle principale aux chocs. Les modalités de construction et la solide expérience acquise également dans des situations accidentelles réelles ont montré que les réservoirs de stockage sont suffisamment fiables pour éviter le risque d'incendie ou de rupture de ceux-ci suite à des événements pouvant se produire à l'intérieur du bateau tels que des incendies ou des explosions ayant des causes communes (c'est-à-dire indépendantes des marchandises transportées). En effet, les réservoirs sont étanches, ignifuges et de plus inertes, c'est-à-dire entourés d'une atmosphère sans oxygène.

Le tableau suivant reporte les caractéristiques principales de certains types de méthaniers.

Caractéristique	UM	Type de bateau			
		Minimum	Intermédiaire	Maximum	
		Réservoirs prismatiques	Réservoirs prismatiques	Réservoirs sphériques	Réservoirs prismatiques
Port en lourd	[DWT]	22 000	51 000	75 000	75 000
Capacité de charge	[m³]	40 000	75 000	140 000	140 000
<b>Longueur totale</b>	[m]	200	250	300	295
Longueur entre les perpendiculaires	[m]	185	235	282	280
<b>Largeur</b>	[m]	29,2	35	46	46
Hauteur de construction	[m]	18	21	29	29
<b>Tirant d'eau à pleine charge</b>	[m]	8,7	9,5	11,3	11,3
<b>Tirant d'eau sur lest</b>	[m]	4,7	5,0	8,3	8,3
Déplacement en charge	[t]	40 000	74 000	95 000	95 000
Zone longitudinale exposée au vent (bateau à pleine charge)	[m²]	2 500	2 800	6 700	4 600
Zone longitudinale exposée au vent (bateau sur lest)	[m²]	3 300	3 900	7 200	5 100
Zone transversale exposée au vent (bateau à pleine charge)	[m²]	380	820	1 350	1 250
Zone transversale exposée au vent (bateau sur lest)	[m²]	500	1 000	1 450	1 350
Distance entre la proue et le manifold	[m]	90-95	120-130	120-140	128-151
Distance entre la bride du manifold et le bordé du bateau	[m]	2,0-6,0	2,0-6,0	2,8-4,0	1,6-4,0
Hauteur manifold au-dessus du niveau de la mer à bateau plein	[m]	14-16	13-17	19-21	19-24
Nombre de réservoirs	[-]	6	4	5	5
Nombre de pompes de vidange	[-]	12 (2 par réservoir)	8 (2 par réservoir)	10 (2 par réservoir)	10 (2 par réservoir)
Type de pompe		immergée	immergée	immergée	immergée
Débit maximal de déchargement du bateau	[m³/h]	4k	6,4k-9,6k	10k-13k	10k-13k
Hauteur d'élévation pompes	[m]	120-150	105-150	105-160	105-160
Nombre et diamètre bride de connexion liquide (L) et gaz (G)		4 (L) 14" 2 (G) 10"	2 (L) 16" 1 (G) 14"	4 (L) 16" 1 (G) 16"	4 (L) 16" 1 (G) 16"

Tableau 1 Caractéristiques

Tout d'abord, il convient de tenir compte de la longueur du bateau et de son tirant d'eau à pleine charge afin d'identifier les caractéristiques physiques minimales des infrastructures portuaires.

En effet, le tirant d'eau à pleine charge, comparé aux valeurs des fonds marins de référence relatives au parcours du bateau pour atteindre le quai du dépôt GNL, peut identifier la taille maximale du bateau de projet et donc les valeurs maximales de GNL transporté par les bateaux.

Une fois le bateau de projet identifié, en fonction de la profondeur des fonds marins et de la longueur du quai, il sera possible de définir le nombre de ravitaillements annuels nécessaires pour l'approvisionnement des dépôts côtiers de GNL et d'estimer si l'augmentation générée pourra être supportée par les infrastructures portuaires.

Un autre aspect important à prendre en compte pour le dimensionnement des installations côté mer concerne les aspects du transfert du GNL du méthanier vers les réservoirs de stockage. En général, il convient de dimensionner les installations afin que le bateau ne stationne pas trop longtemps à quai pour le déchargement du GNL, afin de limiter les opérations et la durée de stationnement. Il est donc nécessaire d'identifier un temps de référence (15 heures par exemple) et de dimensionner les conduites et les raccords qui transfèrent le GNL depuis le méthanier vers les réservoirs.

## Dépôt

Les derniers réservoirs réalisés dans les terminaux GNL sont à « intégrité totale », chacun étant composé d'un réservoir externe « outer tank » et d'un réservoir interne « inner tank ». En cas de déversement provenant du confinement primaire, le confinement externe permet de retenir le liquide cryogénique. Les réservoirs sont conçus de manière à limiter le flux thermique provenant de l'extérieur au moyen d'une isolation thermique généralement obtenue par l'utilisation combinée de matériaux isolants et de conditions de vide entre les deux confinements.

Bien que le réservoir et l'ensemble des conduites soient cryogéniques, le GNL interne subit un certain réchauffement, dû essentiellement à :

- l'environnement externe ;
- la chaleur entrante provenant des lignes de déchargement du bateau ;
- la chaleur générée par les pompes de surpression GNL ;

- l'éventuelle entrée due à la circulation de GNL de refroidissement.

Le dimensionnement des infrastructures de stockage du GNL doit être évalué en fonction de la quantité de GNL à stocker et de la quantité annuelle de GNL à gérer au sein du terminal GNL. De plus, la construction de plusieurs petits réservoirs de type modulaire est envisagée, de sorte qu'un nombre égal de réservoirs puisse être construit pour atteindre l'objectif de stockage du GNL et avoir la possibilité d'en construire d'autres plus tard. En examinant les structures présentes dans la zone méditerranéenne, il convient de noter que la « taille » de référence des réservoirs modulaires est d'environ 1 000 m<sup>3</sup> - 1 500 m<sup>3</sup> en fonction de la dimension de la zone et de la quantité maximale de GNL à stocker dans la zone.

Les réservoirs modulaires sont reliés entre eux pour constituer un seul réseau et sont ravitaillés par la même conduite. Dans certains cas, certains réservoirs peuvent être affectés à des activités spécifiques et en même nombre que les fonctions (certains réservoirs pour le ravitaillement de véhicules routiers ou d'embarcations). La possibilité de réaliser des réservoirs de petite taille n'implique pas la modification de la structure du réservoir.

## Transport routier

Le dimensionnement de cette fonctionnalité du terminal GNL est étroitement lié aux surfaces disponibles, dans la mesure où le ravitaillement des véhicules ne génère pas uniquement la présence des baies de chargement mais également d'un réseau routier interne et d'une zone de stationnement. La présence de deux baies de chargement, par exemple, implique la présence de 5-6 places de stationnement des véhicules afin d'éviter les attentes ou les queues dans des zones non équipées qui pourraient générer des problèmes pour la sécurité des travailleurs et des zones environnantes.

# Infrastructures accessoires

Les infrastructures nécessaires pour une réalisation complète d'un terminal côtier de GNL comprennent également les ouvrages de génie civil principaux et accessoires, y compris :

- ouvrages de génie civil pour les réservoirs de GNL ;
- ouvrages de génie civil pour la prise et le rejet d'eau dans la mer ;
- ouvrages de génie civil pour le support de tuyaux sur des crémaillères/traverses ;
- cabines électriques et sous-station ;
- salle de contrôle ;
- entrepôt et usine ;
- bureaux, concierge, caserne, etc. ;

ouvrages de génie civil complémentaires ou accessoires, comprenant :

- fondations mineures dans la zone de l'installation ;
- routes et trottoirs ;
- clôtures.

Les ouvrages en mer sont fonction du type de poste d'amarrage prévu dans la phase de conception et peuvent être résumés comme suit :

- plateforme de déchargement des méthaniers ;
- jetée pour relier l'île de déchargement à la terre ferme ;
- structures d'accostage et d'amarrage des méthaniers ;
- passerelles piétonnes reliant les structures d'amarrage et d'accostage.

Pour la réalisation d'un terminal GNL qui comprend des réservoirs de gaz naturel liquéfié, des zones et quais de déchargement, des zones de ravitaillement des véhicules routiers et des zones de contrôle, des interventions et des infrastructures accessoires sont nécessaires pour le bon fonctionnement de toute la structure. Parmi celles-ci, il est possible de tenir compte des éléments suivants :

- système d'air comprimé ;
- système azote ;
- système eau services ;
- groupes électrogènes et système d'alimentation gaz combustible ;
- système de prise d'eau de mer et d'alimentation des vaporisateurs en eau ;
- système de récupération, stockage, neutralisation eau déminéralisée ;

- système de purge<sup>1</sup> ;
- système anti-incendie ;
- système électrique ;
- supervision, contrôle et instrumentation ;
- système d'alimentation en énergie électrique.

Un aspect important, et différent de la « simple » réalisation des infrastructures de génie civil côté terre, est celui relatif aux ouvrages de génie civil en mer, composés de :

- dragages pour assurer la profondeur d'eau nécessaire aux méthaniers dans le canal d'accès et le bassin d'évolution ;
- structures d'accostage et d'amarrage pour les opérations de déchargement du méthanier en toute sécurité ;
- éventuelles structures pour le déchargement des méthaniers, telles que les plateformes de déchargement, les jetées de connexion, les passerelles piétonnes et structures pour l'accostage en cas de jetées flottantes.

L'ensemble du terminal GNL peut être conclu par la construction de tous les bâtiments annexes nécessaires tels que :

- guérite ;
- salle de réunion ;
- salle informatique ;
- bureaux direction ;
- bureaux secrétariat ;
- bureaux administratifs ;
- salle d'attente ;
- salle de courrier ;
- entrée ;
- vestiaires et installations sanitaires ;
- salle des machines ;
- archives.

Le tout devra être connecté aux réseaux traditionnels et aux services complémentaires de sécurité prévus pour les structures industrielles et opérationnelles, tels que les détecteurs de fumée, le système de protection contre la foudre et l'alimentation sans coupure de la salle informatique.

---

<sup>1</sup> Système de collecte et de transport des gaz résiduels provenant des soupapes de sécurité et des soupapes de dépressurisation des réservoirs de GNL et des équipements sous pression qui ne peuvent être récupérés à l'intérieur du condenseur de boil-off gas.

# Caractéristiques des zones

Pour plus d'exhaustivité, le présent paragraphe doit contenir les informations suivantes :

- **Emplacement**

Cette information doit être fournie via l'indication des coordonnées géographiques du site où sera réalisé le dépôt côtier de GNL. Les coordonnées, latitude (N) et longitude (E) devront être écrites avec un système de référence communément utilisé, tel que WGS84 (généralement utilisé par les systèmes GPS).

- **Données climatiques**

Les conditions climatiques indiquées sont les suivantes : température et humidité (maximale et minimale pour les périodes estivale et hivernale) et pression atmosphérique de référence. Il conviendra également d'indiquer les données pluviométriques (référence minimale : 30 ans) en précisant la moyenne mensuelle.

- **Cartographie et levé**

Le présent paragraphe est l'un des plus importants dans la mesure où il précise les informations cartographiques de la zone d'intervention, qui peuvent être obtenues grâce à un levé spécifique des zones.

De plus, le levé doit non seulement montrer la disposition planimétrique de la zone où l'installation de stockage de GNL doit être construite, mais un levé des fonds marins dans la partie des eaux portuaires concernée par l'intervention doit également être effectué. Cela permettra de garantir que les bateaux du projet (dont le tirant d'eau maximal sera défini) disposeront d'une profondeur appropriée.

- **Analyses spécifiques**

Les analyses ultérieures à réaliser concernent les études géotechniques afin de caractériser le terrain sur lequel sera construit le dépôt de GNL. Il conviendra donc de joindre une analyse reportant les données météomarinées afin de définir les conditions météomarinées typiques des eaux concernées par le parcours des bateaux entrants et sortants, y compris l'embouchure du port. Il conviendra de reporter les valeurs extrêmes du vent, des vagues (à différents points du port et dans différentes directions de provenance des vagues) et du niveau marin.

- **Analyse sismique**

Il s'agit d'une analyse préliminaire visant à identifier et évaluer les contraintes qui sont générées sur le terrain avec la construction du dépôt côtier.

Les analyses sont menées en tenant compte des études précédentes et de certaines études supplémentaires, dont les études géotechniques pour définir la stratification du terrain sur lequel les contraintes doivent être évaluées.

Le présent paragraphe peut comprendre toutes les études supplémentaires à joindre à l'étude de faisabilité du dépôt côtier de GNL, dont les analyses relatives à la gestion des déchets, à la prévention des risques accidentels et à la sécurité, au bruit généré et à l'évacuation des eaux produites. Toutes les analyses devront prévoir différents scénarios possibles, à partir de la

condition initiale de réalisation de l'infrastructure, en passant par les phase d'exercice et d'urgence.

La source des données et les éventuels outils utilisés pour réaliser les études doivent être précisés.



# Analyses supplémentaires

Il est particulièrement important d'analyser l'infrastructure environnante existante (sites industriels, agglomérations, voies de communication, présence de végétation) afin d'évaluer les dangers potentiels tels que le risque d'incendie, ondes de choc et inondations (ex. : rupture de barrages ou de digues, raz de marée, etc.). En cas d'implantation industrielle et/ou civile déjà existante à proximité de la structure, il convient d'évaluer les risques potentiels pour la santé et la sécurité de la population dus à d'éventuels incendies suite à des fuites de GNL ou de vapeurs de GNL stocké.

Toutefois, ces analyses sont plutôt « classiques » dans la mesure où les aspects de sécurité doivent nécessairement être analysés en vertu de réglementations spécifiques.

Il existe des analyses supplémentaires relatives à des domaines spécifiques pouvant impacter sensiblement le dimensionnement et la conception du terminal GNL et impliquant les connexions avec l'extérieur (réseau routier et connexions via bateau), les aspects environnementaux et les activités ultérieures de démantèlement de l'infrastructure.

## Étude d'impact du trafic

Il est également possible de réaliser des analyses supplémentaires présentant un grand intérêt du point de vue du commerce et de la gestion des flux de véhicules tant maritimes que terrestres. Ces analyses, particulièrement importantes, étudient et évaluent les impacts générés sur le trafic portuaire en fonction de la création du dépôt par rapport au cadre d'évaluation initial.

Elle se traduit par la création d'un état initial du trafic naval, avec une analyse des marchandises en transit dans le port en question, et du trafic routier/ferroviaire. Les impacts générés sur le trafic portuaire lors de la phase de construction et de la phase d'exercice sont ensuite analysés.

L'impact le plus important sur la circulation aura probablement lieu pendant la phase de construction en raison du mouvement des matériaux nécessaires aux diverses activités de construction. Cela est dû à l'émergence du trafic de véhicules, essentiellement dû aux éléments suivants :

- transport de matériaux depuis la carrière ;
- transport des matériaux d'excavation non réutilisables vers les décharges ;
- transport de matériaux de construction ;
- déplacement des ouvriers chargés des activités de construction.

L'analyse de cet aspect se fonde également sur l'identification du type de véhicule, du motif du transit et sur la quantité de véhicules en transit (sur une base horaire et quotidienne).

S'agissant de l'évaluation des véhicules en transit durant la phase d'exercice, il est nécessaire de tenir compte du dimensionnement des réservoirs afin de connaître la quantité maximale de GNL à distribuer aux véhicules en transit. En fonction de la distribution prévue du GNL (différenciée pour les véhicules routiers et les navires), il sera possible de quantifier le nombre de véhicules prévus et donc l'impact sur les routes. Le nombre de véhicules prévu doit être adapté aux infrastructures de liaison présentes dans le port.

En parallèle, l'impact le plus important de l'ouvrage sur le trafic maritime sera constaté pendant la phase d'exercice et consistera, globalement, en l'augmentation du nombre de bateaux entrants en fonction de la taille des bateaux.

## Interactions avec l'environnement

Cette analyse porte sur les émissions générées dans le port, tant lors de la phase de chantier que lors de la phase d'exercice normal.

Les émissions principales sont les suivantes :

- émissions de polluants par les moteurs des véhicules utilisés lors de la phase de construction (en tenant compte du nombre de véhicules et de la puissance relative des moteurs) ;
- émissions de poussières liées aux mouvements de terres.

En revanche, durant la phase d'exploitation, les émissions principales sont les suivantes :

- émissions des moteurs à combustion interne. En conditions d'exploitation normale, on prévoit l'utilisation de 2 moteurs ;
- émissions associées au flux d'azote utilisé pour l'inertage du collecteur de torche : le taux d'azote rejeté dans l'air est estimé à environ 6,25 kg/heure.

De ces évaluations préliminaires, relatives à l'installation, il convient d'ajouter les émissions générées par le trafic induit, imputables au trafic maritime et au trafic routier.

## Déclassement et démantèlement

Cette analyse vise à définir les phases de déclassement et de démantèlement de toute l'installation, en prévision de la fermeture des infrastructures réalisées. L'objectif est de prévoir les phases de démantèlement de toute l'installation, d'élimination des infrastructures réalisées et de réhabilitation et de décontamination des zones.

La démolition et l'élimination des infrastructures doivent être prévues pour tous les types de structures, avec les différentes méthodes de construction (structure porteuse en béton, structure porteuse métallique, travaux souterrains).

L'objectif est de parvenir à une restauration complète des conditions initiales du site, une fois que l'état de qualité des composantes environnementales concernées a été vérifié.

# Caractéristiques techniques et d'ingénierie du site

Le site destiné à accueillir un terminal GNL doit présenter les caractéristiques techniques et d'ingénierie suivantes :

Surfaces pour les réservoirs	La surface est fonction de la dimension de la zone disponible et de la quantité de GNL à stocker dans les réservoirs. En cas de réalisation de plusieurs réservoirs de petite taille, comme des réservoirs dont la capacité varie de 1 000 m <sup>3</sup> à 1 500 m <sup>3</sup> , la surface au sol de chaque réservoir est d'environ 60-100 m <sup>2</sup> . Ces valeurs sont indicatives et en cas de réalisation de plusieurs réservoirs (10, par exemple), la valeur totale doit être doublée compte tenu de la distance à respecter et de l'espace nécessaire pour toutes les installations et connexions supplémentaires.
Surfaces pour le ravitaillement des véhicules	Pour la création de zones dédiées au ravitaillement des véhicules routiers, il convient de prévoir une surface d'environ 1/10 de la surface totale. Le ratio indiqué n'est pas fixe et dépend de la configuration générale de la zone, qui peut entraîner une modification du ratio.
Surfaces accessoires	Pour la réalisation des zones supplémentaires, il est nécessaire de garantir les distances de sécurité entre les composantes qui peuvent conduire à une occupation accrue du sol.
Postes d'accostage	Les postes d'accostage doivent être dimensionnés en fonction du bateau du projet. Une fois la dimension du bateau identifiée, il sera possible d'identifier la longueur du poste d'accostage (grâce à la longueur du bateau) et le fonds marin minimal nécessaires à l'amarrage (grâce au tirant d'eau à pleine charge). En cas de dimensions plus importantes du quai disponible, il est possible de prévoir plusieurs postes d'accostage.

Liaisons routières	Les liaisons routières sont une conséquence directe de l'analyse des flux générés par la réalisation d'une station de ravitaillement des véhicules routiers. L'augmentation du trafic qui en résulte doit être absorbée par le système routier actuel, sans créer de files d'attente ou d'autres problèmes de logistique et de sécurité. La zone destinée au ravitaillement des véhicules doit être facilement accessible depuis le réseau routier ordinaire et, si la zone donne sur une route très fréquentée, il convient d'évaluer si une entrée différenciée pour les véhicules routiers est fonctionnelle (et plus sûre).
Liaisons par la mer	Les liaisons par la mer suivent l'analyse des flux générés et doivent tenir compte de la profondeur des fonds marins à disposition pour les méthaniers du projet.

Tableau 2 Caractéristiques techniques

## Bibliographie et sitographie