



**Interreg**



UNION EUROPEENNE  
UNIONE EUROPEA

**SIGNAL**

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

# T3.6.1 Application de la planification et de la gestion du réseau de distribution de GNL

---

## PARTENAIRES:

- REGIONE SARDEGNA-Industria
- CHAMBRE de COMMERCE et d'INDUSTRIE du VAR



La cooperazione al cuore del Mediterraneo  
La coopération au cœur de la Méditerranée

# ACTIVITÉS T3.6

## Développement de démonstrations sur l'utilisation du GNL

L'étude suivante a été développée dans le cadre du projet SIGNAL - Stratégies transfrontalières pour la valorisation du gaz naturel liquide, cofinancée par le programme INTERREG Maritime Italie-France 2014-2020.

À propos du document	
Code produit	T3.6.1
Titre du produit	Application de planification et de gestion du réseau de distribution de GNL
Code d'activité	T3.6
Titre de l'activité	Développement de démonstrations sur l'utilisation du GNL
Code du composant	T3
Titre du composant	Plan du réseau de distribution et de transport de GNL sur le territoire
Personne responsable de l'activité	Département de l'Industrie Sardaigne Région - CIREM Univ. De Cagliari -
Responsable scientifique de l'UNICA-CIREM pour le compte du ministère de l'Industrie	Professeur Paolo Fadda
Coordinateur de l'étude UNICA-CIREM pour le compte du ministère de l'Industrie	Ing. Federico Sollai
Personne responsable de la rédaction du document	REF-E SRL
Version	Final
Date	19/11/2020

Version	Date	Extender(s)	Description des changements
Final	19/11/2020	REF-E SRL	Examen des données



Ce travail est distribué sous licence Creative Commons Attribution - Partager de la même manière 4.0 International ([CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/))

## Résumé

<b>Indice des chiffres .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstrait .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Consommation estimée de GNL .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Configuration du réseau de distribution de GNL dans les territoires insulaires .....</b>	<b>12</b>
<b>3. Calcul du coefficient de risque .....</b>	<b>16</b>
<b>4. Identification d'itinéraires moins risqués .....</b>	<b>22</b>
<b>5. Bibliographie et sitographie .....</b>	<b>24</b>

## Indice des chiffres

Figure 1. Diagramme logique des simulations de trafic ..... 9

## Abstrait

Le présent document illustre le contenu technique et scientifique de la consultation en soutien à l'activité T3.6, visant à développer des démonstrations sur l'utilisation du GNL, avec une référence particulière à la méthode à utiliser (plan/stratégie) dans les systèmes insulaires et côtiers.

Cette activité implique l'application des modèles développés dans les activités précédentes aux zones de référence du projet, pour soutenir la définition d'une application de planification et de gestion du réseau de distribution de GNL, qui reproduit les méthodes déjà définies au cours des activités T3.4 et T3.5. Ce modèle doit être personnalisé en insérant les caractéristiques territoriales, de transport et de demande spécifiques à chaque zone et au scénario de configuration du réseau prévu.

Dans l'ensemble, la méthodologie, déjà illustrée avec une référence opérationnelle au territoire de la Région Sardaigne, sera reprise ici en termes démonstratifs - également sous forme simplifiée - afin de reconstruire un modèle pour la planification et la gestion du réseau de distribution du GNL dans des réalités territoriales différentes.

La personnalisation du modèle est facilitée par son interfaçage avec les méthodes et bases de données disponibles au niveau européen (notamment la matrice O/D des marchandises *TransTools*), qui se prête à un transfert vers d'autres réalités insulaires, en tenant compte des caractéristiques territoriales, de transport et de demande spécifiques de chaque zone, ainsi que des scénarios de tracé de réseau attendus.

Les étapes méthodologiques illustrées comprennent

- a) estimation des niveaux de consommation attendus du GNL dans ses différentes composantes du marché (industriel, civil, automobile) (*chapitre 1*) ;
- b) identification détaillée du **réseau de distribution dans le cas de la Sardaigne**, à travers la localisation des **ports de déchargement** et des **points du réseau de distribution**, afin de définir la matrice d'incidence des relations O/D affectées par les mouvements des pétroliers. (*chapitre 2*) ;
- c) spécification du **coefficient de risque accidentel**, à utiliser comme **paramètre de coût social à minimiser** lors de l'identification des itinéraires, obtenu comme produit entre la **probabilité d'occurrence de chaque événement accidentel unique**, estimée par rapport aux statistiques de sécurité routière sur le réseau sarde et la **gravité potentielle de l'événement lui-même**, évaluée par rapport à la fréquence et à la disposition de chaque arc du réseau (*chapitre 3*) ;
- d) détermination des **itinéraires à risque minimal**, obtenue en affectant la matrice d'incidence selon un algorithme permettant de trouver le coût social minimal attribué à la circulation des camions-citernes sur chaque arc de réseau (*chapitre 4*).

## 1. Consommation estimée de GNL

L'estimation de la consommation attendue de GNL, en plus d'être évidemment basée sur une analyse minutieuse des tendances historiques, découle nécessairement de l'application de différentes méthodes de prévision, en fonction des différents marchés de référence.

### COMPOSANT INDUSTRIEL

L'estimation de la consommation prévue d'ici 2030 de GNL transporté par route en aval pour le secteur industriel en Sardaigne utilisée dans ce rapport est basée sur les calculs du chapitre 3 sur la pénétration potentielle du gaz naturel en Sardaigne du rapport T3.3.1 « Demande de GNL en Sardaigne et réseau de distribution routier ».

En particulier, pour les élaborations de ce rapport, les données du scénario «de base» sont utilisées tant en ce qui concerne les prévisions de la consommation énergétique régionale totale dans le secteur industriel, qu'en ce qui concerne le degré de pénétration du gaz naturel dans ce secteur.

Dans le secteur industriel, le scénario «de base» adopté prévoit une réduction de la consommation d'énergie de 1,8% sur 10 ans, avec une stabilité substantielle (+0,2%) au cours des cinq premières années et une réduction de 2% au cours de la seconde. Ce scénario suppose que les augmentations de l'efficacité énergétique dans l'utilisation de l'énergie dans l'industrie, y compris les politiques actuelles, sont largement compensées par les augmentations du niveau d'activité prévu en termes de valeur ajoutée de l'industrie au cours des cinq premières années.

En Sardaigne, sur la base des tendances nationales sur une base mensuelle de la consommation industrielle, comme un effet de la crise économique en cours, une réduction de la consommation industrielle à la fin de 2020 de 10% par rapport à 2019 est prévue ; qui sera réabsorbée dès 2021.

En 2030, la consommation finale du secteur industriel en Sardaigne serait d'environ 399 ktep dans le scénario «de base» (avec une stabilité substantielle par rapport à la valeur d'avant la crise de 407 ktep).

Ce scénario ne tient pas compte des effets de la réactivation éventuelle des usines de transformation de l'aluminium en Sardaigne.

Pour le secteur **industriel**, en se concentrant uniquement sur la consommation non électrique, on a évalué l'«attaquabilité» des sources d'énergie qui composent actuellement le mix du secteur par le gaz naturel. L'analyse est basée sur l'évaluation des données de consommation disponibles et sur les caractéristiques des processus de production qui caractérisent les secteurs industriels les plus importants de la Sardaigne, principalement les secteurs chimique et pétrochimique.

Pour la consommation d'énergie thermique dans le secteur industriel, on estime que, d'ici 2030, le niveau global de pénétration du gaz naturel sera d'environ 107 ktep ou 118 Mmc, dans le scénario «Base».

Dans le cas de la pénétration du gaz naturel dans la consommation de l'industrie, on suppose que le canal de diffusion prédominant sera le réseau de transport et les réseaux de distribution, mais qu'une part importante se fera par l'aval du GNL pour les industries qui resteront hors réseau. On

suppose que cette part sera de 30% dans le cas du scénario retenu, compte tenu du moindre développement des réseaux de transport prévisible dans ce scénario.

## COMPOSANTE CIVILE

L'estimation de la consommation prévue en 2030 de GNL transporté par route en aval pour les secteurs résidentiel et tertiaire en Sardaigne utilisée dans ce rapport est basée sur les calculs du chapitre 3 sur la pénétration potentielle du gaz naturel en Sardaigne du rapport T3.3.1 «Demande de GNL en Sardaigne et réseau de distribution routier».

En particulier, pour les élaborations de ce rapport, les données du scénario «Base» sont utilisées tant en ce qui concerne les prévisions de la consommation totale d'énergie régionale dans les secteurs résidentiel et tertiaire, qu'en ce qui concerne le degré de pénétration du gaz naturel.

En ce qui concerne le secteur résidentiel, le scénario de «Base» adopté prévoit une réduction de la consommation d'énergie de 4,6 % sur 10 ans, avec une réduction de 3,5 % au cours des cinq premières années et une décélération de cette tendance au cours de la seconde (-1,2 %). Ce scénario prévoit une augmentation significative de l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels, même dans le cadre des politiques actuelles, et la poursuite du processus de découplage entre la tendance des processus sociodémographiques, qui prévoient une augmentation du nombre de ménages et de logements occupés par des résidents en Sardaigne également. Toujours en Sardaigne sur la base des tendances sur une base mensuelle de la consommation dans le secteur résidentiel, aucun effet significatif de la crise pandémique n'est attendu à la fin de 2020 sur le niveau de consommation dans le secteur résidentiel par rapport à 2019.

En 2030, la consommation du secteur résidentiel en Sardaigne serait d'environ 636 ktep dans le scénario de «Base», contre un niveau d'environ 667 ktep en 2020.

En ce qui concerne le secteur tertiaire, le scénario de «Base» adopté suppose une grande stabilité de la consommation d'énergie au cours de la décennie. Ce scénario suppose que les augmentations significatives de l'efficacité énergétique dans les utilisations énergétiques du secteur tertiaire, même dans le cadre des politiques actuelles, seront compensées par les augmentations du niveau d'activité attendu en termes de valeur ajoutée du secteur.

En Sardaigne, également en raison du taux très élevé de pénétration électrique qui caractérise la consommation tertiaire dans la région, sur la base des tendances sur une base mensuelle de la consommation électrique, comme effet de la crise économique actuelle, on prévoit une réduction de la consommation du secteur à la fin de 2020 de 6% par rapport à 2019 ; qui sera réabsorbée dès 2021.

En 2030, la consommation du secteur tertiaire en Sardaigne serait d'environ 220 ktep dans le scénario de «Base» (avec une stabilité par rapport à la valeur d'avant la crise de 220 ktep).

Dans le secteur **tertiaire**, les sources évaluées comme pouvant être attaquées par le gaz naturel sont le diesel et le GPL, dont la consommation est largement remplacée par celle du gaz à l'horizon 2030. Il s'agit toutefois d'une part absolument minoritaire de la consommation, qui s'élèvera à environ 16 ktep en 2030 (un chiffre en ligne avec celui de 2019). Pour l'électricité, qui représente plus de 90% de la consommation en 2019, on suppose que toute la nouvelle demande sera absorbée dans le scénario «Base». Pour le secteur tertiaire, les niveaux de consommation de

gaz et de pénétration potentielle, en termes absolus, sont beaucoup plus faibles que pour le secteur résidentiel : dans le scénario de base, on suppose une consommation de gaz d'un peu plus de 10 ktep ou 11,5 Mmc en 2030.

Pour les secteurs résidentiel et tertiaire, on fait l'hypothèse que le principal canal de distribution sera les réseaux de distribution alimentés par le réseau de transport, mais qu'une part importante se fera par le *downstream* du GNL pour les réseaux de distribution isolés qui seront alimentés par des dépôts satellites de GNL. Dans ce cas également, il est supposé que la part qui passera par le *downstream* du GNL sera de 30% dans le cas du scénario «Base» en lien avec le degré de développement des réseaux de transport prévisible dans ce scénario.

## COMPOSANTE TRANSPORT ROUTIER

Enfin, en ce qui concerne la composante transport routier, la consommation potentielle de GNL peut être estimée grâce à un **modèle spécifique de simulation du trafic** et de la **consommation de carburant**, qui permet, dans l'ordre, de

- reconstituer la **configuration des flux de véhicules légers/lourds** sur le réseau routier
- estimer, sur la base d'une analyse appropriée de la composition de la flotte de véhicules en circulation, la **consommation d'énergie** associée à ces flux ;
- identifier, dans la dynamique de rotation de la flotte de véhicules lourds en circulation, les composants potentiellement affectés par le changement de carburant, afin d'estimer la **consommation potentielle de GNL**.

En général, les modèles de simulation de trafic permettent de reproduire, de manière approximative, le fonctionnement d'un système de transport basé essentiellement sur deux types d' *input* :

Un modèle de trafic est un outil mathématique qui permet de reproduire, de manière approximative, le fonctionnement d'un système de transport.

- la description de la **demande de mobilité**, représentée par une matrice origine/destination (O/D) des mouvements de personnes, de marchandises ou de véhicules dans la zone ;
- la **description de l'offre de transport**, obtenue en reportant les caractéristiques des différents axes de circulation sur une structure mathématique appelée graphe, formée de nœuds et d'arcs qui les relie, dotés d'attributs appropriés (par exemple, la longueur, le nombre de voies, etc.).

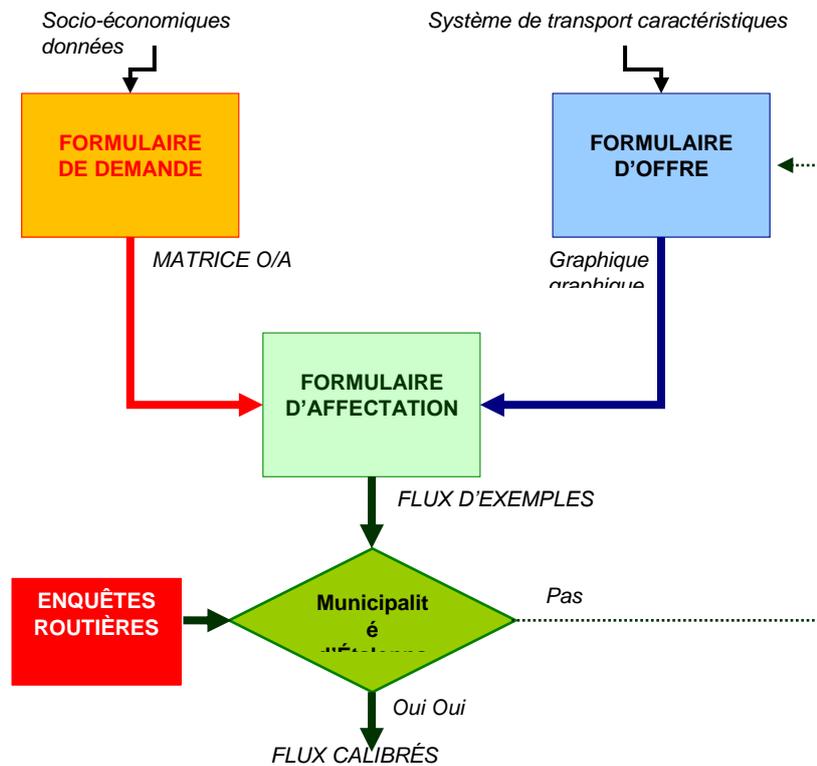
Le modèle combine ces données en affectant au graphique la matrice O/D, c'est-à-dire en identifiant, pour chaque déplacement de chaque zone d'origine vers chaque zone de destination, effectué pour une raison donnée, le meilleur itinéraire par rapport aux coûts perçus par les usagers en termes de temps de parcours, de tarifs et de distances parcourues.

En additionnant tous les déplacements affectés à chaque itinéraire, il est possible d'estimer les flux de trafic sur tous les arcs du graphe.

Comme certains attributs des arcs - en particulier le temps de trajet - dépendent du nombre de trajets assignés aux arcs, cette procédure doit être répétée plusieurs fois, afin d'obtenir un équilibre entre les coûts de transport calculés et le choix des trajets par les utilisateurs du système.

Pour être fiable, chaque modèle de trafic doit être capable de reproduire, avec une approximation raisonnable, une situation réelle de trafic. Par conséquent, les flux simulés par le modèle doivent être comparés à ceux détectés dans la réalité, typiquement par des comptages de trafic, manuels ou automatiques, effectués indépendamment de la construction du modèle. La comparaison entre les débits simulés et mesurés est appelée *calibrage du modèle*, et peut donner lieu à des ajustements ciblés des *input*.

Une fois calibré, le modèle est capable de simuler des scénarios prévisionnels, indiquant les conditions de trafic attendues suite à des changements dans la demande de mobilité (par exemple, croissance de la population, nouvelles implantations urbaines), ou dans l'offre de transport (par exemple, nouvelles liaisons routières, établissement de zones à circulation restreinte).



Source: META Processing

Figure 1. Diagramme logique des simulations de trafic

Par rapport aux enquêtes réalisées sur un ensemble de lieux forcément limité, le modèle permet d'estimer les volumes de trafic et les conditions d'écoulement correspondantes sur tous les arcs du graphique. Cela permet d'évaluer une série d'indicateurs importants, tels que les distances totales parcourues par les véhicules sur le territoire municipal, et les temps de parcours correspondants.

En appliquant à ces indicateurs les paramètres de consommation unitaire des véhicules circulant dans la zone, il est enfin possible d'estimer la quantité de carburant consommée par le trafic automobile dans la zone d'étude.

Ces indicateurs représentent le point de référence fondamental pour l'évaluation de la consommation globale quotidienne, mensuelle et annuelle.

En ce qui concerne spécifiquement la **matrice O/D des mouvements de véhicules lourds** (commerciaux), elle peut être déduite en particulier de la matrice européenne TransTools, convenablement désagrégée et ajustée aux conditions locales, comme dérivée de la distribution territoriale des points individuels de production, de stockage et de consommation des marchandises transportées.

Une fois que les flux de trafic sur le réseau ont été reconstitués (et validés), **l'estimation de la consommation d'énergie** plus être développée selon la méthodologie COPERT/CORINAIR (Lignes directrices de l'AEE 2016, mises à jour 2018), en se référant à l'approche la plus détaillée (Tier 3)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Le groupe de travail CORINAIR (COoRdination INformation AIR) mis en place par la Commission des Communautés européennes élabore et met périodiquement à jour les facteurs unitaires relatifs à la consommation de carburant et aux émissions polluantes (CO, NOx, COV, SO2, CO2) pour les différentes catégories et sous-catégories de véhicules à moteur. En particulier, des facteurs unitaires sont actuellement disponibles pour les voitures à essence (divisées en trois classes de cylindrée et selon la réglementation ECE en vigueur au moment de l'immatriculation) ; les voitures diesel (divisées en deux classes de cylindrée) et les voitures GPL ; les véhicules utilitaires légers (essence et diesel) ; les véhicules utilitaires lourds diesel (divisés en trois classes de poids) ; les bus et les motos (trois classes de cylindrée). En ce qui concerne les voitures à essence et diesel en particulier, les facteurs sont exprimés par des relations continues en fonction de la vitesse moyenne de conduite (pour des vitesses comprises entre 10 et 130 km/h), tandis que les facteurs relatifs aux autres catégories de véhicules sont exprimés par rapport à trois conditions de conduite typiques (urbaine, extra-urbaine, autoroute). Les coefficients sont indiqués dans le rapport : Le groupe de travail CORINAIR (COoRdination INformation AIR) mis en place par la Commission des Communautés européennes élabore et met périodiquement à jour les facteurs unitaires relatifs à la consommation de carburant et aux émissions polluantes (CO, NOx, COV, SO2, CO2), pour les différentes catégories et sous-catégories de véhicules. En particulier, des facteurs unitaires sont actuellement disponibles pour les voitures à essence (divisées en trois classes de cylindrée et selon la réglementation ECE en vigueur au moment de l'immatriculation) ; les voitures diesel (divisées en deux classes de cylindrée) et les voitures GPL ; les véhicules utilitaires légers (essence et diesel) ; les véhicules utilitaires lourds diesel (divisés en trois classes de poids) ; les bus et les motos (trois classes de cylindrée). En ce qui concerne les voitures à essence et diesel en particulier, les facteurs sont exprimés par des relations continues en fonction de la vitesse moyenne de conduite (pour des vitesses comprises entre 10 et 130 km/h), tandis que les facteurs relatifs aux autres catégories de véhicules sont exprimés par rapport à trois conditions de conduite typiques (urbaine, extra-urbaine, autoroute). Les coefficients sont donnés dans le rapport : Commission of the European Communities (AA.VV.), CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic, Bruxelles, 1991 ; et ses mises à jour ultérieures : Ntziachristos L., Samaras Z. ; COPERT III Programme informatique pour le calcul des émissions du transport routier. Methodology and emission factors (version 2.1) ; technical report n.49, European Environmental Agency, Copenhagen, november 2000. Gkatzoflias D., Kouridis C., Ntziachristos L., Samaras Z. ; COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport ; user manual, European Environmental Agency, Copenhagen, december 2007., EMEP/EEA air pollutant emissions inventory guidebook, Part B sectoral guidance chapters, §1.A.3.b (AA.VV.), CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic, Brussels, 1991 ; et ses mises à jour ultérieures : Ntziachristos L., Samaras Z. ; COPERT III

Cette méthodologie requiert, tout d'abord, la détermination des coefficients de consommation unitaire, qui peuvent être obtenus en comparant les valeurs de la base de données européenne avec la composition du parc de véhicules en circulation, rapportée par les données statistiques sur le parc de véhicules en circulation (en Italie, source ACI). Sur cette base, il est possible de calculer des **coefficients d'émission moyens**, opération qui s'effectue en croisant la répartition du parc automobile des véhicules légers (voitures et véhicules utilitaires <3,5 t) et des véhicules lourds par classe d'homologation, avec les émissions moyennes associées à chacun d'entre eux, disponibles dans la base de données européenne COPERT-CORINAIR.

Les courbes obtenues montrent la consommation unitaire de carburant en fonction des conditions de conduite du véhicule, et notamment de sa vitesse. La connaissance conjointe des flux et des vitesses sur le réseau permet d'obtenir une estimation de la consommation d'énergie pour chaque catégorie de véhicule et chaque section élémentaire du réseau.

Enfin, l'estimation de la pénétration potentielle du GNL est directement dérivée d'hypothèses concernant les niveaux de rotation de la flotte en circulation, spécifiquement pondérées par rapport au kilométrage annuel moyen des différentes catégories de véhicules (camionnettes, camions, poids lourds et véhicules articulés), de manière à tenir compte de la plus ou moins grande vitesse d'adoption du nouveau carburant dans les différentes composantes de la demande de fret.

---

Programme informatique pour le calcul des émissions du transport routier. Methodology and emission factors (version 2.1) ; technical report n.49, European Environmental Agency, Copenhagen, november 2000. Gkatzoflias D., Kouridis C., Ntziachristos L., Samaras Z. ; COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport ; user manual, European Environmental Agency, Copenhagen, december 2007, EMEP/EEA air pollutant emissions inventory guidebook, Part B sectoral guidance chapters, §1.A.3.b.

## 2. Configuration du réseau de distribution de GNL dans les territoires insulaires

Une fois que la consommation potentielle de GNL a été estimée, afin d'étudier la configuration du réseau de distribution, il est nécessaire de l'articuler, tout d'abord, par lieu de consommation, puis d'évaluer les alternatives logistiques possibles pour son approvisionnement. Dans les contextes insulaires, cela se réfère inévitablement à l'identification des ports de déchargement du combustible, transporté avec des navires méthaniers.

Comme dans le cas de l'estimation du potentiel de consommation, la reconstruction du réseau de distribution se fait de manière différente pour chaque segment de marché.

Le scénario de «base» de pénétration du gaz naturel en Sardaigne utilisé dans ce rapport est celui développé dans le chapitre 3 sur la pénétration potentielle du gaz naturel en Sardaigne du rapport T3.3.1 «Demande de GNL en Sardaigne et réseau de distribution routier». Selon ce scénario, en 2030, la demande d'approvisionnement des installations de stockage côtières sera de 197 000 t/a de GNL (248 ktep), dont environ 42%, soit environ 82 000 t/a (104 ktep), devraient être transportées par le *downstream* du GNL, et environ 58%, soit 160 Msmc de gaz naturel (144 ktep), seront transportées, après regazéification, par le réseau de transport et de distribution. Dans les données globales du scénario "base", la quantité transportée par l'aval du GNL comprend une partie distribuée par le réseau routier à l'aide de camions-citernes cryogéniques et une partie distribuée par voie maritime à l'aide de soutes avec des réservoirs cryogéniques pour le GNL destiné au soutage de *ship to ship*. Dans le scénario utilisé pour la préparation de ce rapport, on suppose qu'environ 63 kt/an de GNL sont transportés vers les utilisateurs finaux par des navires cryogéniques, environ 18 kt/an sont transportés par des soutes pour le ravitaillement des navires alimentés en GNL.

### COMPOSANT INDUSTRIEL

Aux fins des calculs fournis dans le présent rapport, le scénario des utilisateurs industriels *off-grid* équipés d'installations de stockage de GNL par satellite approvisionnées par des navires-citernes cryogéniques suppose que la demande totale du secteur industriel dans le scénario de «base» à l'horizon 2030 est d'environ 20 kt/an de GNL répartis entre 20 utilisateurs, avec une consommation annuelle moyenne par utilisateur d'environ 1 000 t/an de GNL.

Le scénario de localisation de la consommation totale prévue dans le scénario de base a été construit à partir des données sur la consommation industrielle fournies par la Région Sardaigne, en sélectionnant les secteurs d'activité pour lesquels, sur la base des informations disponibles, un passage de l'utilisation de produits pétroliers à l'utilisation de gaz naturel par le biais du *downstream* du GNL est prévu d'ici 2030. L'utilisation des données fournies par la Région de Sardaigne a donc permis de construire un scénario réaliste concernant les secteurs spécifiques d'activité industrielle, la localisation et la consommation spécifique de chaque utilisateur considéré.

### COMPOSANTE CIVILE

Pour les besoins des calculs fournis dans ce rapport, le scénario de réseaux de distribution isolés alimentés par des dépôts satellites de GNL approvisionnés par des navires cryogéniques suppose que la demande totale du secteur civil dans le scénario de «base» en 2030 est d'environ 12 kt/an de GNL répartis entre 43 réseaux isolés, avec une consommation annuelle moyenne pour les dépôts satellites associés d'environ 280 t/an de GNL.

Le scénario de localisation de la consommation totale prévue par le scénario de base pour le secteur civil en 2030 a été construit en utilisant les informations rendues publiques par le principal concessionnaire des réseaux de distribution en Sardaigne concernant les communes dans lesquelles le service de distribution de gaz naturel devrait être activé. La consommation attendue des réseaux isolés a été différenciée en deux classes de demande en fonction de la taille démographique/habitation des centres dans lesquels l'activation du service de distribution de gaz naturel est attendue.

L'utilisation des informations disponibles a donc permis de construire un scénario réaliste concernant la localisation et la consommation spécifique des réseaux de GNL isolés considérés..

## COMPOSANTE TRANSPORT ROUTIER

Dans le cas de la composante transport routier, la définition des points du réseau ne peut découler que d'une analyse de la configuration des flux de trafic commercial, qui dans son ensemble supervise l'estimation de la pénétration potentielle de la consommation de GNL au sein du secteur.

L'expérience menée dans le cas de la Sardaigne a montré que le potentiel réel de pénétration est associé à un nombre relativement limité de points de réseau (<10), ce qui permet de traiter facilement le problème de leur localisation sur un plan empirique.

Du point de vue méthodologique, la procédure d'identification des points du réseau de distribution de GNL sur le réseau routier peut cependant être affinée en utilisant un algorithme spécifique de partitionnement optimal du graphe en composantes connectées.

En résumé, les algorithmes de partitionnement optimal visent à partitionner un graphe connecté  $\Gamma = (N, A)$  dont les arcs  $a_k$  et  $A$  sont caractérisés par un poids  $w_k = f(a_k)$ , en un ensemble de sous-graphes connectés  $\Gamma_1 = (N_1, A_1), \Gamma_2 = (N_2, A_2), \dots, \Gamma_m = (N_m, A_m)$  identifiés de telle sorte que la fonction:

$$W(\square_{1p}) = \sum_k w_k \text{ avec } a_k \in A_p$$

assume une valeur optimale.

Cette fonction objective peut, selon les cas, viser l'équipartition du graphe en composantes connectées de poids global égal, ou bien rechercher la solution du coût d'accès global minimum à l'ensemble des points du réseau.

Pour cela, l'application des algorithmes susmentionnés exige la définition préventive de l'objectif exact de l'optimisation, ce qui nécessite un approfondissement du caractère technique-méthodologique, qui pourrait être développé dans les phases suivantes<sup>2</sup>.

Enfin, il convient de rappeler que, dans le cas de petites réalités insulaires au potentiel de pénétration limité du nouveau carburant, un rôle non négligeable peut être joué par son utilisation dans le cadre de services d'autobus (vraisemblablement suburbains). Dans ce cas, cependant, on peut imaginer que la distribution du GNL s'effectue au moyen de réservoirs cryogéniques placés directement dans les dépôts et les garages des entreprises de transport routier, ce qui ramène le problème à celui de l'identification des utilisateurs civils ou industriels «normaux».

## PORTS DE DÉCHARGEMENT

Enfin, le choix des ports de déchargement dépend généralement d'un ensemble de considérations logistiques et infrastructurelles qui peuvent largement faire abstraction de la méthodologie d'optimisation du réseau de distribution au sein du territoire insulaire.

Néanmoins, il faut souligner que la méthodologie développée pour l'étude du réseau permet d'attribuer, à chaque emplacement possible des points de déchargement (ou plutôt, à chaque configuration possible de l'ensemble des points de déchargement) un coût logistique total qui peut prendre en compte à la fois les coûts directs de transport et le risque social associé à la manipulation d'une marchandise dangereuse, comme le GNL.

## LE CAS DE L'ÎLE D'ELBE

La taille très limitée du système énergétique de l'Archipel Toscan constitue un point faible pour un éventuel développement de la chaîne d'approvisionnement en GNL dans cette réalité. A cet égard, il suffit de souligner que la consommation d'énergie finale dans son ensemble est de l'ordre de 80-90 ktep. La consommation dans les secteurs industriel, civil et thermoélectrique est donc très limitée ou insignifiante pour le développement de la chaîne d'approvisionnement en GNL. Actuellement, il n'y a pas d'initiatives pour la construction d'une infrastructure d'approvisionnement en GNL dans l'archipel. Le développement de la chaîne d'approvisionnement en GNL est absent de la planification énergétique locale (PAES 2014).

Enfin, il convient de souligner l'absence d'initiatives publiques des institutions locales pour le développement de la chaîne d'approvisionnement en GNL dans l'archipel.

La demande potentielle des deux réseaux de distribution isolés, actuellement alimentés en GPL, ne pourrait être significative que dans la perspective d'un approvisionnement direct par la chaîne d'approvisionnement en aval du GNL, c'est-à-dire par des camions-citernes cryogéniques qui

---

<sup>2</sup> Pour des éléments supplémentaires liés au thème du partitionnement optimal des graphes, voir Hendrickson et Leland [1995], Krauthgamer, Naor et Schwartz [2009], Liverani [2005, 2014], Bourse, Lelarge et Vojnović [2014], Makarychev et Makarychev [2014].

approvisionnent les dépôts satellites desservant les réseaux isolés de GNL. En effet, ces réseaux sont situés, comme dans le cas de Portoferraio, dans des centres urbains à proximité d'infrastructures portuaires et de services de connexion maritime qui pourraient permettre d'approvisionner d'éventuels dépôts satellites de GNL au moyen de navires cryogéniques sans avoir à utiliser le réseau routier de l'île pour le transport vers d'autres lieux.

Dans un tel contexte, la méthodologie utilisée ici pour le cas de la Sardaigne n'est pas substantiellement applicable. Dans le cas de Portoferraio, l'approvisionnement en GNL par des méthaniers cryogéniques se ferait par l'embarquement des ferries RO-PAX en service sur la route de Piombino à Portoferraio sans impact significatif sur le réseau routier de l'île d'Elbe.

### 3. Calcul du coefficient de risque

Du point de vue de sa configuration spatiale, le réseau de distribution de GNL dans un territoire insulaire peut être décrit à travers :

- un ensemble de **lieux d'origine**, correspondant pour l'essentiel aux **ports de déchargement** ;
- un ensemble de **lieux de destination**, correspondant aux points- réseau ou d'utilisation finale du produit, qui, dans la pratique, peuvent remonter jusqu'à des **installations industrielles** individuelles, des **dépôts locaux** pour les utilisateurs civils/tertiaires ou des **stations-service** pour la vente de carburants de transport.

Il convient de souligner que, par nature, le nombre de lieux d'origine est forcément structurellement inférieur au nombre de lieux de destination. Le résultat est une matrice d'incidence rectangulaire caractérisée par la prévalence du nombre de colonnes sur le nombre de lignes, à chacune desquelles on peut faire correspondre un problème de type SOMD (*Single Origin to Multiple Destination*), tandis que l'ensemble de la matrice elle-même fera référence à un problème de type MOMD (*Multiple Origin to Multiple Destination*) [Liu 2017].

Une exigence évidente du réseau de distribution est sa sécurité, c'est-à-dire la maîtrise des risques (modestes, mais pas totalement négligeables) associés au déplacement des camions-citernes, dans des limites socialement acceptables.

À cette fin, il est conseillé d'effectuer une étude approfondie des **itinéraires à risque minimum** entre les points de chargement et de déchargement du produit.

Cette investigation peut être réalisée au moyen d'un modèle de simulation, déjà utilisé pour reconstituer les flux de trafic sur le réseau, en associant à chaque arc routier un coefficient de risque obtenu comme le produit de la probabilité qu'un accident routier impliquant un camion-citerne s'y produise, et de l'entité des dommages potentiellement associés à un tel événement.

$$\text{Coefficient de risque} = \text{probabilité de l'accident} \times \text{dommages potentiels}$$

La construction d'un tel coefficient a fait l'objet, ces dernières années, de nombreuses études approfondies liées à la gestion des flux de marchandises dangereuses sur le réseau national (Bonvicini, Leonelli et Spadoni 1998 ; Leonelli, Bonvicini et Spadoni 2000 ; Orso Giaccone et al. 2012 ; Studer et al. 2012 ; 2018 ; Borghetti et al. 2015 ; Gandini et al. 2015), qui ont été prises comme référence pour le calcul des indicateurs de risque.

En particulier, dans l'analyse suivante, il a été fait référence au **modèle d'analyse des risques DGT (Dangerous Goods Transportation)**, qui fonde l'estimation du coût social associé à un itinéraire spécifique sur l'algorithme suivant (Studer et al. 2012):

$$R_{ij} = \sum_k R_k = \sum_k \left( p_k \times \sum_s \left( p_{k,s} \times \sum_e \left( p_{k,s,e} \times \sum_m \left( F_{k,m} \times E_{k,s,e,m} \times S_m \times (1 - C_{k,s,e,m}) \right) \right) \right) \right)$$

Où:

$R_{ij}$	Risque cumulatif sur l'itinéraire [€/an]	
$R_k$	Risque total associé au transit sur le $k$ -ième arc du graphe [€/an].	
$p_k$	Probabilité d'occurrence d'un accident de la route sur l'arc $k$ [véhicules impliqués/arc/an].	PROBABILITÉ CUMULÉE DE SURVENANCE DES ÉVÉNEMENTS
$p_{k,s}$	Probabilité d'un accident de la route sur l'arc $k$ impliquant un véhicule transportant la substance $s$	
$p_{k,s,e}$	Probabilité qu'un accident de la route sur l'arc $k$ , impliquant un véhicule transportant une substance $s$ , conduise à un événement indésirable de type $e$	
$F_{k,m}$	Facteur de présence du récepteur $m$ le long de l'arc $k$	LES DOMMAGES ASSOCIÉS À CHAQUE ÉVÉNEMENT INDÉSIRABLE
$E_{k,s,j,m}$	Facteur d'exposition du récepteur $m$ le long de l'arc $k$ à l'événement indésirable $e$ impliquant la substance $s$	
$S_m$	Susceptibilité du récepteur $m$	
$C_{k,s,e,m}$	Résilience/capacité de récupération des récepteurs $m$	

Dans le cas présent, la substance de référence est unique (GNL) et l'indice  $s$  peut donc être omis pour obtenir la formulation ::

$$R_{ij} = \sum_k R_k = \sum_i \left( p_k \times \sum_e \left( p_{k,e} \times \sum_m \left( F_{k,m} \times E_{k,e,m} \times S_m \times (1 - C_{k,s,e,m}) \right) \right) \right)$$

Les autres indices relatifs aux arcs individuels du graphe ( $k$ ), au type d'événement indésirable ( $e$ ) et à la présence, la susceptibilité et la résilience du récepteur ( $m$ ) sont maintenus.

Dans l'expérience menée en référence à la Région Sardaigne (rapports T3.4 et T3.6), la construction du coefficient de risque sur chaque arc a été obtenue, en première approximation, au moyen de deux séries distinctes de données statistiques, que l'on peut retracer respectivement

- en ce qui concerne la probabilité cumulée d'événements indésirables, aux niveaux d'accidents constatés sur le réseau routier ;
- en ce qui concerne les dommages potentiellement associés à chaque événement indésirable, à la présence, la susceptibilité et la résilience des sujets potentiellement exposés, identifiés chez les automobilistes en transit, chez les riverains de la route, ainsi que dans les zones sensibles du point de vue naturaliste.

## CALCUL DE LA PROBABILITÉ D'ACCIDENT

Le coefficient de risque est basé, tout d'abord, sur les taux d'accidents, calculés à partir de la probabilité de survenue d'un accident en fonction du type de route et de l'entité du flux de véhicules qui la traverse.

En résumé, étant donné la reconstitution des volumes de trafic du réseau routier effectuée à l'aide du modèle de trafic selon la méthodologie exposée dans les paragraphes précédents, la procédure de calcul du coefficient de risque en ce qui concerne la reconstitution du nombre de véhicules impliqués dans des accidents par an passe par les phases suivantes

- a) l'acquisition de données sur les accidents, mises à disposition en Italie par l'ISTAT ;
- b) codification des routes sur le graphique routier et comparaison entre les statistiques d'accidents et les volumes de trafic ;
- c) la reconstitution, pour chaque arc routier du modèle, du nombre de véhicules impliqués dans des accidents par an.

Une fois ces élaborations effectuées, la probabilité globale d'un accident impliquant un camion-citerne cryogénique peut être calculée sur la base de l'occurrence statistique des accidents - évaluée de préférence sur une base d'au moins trois ans - en pondérant les données relatives aux événements impliquant des véhicules lourds avec celles relatives au nombre total d'accidents.

En particulier, pour chaque arc routier, il est possible de considérer

- le nombre total d'accidents  $N_T$
- le nombre total d'accidents impliquant des véhicules lourds  $N_P$ .

en déterminant les indices:

- du nombre total d'accidents :  $i_T = N_T / 100 \text{ Mvkm totaux}$
- taux d'accidents lourds :  $i_P = N_P / 100 \text{ Mvkm lourds}$

se rapportant à une seule année<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> En d'autres termes, la valeur cumulée des accidents survenus au cours des cinq années 2014-2018 a été comparée à un volume de trafic égal à cinq fois la valeur annuelle moyenne résultant des simulations effectuées.

Pour surmonter le fait que de nombreuses routes sont pratiquement dépourvues de trafic lourd (du moins simulé par le modèle), il est possible d'utiliser comme indicateur de la probabilité de l'accident l'indice d'accident moyen pondéré:

$$i = \alpha i_P + (1-\alpha) i_T$$

avec  $\alpha$  en première approximation égal à 0,1.

Cet indice représente **la probabilité qu'un événement accidentel impliquant un camion-citerne cryogénique** se produise, tous les 100 Mvkm de trafic généré par les camions-citernes eux-mêmes.

## CALCUL DE L'INDICATEUR DE DOMMAGES POTENTIELS

En plus de considérer les taux d'accidents, c'est-à-dire la probabilité qu'un événement accidentel se produise, la construction du coefficient de risque doit tenir compte des dommages possibles associés à l'événement : par exemple, c'est une chose d'avoir un accident dans un tunnel avec un trafic intense, tout à fait différent de l'avoir en pleine campagne sur des routes à trafic réduit ; c'est une autre chose d'avoir un accident dans une zone rurale, tout à fait différent dans une zone urbaine à forte densité de population.

Pour ce faire, compte tenu des points précédents, la procédure de calcul de l'indicateur de dommages potentiels prend en compte trois facteurs distincts

- la présence d'un trafic léger, c'est-à-dire la possibilité qu'un événement accidentel affecte **les personnes présentes sur d'autres véhicules en transit**;
- la **population résidente autour de l'axe routier**, potentiellement exposée aux risques de l'accident;
- d'autres éléments liés à la **vulnérabilité environnementale** du contexte.

La **présence de personnes sur d'autres véhicules en transit** est facilement déduite des mêmes simulations de trafic: étant donné  $t_{inc}$  la durée d'un événement accidentel, la probabilité que dans cet intervalle de temps le transit d'un autre véhicule se produise est simplement donnée par :

$$p_{tr} = (F_A + F_B) \frac{t_{inc}}{T_{oss}}$$

où  $F_A$  et  $F_B$  sont les flux de trafic estimés sur l'arc (exprimés par exemple en véhicules/jour), et  $T_{oss}$  le temps d'observation correspondant (dans ce cas, un jour).

Le nombre de personnes susceptibles de passer sur la route lors de l'événement accidentel peut donc être déterminé en multipliant la probabilité de passage par le coefficient d'occupation moyen des véhicules.

Évidemment, cette façon de procéder permet de déterminer la probabilité moyenne quotidienne que, lors de l'événement accidentel, le transit d'un certain nombre de personnes se produise. Il est également possible de supposer, d'une part, que les mouvements de camions-citernes se

produisent à des heures de la journée caractérisées par une moindre présence de trafic et, d'autre part, que des systèmes d'alarme efficaces permettent de limiter la durée critique de l'événement uniquement aux phases précédant le démarrage de ces systèmes, avec la possibilité conséquente de bloquer la circulation sur l'axe routier examiné.

En première approximation, on a supposé un coefficient d'occupation égal à 1,2 personne/véhicule léger et 1,0 personne/véhicule lourd, tandis que la durée critique de l'événement accidentel a été fixée à 30 secondes.

En ce qui concerne la population exposée à l'axe routier, chaque arc du graffito peut être caractérisé autour de lui par un tampon défini de résidents et d'employés qui, en cas d'accident, pourraient être partiellement affectés par ses effets.

Ce *buffer* peut être caractérisé selon un indicateur de population exposée en se référant à la présence de résidents et de salariés (données ISTAT par section de recensement) dans un buffer de 50 mètres de l'arc routier considéré défini a priori comme une valeur de référence pour une simulation maximale.

Cela permet, comme défini par l'image suivante, de mettre en évidence les arcs routiers sur lesquels la population exposée est plus importante qui, comme évident, sont concentrés principalement dans les zones urbaines des principales villes sardes.

Si, d'une part, la criticité de la traversée des centres urbains, en particulier pour les véhicules transportant des marchandises, est bien connue, non seulement pour une question de risque réel, mais aussi de risque perçu, ainsi que d'influence sur le trafic local, l'indicateur souligne comment même le réseau principal, concentré principalement sur l'infrastructure suburbaine, traverse une petite concentration de population exposée, à prendre en compte dans le scénario du transport de GNL.

Enfin, la construction de l'indicateur de dommages potentiels peut également prendre en compte un **facteur de vulnérabilité environnementale** en considérant comme vulnérables les territoires traversés par des arcs routiers.

Cet indicateur présuppose une cartographie des zones de valeur environnementale, où les effets des accidents avec propagation de liquide et/ou de gaz pourraient affecter les caractéristiques naturelles des environs.

Sans préjudice de la possibilité de disposer de données plus détaillées, les sites du réseau Natura2000 peuvent être considérés, en premier lieu, comme un système coordonné et cohérent (un réseau) de zones (sites d'importance communautaire SCI et zones de protection spéciale ZPS) destinées à la conservation de la diversité biologique présente sur le territoire de l'Union européenne.

L'**indicateur du dommage potentiel total** est déterminé en attribuant aux récepteurs une valeur économique, obtenue pour les décès et les blessures à partir du *Handbook on external cost of transport* de la Commission européenne (ed.2019), qui pour l'Italie a fixé les valeurs suivantes :

- Décès : 3,2 millions d'euros
- Blessures graves : 0,5 million d'euros
- Blessure légère : 0,04 million d'euros

D'autre part, en ce qui concerne les zones de valeur environnementale, on suppose une valeur de référence moyenne pour les sites Natura 2000 d'environ 3 mille €/ha (ten Brink et al, 2011).

## 4. Identification d'itinéraires moins risqués

Suite à l'analyse de l'accident, et donc à la probabilité d'accident, et à l'estimation des dommages potentiels, il est donc possible de procéder au calcul du coefficient de risque global, selon la formulation déjà vue :

$$\text{Coefficient de risque} = \text{probabilité de l'accident} \times \text{dommages potentiels}$$

Après l'analyse de l'accidentalité, et donc de la probabilité d'accident, et de l'estimation des dommages potentiels, il est donc possible de procéder au calcul du coefficient de risque global, selon la formulation susmentionnée :

$$\text{Coefficient de risque} = \text{probabilité d'accident} \times \text{dommages potentiels}$$

Ce coefficient, exprimé en unités monétaires pour 100 millions de véhicules-km sur le réseau (€/100 Mvkm), est l'expression synthétique du «coût social associé à la circulation des camions-citernes cryogéniques sur le réseau routier sarde.

L'identification des itinéraires routiers présentant le risque social le plus faible est ensuite effectuée au moyen d'un algorithme simple de recherche du coût minimum (Dijkstra), alimenté par:

- un premier ensemble d'un ou plusieurs points d'origine i (les ports de débarquement du GNL) ;
- un deuxième ensemble de points de destination j (les points du réseau) ;
- un réseau routier valorisé avec les coefficients de risque calculés selon les méthodes décrites au paragraphe précédent.

L'ensemble des arcs assignés fournira une image des routes à risque minimum sur le réseau routier sarde, par rapport à la configuration proposée du réseau de distribution de GNL.

Les résultats obtenus de cette manière doivent toutefois être évalués en tenant compte d'éléments supplémentaires, dont les deux suivants :

- la configuration du réseau routier sarde, telle qu'elle ne permet pas de remplacer facilement certains axes routiers qui, surtout pour le trafic lourd, constituent la seule alternative facilement praticable ;
- l'identification, au sein de chaque zone de trafic, des choix d'itinéraires du "dernier kilomètre" qui, difficiles à définir à l'échelle de la présente étude, devront être envisagés en fonction des décisions prises quant au type de distributeurs.

En plus de l'identification de l'itinéraire le moins coûteux, un deuxième résultat important consiste dans le **coût social cumulé** qui lui est associé, selon la formulation suivante:

$$CS_p = N \sum_k CS_{ij}$$

Où :

- $CS_p$  est le coût social associé à l'ensemble de l'itinéraire, exprimé en €/an;
- N est le nombre de camions-citernes par an, calculé sur la base de la demande annuelle de GNL de chaque point du réseau et en supposant une capacité de 20 tonnes pour chaque véhicule;
- $CS_{ij}$  est le coût social associé à chaque arc individuel qui compose l'itinéraire ;

Grâce à cet indicateur, il devient donc possible;

- comparer différents lieux d'origine (ports) afin d'identifier le lieu optimal pour desservir une destination spécifique (point de réseau);
- comparer différentes structures de réseau. En effet, en additionnant tous les coûts sociaux de tous les itinéraires considérés dans une configuration particulière (par exemple: utilisation du port A ou du port B), on obtient une estimation de son coût social global.

## 5. Bibliographie et sitographie

- Bonvicini S., Leonelli P., Spadoni G., 1998, "Risk analysis of hazardous materials transportation: evaluating uncertainty by means of fuzzy logic", Journal of Hazardous Materials, 62; 59-74.
- Borghetti F., Gandini P., Studer L., Todeschini V., Pastorelli G., 2015, "I SIIG per la mappatura del rischio associato al trasporto di sostanze pericolose: applicazione in aree vulnerabili del contesto lombardo," Convegno ASITA 2015, 167-174, ISBN/ISSN: 978-88-941232-2-7
- Bourse F., Lelarge M., Vojnović M., 2014, "Balanced Graph Edge Partition" Technical Report MSR-TR-2014-20, Microsoft Research, Redmond
- European Commission, *Handbook on external cost of transport – January 2019 – V1.1*
- Frank W.C., Thill J.-C., Batta R., 2000, "Spatial decision support system for hazardous material truck routing", Transportation Research C, 337-359.
- Gandini P., Borghetti F., Studer L., Iuliano R., Pastorelli G., 2015, "Assessment of areas exposed to damage by dangerous goods transportation. Application of Analytic Hierarchy Process method for land covers weighting", IEEE - ITSC 2015 Smart Mobility for Safety and Sustainability, ISBN: 978-1-4673-6595-6.
- Hendrickson B., Leland R., 1995, "A Multilevel Algorithm for Partitioning Graphs"; Proceedings of the 1995 ACM/IEEE conference on Supercomputing
- Krauthgamer R., Naor J., Schwartz R., 2009, "Partitioning Graphs into Balanced Components"; Proceedings of the 2009 Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms
- Leonelli P., Bonvicini S., Spadoni G., 2000, "Hazardous materials transportation: a risk-analysis-based routing methodology", Journal of Hazardous Materials, 71; 283-300.
- Liu L., 2017, "Study on Route Optimization of Methanol Safety Transportation Routing"; Chemical Engineering Transactions, vol.59; pp.1177-1182.
- Liverani M., 2005, "Appunti sui problemi di partizionamento ottimo di grafi in componenti connesse"
- Liverani M., 2014, "Partizionamento ottimo di grafi in componenti connesse"; dispense del corso di ottimizzazione combinatoria, Università di Roma Tre
- Makarychev K., Makarychev Y., 2014, "Nonuniform Graph Partitioning with Unrelated Weights", <https://arxiv.org/abs/1401.0699>
- Orso Giacone M., Bratta F., Gandini P., Studer L., 2012, "Dangerous goods transportation by road: a risk analysis model and a global integrated information system to monitor hazardous materials land transportation in order to protect territory, Chemical Engineering Transactions", vol. 26-2012, Cisap 5th International Conference on Safety & Environment in Process & Power Industry, ISSN: 1974-9791.
- Studer L., Gandini P., Borghetti F., Maja R., Todeschini V., 2012, "Improving knowledge of risk in Dangerous Goods Transport", XIX ITS World Congress, Vienna, Paper EU-00685.
- Studer L., Gandini P., Iuliano R., Borghetti F., Marchionni G., 2018, "Road users exposed to Harm from Transportation of dangerous goods – definition and estimation", Chemical Engineering Transactions, 67, 757-762 DOI: 10.3303/CET1867127
- Ten Brink P., Badura T., Bassi S., Daly, E., Dickie, I., Ding H., Gantioler S., Gerdes, H., Kettunen M., Lago, M., Lang, S., Markandya A., Nunes P.A.L.D., Pieterse, M., Rayment M., Tinch R., (2011). Estimating

the Overall Economic Value of the Benefits provided by the Natura 2000 Network. Final Report to the European Commission, DG Environment on Contract ENV.B.2/SER/2008/0038. Institute for European Environmental Policy / GHK / Ecologic, Brussels 2011

Wang H., Xiao G., Wei Z., 2013, "Optimizing Route for Hazardous Materials Logistics Based on Hybrid Ant Colony Algorithm", Discrete Dynamics in Nature and Society, ID752830

# CCI VAR

## RESEAU DE DISTRIBUTION DE GNL DANS LA RADE DE TOULON

02	IFI	07/12/2020	Emis pour diffusion	XRO	PYC	AME
01	IFI	25/11/2020	Emis pour diffusion	XRO	PYC	AME
00	IFI	20/10/2020	Emis pour observation	XRO	PYC	AME
<b>Rev</b>	<b>Status</b>	<b>Date</b>	<b>Description</b>	<b>Prepared</b>	<b>Checked</b>	<b>Approved</b>

## Liste des révisions

Rev	Status	Date	Description	Prepared	Checked	Approved
00	IFI	20/10/2020	Emis pour observation	XRO	PYC	AME
01	IFI	25/11/2020	Emis pour diffusion	XRO	PYC	AME
02	IFI	07/12/2020	Emis pour diffusion	XRO	PYC	AME

## Description de la révision 02

Correction §4.1.4

## Liste des attentes

Nr	Section	Description
1		Supprimé

## LISTE DES FIGURES

Figure 3-1 : Cartographie des infrastructures GNL (2018) extrait de la carte du Gas Infrastructure Europe	10
Figure 3-2 : Synthèse des filières de soutage possible	11
Figure 4-1 : Répartition géographique des soutages d'huile au cours de l'année 2019	14
Figure 4-2 : Schématique de la réglementation européenne pour une infrastructure GNL	15
Figure 5-1 : Architecture de la filière d'approvisionnement GNL voie routière	18
Figure 5-2 : Camion et remorque GNL	18
Figure 5-3 : Camion et ISO Tank GNL	19
Figure 5-4 : Itineraire routier Fos Cavaou / Fos Tonkin- Rade de Toulon	19
Figure 5-5 : Itineraire routier dans la rade de Toulon	20
Figure 5-6 : Architecture de la filière d'approvisionnement GNL par Voie maritime	21
Figure 5-7 : Exemple de navire souteur hauturier	22
Figure 5-8 : Voie maritime Golf de fos et de Panigaglia / Rade de Toulon	22
Figure 5-9 : Architecture de la filière d'approvisionnement GNL par Voie Ferroviere	23
Figure 5-10 : Exemple de transport de GNL par le rail : Wagon LNG dédié ou ISO Tank	23
Figure 5-11 : Liaison ferroviaire Fos Cavaou / Fos Tonkin- Rade de Toulon	24
Figure 5-12 : Architecture de la filière d'approvisionnement GNL par voie gazeuse	25
Figure 5-13 : Réseau de gaz	25
Figure 5-14 : Unité de liqufaction	26
Figure 5-15 : Stockage intermédiaire terrestre de petite capacité	27
Figure 5-16 : Installation de soutage avec stockage fixe (port de Hirtshals, DK, pour Fjordline)	28
Figure 5-17 : Cuves de type B, Prysmatique, Sphérique et à membrane	29
Figure 5-18 : Stockage flottant de petite capacité, un exemple d'avant-projet de barge de soutage	30
Figure 5-19 : Photo du souteur ENGIE Zeebrugge	30
Figure 5-20 : Flotteur ancré - FSU	31
Figure 6-1 : Schéma de transport en rade par camion	33
Figure 6-2 : Soutage par camion en 2019	34
Figure 6-3 : Avitaillement en GNL d'un paquebot, mai 2016	35
Figure 6-4 : Evolution des capacités de soutage en TTS	35
Figure 6-5 : Présentation de la livraison de GNL à bord du Honfleur	36
Figure 6-6 : Schéma de transport en rade par voie maritime	38
Figure 6-7 : Soutage par bateau en 2019	39
Figure 6-8 : Barge de transfert équipée de réservoir type C	40
Figure 6-9 : London LNG barge	40
Figure 7-1 : Prévision d'utilisation du GNL comme carburant dans l'industrie marine	42

Figure 7-2: Cumul du nombre et type de navires alimentés en GNL	43
Figure 7-3: Evolution annuelle de la demande en GNL sur 10 ans	44
Figure 7-4 : Exemple de barge permettant d'alimenter les navires à quai en electricité	45

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1 : Capacité et taux d'utilisation des terminaux de la région PACA (sources [1])	11
Tableau 4-1 : Indication du volume souté de GNL typique par catégorie de navire (source [1])	12
Tableau 4-2 : Répartition des soutages d'huile en tonnage au cours de l'année 2019	13
Tableau 5-1 : Données techniques des principaux souteurs	21
Tableau 5-2 : Dimensions typiques de ballons sous pression	27
Tableau 7-1: Part du LNG dans la consommation globale de carburant marin	43
Tableau 10-1 : Quantités soutées par les pétroliers avitailleur venant de FOS	51
Tableau 10-2 : Quantité soutée par camions pour les navires scientifiques IFREMER	52

# SOMMAIRE

<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>5</b>
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>6</b>
<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>8</b>
<b>2 ABREVIATIONS.....</b>	<b>9</b>
<b>3 PREAMBULE.....</b>	<b>10</b>
3.1 L'infrastructure GNL et les terminaux méthaniers.....	10
3.2 La chaîne logistique GNL .....	11
<b>4 DONNÉES D'ENTRÉE .....</b>	<b>12</b>
4.1 Le soutage aujourd'hui en rade de TOULON .....	12
4.1.1 Généralité.....	12
4.1.2 Le soutage de carburant marin.....	13
4.1.3 Cartographie des soutages.....	14
4.1.4 Le soutage GNL .....	14
4.2 Données administratives et réglementaires .....	15
4.2.1 Cadre réglementaire européen des infrastructures.....	15
4.2.2 Etude de dangers.....	15
4.2.3 Réglementation du Port.....	16
4.3 Volumes de GNL .....	17
<b>5 ACHEMINEMENT DU GNL VERS LA RADE DE TOULON .....</b>	<b>18</b>
5.1 Voie routière.....	18
5.1.1 Equipements .....	18
5.1.2 Routes et itinéraire .....	19
5.2 Voie maritime .....	21
5.2.1 Méthaniers et Navires souteurs.....	21
5.2.2 Itinéraires maritimes.....	22
5.3 Voie ferroviaire.....	23
5.3.1 Equipements .....	23
5.3.2 Itinéraires et raccordements .....	24
5.4 Voie gazeuse.....	25
5.5 Stockage intermédiaire.....	26
5.5.1 Les stockages intermédiaires de petite capacité, jusqu'à 5000 m <sup>3</sup> .....	27
5.5.2 Les stockages intermédiaires de grande capacité, supérieure à 15 000 m <sup>3</sup> .....	31
5.6 Analyse .....	32
<b>6 TRANSPORT DANS LA RADE .....</b>	<b>33</b>
6.1 Voie terrestre par camions.....	33

---

6.1.1	Architecture .....	33
6.1.2	Volume et cartographie des soutages .....	34
6.1.3	Infrastructure et approvisionnement .....	35
6.1.4	Limitations.....	36
6.1.5	Évolutions logistiques possibles.....	37
6.1.6	Analyse critique .....	37
6.2	La voie maritime .....	38
6.2.1	Architecture .....	38
6.2.2	Volume et cartographie des soutages .....	39
6.2.3	Infrastructure et approvisionnement .....	39
6.2.4	Limitations.....	40
6.2.5	Évolutions logistiques possibles.....	41
6.2.6	Analyse critique .....	41
<b>7</b>	<b>DÉVELOPPEMENT DE L'APPROVISIONNEMENT GNL .....</b>	<b>42</b>
7.1	Évolution mondiale du marché .....	42
7.2	Evolution du GNL dans la rade de TOULON.....	44
7.2.1	Marché interne.....	44
7.2.2	Marché externe.....	45
<b>8</b>	<b>RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>TRAVAUX ET NORMES CITES .....</b>	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>ANNEXE - Données de soutage dans la rade de TOULON .....</b>	<b>50</b>

# 1 INTRODUCTION

Le programme interreg maritimo, est un programme transfrontalier Italie-France cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) sous l'objectif de Coopération Territoriale Européenne (CTE).

Ce programme vise à renforcer la coopération transfrontalière et à promouvoir une croissance intelligente, durable et inclusive dans la zone méditerranéenne.

Dans le cadre de ce programme Maritimo, le projet SIGNAL, Stratégies transfrontalières pour l'exploitation du Gaz Naturel Liquéfié, vise à :

- a) optimiser le réseau maritime,
- b) implanter de zones de stockage et de distribution du gaz naturel liquéfié (GNL) dans les ports,
- c) l'adoption de stratégies transfrontalières pour l'utilisation et la valorisation du GNL dans les ports.

Dans cette optique, la CCI du VAR a lancé cette étude technique pour la présentation et la projection du réseau de distribution GNL dans la rade de Toulon.

## 2 ABBREVIATIONS

EMSA	European Maritime Safety Agency
DML	Diesel Marin Léger
ERP	Etablissement Recevant du Public
FSU	Floating and Storage Unit (unité flottante de stockage)
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
GNV	Gaz Naturel Véhicule (terme générique pour regrouper les utilisations de gaz naturel pour véhicule sous forme gazeuse ou liquide)
HFO	Fuel Lourd (Heavy Fuel Oil)
IAPH	International Association of Port and Harbour
ICPE	Installation Classées pour la Protection de l'Environnement
IGC	International code for the construction and equipment of ships carrying liquefied gases in bulk
IGF	International code of safety for ships using gases or other low-flashpoint fuels
LSFO	Fuel basse teneur en soufre ( Low Sulfur Fuel Oil)
MGO	Gasoil Marin
OMI	Organisation Maritime Internationale
RO-RO	« Roll on-roll off », ou « roulier-roulier »
STS	Ship To Ship
TCA	Terminal des Ferries Toulon Cote d'Azur
TTS	Truck To Ship

### 3 PREAMBULE

#### 3.1 L'infrastructure GNL et les terminaux méthaniers

La région méditerranéenne, autour du golfe du Lion et la mer ligure, possèdent des infrastructures GNL comme le montre la figure ci-dessous.

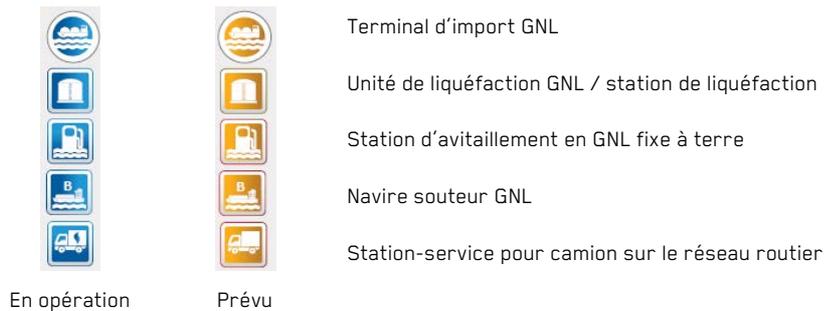


Figure 3-1 : Cartographie des infrastructures GNL (2018) extrait de la carte du Gas Infrastructure Europe

La région PACA dispose de 2 terminaux GNL : Terminaux de FOS TONKIN et FOS CAVAOU. Ces 2 terminaux sont les sources d'approvisionnement privilégiées pour alimenter Toulon.

Les sites sont équipés :

- De baies de distribution permettant le chargement de camion-citerne, pour une capacité totale de 400 000 tonnes an aujourd'hui exploité à 30%.
- De systèmes permettant de charger des petits méthaniers ou souteurs.

A l'heure actuelle, aucun des 2 sites n'est connectés directement à un réseau ferré. Le site de Fos Tonkin est opérationnellement prêt à une connexion indirecte au rail par le biais de chargement d'iso tank avec la plateforme multimodale à proximité du site.

	Fos Tonkin	Fos Cavaou	Total
<b>Capacité<sup>1</sup></b>	36 slots par jour sur 2 baies de chargement soit 190 000 t/an	40 slots par jour sur 2 baies de chargement soit 210 000 t/an*	400 000 tonnes
<b>Tonnage (2019)</b>	11 000 tonnes	8 000 tonnes	119 000 tonnes
<b>Taux d'utilisation (2019)</b>	60%	4%	30%

Tableau 3-1 : Capacité et taux d'utilisation des terminaux de la région PACA (sources [1])

Les autres terminaux GNL les plus proches sont Barcelone et Cartagena en Espagne, et Panigaglia en Italie. D'autres lieux d'approvisionnement peuvent être envisagé dans le cas d'approvisionnement ferroviaire.

Concernant Livourne, et son FSRU, une étude a été menée pour que cette structure devienne une plaque tournante de transport de LNG. Cette étude s'est limitée au réseau italien.

### 3.2 La chaîne logistique GNL

La Figure 3-2 résume la chaîne logistique GNL depuis un terminal méthanier jusqu'au navire à souder en passant par un possible stockage local intermédiaire.

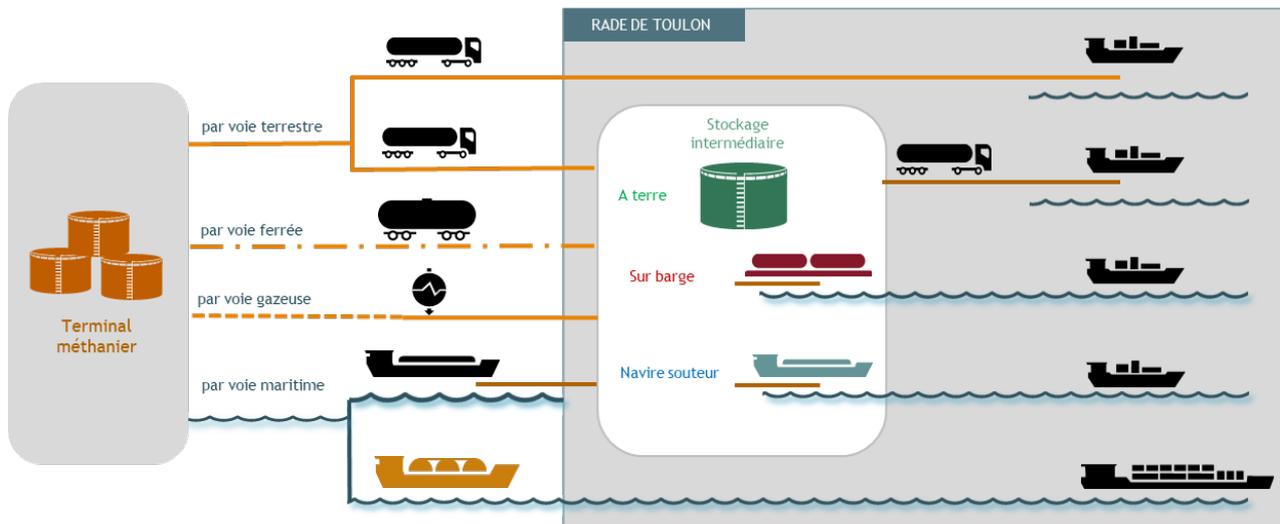


Figure 3-2 : Synthèse des filières de soutage possible

Le carburant pourra être souté par voie terrestre à partir d'une filière camion, ou par voie maritime à partir d'une filière souteur. La liquéfaction à partir du réseau gaz et la filière ferroviaire fournissent deux modes d'approvisionnement supplémentaires en GNL.

<sup>1</sup> Base de calcul sur 250 jours d'opérations par an.

## 4 DONNÉES D'ENTRÉE

### 4.1 Le soutage aujourd'hui en rade de TOULON

#### 4.1.1 Généralité

L'avitaillement est l'opération consistant à transférer une cargaison à bord d'un navire. Plus particulièrement, le soutage concerne le transfert de carburant dans les soutes du navire pour sa génération d'énergie destinée principalement à la propulsion.

Parmi ces soutages, on distingue :

- Les opérations qui doivent se faire en temps masqué sur le quai pendant la transaction commerciale au port,
- Les opérations qui sont faites avec un navire qui se déplace spécifiquement à un endroit défini pour effectuer son chargement en carburant.

La première catégorie de soutage est la plus courante pour les navires commerciaux et aura une forte contrainte sur le soutage en imposant un volume à transférer sur un temps donné. Paradoxalement, les navires concernés par cette contrainte sont ceux avec les plus grosses soutes de carburant.

L'EMSA a catégorisé les différents soutages selon le type de navire :

Vessel Type (receiving vessel)	Bunker Quantity m <sup>3</sup>	Rate m <sup>3</sup> /h	Duration	Hoses or arm diameter	Adequate Bunkering Mode
Service Vessels, tugboats, patrol boats and fishing boats	50	60	45 min	2x2" or 1x3"	TTS
Small Ro-Ro and Ro-Pax vessels	400	400	1 h	2x4" or 1x6"	TTS/ STS
Large Ro-Ro and Ro-Pax vessels	800	400	2 h	2x4" or 1x6"	STS
Small cargo, container and freight vessels	2,000 to 3,000	1,000	2 to 3 h	2x8" or 1x12"	STS
Large freight vessels	4,000	1,000	4 h	2x8" or 1x12"	STS
Large tanker, bulk carrier and container ship	10,000	2,500	4 H	2x10"	STS/PTS
Very large container ships and tanker	20,000	3,000	7 h	2x12"	STS/PTS

*Tableau 4-1 : Indication du volume souté de GNL typique par catégorie de navire (source [1])*

Avec un besoin de soutage d'environ 1800 à 4000 m<sup>3</sup> les navires de croisière se placent dans catégorie Small cargo pour laquelle le soutage STS est à privilégier.

Pour la suite du document, et à des fins de simplification, on considère qu'une tonne d'huile soutée correspond à 2 mètres cube de GNL.

Par huile, il faut comprendre les carburants liquide actuellement utilisé. Le terme générique pour tous ces hydrocarbures c'est le **carburant conventionnel marin** qui comprend les fiouls lourd (HFO Heavy Fuel Oil) et le **Diesel Marin Léger**, DML, lui-même étant le terme regroupant le Marine Gas Oil, MGO, et le fioul à basse teneur en soufre, LSF0 Low Sulfur Fuel Oil.

#### 4.1.2 Le soutage de carburant marin

Les données de soutage pour le port de Toulon ont été fournies par la capitainerie et sont regroupées en annexe, voir chapitre 10. Ces données sont limitées à 2019 qui est l'année de référence pour cette étude.

L'avitaillement en carburant conventionnel marin dans la rade de TOULON a concerné essentiellement :

- Les ferries de la CORSICA FERRIES, avitaillés par des pétroliers avitailleurs de la compagnie MARITIMA en provenance de Fos (fioul lourd et combustible marin léger)
- Les navires câbliers ORANGE MARINE, navires scientifiques IFREMER et navires de servitudes avitaillés par des camions (combustibles marins légers)

Les bateaux de croisières ainsi que les navires rouliers n'ont pas été avitaillés au port de TOULON. Pour des raisons plutôt commerciales que techniques, les bateaux de croisières s'avitailent aux ports de tête de ligne. Il y a très peu de probabilité que dans le futur, ces navires soient avitaillés au port de TOULON que ce soit avec carburant conventionnel marin ou du GNL.

Au vu de leur faible volume annuel souté par rapport aux ferries, les navires scientifiques, les navires de servitudes ainsi que les navires câbliers ne sont pas considérés comme passant au GNL.

Pour l'année 2019, on observe la répartition suivante des soutages :

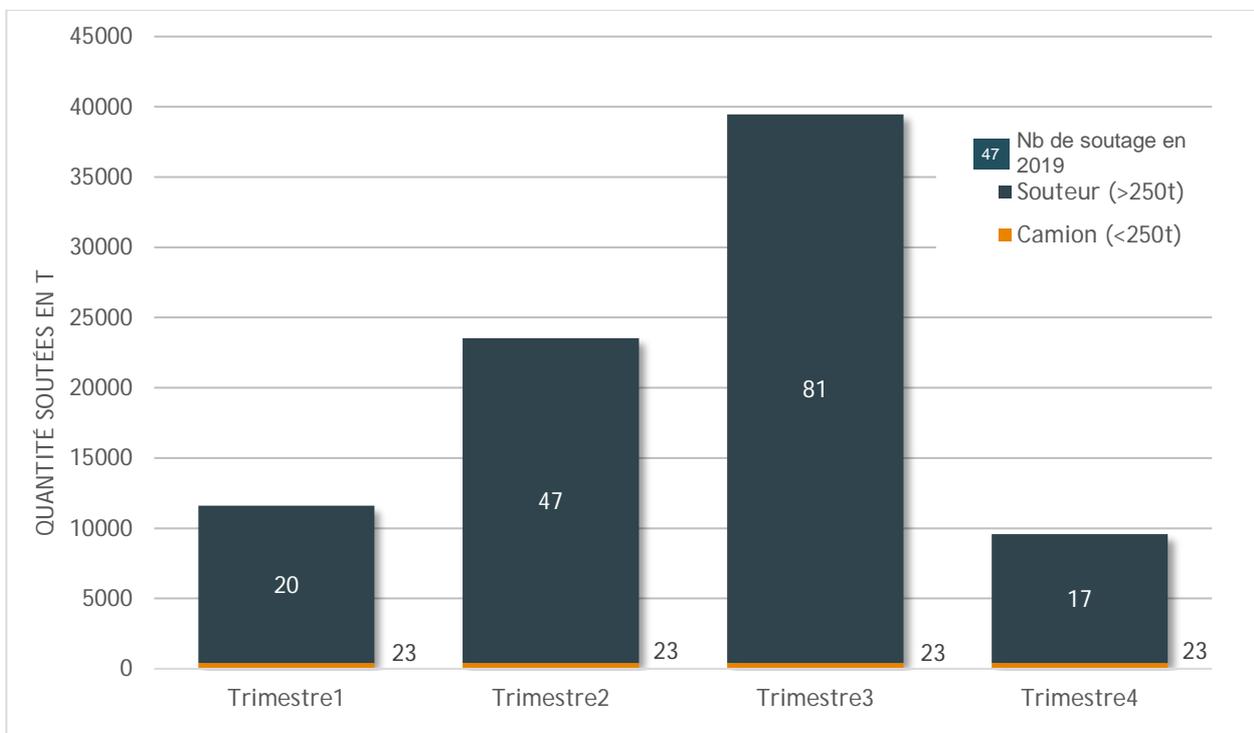


Tableau 4-2 : Répartition des soutages d'huile en tonnage au cours de l'année 2019

De manière logique, les rotations intensives des ferries pendant la période estivale fait apparaitre un pic du volume soutés sur cette période. Les volumes importants de ce troisième trimestre constituent un point de vigilance qui sera considéré dans la suite de ce rapport.

La quantité de combustible marin léger avitaillée par camion sur l'année est faible.

#### 4.1.3 Cartographie des soutages

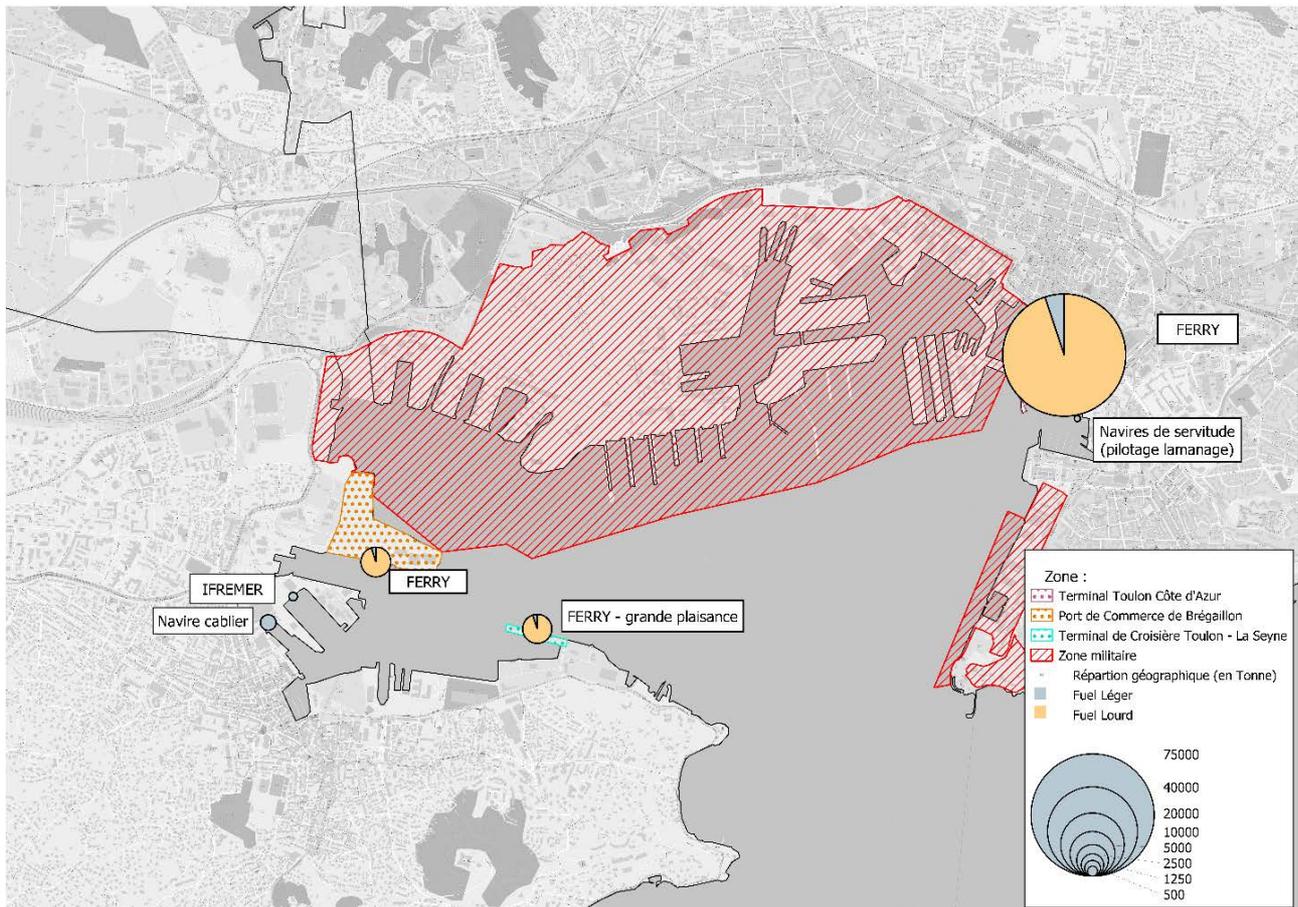


Figure 4-1 : Répartition géographique des soutages d'huile au cours de l'année 2019

#### 4.1.4 Le soutage GNL

Aujourd'hui, le port de Toulon n'effectue pas de soutage GNL.

Une étude de dangers est actuellement en cours pour analyser la situation lorsqu'un navire fonctionnant au GNL est à poste dans un des ports.

## 4.2 Données administratives et réglementaires

### 4.2.1 Cadre réglementaire européen des infrastructures

Le guide de l'EMSA, ref. [1], a listé de manière assez exhaustive les règlements applicables ainsi que les guides métier et comment ils s'interfacent. On peut le résumer dans le schéma ci-dessous :

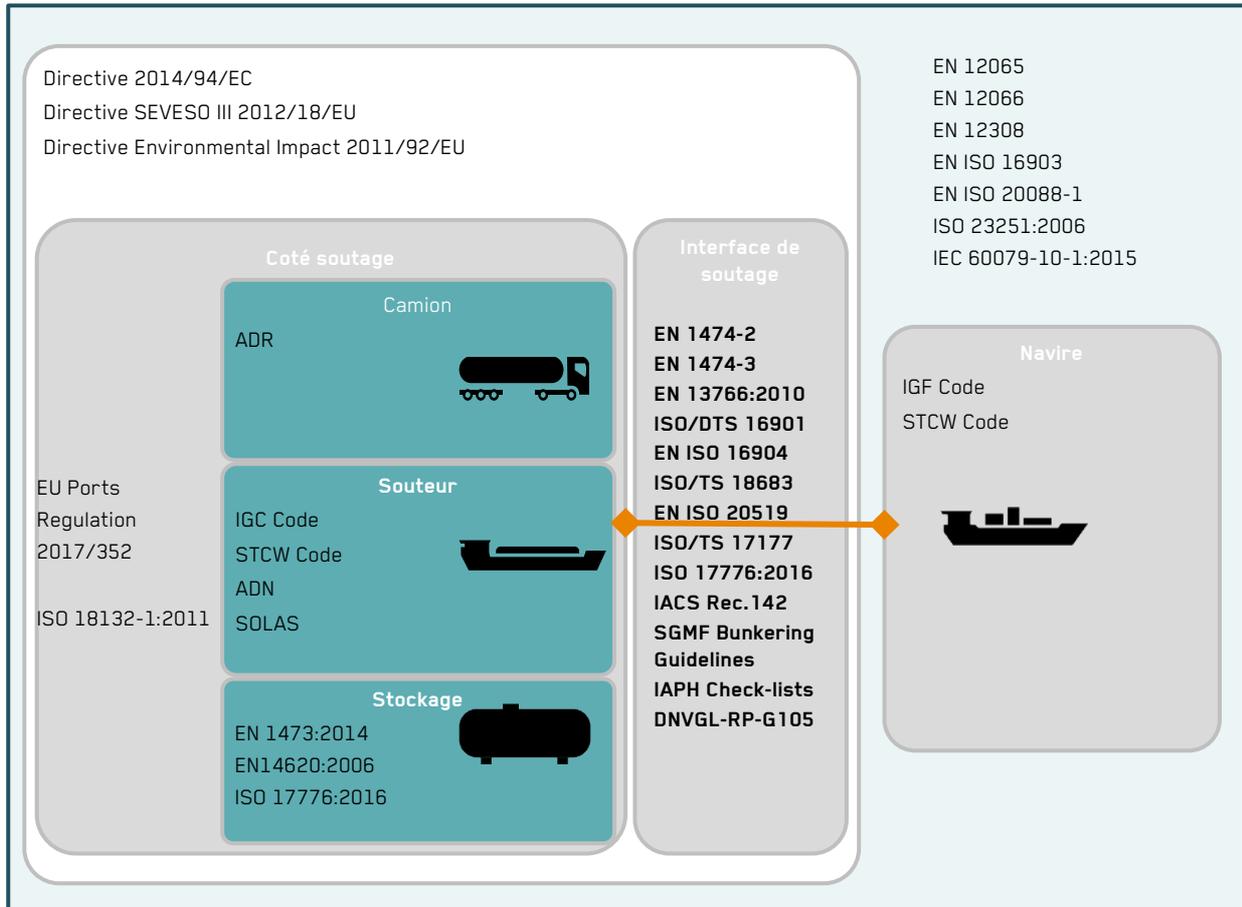


Figure 4-2 : Schématique de la réglementation européenne pour une infrastructure GNL

### 4.2.2 Etude de dangers

Le port de Toulon, en tant qu'infrastructure de transport, a réalisé une étude de dangers comme exigé par le code de l'environnement.

Le soutage de GNL et tout stockage de GNL dans le port de Toulon nécessitera de réviser cette étude de dangers pour prendre en compte et les risques additionnels induits ainsi que les interactions avec les autres installations du port, notamment les ICPE. Ces risques devront être évalués sur la base des rayons de danger (étendue des conséquences) et de la probabilité d'occurrence des scénarios retenus.

En complément des exigences européennes, la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) s'est penchée sur la question des règles et lois qui doivent s'appliquer aux différents types d'installations liées au GNL. Une note dédiée au soutage GNL des navires, ref. [2], permet une analyse du cadre réglementaire de ce type d'installation.

Il est ainsi mentionné :

- **Un objet flottant et navigant** est soumis aux règles internationales de l'OMI.
- **L'exploitation et l'inspection** sont soumis aux affaires maritimes qui s'assurent de la conformité. Dans ce contexte, le navire ne constitue pas en soi une ICPE.
- **Une barge** sans personnel permanent et sans propulsion, est soumise à un dossier ICPE.
- **Les unités de stockage FSU** qui seraient ancrées au large sont soumises à discussion au cas par cas.
- **Tout stockage à terre** doit se conformer à la réglementation ICPE avec les études dangers nécessaires et l'intégration au Plan de Prévention du Risque Technologique (PPRT).
- **Les camions-citernes** dépendent de la réglementation routière (ADR [321]).

Il en ressort que seules les solutions de soutage faisant intervenir les moyens ci-dessous introduiront des ICPE nécessitant la dépose d'un dossier d'enregistrement ou d'autorisation en fonction des capacités mises en œuvre :

- Une barge ancrée sans personnel et sans propulsion,
- Une unité de stockage flottante (FSU),
- Un stockage à terre.

Les autres moyens de soutage seront pris en compte dans la révision de l'étude de dangers du port.

A noter : un objet flottant et navigant utilisé pour le soutage, s'il est restreint à la navigation intérieure, est soumis à la Directive (UE) 2016/1629 du 14 septembre 2016 établissant les prescriptions techniques applicables aux bateaux de navigation intérieure. Le titre de navigation pour un « engin flottant » est le certificat de l'Union. Le référentiel technique associé à ce certificat est le standard européen ES-TRIN établissant les prescriptions techniques des bateaux de navigation intérieure, mis en œuvre en France par arrêté du 5 novembre 2018. Cette disposition n'est pas applicable aux navires qui détiennent les titres de sécurité et de prévention de la pollution fixés par voie réglementaire (SOLAS et MARPOL ou équivalents).

#### 4.2.3 Réglementation du Port

Le transit et la manutention des marchandises dangereuses dans les ports sont soumis au règlement pour le transport et la manutention des marchandises dangereuses dans les ports (dit RPM). Pour Toulon, le RPM est décliné dans le Règlement Local pour le transport et la manutention des marchandises dangereuses (RLMD) afin de prendre en compte les spécificités du port.

Le port de commerce de Toulon-La Seyne dispose également d'un règlement particulier de police pris par arrêté préfectoral n°2017-104.

Ces règlements devront être révisés pour considérer les opérations de soutage de GNL et notamment les points suivants :

- Des listes de contrôles ont été développées pour le soutage par camion et par navire, basées sur les recommandations de l'IAPH [15]. Elles devront être disponibles dans le règlement du port.
- Chaque opérateur devra être qualifié par l'Autorité Portuaire.

### 4.3 Volumes de GNL

Suivant les documents [3] et [4], les projections sur 10 ans suivantes ont été identifiées :

■ Scénario pessimiste :

La consommation de GNL se limiterait aux navires déjà commandés sans développement ultérieur :

- CMA CGM: 9 porte-conteneurs (9 x 30 kt par an) à Marseille,
- Corsica Linea: 1 ferry (- 11 kt par an) à Marseille.

Concernant les navires de croisière, leur soutage serait réalisé à Barcelone plutôt qu'en Région Sud.

Ces documents concluent pour le **scénario pessimiste** qu'il n'y aura **pas de GNL dans la rade de TOULON** dans les 10 ans.

■ Scénario optimiste :

La consommation de GNL serait de 200 kt par an supplémentaires par rapport à la consommation de l'année précédente, pour Marseille, **Toulon**, Sète et Nice et correspondrait au :

- soutage d'un ferry supplémentaire par an (+11 kt par an),
- soutage d'un paquebot supplémentaire tous les 3 ans (+30 kt par an).

La part du port de Toulon serait seulement **une partie des nouveaux ferries au GNL** sur la décennie. Le chapitre 7.2 détaille l'évolution probable du soutage de GNL dans la rade de TOULON dans ce scénario.

*Nota :*

*11kt par an correspond à environ 24000 m<sup>3</sup> de GNL par an*

*30 kt par an correspond à environ 65300 m<sup>3</sup> de GNL par an*

## 5 ACHEMINEMENT DU GNL VERS LA RADE DE TOULON

Les sections ci-dessous décrivent les différentes possibilités d'acheminer du GNL depuis un terminal méthanier.

### 5.1 Voie routière

Le GNL peut être acheminé par le réseau routier depuis le terminal méthanier jusqu'à la Rade de Toulon par le biais de camions qui peuvent effectuer aussi le soutage des navires, en direct ou alimenter un stockage intermédiaire.

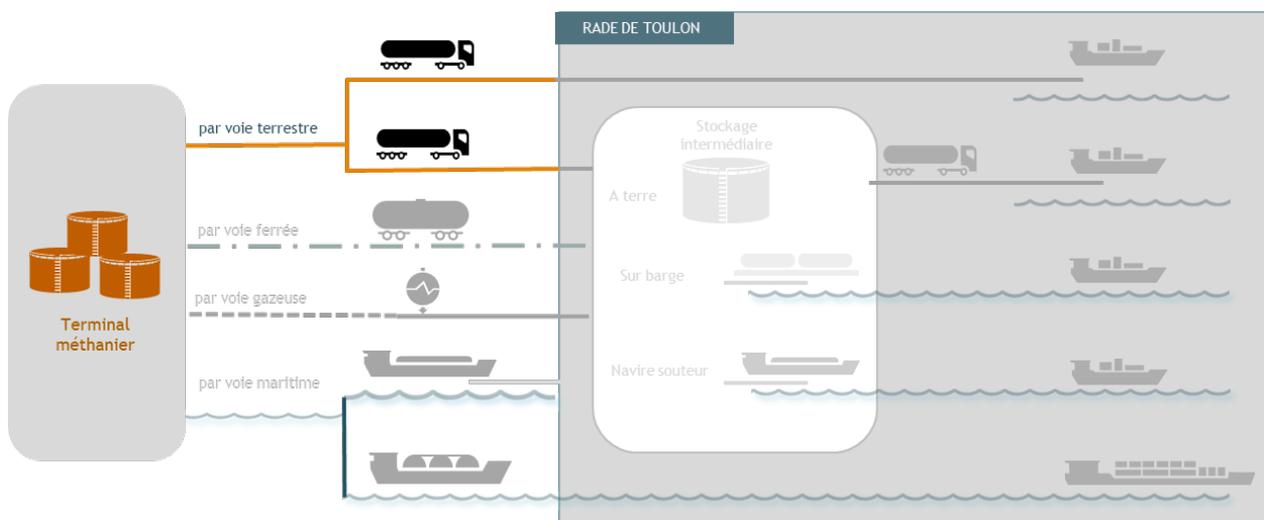


Figure 5-1 : Architecture de la filière d'approvisionnement GNL voie routière

#### 5.1.1 Equipements

Il existe 2 types de transport routiers : camion-citerne ou citerne isolée au format de conteneur standard ISO appelé ISO Tank.

- Les camion-citernes ont une capacité nominale de 20 à 30 m<sup>3</sup> et les remorques d'environ 50m<sup>3</sup>.



Figure 5-2 : Camion et remorque GNL

- L'ISO tank a un volume d'environ 20 m<sup>3</sup> pour un 20' et environ 43 m<sup>3</sup> pour un 40'



Figure 5-3 : Camion et ISO Tank GNL

L'ISO Tank permet aussi le stockage pour une durée d'environ 1 mois et demi maximum. Au-delà, la pression maximale admissible de la citerne est atteinte, due à l'évaporation naturelle du GNL.

Des ISO Tanks pourraient être stockés au port de Brégaillon pour ensuite être transportés si possible soit par camion, soit par barge au point de livraison de GNL.

### 5.1.2 Routes et itinéraire

- Itinéraire depuis les terminaux de Fos Tonkin et Fos Cavaou :

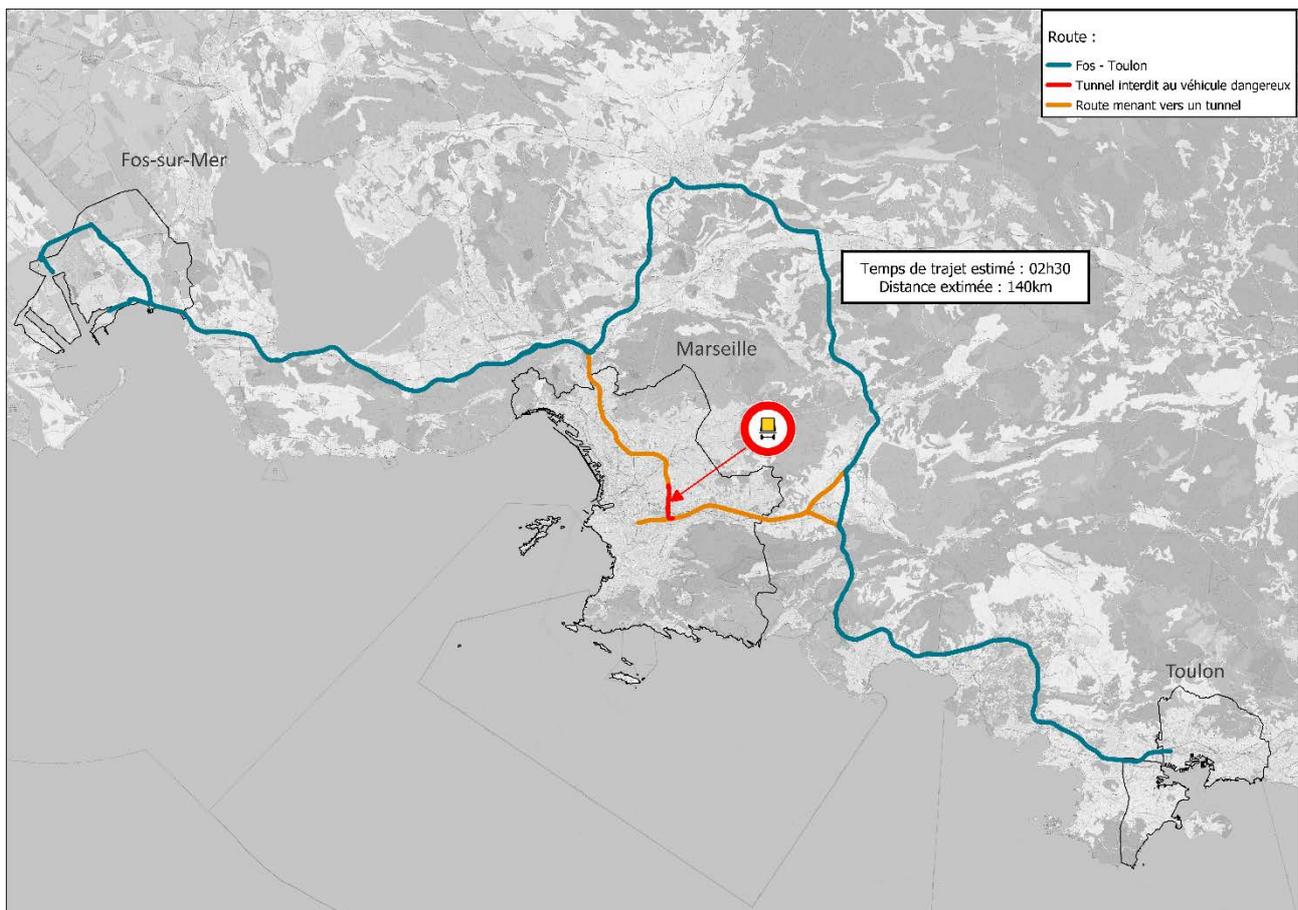


Figure 5-4 : Itinéraire routier Fos Cavaou / Fos Tonkin- Rade de Toulon

Les camions devront passer par Aix-en-Provence au Nord, car le tunnel de la Rocade L2 (A507) est interdit à tous véhicules de transport de matière dangereuse.

Les accès routiers aux différents zones portuaires autour de la rade de Toulon sont accessibles aux camions.

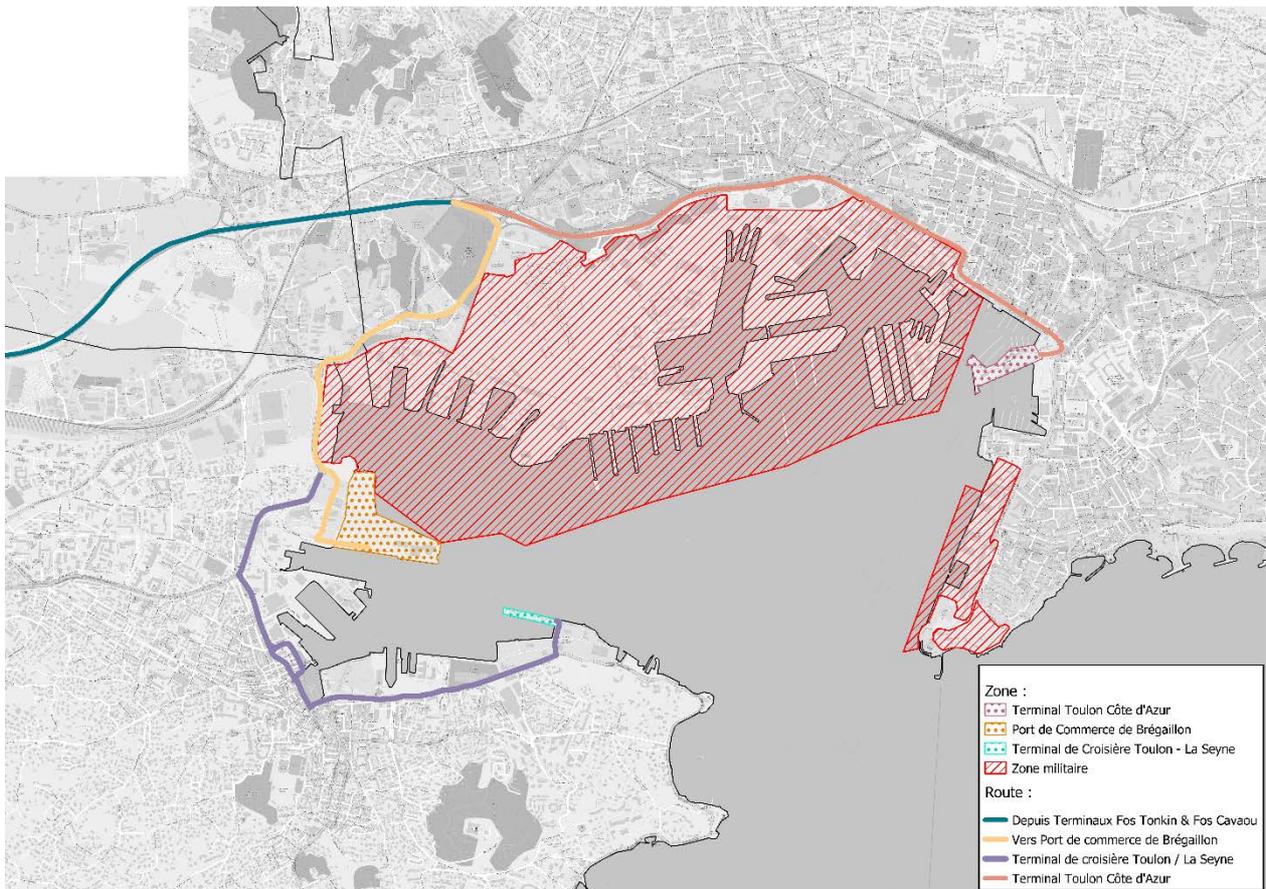


Figure 5-5 : Itinéraire routier dans la rade de Toulon

■ Itinéraire depuis le terminal de Panigaglia (Italie) :

L'approvisionnement routier depuis le Terminal de Panigaglia, est **impossible car le transport de matières dangereuses est interdit** :

- Sur l'autoroute A8, entre le péage d'Antibes et la frontière italienne (uniquement pour le transport d'oxyde d'éthylène, sauf en cas de force majeure),
- Dans les tunnels du Mont-Blanc, de Fourvière et du Fréjus (Classe 1 et autres classes, en fonction de la nature de leur conditionnement).

## 5.2 Voie maritime

L'alimentation de Toulon par voie maritime peut se faire au départ des terminaux de Fos soit par des méthaniers, soit par navire souteur pour réaliser le soutage en direct.

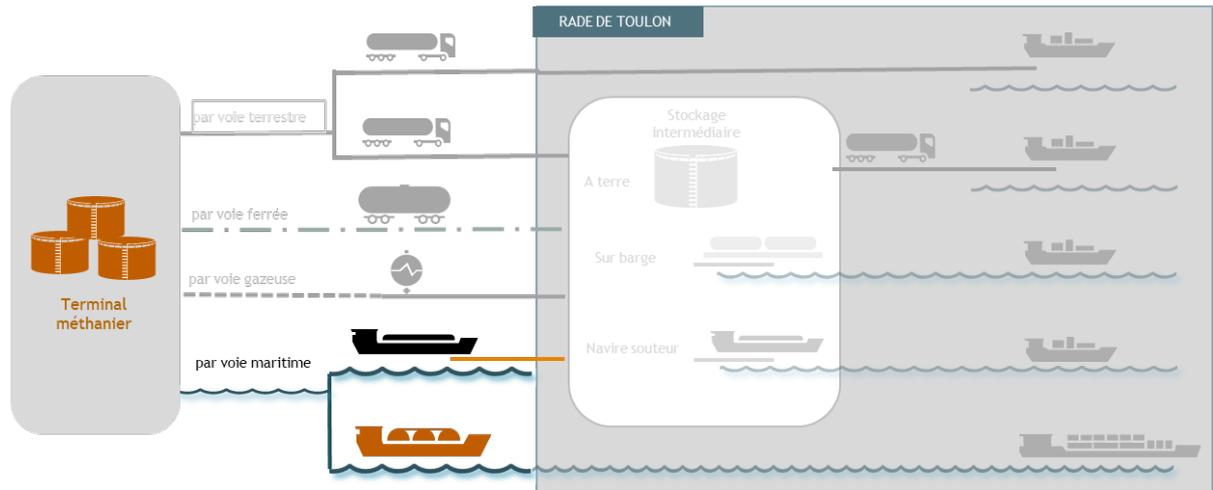


Figure 5-6 : Architecture de la filière d'approvisionnement GNL par Voie maritime

### 5.2.1 Méthaniers et Navires souteurs

Les plus petits méthaniers ont une capacité de 20 000 m<sup>3</sup> et sont peu présents. Ils nécessitent une infrastructure de déchargement avec un stockage, le plus souvent à terre. Ce type d'infrastructure est employé pour des volumes assez importants.

Les souteurs hauturiers sont des méthaniers avec une capacité réduite et surtout avec la possibilité de souter directement leur cargaison à bord des navires. Ici plusieurs exemples de navires souteurs existants:

	Cardissa*	Coralius	ENGIE Zeebrugge	Coral Methane	Gas Agility
Opérateurs	Shell	Gasum	Engie/GDF Suez	Anthony Verder	MOL pour Total
Capacité de stockage en m <sup>3</sup>	6 500	5 800	5 000	7 500	18600
Longueur en m	120	100	107.6	117.8	135.5
Largeur en m	20	18	18.4	18.6	24
Tirant d'eau en m	5.5	5.7	5	6	6.7

Tableau 5-1 : Données techniques des principaux souteurs

\* Le Cardissa de Shell est plutôt destiné aux avitaillements en mer Baltique.



Figure 5-7 : Exemple de navire souteur hauturier

Certains de ces navires ont un contrat d’approvisionnement dédié à un armateur. C’est le cas par exemple des souteurs pour les portes conteneurs CMA CGM. Les souteurs sont affrétés par Total Marine Fiouls Global Solutions (TMFGS) et en « long term chartering » auprès de Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (MOL).

### 5.2.2 Itinéraires maritimes

- Itinéraire depuis les terminaux de Fos Tonkin et Fos Cavaou (France) et de Panigaglia (Italie) :

Le temps de parcours depuis le Golf de Fos est de l’ordre de 5h30 de navigation (75 miles nautiques). Et Le temps de parcours depuis le Golf de Panigaglia est de l’ordre de 27h de navigation (370 milles nautiques).



Figure 5-8 : Voie maritime Golf de fos et de Panigaglia / Rade de Toulon

## 5.3 Voie ferroviaire

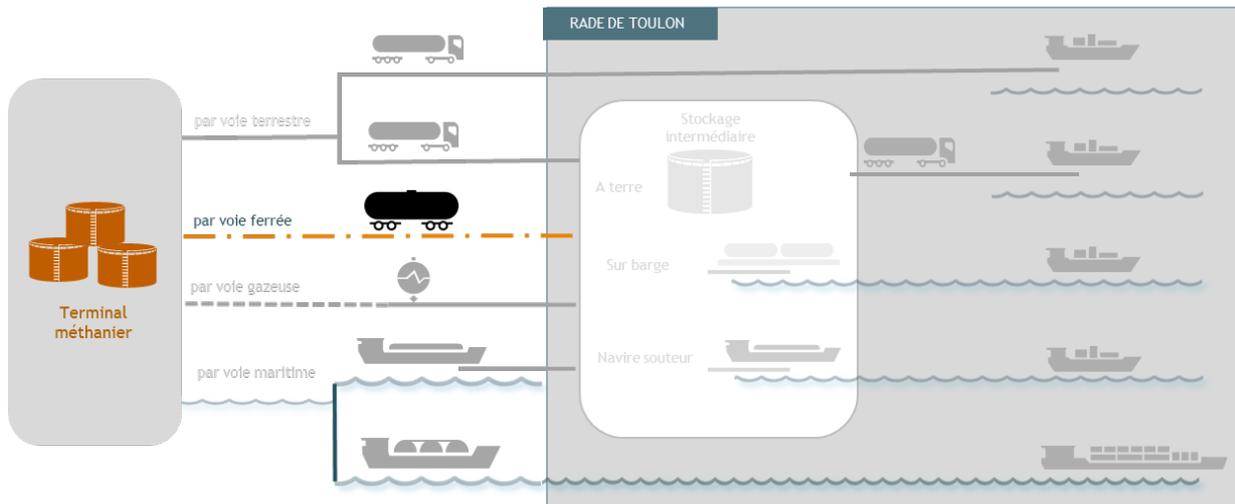


Figure 5-9 : Architecture de la filière d'approvisionnement GNL par Voie Ferroviere

### 5.3.1 Equipements

Le GNL peut être transporté soit dans un wagon dédié constitué d'une citerne cryogénique, soit dans un ISO Tank (voir aussi transport routier §5.1.1) posé sur un wagon de fret conventionnel.



Figure 5-10 : Exemple de transport de GNL par le rail : Wagon LNG dédié ou ISO Tank

Le transport du GNL dans un ISO Tank cryogénique posé sur un wagon de fret conventionnel est la solution privilégiée car elle permet un transfert plus aisé du GNL du wagon vers un camion. D'autant plus qu'aujourd'hui c'est la solution mise en place au terminal de Fos TONKIN.

Une rame complète représente environ 1 800 m<sup>3</sup> de GNL (environ 40 ISO tanks sur une rame de 500 m).

### 5.3.2 Itinéraires et raccordements



Figure 5-11 : Liaison ferroviaire Fos Cavaou / Fos Tonkin- Rade de Toulon

Il n'y a aucune voie ferrée permettant l'accès direct aux terminaux de Fos Tonkin et Cavaou.

Cependant, au terminal de FOS Tonkin, ELENGY peut utiliser les baies de chargement camion et mettre des ISO tanks sur le rail. La cadence standard serait une rame par semaine. L'un des avantages du transport par ISO tank serait de pouvoir utiliser les plateformes multimodales déjà présentes.

Coté Toulon, la réhabilitation de la connexion ferroviaire au terminal de Brégaillon (Port de commerce de Toulon, La Seyne-sur-Mer) est en cours, pour une remise en service prévue à l'été 2021. Cette voie ferrée permettra le transport de marchandises :

- Vrac
- Conteneurs
- Caisses mobiles
- ISO Tanks GNL
- Véhicules légers neufs

Au port de commerce de Brégaillon, ces ISO tanks GNL pourraient ravitailler les navires de commerces qui s'y amarrent tels que Ro-Ro, Ro-Pax ou ferry.

## 5.4 Voie gazeuse

La voie gazeuse consiste à utiliser le réseau de distribution de gaz naturel et à faire appel à une unité de liquéfaction pour l'obtenir sous forme liquide. Le gaz naturel pourrait être issu d'unités de méthanisation qui valorisent la matière organique.

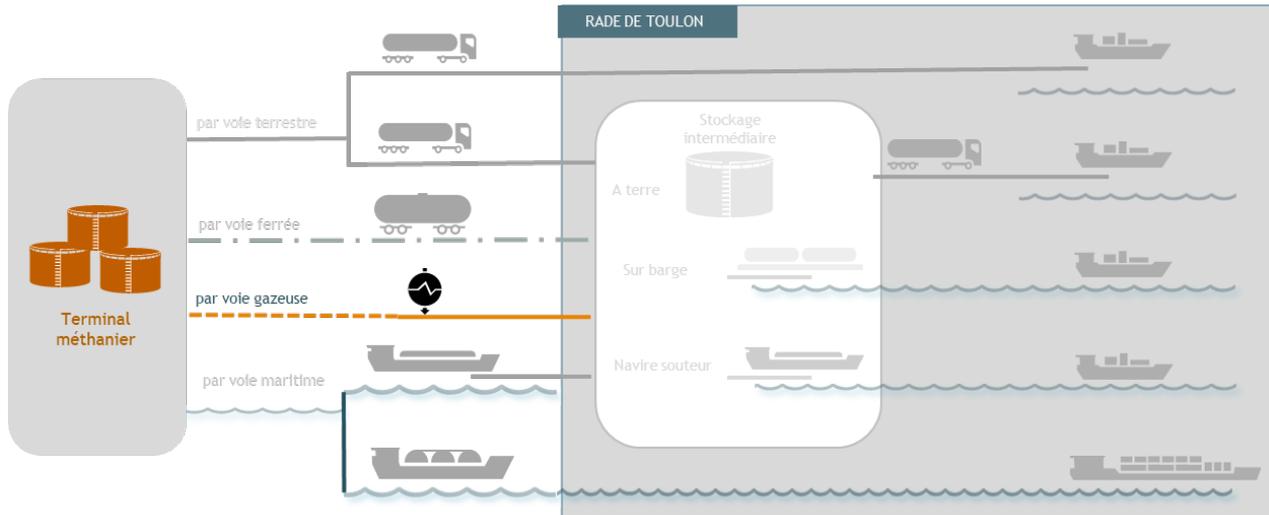


Figure 5-12 : Architecture de la filière d'approvisionnement GNL par voie gazeuse

Il y a une conduite principale de gaz qui arrive au nord la rade de Toulon.

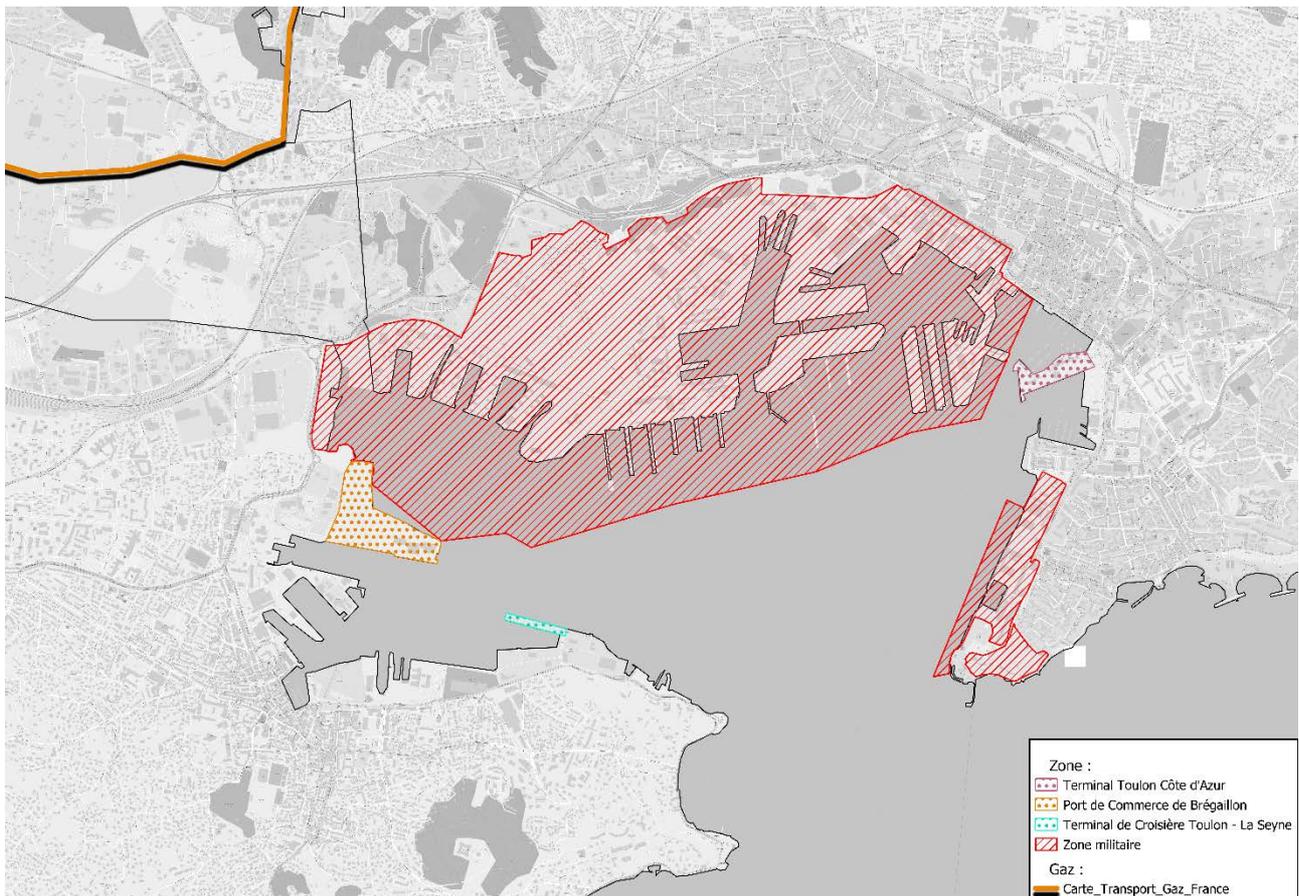


Figure 5-13 : Réseau de gaz

Les unités de liquéfaction de petite et moyenne capacité transforment le gaz naturel sous forme liquide par divers procédés d'échanges thermiques. Leur capacité de liquéfaction va de :

- 2 à 50 tonnes par jour pour une petite unité,
- 100 à 800 tonnes par jour pour une unité moyenne.

Ces usines de liquéfaction sont composées des unités principales suivantes :

- Pré-traitement du gaz,
- Liquéfaction,
- Stockage du GNL.

L'empreinte foncière de l'unité de liquéfaction seule sera l'ordre de 1 000 m<sup>2</sup>, ce qui est assez important. C'est en partie due au tétrahydrothiophène, l'odorisant du gaz, qui gêne la liquéfaction le gaz du réseau de distribution de ville. L'utilisation de biogaz ne nécessite pas cette unité de traitement mais les volumes sont très en dessous des besoins en carburant marins. Il sera aussi nécessaire d'y adjoindre des capacités de stockage.

Le cout d'une usine de liquéfaction d'une capacité de 165 tonnes (360 m<sup>3</sup>) par jour est environ 17 Millions d'Euros (hors génie civil et études de sol)

L'ordre de grandeur pour des unités à terre est de **5.5 M€** pour une production de 90 tonnes (200 m<sup>3</sup>) par jour.

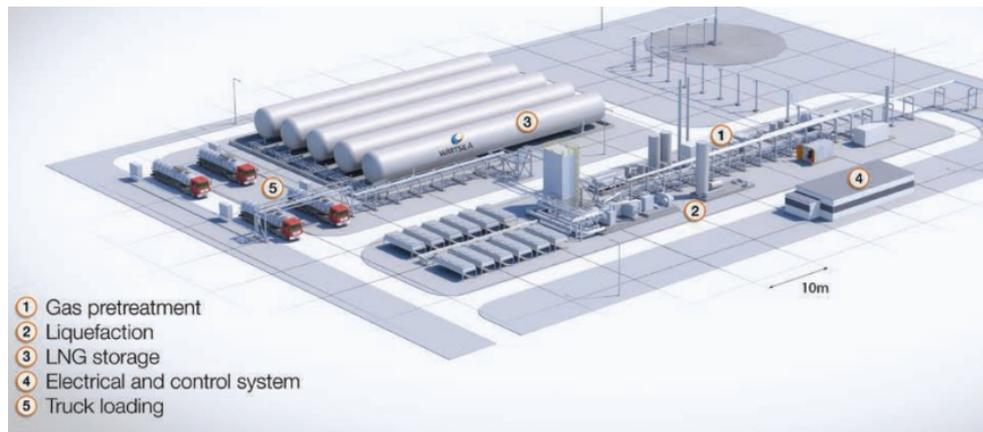


Figure 5-14 : Unité de liquéfaction

## 5.5 Stockage intermédiaire

L'utilisation d'un stockage intermédiaire permet :

- **De lisser l'approvisionnement** lors de potentiels pics de consommations,
- D'améliorer la logistique d'approvisionnement,
- De **s'affranchir** des contraintes d'approvisionnement aux terminaux méthaniers. La disponibilité continue du GNL est un enjeu stratégique et commercial,
- **D'étendre l'influence logistique** au-delà de la zone portuaire, en permettant l'approvisionnement en GNL à d'autres débouchés.

On distingue deux catégories de stockage intermédiaire pour lesquelles des solutions terrestres et flottantes existent :

- Les petites capacités jusqu'à 5 000 m<sup>3</sup>,
- Les grandes capacités de 20 000 m<sup>3</sup> à 150 000 m<sup>3</sup>.

### 5.5.1 Les stockages intermédiaires de petite capacité, jusqu'à 5000 m<sup>3</sup>

L'atout principal est l'adaptabilité aux besoins. On peut adapter le volume de stockage en combinant plusieurs petites capacités.

Le remplissage d'un stockage intermédiaire peut se faire par divers moyens : camion, barge, souteur, micro-liquéfaction ou wagon.

Le stockage peut être terrestre ou flottant.

- **Le stockage terrestre** sert dans une filière où le camion est majoritairement utilisé pour le soutage.

Il implique d'avoir une réserve de foncier disponible et adaptée. Par exemple le site de rechargement GNL de Klaipėdà, Lituanie, occupe 6000 m<sup>2</sup> pour 5 ballons horizontaux de 1 000 m<sup>3</sup>. Les capacités de stockage sont de type ballon ou cigare.

- Les **ballons** sont installés verticalement pour une emprise au sol plus faible.
- Les **cigares** sont couchés horizontalement pour une prise au vent plus faible.



Figure 5-15 : Stockage intermédiaire terrestre de petite capacité

Il existe de nombreuses tailles de ballons sous pression, chacune étant dimensionnée pour le besoin de l'utilisateur. Le tableau ci-dessous indique différentes tailles disponibles sur le marché :

	320 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	1000 m <sup>3</sup>
Poids - Net	71 t	100 t	218 t
Longueur	30 m	45 m	50 m
Diamètre	4 m	4.5 m	6 m
Installation	Vertical	Horizontal	Horizontal

Tableau 5-2 : Dimensions typiques de ballons sous pression

On notera qu'il existe de plus petites capacités qui sont notamment utilisées pour les stations GNV mais qui ne sont pas pertinentes pour les volumes nécessaires pour la filière GNL en tant que carburant marin.

D'un point de vue économique, une telle infrastructure ajoute un coût supplémentaire au coût d'un transfert direct depuis le terminal méthanier jusqu'au navire à quai.

L'avantage de cette solution réside dans la garantie d'autonomie et de disponibilité du GNL qu'elle procure en s'affranchissant de difficultés d'alimentation aux terminaux méthaniers et en permettant de répondre à une demande de dernière minute.

Certains armateurs pourraient être intéressés pour pouvoir accéder en premium à une source de GNL en cas de difficultés sur leur port de ravitaillement préférentiel. Dans un contexte où l'avitaillement GNL des bateaux est encore naissant cela pourrait offrir un avantage de services que le port pourrait fournir et qui pourrait répondre à un développement futur en capacité.

Un stockage temporaire par ISO Tanks est aussi possible. En effet comme indiqué plus haut leur conception permette environ un mois de stockage et ils peuvent être empilés pour limiter l'emprise au sol. Cette formule permet aussi d'adapter le volume de stockage à la demande.

- **Le stockage intermédiaire** dédié est une solution dédiée à un **groupe de bateaux de même typologie** : mêmes volumes à souter, même position du point de raccordement. Le ballon est installé sur le quai, le raccordement est conçu pour un type de navire, le volume du stockage est dimensionné pour ce groupe de navires et équivaut à plusieurs camions de 300m<sup>3</sup> à 500m<sup>3</sup>.

L'installation nécessite d'être proche du navire à souter pour limiter/diminuer la longueur de tuyauterie et donc les coûts de mise en froid et inertage de ces tuyauteries.



*Figure 5-16 : Installation de soutage avec stockage fixe (port de Hirtshals, DK, pour Fjordline)*

Cette solution a pour principal intérêt **d'éviter les mouvements de camions sur le quai** lorsque d'autres opérations ont lieu. En ce sens, c'est une solution intéressante en termes de **sécurité** pour les navires à passagers pendant les périodes de transfert de passagers. Dans l'exemple de la Figure 5-16, la passerelle permettant aux passagers de descendre à terre est « étanche » pour protéger les passagers d'un dégagement de gaz accidentel.

Les équipements de soutage sont spécifiques aux navires. L'installation étant fixe, la flexibilité d'opération est limitée.

Par ailleurs, l'aspect réglementaire lié à un stockage de GNL, ICPE et étude de dangers, devra être intégré.

- **Le stockage flottant** sert une filière majoritairement souteur et est classé en plusieurs technologies cadrées et régies par des codes internationaux maritimes : le code IGC (International Gas Code) et le code IGF, code régissant la conception des unités navires à propulsion à base de GNL.

Les technologies sont catégorisées en :

- cuves de types C,

- cuves de types B et A,
- cuves à membranes.

**Les cuves type C**, l'équivalent maritime des **ballons ou cigares terrestre**. Ce sont des cuves cylindriques ou parallélépipédiques. On peut les isoler thermiquement par une ou plusieurs techniques combinées telles que le vide, la perlite, le polyuréthane, le polystyrène etc.

La caractéristique majeure opérationnelle des stockages de type C est leur capacité à pouvoir supporter une pression importante. Pour le GNL, stocké à  $-163^{\circ}\text{C}$ , cela offre de la souplesse et facilite la gestion du stock.

Les cuves type C sont généralement installées à l'horizontal dans la coque ou sur le pont extérieur.

**Les cuves de type B et A** sont construites sur mesures pour s'intégrer dans la coque, mais elles ne permettent pas la même tenue en pression que les types C, pression de design ( $< 0.7$  barg). Leur construction est plus confidentielle et réduite en termes de chantiers et d'usines.

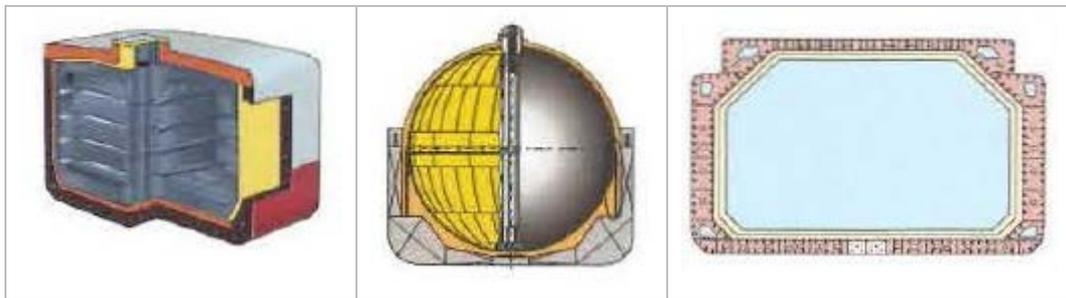


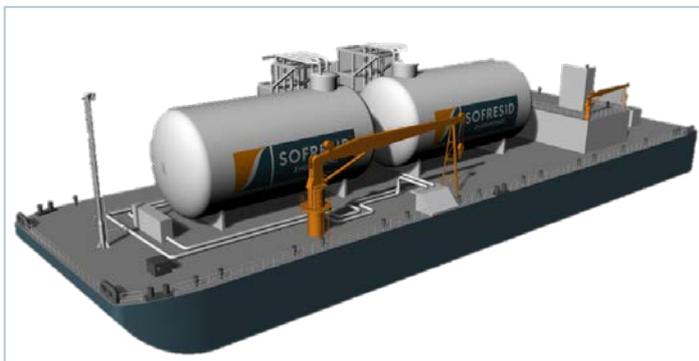
Figure 5-17 : Cuves de type B, Prismatique, Sphérique et à membrane

Ces cuves sont prévues pour des volumes supérieurs à  $5\,000\text{ m}^3$ .

On ressent plusieurs types d'objets flottants :

- amarré à un quai et périodiquement déplacé à l'aide d'un remorqueur,
- auto propulsé,
- ancré en mer ou dans une rade.

**Le flotteur amarré à un quai.** Il reste à quai la majeure partie du temps. On utilise un remorqueur ou un pousseur pour le déplacer et le mettre à couple. Ainsi certaines barges ont la forme arrière faite pour accueillir l'avant d'un remorqueur / pousseur. La barge est dimensionnée pour un usage sur un plan d'eau protégé.



L'intérêt est que l'objet est considéré et classé comme **barge**, car sans partie motrice.

- On s'affranchit de la complexité de la motorisation, de ses appendices et systèmes annexes.
- Les locaux-vie pour le personnel ne sont plus indispensables.
- Les coûts de maintenance sont réduits.
- Les coûts de personnel sont réduits : moins de personnes et moins qualifiées.
- Le coût initial est réduit.

*Figure 5-18 : Stockage flottant de petite capacité, un exemple d'avant-projet de barge de soutage*

De conception extrêmement simple, ces objets sont déployables très rapidement et avec un besoin de financement significativement réduit.

Un stockage temporaire d'ISO Tanks est aussi possible sur une barge ou un ponton GNL.

**L'objet auto propulsé** devient souteur, voir section 5.2.1. Cette configuration permet à l'opérateur d'aller chercher du GNL en grande quantité dans des grands ports et de transférer en de multiples endroits.

Ce genre de navires représente un investissement important et des engagements de volumes / durée de plusieurs investisseurs. Les négociations peuvent être complexes pour optimiser un financement.



*Figure 5-19 : Photo du souteur ENGIE Zeebrugge*

Dans toutes ces variantes, le flotteur ne sera pas disponible pour d'autres distributions lorsqu'il sera engagé dans des opérations de soutage.

**Le flotteur ancré.** C'est une variante de la barge à la différence que le flotteur est ancré à demeure dans une rade ou plus au large. On parle dans ce cas de FSU (Floating Storage Unit). Même si ce type d'objet est envisageable en petite capacité, il est plutôt pourvu de capacité de stockage supérieure à 5 000 m<sup>3</sup> et fait donc partie de la catégorie stockages de grande capacité (voir ci-dessous pour plus de détail sur les FSU de grande capacité).

### 5.5.2 Les stockages intermédiaires de grande capacité, supérieure à 15 000 m<sup>3</sup>

Un stockage de grande capacité confère une très grande autonomie et sera destiné à une consommation soutenue localement.

■ **Le stockage terrestre** : le bac à fond plat est le plus souvent utilisé pour des capacités de stockage supérieures à 15 000 m<sup>3</sup> et plus généralement de l'ordre de 150 000 m<sup>3</sup>. L'emprise au sol assez importante car en plus du bac il sera nécessaire d'avoir des capacités de rétention en cas de fuite, et une unité de reliquéfaction des vapeurs. Le Terminal GNL de Tornio, Finlande, occupe 12 000 m<sup>2</sup> pour un bac de 50 000 m<sup>3</sup>.

Une installation de ce type est **classée ICPE**, et nécessite, au-delà des études de dangers et du plan de prévention associé, des démarches administratives particulières et des enquêtes publiques qui peuvent s'avérer longues et incertaines. Dans le cas du port de Toulon, l'intégration d'une telle installation pourrait se faire dans une zone où des plans de préventions existent déjà. Il faudra y intégrer l'effet domino d'une telle installation sur l'existant.

■ **Le stockage flottant ou FSU** est une unité assez simple qui a pour fonction principale de stocker de grandes capacités de GNL et d'être équipée de moyen de transfert. La FSU est ancrée à demeure, elle ne requiert donc pas ou peu de foncier et peut être relocalisée après sa période de contrat achevé.

Son emplacement peut être déterminé pour que sa distance d'effet en cas de sinistre soit acceptable, contrairement à une installation en plein centre-ville. Inversement, les transferts sont beaucoup plus tributaires de la météo tout comme l'accès à certains navires ou barges.



*Figure 5-20 : Flotteur ancré – FSU*

Une FSU, lorsqu'elle est équipée d'un système de re-liquéfaction, peut conserver sa cargaison jusqu'à environ 3 mois. Le besoin se justifie par un besoin de stockage avec une consommation locale annuelle d'au moins quatre fois son volume de cargaison sur une durée d'opération suffisamment longue, minimum 15 ans, pour justifier l'investissement.

L'installation d'une FSU dans le port semble peu probable, à cause des problématiques de dangers, à valider avec une étude détaillée. Elle devrait être accessible pour les soudeurs qui n'auraient pas la possibilité d'aller en haute mer.

## 5.6 Analyse

Étant donné leur proximité et leur desserte, tant terrestre que maritime, les sources d'approvisionnement à privilégier sont les dépôts de Fos Tonkin et Fos Cavaou.

Les solutions d'acheminement par camions et par voie ferrée sont techniquement réalisables. En considérant 1 000 m<sup>3</sup>, cela nécessite 20 camions-citernes ce qui est absorbable par le réseau routier.

L'acheminement par voie ferrée d'ISO tanks est possible depuis le terminal de FOS Tonkin vers Brégaillon en utilisant les plateformes multimodales déjà présentes dans la région. Cependant, la demande de GNL pour les ferries étant majoritairement à TCA, cela nécessite d'ajouter un maillon à la logistique de transport, pour amener le GNL de Brégaillon vers TCA (voir chapitre 6.1) et multiplie les manutentions.

La voie gazeuse n'est pas envisageable pour des raisons de risque en zone urbaine et d'éloignement du point d'avitaillement principal. En effet le seul emplacement disponible pour une unité de liquéfaction est Brégaillon situé loin de la demande majoritaire des ferries située à TCA.

La voie maritime en provenance de FOS est une solution adaptée et complémentaire aux soutages non réalisables par camion. Cette solution permet aisément de s'adapter à une croissance de la demande de GNL dans la rade de TOULON en augmentant la fréquence des rotations de ce souteur depuis FOS.

## 6 TRANSPORT DANS LA RADE

### 6.1 Voie terrestre par camions

#### 6.1.1 Architecture

L'acheminement par camion du GNL jusqu'au navire à souter dans la rade de Toulon, peut être envisagé soit en direct depuis le terminal d'approvisionnement soit depuis un stockage intermédiaire.

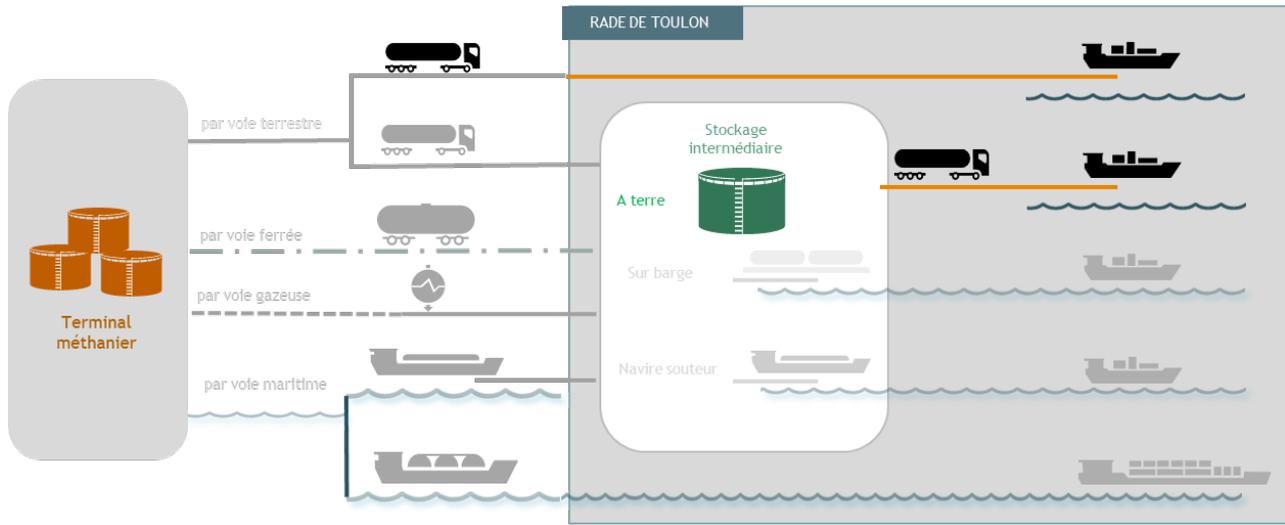


Figure 6-1 : Schéma de transport en rade par camion

La quantité totale maximale de GNL qui peut être raisonnablement souté dans un navire par des camions est de 500 m<sup>3</sup>. Pour diminuer le temps de soutage, plusieurs camions peuvent être connectés simultanément, jusqu'à un maximum de 4 camions. Ce volume de GNL maxi pourrait être envisagé pour les ferries sous réserve que la fréquence d'avitaillement soit augmentée.

### 6.1.2 Volume et cartographie des soutages

EN 2019, les soutages par camion ont concerné principalement les navires IFREMER et le navire câblier comme indiqué en Figure 6-2 :

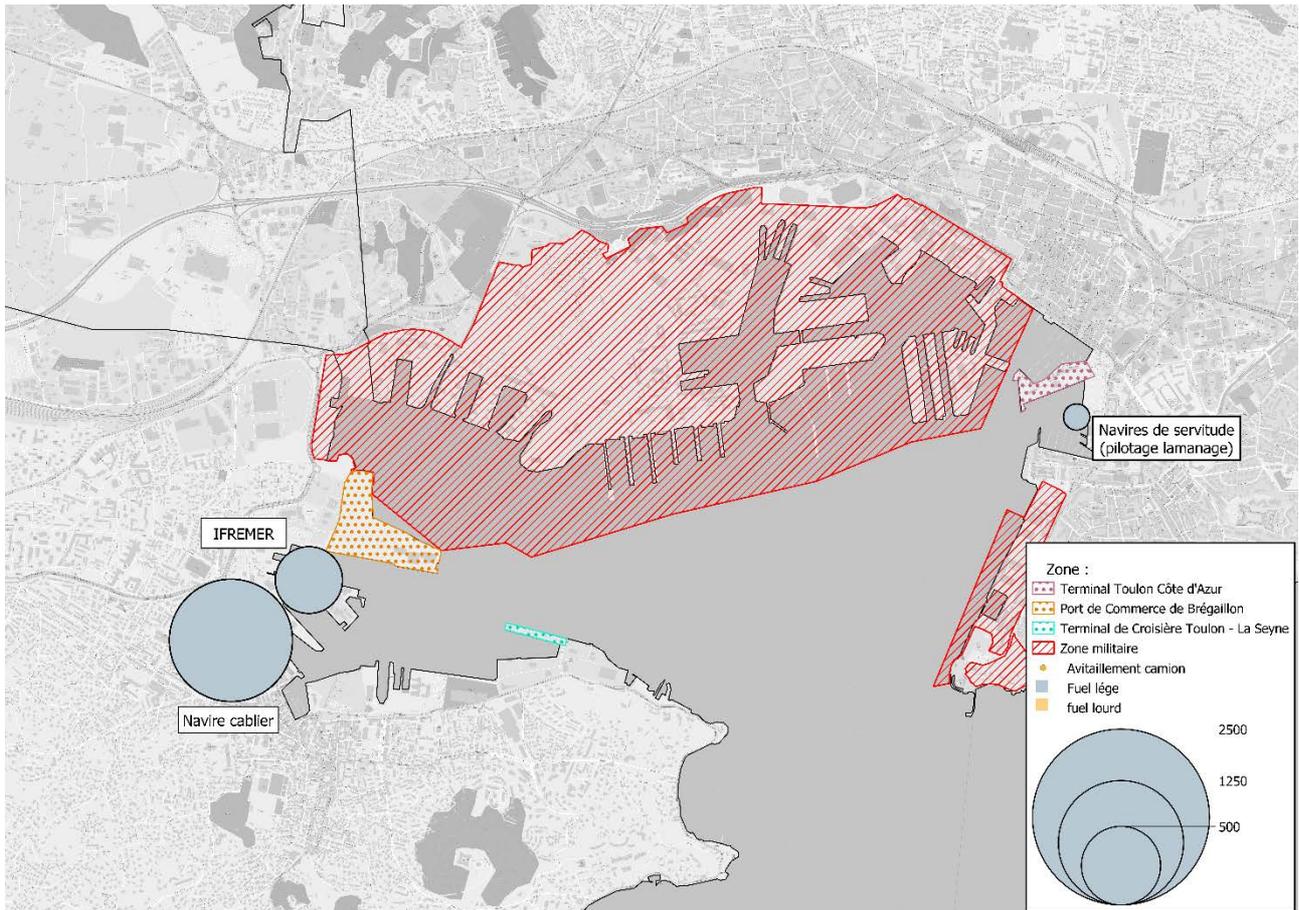


Figure 6-2 : Soutage par camion en 2019

### 6.1.3 Infrastructure et approvisionnement

Comme expliqué au paragraphe 5.1, les camions prendront leur cargaison à l'un ou l'autre des terminaux méthaniers de FOS.

Les camions utilisés pour le soutage direct sur navire sont équipés en standard de système de pompage qui permettent de vider une citerne, ou l'ISO tank, à un débit de l'ordre de  $60\text{m}^3/\text{h}$ , soit une opération qui dure un peu plus d'une heure (40 minutes pour vider le camion + 20 minutes de manœuvre, de raccordement flexibles...).

Le soutage se fait par connexion directe du flexible de dépotage du camion sur le navire à avitailler. Le volume à souter étant généralement supérieur à la capacité d'un camion, suivant les contraintes de temps et de disponibilité de quais, soit les camions se succèdent soit il y a un skid pour décharger simultanément plusieurs camions afin d'atteindre le volume recherché.



Figure 6-3 : Avitaillement en GNL d'un paquebot, mai 2016



Figure 6-4 : Evolution des capacités de soutage en TTS

Des solutions de module permettent de connecter de 2 à 6 camions. Cela permet d'augmenter le débit de transaction à  $240\text{m}^3/\text{h}$  et donc le volume transféré sur un temps imparti. Le module peut être fixe sur le quai ou déplaçable selon les besoins.

Cependant, au-delà de 4 camions ( $200\text{m}^3$ ), le nombre de personnes requise sur zone en simultanément devient trop important et la génération de vapeur de gaz devient trop grande.

Les ISO Tanks ont l'avantage de pouvoir être stockés, en l'occurrence au port de Brégaillon, pour ensuite être transportés par camion au point de livraison de GNL.

Alternativement, les ISO tank peuvent être mis directement à bord des navires et pour y être raccordé directement sur le système d'alimentation en carburant du navire. C'est ce concept qui est envisagée pour le ferry HONFLEUR de la compagnie Brittany Ferries, voir Figure 6-5

Le ferry est spécifiquement équipé d'un portique embarqué qui permet de hisser des ISO Tanks de GNL à bord, et ainsi d'alimenter le réservoir fixe principal. Deux fois par semaine, hors zones passagers, deux ISO Tanks pleins sont embarqués en remplacement des conteneurs vides. L'ensemble de l'opération doit se dérouler en moins de 15 minutes.

## LA LIVRAISON DU GNL À BORD DU HONFLEUR

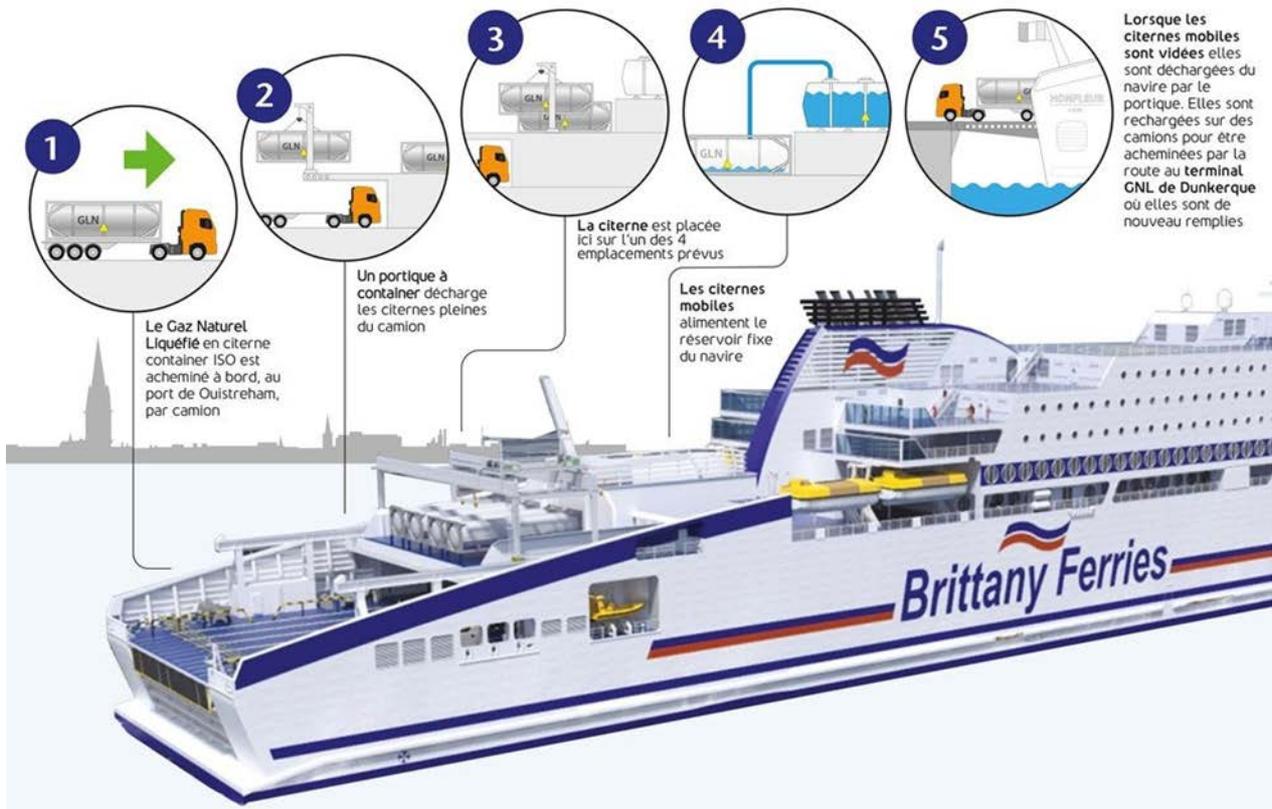


Figure 6-5 : Présentation de la livraison de GNL à bord du Honfleur

L'application de cette solution dans la rade de TOULON en considérant au maximum 2 Iso Tanks embarqués à chaque soutage conduit :

- Lors du pic estival, à 3 avitaillements de 2 Iso Tanks par jour pour chaque ferry.
- Lors des périodes creuses avec un seul ferry en opération, à environ un 1 Iso tank tous les deux jours.

### 6.1.4 Limitations

La limitation du volume souté est l'élément clé pour la filière camion. Les avis divergent quant au volume maximum d'un soutage réalisable par camion (maximum entre 500 et 700 m<sup>3</sup>). Pour cette l'analyse, un volume de 500m<sup>3</sup> sera la quantité maximale de soutage par camions. Il est un peu moindre quand on transborde des ISO tanks.

Par ailleurs, le stationnement de camions pour des opérations d'avitaillement GNL n'est pas envisageable sur les quais de TCA : densité du trafic routier, condamnation d'une voie pendant le soutage, interdiction d'accès aux camions sur les quais du carré du port.

Les autres quais de commerce, Brégaillon et le Mole d'armement de la Seyne-Sur-Mer, sont accessibles aux camions. L'application de cette solution dans ces zones reste à étudier car la place disponible sur les quais est limitée.

### 6.1.5 Évolutions logistiques possibles

#### 6.1.5.1 Soutage direct par camions



Dans un premier temps, l'approvisionnement du Port pourrait être réalisé par des camions, pour approvisionner le premier ferry propulsé au GNL, au port de Brégaillon ou au mole d'armement de la Seyne-Sur-Mer sous réserve que le soutage soit effectué plus fréquemment. Cependant, les avitaillements des ferries représentent 1/10 des opérations et la solution camion n'est pas envisageable pour l'avitaillement à TCA.

#### 6.1.5.2 Stockage intermédiaire

Pour garantir une autonomie et une disponibilité de GNL, un stockage intermédiaire pourrait être envisagé.



Comme décrit dans le paragraphe 5.5.1, cela peut se présenter sous la forme d'un stockage de petite capacité ou d'empilage d'ISO Tanks. Au vu de la faible quantité de GNL avitaillé hors de TCA, l'installation d'un stockage intermédiaire durable n'est pas intéressante.

Une autre solution qui évite les mouvements de camions sur le quai lorsque d'autres opérations ont lieu, c'est le stockage intermédiaire dédié cf Figure 5-16. Ce type d'installation a un intérêt logistique à TCA où sont les consommateurs. Mais, l'emplacement n'est pas du tout propice : manque de place à quai et des contraintes sécurité d'un tel dispositif en centre-ville. Cette solution ne sera donc pas étudiée.

Le stockage intermédiaire de grande capacité implique de très grands volumes d'échange. Le stockage intermédiaire de grande capacité ne sera donc pas étudié.

### 6.1.6 Analyse critique

Le soutage camion pourrait être la première étape par sa flexibilité et son faible investissement financier.

Cette solution est applicable pour avitailler un ferry à Brégaillon ou au mole d'armement de la Seyne-Sur-mer. Cela représente une part faible des avitaillements des ferries. La majorité des avitaillements GNL est réalisée à TCA où cette solution n'est pas envisageable.

Il y a un autre marché qui peut être avitaillé en GNL par camion, ce sont les petits navires de servitude, les câbliers, et les navires scientifiques. Cela implique qu'ils passent au GNL ce qui semble peu probable dans la décennie. Cela n'est pas envisagé dans ce rapport.

Pour les petits volumes inférieurs à 1 000m<sup>3</sup>, un stockage intermédiaire n'a pas de raison économique. L'installation d'un stockage intermédiaire dédié aux Ferries à TCA, n'est pas envisageable pour des questions de sécurité en zone urbaine et de place disponible.

L'utilisation d'ISO Tanks offre un intérêt limité. Il permet de constituer un stockage intermédiaire qui serait au mieux disponible au port de Brégaillon sous réserve d'étude de dangers. Comme cela offre un volume total modéré, les ISO tanks permettent d'alimenter les petits navires à proximité et plus difficilement les gros volumes des Ferries.

## 6.2 La voie maritime

### 6.2.1 Architecture

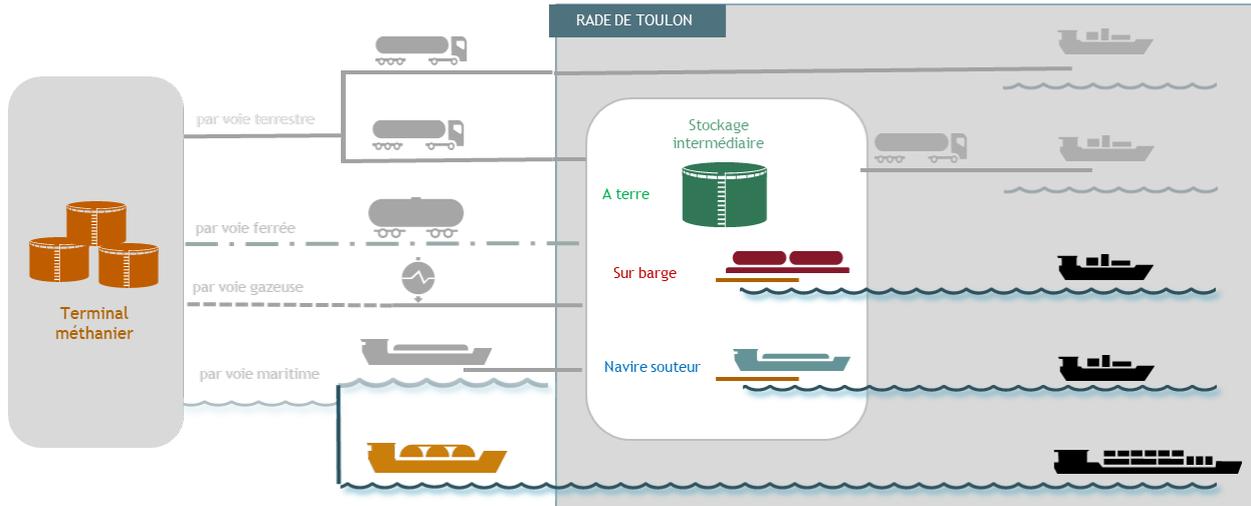


Figure 6-6 : Schéma de transport en rade par voie maritime

L'avantage du souleveur, c'est de pouvoir intervenir là où le camion ne peut accéder et d'avitailer les navires qui ont une soute supérieure à 500 m<sup>3</sup>. Il a aussi l'avantage de libérer le quai pour les opérations commerciales : transferts de passagers ou de marchandise.

Même si la rentabilité d'un souleveur est basée sur des opérations fréquentes, avec sa capacité de stockage relative, le navire souleveur peut aussi devenir un stockage intermédiaire local. S'il est mis à quai, il peut permettre le remplissage des camions citerne localement.

### 6.2.2 Volume et cartographie des soutages

Comme indiqué ici, en 2019, les soutages par la voie maritime n'ont concerné que les Ferries et principalement au terminal Toulon Côte d'Azur, TCA :

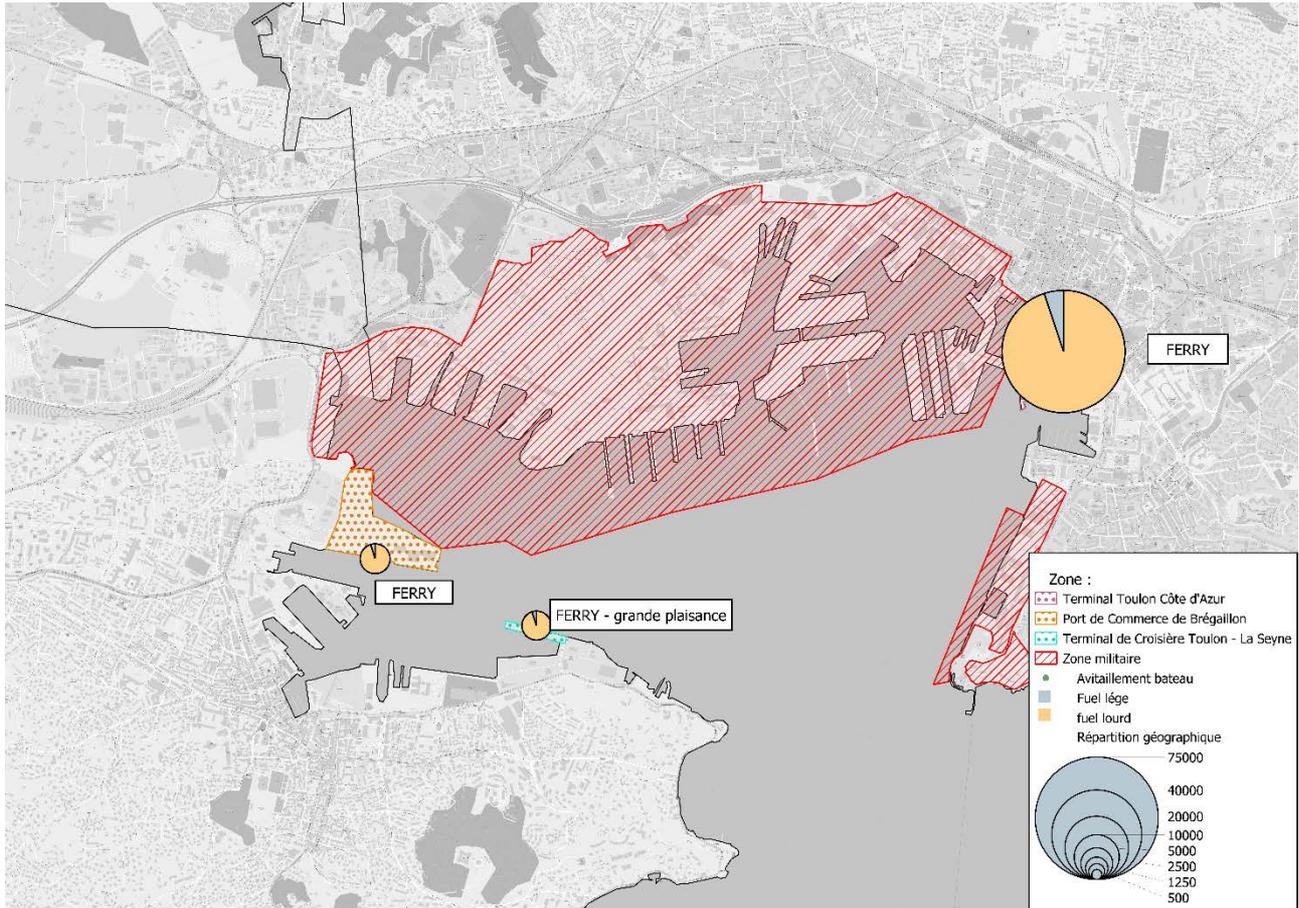


Figure 6-7 : Soutage par bateau en 2019

### 6.2.3 Infrastructure et approvisionnement

On distingue 2 types de soueurs :  le **navire soueur**, avec sa propre propulsion  
 la **barge de soutage**

- Le **navire soueur** se déplace de façon autonome. Il va remplir ses cuves à un terminal de GNL et se place à couple des navires pour avitailler. De plus amples détails sont déjà fournis au chapitre 5.2.
- La **barge de soutage non propulsée** n'a pas de personnel naviguant à poste en permanence. Elle nécessite un pousseur ou un remorqueur pour être déplacée. En ce sens, la barge représente un investissement réduit.



*Figure 6-8 : Barge de transfert équipée de réservoir type C*

La barge peut servir à transporter des ISO Tanks vers les navires à souder ou être muni de réservoirs. Elle peut aussi servir de stockage intermédiaire.

- La barge de soudeuse auto propulsée reste prévue pour un usage type fluvial mais le fait d'être équipée d'une propulsion lui confère une autonomie de déplacement. A contrario, cela nécessitera un équipage.

La LNG London est une barge automotrice de 3 000 m<sup>3</sup> destinée à la navigation en eaux intérieures et pouvant bénéficier d'une dérogation pour la navigation en mer à titre exceptionnel.



*Figure 6-9 : London LNG barge*

#### 6.2.4 Limitations

La solution barge n'est pas retenue dans la rade de TOULON pour les raisons principales suivantes :

- le stationnement temporaire ou permanent d'une barge n'est pas assuré dans la rade par manque de quais disponibles,
- le transport par une barge d'ISO Tanks depuis Brégaillon pose un problème de logistique, de manutention et de temps d'acheminement.

La filière soudeuse est structurée différemment de la filière camion, avec comme critère principal le volume à souder qui déterminera la taille du soudeur.

Le dimensionnement des soudeuses est basé sur un critère technique : remplir les soudeuses du soudeur au plus tard toutes les quatre semaines afin d'éviter le risque de dégradation du GNL dans le temps.

## 6.2.5 Évolutions logistiques possibles

### 6.2.5.1 Développement initial

Le navire souteur sera nécessaire dès lors qu'un soutage de plus de 500 m<sup>3</sup> devra être effectué. Pour cela le partage d'un tel navire sur la zone Maritimo permettra un soutage occasionnel sur Toulon.

### 6.2.5.2 Le souteur local

Le souteur local devient nécessaire quand le volume de GNL annuel dépasse approximativement 100 000 m<sup>3</sup>.

Dans les dix ans, un souteur local dédié à la rade de TOULON n'est pas envisagé car le volume de GNL soutés à TOULON est supposé rester inférieur à 45 000 m<sup>3</sup> annuel.

### 6.2.5.3 Stockage intermédiaire

Un stockage intermédiaire n'est pas requis pour la filière souteur car celui-ci dispose du volume suffisant pour assurer l'avitaillement des navires demandeurs. Il restera sur place environ le temps nécessaire pour effectuer les avitaillements puis retournera s'approvisionner à un des terminaux de FOS tout proche.

## 6.2.6 Analyse critique

L'avitaillement par le plan d'eau est applicable. Elle est à privilégié pour Toulon car c'est le mode d'avitaillement pertinent pour alimenter les ferries dans l'ensemble de la rade.

Le volume à souter annuel sera le critère pour justifier l'investissement dans un souteur local ou s'il doit être partagé avec d'autre utilisateurs de la région.

# 7 DÉVELOPPEMENT DE L'APPROVISIONNEMENT GNL

## 7.1 Évolution mondiale du marché

Il existe diverses études sur l'évolution du marché du GNL. La plupart des rapports prévoit une croissance du GNL en tant que carburant marin chacun à des degrés d'évolutions divers. La fiabilité de telles perspectives reste compliquée à utiliser comme référence pour une vision supérieure à 20 ans.

La Figure 7-1 présente la perspective d'évolution établie en 2019 par DNV GL, cf. [35], institution jouissant d'une solide réputation de sérieux et d'impartialité dans l'univers maritime.

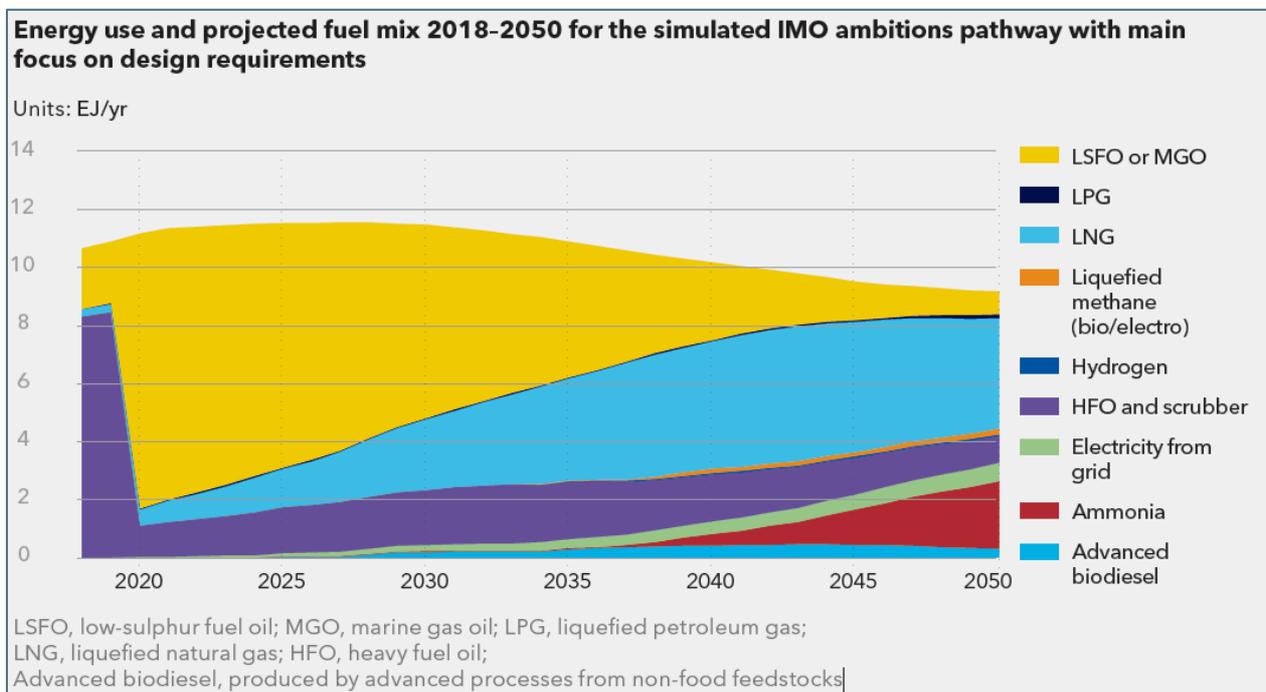


Figure 7-1 : Prévion d'utilisation du GNL comme carburant dans l'industrie marine

Comme le précise le DNV GL, cette croissance est fortement dépendante des coûts des énergies, des évolutions de technologie à venir et des évolutions de réglementation.

La projection du mix énergétique jusqu'en 2040, est jugée plutôt fiable car elle est dépendante des décisions prises actuellement. Au-delà, DNV GL estime que la proportion de GNL en 2050 pourra varier entre 40% et 80% dans le mix énergétique mondial hautement dépendante de la progression de l'ammoniaque comme énergie alternative.

L'autre hypothèse avancée par DNV GL est une décroissance continue des carburants conventionnels, LSFO, MGO et HFO, au profit d'énergies alternatives.

Cette courbe, cf. Figure 7-1, montre que de 2020 à 2030, les carburants conventionnels sont remplacés jusqu'à une valeur de **21.4 %** par du GNL seulement.

Année	LNG (pessimiste - optimiste)
2020	5.02
2025	11.5%
<b>2030</b>	<b>21.4%</b>

Tableau 7-1: Part du LNG dans la consommation globale de carburant marin

Cette courbe, cf. Figure 7-1, explicitée par le tableau 7-1 montre que de 2020 à 2030, les carburants conventionnels sont remplacés jusqu'à une valeur de **21.4 %** par du GNL.

Le dernier rapport DNV GL de 2020 ne contredit pas les données du rapport de 2019, pour la décennie 2020-2030 et indique en 2030 une part du GNL d'en moyenne **25%** de la flotte mondiale.

Toujours selon le rapport du DNV GL la répartition des navires fonctionnant au GNL est la suivante :

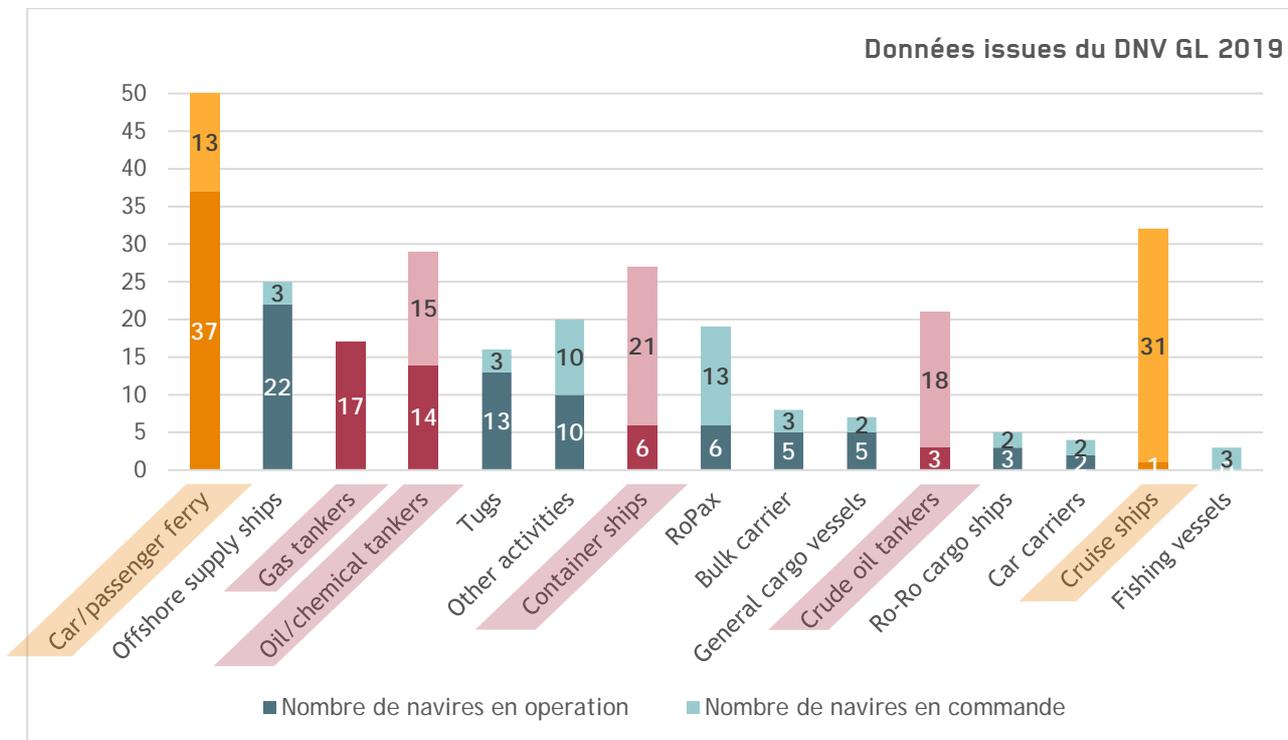


Figure 7-2: Cumul du nombre et type de navires alimentés en GNL

Le **marché ayant la plus forte demande concerne les ferries et les navires de croisière** car ils sont en partie portés par l'impact du public. Il n'est pas prévu d'avitaillement au GNL de navires de croisières au port de TOULON dans la décennie. Cependant au vu de la proportion actuelle des soutages pour ce segment des ferries, voir Figure 6-7 Figure 6-7 : Soutage par bateau en 2019, une croissance est possible pour la rade de TOULON. Ce marché porte sur les soutages de moins de 1 000 m<sup>3</sup> pour un ferry. Le nombre de ferries actuellement en opération au port de TOULON étant de 8. Selon l'étude de DNV GL 21 à 25% de ces navires passent en 2030 au GNL. Il est donc considéré dans ce rapport qu'au maximum 2 ferries seront soutés au GNL dans la décennie.

Le deuxième marché est porté par les porte-conteneurs et les chimiquiers/tankers. Ce marché porte sur les soutages pour un navire de plus de 3 000 m<sup>3</sup> et ne concernent pas la rade de TOULON.

Un autre marché de navires qui migrent vers le GNL sont les Ro-Ro et les Ro-Pax. Bien que faisant escale à Toulon, ces navires sont des lignes très irrégulières et s'avitaillement dans d'autres ports.

Dans la suite du rapport, sur la base de ces projections, sera considéré :

- en 2025 : 1 ferry passera au GNL (les rapports [3] et [4] cette étape sera plutôt atteinte en 2030),
- en 2030 : 2 ferries passeront au GNL.

## 7.2 Evolution du GNL dans la rade de TOULON

### 7.2.1 Marché interne

Parmi les soutages effectués dans la rade de TOULON, tous ne seront pas affectés par une migration des navires vers le GNL.

Les navires câbliers, les navires scientifiques et les navires de servitude ne sont pas considérés comme passant au GNL dans la décennie.

Les soutages pour les générateurs auxiliaires de secours sont supposés rester au MGO.

A Toulon, en 2030, la consommation prévisionnelle correspond à 2 ferries fonctionnant au GNL ce qui représente  $82\,551 \times 0,25 \times 2 = 41\,275 \text{ m}^3$  par an arrondi à  $41\,300 \text{ m}^3$ .

L'avitaillement en GNL sera en moyenne de  $1250 \text{ m}^3$  tous les 11 jours, soit  $115 \text{ m}^3$  par jour (pour deux ferries).

Cependant cette demande n'est pas constante sur l'année et il faut considérer les extrêmes suivants :

- Pic de demande en été, environ de  $2\,000 \text{ m}^3$  à fournir tous les 4 jours, soit  $500 \text{ m}^3$  par jour en considérant 2 ferries.
- Périodes creuses avec un seul ferry en opération, la demande moyenne par jour est d'environ  $60 \text{ m}^3$ , voir même  $25 \text{ m}^3$  par jour pour les périodes de demande minimum.

#### Evolution de cette projection à 10 ans

En considérant que les ferries seront soutés à 90% au Terminal Passagers TCA et les 10% restants répartis équitablement entre Brégaillon et la Seyne-Sur-Mer, la projection suivante peut être anticipée pour l'évolution de la consommation depuis 2020 jusqu'à 2030:

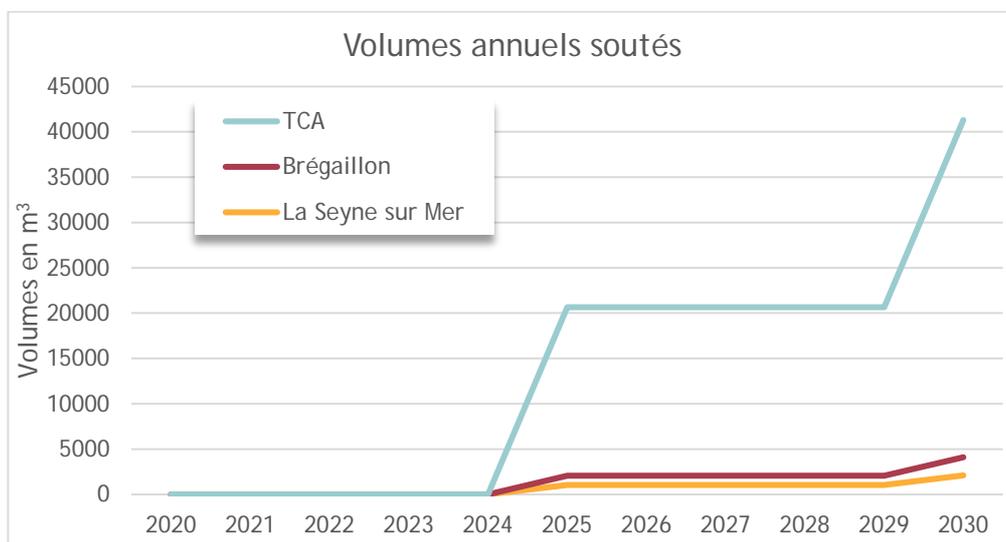


Figure 7-3: Evolution annuelle de la demande en GNL sur 10 ans

Les volumes soutés à Brégaillon et à La Seyne-Sur-Mer peuvent être réalisés par la filière camion.

Les volumes soutés à TCA, notamment pendant le pic de demande estival, sont à réaliser par souteur ce qui est concordant avec l'impératif d'accéder par le plan d'eau pour faire le soutage sur ce port.

### 7.2.2 Marché externe

Les usages, autres que le carburant marin dans Toulon, peuvent augmenter le volume d'échange de GNL dans Toulon et influencer sur le mode d'approvisionnement.

#### 7.2.2.1 Carburant

##### Carburant marin

Au-delà de la rade de TOULON et de sa partie maritime, il n'y a pas de marché externe identifié (pas de marché pour les navires fluviaux, pas de marché pour les bateaux de pêche).

##### GNV

Le gaz naturel comme carburant pour les véhicules (notamment les camions) pourrait être un potentiel débouché industriel. Mais cela reste marginal.

##### Carburant ferroviaire

Le gaz naturel comme carburant ferroviaire n'est pas considéré probable.

#### 7.2.2.2 Courant à quai

Cette utilisation correspond au branchement des navires à quai afin leur fournir de l'électricité pour leur permettre de couper leur moteur et ainsi, réduire les émissions de polluants quand ils sont à quai.

Une installation, par le réseau terrestre, est en cours de réalisation sur les quais du terminal de Toulon cote d'Azur pour l'alimentation des ferries.

Un autre besoin peut venir de l'alimentation des bateaux de croisières. Avec total de 40 escales d'une durée moyenne de 12 h avec une consommation estimée de 5 MW électrique, le besoin annuel de GNL serait 840 m<sup>3</sup> (environ 420 t par an). Ce qui reste marginal comparé au besoin des Ferries.



*Figure 7-4 : Exemple de barge permettant d'alimenter les navires à quai en électricité*

### 7.2.2.3 Industries

Seuls des sites industriels non raccordables au réseau de distribution de gaz gazeux sont susceptibles d'opter pour le GNL. On devrait retrouver ces sites plutôt sur les départements des Alpes Maritimes (06) et Alpes de Haute Provence (04). Un site industriel se procurerait en moyenne environ 25 citernes GNL par an, soit environ 1000 m<sup>3</sup> (environ 500 t par an). Le scénario bas est que cet usage ne soit adopté par aucun site industriel de la région.

### 7.2.2.4 Usage domestique

Des cas d'utilisation du GNL pour des usages domestiques apparaissent dans des zones éloignées du réseau national de distribution de gaz naturel. Cela concernerait principalement les départements des Alpes Maritimes (06) et Alpes de Haute Provence (04). Le besoin annuel d'une commune de petite taille est d'environ 200 m<sup>3</sup> de GNL (environ 100 t par an).

Le scénario bas est que cet usage ne soit adopté par aucune commune de la région.

- **Conclusion** : les besoins extérieurs aux ferries ont un potentiel de développement limité.

## 8 RECOMMANDATIONS

■ **La demande en GNL** pour les ports de Toulon viendra vraisemblablement de **la migration des ferries vers ce carburant alternatif**. Sur une perspective à 10 ans, le scénario pessimiste indique qu'aucun navire n'aura effectué cette migration quand 2 navires pourraient être alimentés au GNL dans le scénario le plus optimiste.

Le port de TCA continuera à concentrer 90% du soutage sur ce qui, compte tenu de la place réduite à quai, imposera **l'utilisation d'un avitaillement par le plan d'eau** avec un souteur.

Le volume annuel dans la rade de Toulon, même dans le cas le plus optimiste, ne justifiera pas l'investissement d'un souteur local sur Toulon. Le schéma le plus logique sera l'utilisation d'un souteur qui ira s'approvisionner à Fos et sera partagé sur la Région Sud jusqu'à s'étendre aux ports Italiens.

Le volume nécessaire à chaque soutage de l'ordre de 1 000 m<sup>3</sup> orientera vers l'utilisation d'un souteur avec une capacité de 3 000 m<sup>3</sup> a minima.

Cette voie maritime pourra être complétée par la **voie terrestre sur les sites de Brégaillon et de la Seyne-Sur-Mer**, en particulier en basse saison. Pendant cette période, la demande en carburant est moins soutenue ce qui permettra des avitaillements de plus de petits volumes. Ce mode de soutage est à envisager pour les premières opérations afin de susciter l'adhésion des futurs utilisateurs. Ce mode d'approvisionnement offre aussi une flexibilité accrue, les camions pouvant être mobilisés quasiment du jour au lendemain. A contrario du souteur qui, étant partagé avec d'autres utilisateurs, devra être anticipé plusieurs jours à l'avance.

La filière GNL marin est ici hautement liée aux Ferries. Ce sont les choix de la compagnie exploitante qui seront déterminant en matière de calendrier et de logistique d'approvisionnement. L'exemple de la compagnie Brittany Ferries et du HONFLEUR alimenté par ISO-tank, Figure 6-5, montre que la chaîne logistique est aussi liée au choix technologique des navires.

■ **Les investissements** entre les 2 modes d'approvisionnement, camion ou souteur, sont assez différents.

Pour la **filière camion**, le prix de la molécule acheminée correspond à un coût de personnel plus les coûts d'utilisation du camion-citerne (carburant + péage + amortissement). Pour un trajet direct depuis le Terminal de FOS, on prendra **600 €** comme coût de transport par camion. Des contrats à long terme avec les opérateurs et l'utilisation du ferroutage permettront d'optimiser ces coûts.

La **filière souteur** nécessitera un navire capable de naviguer en haute mer depuis un terminal méthanier. Le marché est assez discret sur le coût de ces objets. **Un navire souteur de 3 000 m<sup>3</sup> devrait coûter 40 M€,** selon les estimations que Sofresid a pu réaliser sur ce genre d'objet. La partie opérationnelle est très dépendante d'un opérateur à un autre et sera énormément tributaire du taux de charge du navire. C'est-à-dire son occupation partagée avec les autres consommateurs de la Région Sud et en Italie.

Pour la région, les **investissements en matériel seront marginaux** puisque la logistique n'engendre pas de nouvelles installations.

La **promotion de l'utilisation du GNL** dans le port de Toulon reste un élément essentiel dont le territoire est partie prenante. Cela commence par l'intégration de l'avitaillement GNL dans le règlement local du port. Cela permettra de réaliser une première opération d'avitaillement de GNL dans la rade, dans un but de formation, et également de démonstration des capacités du port à effectuer de telles opérations.

## 9 TRAVAUX ET NORMES CITES

- [1] EMSA. (2018). Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations.
- [2] Direction Générale de la Prévention des Risques. (2014). Note relative à la réglementation applicable aux installations pour l’avitaillement des navires en GNL.
- [3] Livrable T 3.5.1 - Définition du modèle de réseau de distribution GNL
- [4] Livrable T 3.2.1 - Phase I - Schéma du réseau de distribution et de transport du GNL sur le territoire
- [5] Livrable T 3.2.2 - Phase II - Analyse des caractéristiques territoriales d’accessibilité et celles liées au transport sur le territoire
- [6] Livrable T 3.2.3 - Phase III - Base de données d’applications GNL dans les territoires de la zone de coopération
- [7] EN1474-2 - Design and testing of marine transfer systems. Design and testing of transfer hoses
- [8] EN1474-3 - Design and testing of marine transfer systems. Offshore transfer systems
- [9] EN13766 2010 - Thermoplastic multi-layer (nonvulcanized) hoses and hose assemblies for the transfer of liquid petroleum gas and liquefied natural gas - Specification
- [10] ISO/TS 18683 - Guidelines for systems and installations for supply of LNG as fuel to ships
- [11] EN ISO 20519 - Specification for bunkering of liquefied natural gas fuel led vessels
- [12] ISO/TS 17177 - Guidelines for the marine interfaces of hybrid LNG terminals
- [13] ISO 17776 2016 - Petroleum and natural gas industries --Offshore production installations -- Major accident hazard management during the design of new installations
- [14] IACS rec 142 - LNG Bunkering Guidelines
- [15] IAPH check list - Check-lists for: Truck-to-Ship, Ship-to-ship, Port-to-Ship
- [16] DNVGL-RP-G105 - Development and operation of liquefied natural gas bunkering facilities
- [17] EN 12065 - Testing of foam concentrates of extinguishing powders used on LNG fires
- [18] EN 12066 - Testing of insulating linings for liquefied natural gas impounding areas
- [19] EN 12308 - Suitability testing of gaskets designed for flanged joints used on LNG piping
- [20] EN ISO 20088 - Determination of the resistance to cryogenic spillage of insulation materials
- [21] ISO 23251 2006 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Pressure-relieving and depressuring systems

- [22] IEC 60079-10-1 :2015 - Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres
- [23] IGF code - International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels
- [24] STCW code - International convention on standards of training, certification and watch keeping for seafarers
- [25] ISO 18132-1 :2014 - Refrigerated hydrocarbon and non-petroleum based liquefied gaseous fuels – General requirements for automatic tank gauges -- Part 1: Automatic tank gauges for liquefied natural gas on board marine carriers and floating storage
- [26] EN 1473 :2014 – Installation and equipment for liquefied natural gas – Design of onshore installations
- [27] EN 14620 :2006 – Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flatbottomed steel tanks for the storage of refrigerated, liquefied gases with operating temperatures between 0°C and -165°C
- [28] ISO 17776 :2016 – Petroleum and natural gas industries -- Offshore production installations -- Major accident hazard management during the design of new installations
- [29] IGC code - International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk
- [30] ADN - European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland waterways
- [31] Solas - International convention for the Safety of Life at Sea
- [32] ADR - European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road is a 1957 United Nations treaty that governs transnational transport of hazardous materials.
- [33] MARPOL - International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
- [34] SGMF - LNG Bunkering Guidelines - Safety Guidelines
- [35] DNV GL. (2019). Maritime Forecast to 2050 - Energy Transition Outlook 2019

# 10 ANNEXE – Données de soutage dans la rade de TOULON

Cette annexe regroupe les informations fournies par la capitainerie sur la base de l'année 2019.

Le Tableau 10-1 liste les soutages effectués pour les ferries en 2019.

Date	Navire avitailleur	Nb de navire avitaillés	DML (Diesel Marin Léger) en Tonne	Fioul Lourd en Tonne	Fioul Lourd par navire en Tonne
03/01/2019	CAP SICIE	4	185	2200	550
16/01/2019	CAP SICIE	4	185	2190	548
18/02/2019	CAP SICIE	4	185	2375	594
1/03/2019	CAP SICIE	4	185	1795	449
19/03/2019	CAP SICIE	4	185	2640	660
3/04/2019	CAP AIGUADES	4	185	2145	536
18/04/2019	CAP AIGUADES	4	0	2415	604
25/04/2019	CAP SICIE	5	185	2850	570
02/05/2019	CAP AIGUADES	4	125	1630	408
14/05/2019	CAP AIGUADES	5	185	2370	474
23/05/2019	CAP SICIE	6	185	2675	446
31/05/2019	CAP AIGUADES	6	185	2800	467
06/06/2019	CAP AIGUADES	6	185	2280	380
13/06/2019	CAP SICIE	6	102	2900	483
26/06/2019	CAP PINEDE	1	0	1060	1060
2/07/2019	CAP SICIE	6	163	2852	475
09/07/2019	CAP SICIE	6	130	2875	479
16/07/2019	TATIANA B	6	110	2900	483
23/07/2019	TATIANA B	6	90	2900	483
30/07/2019	TATIANA B	6	115	2900	483
06/08/2019	CAP AIGUADES	6	80	2900	483
11/08/2019	CAP AIGUADES	6	0	2244	374
15/08/2019	CAP AIGUADES	6	150	2900	483
21/08/2019	CAP AIGUADES	4	48	2700	675
27/08/2019	CAP SICIE	6	150	2900	483
3/09/2019	CAP AIGUADES	6	110	2900	483
10/09/2019	CAP AIGUADES	6	185	2900	483
18/09/2019	CAP AIGUADES	6	185	2760	460
26/09/2019	CAP AIGUADES	5	0	2420	484
5/10/2019	CAP AIGUADES	4	185	1970	493
17/10/2019	TATIANA B	5	185	2770	554
12/12/2019	CAP PINEDE	4	130	2385	596
18/12/2019	CAP SICIE	4	0	2050	513
<b>Total</b>		<b>165</b>	<b>4 278</b>	<b>82 551</b>	

*Tableau 10-1 : Quantités soutées par les pétroliers avitailleur venant de FOS*

Il convient de noter que la fréquence d'avitaillement des ferries sur l'année est en moyenne de tous les 11 jours avec une variation de 4 jours minimum autour du 15 Aout et 56 jours maximum en Novembre. La quantité unitaire moyenne soutée est d'environ 500 Tonnes.

Pour les ferries, seul le fioul lourd a été considéré car le combustible marin léger ne représente qu'environ 5% des soutages en moyenne et une partie de ce carburant est à destination des générateurs auxiliaires. Tous ces générateurs auxiliaires ne seront pas changés s'il y a une migration vers le GNL.

Quelques chiffres clé :

- **90 % des avitaillement sont réalisés à TCA** : 74 250 Tonnes de Fioul lourd
- 10% des avitaillement sont réalisés à Brégaillon ou Mole Armement Seyne-Sur-Mer (pendant l'attente à quai) : 8 250 Tonnes Fioul lourd dont 4 250 Tonnes à Brégaillon et 4 000 Tonnes au Mole Armement Seyne-Sur-Mer.

8 navires de CORSICA FERRIES sont habituellement avitaillés dans le port :

- MEGA EXPRESS (année de construction : 2001),
- MEGA EXPRESS TWO (année de construction : 2001),
- MEGA EXPRESS THREE (année de construction : 2001),
- MEGA EXPRESS FOUR (année de construction : 1995),
- MEGA EXPRESS FIVE (année de construction : 1993),
- MEGA ANDREA (année de construction : 1986),
- MEGA SMERALDA (année de construction : 1985),
- PASCAL LOTA (année de construction : 2008).

La capitainerie a aussi communiqué les données suivantes pour les navires scientifiques d'IFREMER pour l'année 2019 :

	Navire (Volume carburant stocké) (année construction)	Type carburant	quantité en Tonne	nbre de navire avitailés	Quantité moyenne par navire en Tonne
IFREMER	Tethys (30 m <sup>3</sup> ) (1993)	DML	22	2	11
	Atalante (580 m <sup>3</sup> ) (1989)	DML	0	0	0
	Pourquoi Pas (1233m <sup>3</sup> ) (2005)	DML	0	0	0
	Europe (32 m <sup>3</sup> ) (1993)	DML	37	3	12
	Antea (73 m <sup>3</sup> ) (1995)	DML	80	2	40
	Thalassa (460 m <sup>3</sup> ) (1996)	DML	223	1	223
	<b>TOTAL</b>		<b>362</b>	<b>8</b>	

*Tableau 10-2 : Quantité soutée par camions pour les navires scientifiques IFREMER*

Pour finir, La capitainerie a indiqué :

- Les navires de servitude de pilotage en 2019 ont consommé au total 48 Tonnes de DML avitaillés par 50 camions au total sur l'année,
- Les navires de servitude de lamanage en 2019 ont consommé au total 8.5 Tonnes de DML avitaillés par 24 camions au total sur l'année,

Soit au total pour les navires de servitude 56.5 Tonnes.

- Les navires câbliers ORANGE MARINE en 2019 ont été avitaillés 8 fois pour une consommation totale de 1 212 Tonnes de DML. La quantité moyenne avitaillée est de 152 Tonnes.